

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN-TACNA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Académico Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia

**“EFECTO DEL CONCENTRADO FIBROSO SOBRE EL RENDIMIENTO
PRODUCTIVO Y LAS EMISIONES DE METANO ENTÉRICO (CH₄)
EN ALPACAS (*Vicugna pacos*) EN EL CENTRO EXPERIMENTAL
QUIMSACHATA INIA – PUNO – 2015”**

TESIS

Presentada por:

Bach. Cecilia Pierina Quispe Alanguía

Para optar el Título Profesional de:

MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA

TACNA - PERÚ

2015

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN-TACNA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Académico Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia

TESIS

“EFECTO DEL CONCENTRADO FIBROSO SOBRE EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO Y LAS EMISIONES DE METANO ENTÉRICO (CH₄) EN ALPACAS (*Vicugna pacos*) EN EL CENTRO EXPERIMENTAL QUIMSACHATA INIA – PUNO – 2015”

TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 11 DE DICIEMBRE DEL 2015,
POR EL JURADO CALIFICADOR INTEGRADO POR:

PRESIDENTE:


Mgr. HUGO FLORES AYBAR

SECRETARIO:


Dr. CECILIO MAURO HURTADO QUISPE

VOCAL:


MSc. LUIS ADOLFO RAMOS MAMANI

ASESOR:


Mvz. CESARIO SEBASTIAN CRUZ ANCHAPURI

DEDICATORIA

A Dios por haberme dado vida y salud para permitirme cumplir el sueño que tenía desde niña. A mis adorados padres **Nicanor Quispe** y **Ricardina Alanguía**, gracias por darme todo su amor, apoyo y confianza en todos mis años como estudiante universitaria.

A mi hermano **Eddy Franco** por acompañarme siempre, por sus ocurrencias y su apoyo incondicional durante todos estos años.

A mis queridas amigas de universidad **Gabriela, Issis y Rosy**. A mis amigos de la Estación Experimental Quimsachata **Rajiv, Yori y Gaby** por compartir lluvias, truenos y risas. A mis amigos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos: **Renato, Camilo, Abiel** y sobre todo a **Josiasy Marco**, por ayudarme en todo el proceso de ejecución de la tesis. Aprendí mucho de ustedes, sobre todo el trabajo en equipo, los quiero.

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater, la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann y a la Escuela Académico Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la cual orgullosamente llevaré su nombre. A todos los docentes, quienes durante los cinco años de estudios impartieron sus conocimientos profesionales, además del apoyo incondicional y amistad.

A mi Asesor el MVZ. Cesario Sebastián Cruz Anchapuri, por su destacado profesionalismo como docente durante los años de estudio de mi carrera profesional. En esta oportunidad, por guiarme amablemente y brindarme su valioso tiempo para el desarrollo de la presente labor investigativa.

Al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) de Puno, por haberme brindado las facilidades para concretizar con éxito la presente tesis, en especial a los doctores Teodosio Huanca, Oscar Cárdenas, Mario Lino Gonzales, y Rómulo Zapana, este último, por su grandes consejos. Asimismo, hago extensivo mi reconocimiento a todo el personal que labora en la citada institución, incluyendo los anexos de Illpa y Quimsachata.

A mi asesor en la ciudad de Puno, el Ph. D. Bernardo Roque Huanca, por haberme orientado en la elaboración de este trabajo de investigación, por sus conocimientos y haberlos compartido conmigo para lograr culminar el trabajo.

A la Universidad Nacional del Altiplano, por el apoyo brindado para el uso del Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia – UNA –Puno, al M.V.Z Felix Calsina por su colaboración y asesoramiento en las labores inherentes, así como al encargado del laboratorio señor Miguelito.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	Iv
AGRADECIMIENTOS	V
INDICE GENERAL	vii
INDICE DE TABLAS	X
RESUMEN	xii
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción del problema	4
1.2. Justificación	7
1.3. Objetivos	8
1.3.1. Objetivo General	8
1.3.2. Objetivos Específicos	9
1.4. Hipótesis	9

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes	10
2.2. Teoría y conceptos	13
2.3. Marco conceptual	16
2.3.1 Generalidades de las alpacas	16
2.3.2 Emisiones de metano (CH ₄)	20

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. Material	41
3.1.1. Ubicación geográfica y temporal	41
3.1.2. Unidad de estudio	42
3.1.3. Población y muestra	42
3.1.4 Materiales	43
3.2. Método	50
3.2.1 Tipo y diseño de la investigación	50
3.2.2 Método de la investigación	51
3.2.3 Diseño procedimental	52
3.3. Análisis Estadístico	59

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1	Consumo de concentrado fibroso	60
4.2	Ganancia de peso	62
4.3	Crecimiento de mecha	64
4.4	Emisiones de Metano Entérico (CH ₄)	66
4.5	Contrastación de hipótesis	69

71

DISCUSIONES

CONCLUSIONES	75
---------------------	----

RECOMENDACIONES	77
------------------------	----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
-----------------------------------	----

ANEXOS	91
---------------	----

INDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Concentrado fibroso destinado a alpacas machos (100% de materia seca).	45
Tabla 2:	Consumo en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.	60
Tabla 3:	Prueba de significación de Tukey de consumo en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.	61
Tabla 4:	Consumo y sus equivalentes.	62
Tabla 5:	Ganancia de peso en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.	62
Tabla 6:	Prueba de significación de Tukey de ganancia de peso en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.	63

Tabla 7:	Ganancia de peso y sus equivalentes.	64
Tabla 8:	Crecimiento de mecha en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.	64
Tabla 9:	Prueba de significación de Tukey de crecimiento de mecha en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.	65
Tabla 10:	Crecimiento de mecha.	66
Tabla 11:	Emisiones de metano entérico (CH ₄) en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.	66
Tabla 12:	Prueba de significación de Tukey de emisiones de metano entérico (CH ₄) en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.	67
Tabla 13:	Emisiones de metano entérico (CH ₄) y sus equivalentes.	68

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1:	Registro de alpacas	92
Anexo 2:	Emisión de metano entérico en alpacas	93
Anexo 3:	Emisión de metano entérico en alpacas (continuación)	94
Anexo 4:	Análisis químico del concentrado fibroso: CENIZAS TOTALES.	95
Anexo 5:	Análisis químico del concentrado fibroso: MATERIA SECA.	96
Anexo 6:	Análisis químico del concentrado fibroso: FIBRA DETERGENTE NEUTRA (FDN).	96
Anexo 7:	Análisis químico del concentrado fibroso: PROTEÍNA TOTAL.	97
Anexo 8:	Análisis químico del concentrado fibroso: EXTRACTO ETÉREO (GRASA).	98
Anexo 9:	Análisis químico del concentrado fibroso: ENERGÍA.	99
Anexo 10:	Análisis químico total del concentrado fibroso	100
Anexo 11:	Panel fotográfico	101

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el Anexo Quimsachata INIA-PUNO, con el objetivo de conocer el efecto de los concentrados fibrosos sobre el rendimiento productivo y las emisiones de metano entérico (CH_4) en alpacas. En el ensayo se utilizó un total de 12 alpacas huacaya machos de 2 años de edad, 36,1 kg de peso, distribuidas en tres tratamientos con diferente tipo de alimentación: forrajes enteros y concentrados fibrosos. La metodología consistió en el análisis proximal de los alimentos y las emisiones de CH_4 se determinaron por espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (Gasmét DX-4030). Los resultados obtenidos fueron: Consumo de materia seca fue de 0,309; 0,97925 y 0,86775 Kg/día. Con una ganancia de peso de 20,59; 55,88 y 50,0 g/día., el crecimiento de fibra, 1,75; 2,55 y 2,575 cm. Las emisiones de CH_4 entérico fueron mayores ($p < 0,01$) en alpacas alimentadas con forrajes enteros en comparación a los que recibieron alimentos concentrados fibrosos, 18,025; 13,275 y 12,875 g/d. De lo anterior, se concluye que los concentrados fibrosos incrementan el rendimiento productivo tales como el consumo, la ganancia de peso, crecimiento de longitud de fibra y disminuyen las emisiones de CH_4 entérico en alpacas.

Palabras clave: alpaca, metano entérico, concentrado fibroso

ABSTRACT

This research was conducted in the Annex Quimsachata INIA-Puno, in order to know the effect of fibrous concentrate on productive performance and emissions from enteric methane (CH₄) in alpacas. Whole fibrous forages and concentrates: a total of 12 male alpacas huacaya 2 years old, 36,1 kg weight, divided into three treatment groups with different types of feed used in the test. The methodology consisted of the proximal analysis of food and CH₄ emissions were determined by Fourier transform infrared spectroscopy (Gasmeter DX-4030). The results were: Dry matter intake was 0.309; 0,97925 and 0,86775 kg/day. With a weight gain of 20,59; 55.88 and 50,0 g / day, growth fiber, 1,75.; 2,55 and 2,575 cm. Enteric CH₄ emissions were higher (p <0,01) in alpacas whole fed fodder compared to those receiving fibrous food concentrates, 18,025; 13,275 and 12,875 g/d. From the above, it is concluded that the fiber concentrates increase the yield such as consumption, weight gain, growth of fiber length and reduce emissions of CH₄ enteric in alpacas.

Keywords: alpaca, enteric methane, concentrated fibrous

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo de tesis fue investigar el efecto de los concentrados fibrosos sobre el rendimiento productivo y las emisiones de metano entérico (CH_4) en alpacas. El ensayo se realizó en el Anexo Quimsachata del INIA-Puno, utilizando una muestra de 12 alpacas huacaya machos de 2 años de edad, 36,1 kg de peso, distribuidas en tres grupos de tratamientos: forrajes enteros y concentrados fibrosos elaborados con henos molidos de avena y alfalfa a 12 y 8 mmØ con características de partícula, con inclusión de fuentes adicionales de energía, proteínas, minerales y vitaminas. Las emisiones de CH_4 se determinaron por espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (Gasmeter DX-4030), a partir del aire atmosférico de una cámara de respiración de 20,69 m³ de volumen, donde se confinaron a los animales por 30 minutos en cada medición. Fue necesario realizar los ajustes por efecto de altitud, presión atmosférica y temperatura.

El propósito de la presente investigación es contrarrestar la baja productividad y la alta contaminación, ambos problemas básicos que

afronta la crianza de camélidos sudamericanos, debido al tipo de dieta, la cual presenta un alto contenido de fibra y bajo contenido de proteína. Se manifiestan altas emisiones de metano entérico (CH₄) con efectos sobre el calentamiento global (IPCC, 2007).

La magnitud de las emisiones depende de la cantidad y calidad del alimento consumido por los animales (Johnson y Johnson, 1995), con implicancias de tipo nutricional y ambiental que se expresan con pérdida de la energía consumida en el alimento y contaminación ambiental, principalmente del aire atmosférico (Pinares et al., 2009, Johnson et al., 2007). El calentamiento global es considerado como una seria amenaza ambiental, social y económica que enfrenta el planeta; gran parte del cual, se atribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero de origen antropogénico (Beauchemin et al., 2008).

Por tales consideraciones, se utiliza el procesamiento mecánico en forrajes de concentrado fibrosos como una estrategia dietaria que podría mejorar la productividad animal y disminuir la contaminación ambiental.

Con el presente estudio se prueba que las alpacas de la muestra se alimentaron mejor con el concentrado fibroso que con el forraje entero, incrementando su peso y obteniendo un mayor volumen de mecha;

asimismo, se precisa que las emisiones de CH₄ entérico fueron mayores en alpacas alimentadas con forrajes enteros que las emisiones con concentrados fibrosos. Con lo anterior, permite la posibilidad de una nueva y mejor alternativa de producción animal y conservación del medio ambiente.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La ganadería, después de la agricultura, es la segunda fuerza que impulsa la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible de las poblaciones mundiales; sin embargo, esta actividad tiene dos problemas básicos, la baja productividad animal y la alta contaminación ambiental, sobre todo en condiciones de altura, debido a las características de su alimentación con pastos y forrajes de alto contenido de fibra y bajo contenido de proteína (FAO, 2011).

El metano entérico (CH_4) constituye el gas digestivo más abundante que eliminan los animales rumiantes, como producto del trabajo bioquímico de un grupo de microorganismos del dominio *Archaea* que vive en el rumen, con predominio del género *Methanobrevibacter*, un grupo anaerobio estricto, capaz de crecer utilizando H_2 (o formato) como fuente de energía y electrones que derivan del H_2 (o formato) para reducir CO_2 a CH_4 (Janssen y Kirs, 2008).

Los camélidos sudamericanos (CSA), tales como la alpaca y la llama contribuyen a la seguridad alimentaria para una vasta población andina; sin embargo, también contribuyen a la contaminación ambiental, debido a que producen una cantidad de metano tan similar que el ovino (5,1 vs 4,7 % EB) cuando se le alimenta con heno de alfalfa, o una cantidad mayor (9,4 vs 7,5 % EB) cuando se le alimenta con ryegrass/trébol y (6.4 vs 2.7 % EB) cuando se le alimenta con lotus, respectivamente (Pinares et al., 2003).

Los estudios han mostrado que el procesamiento mecánico de los forrajes en concentrados fibroso constituye una estrategia dietaria que podría mejorar la productividad animal y disminuir la contaminación ambiental. El ganado vacuno alimentado con este tipo concentrados mejora en ganancia de peso (2,42 vs 1,02 kg/d) y disminuye en las emisiones de metano entérico (12,6 vs 40,5 kcal/W_{kg}^{0.75}), con relación al ganado alimentado tradicionalmente, respectivamente (Roque et al., 2012).

El presente estudio demuestra el efecto del concentrado fibroso en la dieta sobre el rendimiento productivo y las emisiones de metano entérico (CH₄) en alpacas, en contraste con la alimentación tradicional con forrajes enteros y maduros, tendiente a la mitigación, a fin de

contribuir en los esfuerzos por mejorar la productividad animal y conservar la salud ambiental.

La mala estrategia dietaria se manifiesta con altas emisiones de metano entérico (CH_4) con efectos sobre el calentamiento global (IPCC, 2007), la magnitud de las emisiones depende de la cantidad y calidad del alimento consumido por los animales (Johnson y Johnson 1995), que con implicancias de tipo nutricional y ambiental que se expresan con pérdida de la energía consumida y contaminación ambiental, por lo que es necesario investigar las posibilidades de mitigación (Pinares et al., 2009, Jiao et al., 2013).

La alimentación tradicional del ganado en altura se caracteriza por el consumo de forrajes enteros y maduros de alto contenido de fibra. El consumo de forrajes enteros y maduros por el ganado genera altas emisiones de metano con efectos negativos sobre la productividad animal y la salud ambiental (Doreau et al., 2011). El procesamiento mecánico de los forrajes de la época seca en concentrados fibroso es una estrategia dietaria que podría mejorar la productividad animal y disminuir la contaminación ambiental (Roque et al., 2012).

Los resultados y recomendaciones de esta investigación apuntan a mitigar las emisiones de metano entérico (CH_4) en la ganadería de

altura mediante el uso de concentrados fibrosos en la alimentación de alpacas.

1.2 Justificación

El metano (CH₄) es un gas que elimina normalmente el ganado rumiante, como un subproducto de la fermentación anaeróbica del alimento consumido en su tracto digestivo (Johnson y Johnson, 1995). El gas forma parte del grupo de gases de efecto invernadero (GEI), con una fuerza radiativa de 25 veces mayor que la del CO₂. Los estimados a nivel global han mostrado que la producción anual de este gas es de 320 Tg, de los cuales 80 Tg corresponde al ganado rumiante (Van Aardenne et al., 2001).

La magnitud de las emisiones depende de la cantidad y calidad del alimento consumido por los animales con implicancias de tipo nutricional y ambiental que se expresan con pérdida de la energía consumida y contaminación ambiental (Johnson y Johnson, 1995), por lo que es necesario investigar las posibilidades de mitigación, a fin de contribuir en el mantenimiento de la salud ambiental (Pinares et al., 2009; Jiao et al., 2013). Los resultados que generó la investigación sirvieron para implementar las estrategias de mitigación.

El ganado alimentado con dietas de alta calidad produce menos metano que el ganado alimentado con dietas de baja calidad. Los estudios indican que se puede disminuir las emisiones de CH₄ con un manejo adecuado de la biomasa y un mejoramiento de la dieta del ganado.

Los resultados del presente estudio nos dan información precisa sobre el incremento de la producción y reducción de la emisión del metano entérico, en alpacas, con el fin contribuir con la conservación del medio ambiente.

La actual labor investigativa, por su aporte viene enriqueciendo el conocimiento científico, lo que coadyuvará a nuevos estudios como referente o en la aplicación de sus métodos por instituciones públicas o privadas, responsables de la producción de alpacas como el cuidado de la contaminación ambiental.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el efecto del concentrado fibroso sobre el rendimiento productivo y las emisiones de metano entérico

(CH₄) en alpacas (*Vicugna pacos*), Centro Experimental Quimsachata INIA-Puno- 2015.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar el consumo de concentrado fibroso en alpacas.
- Determinar la ganancia de peso de alpacas alimentadas con concentrado fibroso.
- Determinar el crecimiento de mecha de alpacas alimentadas con concentrado fibroso.
- Estimar las emisiones de metano entérico (CH₄) en alpacas alimentadas con concentrado fibroso.

1.4 Hipótesis

El concentrado fibroso incrementa el rendimiento productivo y disminuye las emisiones de metano entérico (CH₄) en alpacas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

La baja productividad y la alta contaminación son los problemas básicos que afronta la crianza del ganado vacuno en altura, debido a las características de su dieta de alto contenido de fibra y bajo contenido de proteína, que se manifiesta con altas emisiones de metano entérico (CH₄) con efectos sobre el calentamiento global (IPCC, 2007).

La magnitud de las emisiones depende de la cantidad y calidad del alimento consumido por los animales, con implicancias de tipo nutricional y ambiental que se expresan con pérdida de la energía consumida y contaminación ambiental, por lo que es necesario investigar las posibilidades de mitigación (Johnson y Johnson, 1995; Pinares et al., 2009 y Jiao et al., 2013).

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

El procesamiento mecánico de los forrajes de la época seca en concentrados fibroso es una estrategia dietaria que podría mejorar la productividad animal y disminuir la contaminación ambiental. Los estudios previos han mostrado que el procesamiento forrajero en concentrados fibrosos con inclusión de heno de totora en la alimentación de vacunos de engorde mejoró la ganancia de peso en los animales y disminuyó las emisiones de CH₄ entérico estimados a través de modelos (Roque et al., 2012).

Mitigación de metano entérico

Los estudios sobre mitigación de las emisiones de metano entérico en el ganado rumiante han mostrado una variedad de alternativas posibles de realizar. Estas estrategias incluyen la adición de ionóforos, grasas, uso de forrajes de alta calidad y granos. Estos cambios nutricionales reducen las emisiones de CH₄ por manipulación de la fermentación ruminal, inhibiendo directamente los metanógenos

y protozoarios, o desviando los iones de hidrógeno lejos de los metanógenos. La adición de probióticos, acetógenos, bacteriocinas, virus de archaeas, ácidos orgánicos, extractos de plantas (aceites esenciales) a la dieta, así como la inmunización y selección genética de las vacas (Boadi et al., 2004; Patra, 2012).

Los últimos reportes indican que el incremento de la digestibilidad de los forrajes y el consumo de forrajes digestibles es una de las mayores prácticas de mitigación recomendadas. Las leguminosas pueden también disminuir las emisiones de CH₄ comparado con las gramíneas debido a sus menores concentraciones de fibra. La inclusión de alimentos concentrados en la dieta de rumiantes disminuye la intensidad de las emisiones de CH₄ (Ei; CH₄ por unidad de producto animal), principalmente cuando la inclusión es por encima de 40 % de la materia seca dietaria, sin perjudicar la función del rumen. La suplementación de dietas que contienen forrajes de pobre calidad con pequeñas cantidades de concentrado normalmente disminuye el metano (CH₄) (Hristov et al., 2013).

Los forrajes de leguminosas juegan un rol importante en la mitigación de las emisiones de metano con relación a los forrajes de gramíneas. Existe un creciente interés para reducir las emisiones de metano entérico (CH₄) de los rumiantes por medios dietarios a fin de

mejorar la captura de la energía dietaria y reducir los efectos ambientales (Fonty et al., 2007).

En estudios con la administración de bromoclorometano (BCM) a cabritos después del nacimiento se observó su efecto sobre las emisiones de metano, el ecosistema microbiano del rumen y la persistencia de los efectos después del destete. Al mes de edad los cabritos tratados eliminaron 55 % menos CH₄ que los cabritos sin tratamiento. A los 4 meses de edad los cabritos tratados con BCM eliminaron 33 % menos metano y su ganancia de peso fue mayor (146 g/d) con relación a los no tratados (121,8 g/d). La aplicación de BCM al inicio de la vida de los cabritos modificó la población de arqueas que coloniza el rumen, disminuyendo las emisiones de CH₄ alrededor del destete (Abecia *et al.* 2013).

2.2 Teoría y conceptos

Suplementación con concentrado

El objetivo principal de la suplementación de vacas lecheras al pastoreo, es aumentar el consumo total de materia seca y el consumo de energía para aumentar los niveles de producción, aumentar la carga y mejorar el uso de la pradera (Peyraud et al., 1997; Pulido, 1997).

Efecto de la suplementación sobre el consumo

El consumo de forraje es dependiente de la calidad y de la disponibilidad de forraje por animal (Bargo et al., 2002; Bargo et al., 2003). La inclusión de concentrados energéticos en dietas basadas en forrajes pueden provocar caídas en el pH ruminal, disminuir la actividad de la flora celulítica en rumen y disminuir la tasa de degradación de la fibra, lo cual explica la disminución en el consumo de forraje (Bargo et al., 2003).

Seguridad alimentaria y costo ambiental

La ganadería es una de las fuerzas que impulsa la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible de la población mundial, mediante el uso y transformación de alimentos vegetales fibrosos en leche, carne y despojos útiles para la alimentación del ser humano (FAO, 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 más alto dado por las emisiones de gases de efecto invernadero, tales como metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), los cuales son responsables del calentamiento

global y el cambio climático (IPCC, 2007). El óxido nitroso contribuye además en la depleción del ozono en la estratósfera (Ravishankara et al., 2009).

Las fuentes de metano pueden ser naturales o antropogénicas. Las fuentes antropogénicas se agrupan en tres sectores: agricultura, energía y estiércol. El sector agricultura contribuye con las mayores emisiones de metano, seguido por energía y estiércol (Yusuf et al., 2012). Los estimados muestran que durante 1990 - 2010, las emisiones biogénicas de CH₄ incrementaron de 0,159 a 0,502 petagramos (Pg) de equivalentes a dióxido de carbono (CO₂) por año. Para finales del siglo, estas emisiones incrementarán de 137 a 151 %, con relación a los niveles detectados durante 2000 - 2010, por lo que es necesario investigar las estrategias de mitigación de las emisiones de los gases de efecto invernadero distintos al CO₂ (Tian et al., 2012).

El metano (CH₄) es un poderoso gas de efecto invernadero que tiene la propiedad de absorber 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). La fuerza radiativa del metano es de 25 veces más poderosa que la de CO₂ en un horizonte de 100 años y constituye el 18 % de la fuerza radiativa global en la atmósfera (sin contar el vapor de agua), y es

posible que incremente su papel en el calentamiento global. Su concentración atmosférica está en constante incremento, con un aumento de 158 % en los últimos 120 años, habiendo alcanzado a la alarmante cifra de 1830 ppb (NOAA, 2013).

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Generalidades de alpacas

Los Camélidos Sudamericanos (CSA) son una riqueza pecuaria y genética de las poblaciones andinas. Bajo el término CSA se incluyen dos especies domésticas, la alpaca (*Lama pacos*) y la llama (*Lama glama*), y a dos silvestres, la vicuña (*Lama vicugna*) y el guanaco (*Lama guanicoe*).

Los CSA son fuente de fibra, carne, de trabajo y de muchos productos que son indispensables para la subsistencia de un amplio sector de la población alto andina, destacándose su eficiencia en el uso de la tierra en un ambiente adverso como lo son las frágiles praderas de los páramos andinos de los cinco países donde se concentra la mayor población natural de estas especies; Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador y Perú (FAO, 2011). Las especies domésticas, alpaca y llama, proveen productos de alta calidad, como son la fibra y la carne y, a menudo,

constituyen el único medio de subsistencia de un vasto sector de la población alto andina.

El rol de los CSA en la seguridad alimentaria es de gran importancia en las poblaciones asentadas en las zonas altoandinas, por ser un medio de carga y transporte, por su fibra para vestimenta, la carne como fuente de proteína, los excrementos como combustible y fertilizante.

Alimentación

La base de la alimentación de los camélidos sudamericanos en general lo constituyen las praderas de pastos naturales las que se caracterizan por un predominio de gramíneas con escasa presencia de leguminosas. Hay una gran variación estacional tanto en la producción de biomasa como en el contenido de proteína, con relativa abundancia en la estación de lluvias y marcada escasez en la época seca. La precipitación pluvial varía de un año a otro, entre 900 a 1 200 mm y está circunscrita a 4 meses del año: diciembre a marzo; los ocho meses restantes son prácticamente de una sequía completa con un alto índice de evaporación. La temperatura ambiental varía de una máxima de 18 a 20° C en el día a -12° C durante la noche en los meses invernales. Con cierta frecuencia, la sierra alta es afectada por

tormentas de nieve que al cubrir los pastos dejan sin alimento a los animales por varios días. Otros años hay sequías prolongadas que, igualmente, afectan la disponibilidad de forraje lo que repercute en el comportamiento productivo de los animales (FAO, 2009).

Para lograr una producción sostenible y obtener un mayor beneficio de las praderas, hay necesidad de un manejo racional; desafortunadamente eso no ocurre en la mayoría de casos, sobre todo a nivel de comunidades y pequeños productores. En el caso de las comunidades, donde la propiedad de la tierra es comunal mientras que la de los animales es individual o familiar, con frecuencia hay una fuerte tendencia al sobrepastoreo lo que va en detrimento de una producción sostenible (FAO, 2009).

Especies de gramíneas del género *Lolium* y de leguminosas del género *Trifolium*, han dado excelentes resultados y son plenamente aceptados por las alpacas y llamas. Además, con la ventaja de que no se observaron problemas de timpanismo en alpacas debido al consumo de leguminosas, a diferencia de ovinos y vacunos en los que esta afección constituyó un verdadero problema. Estas experiencias demuestran la factibilidad de establecer pastos cultivados a altitudes de 4 000

m o más, lo que constituye una alternativa importante para aliviar la presión sobre los pastos naturales y al mismo tiempo obtener una mayor productividad por unidad de superficie con los consiguientes beneficios económicos para los productores (FAO, 2009).

<

No se han reportado deficiencias minerales en alpacas y llamas; es probable que existan. No es usual el suministro de mezclas minerales como es el caso en otros animales; además los camélidos no tienen el hábito de lamer (FAO, 2009).

a. Requerimientos Nutricionales De La Alpaca

Existe escasa información sobre los requerimientos de los camélidos sudamericanos, sin embargo, diversos autores a partir de los pocos resultados de investigación han realizado algunas estimaciones.

b. Alimentación y Nutrición

En la alimentación y nutrición de las alpacas y llamas es necesario tener en cuenta la total dependencia alimenticia de estos animales de la pradera alto andina, la predominancia de crianzas mixtas (alpacas – ovinos - vacunos) en los sistemas de

producción, así como algunas características nutricionales particulares de estos animales.

c. Consumo voluntario y de mantenimiento

Se entiende por consumo voluntario, a la cantidad de materia seca de un forraje que el animales puede ingerir en condiciones normales y con un suministros ad libitum, este es influenciado por una serie de factores inherentes del animal y otros ajenos a él, entre ellos se puede mencionar el estado reproductivo, temperatura, humedad, palatabilidad del forraje y el contenido total de la fracción de la pared celular (Jhonson, 1972).

La medición del consumo ad libitum es un buen indicador de la calidad del alimento, este varia además de los factores ya descritos por la especie, estado fisiológico, su demanda energética y su individualidad (Ruiz De Castillo, 1994).

2.3.2 Emisiones de metano

Las emisiones de metano a la atmósfera son un problema medioambiental de primer orden ya que este gas se encuentra estrechamente ligado al efecto invernadero y al calentamiento global (Janssen y Kirs, 2008). Además, su formación en el rumen implica una reducción de la eficiencia de utilización de la

energía de la dieta ya que supone una pérdida de entre 2 - 12 % de la energía bruta ingerida por el animal (Johnson y Johnson, 1995). Estudios recientes (Martín et al., 2010) indican que los rumiantes juegan un papel importante en el cambio climático, contribuyendo aproximadamente con el 45 % de las emisiones de metano de origen antrópico (NRC, 2003). Señalan que las emisiones de gas metano por el ganado bovino, están estimadas en 58 millones de toneladas por año, lo que representa el 73 % del total de emisiones (80 millones) de todas la especies domésticas, indican que los animales domésticos, principalmente el ganado bovino son responsables de aproximadamente el 15 % de la producción de metano global. Otros contribuyentes significativos son los pantanos naturales (21 %), los cultivos de arroz (20 %), pérdidas por combustión de hidrocarburos (14 %), combustión de biomasa (10 %) y rellenos sanitarios (7 %) (Carmona et al; 2005). Si las emisiones de metano continúan aumentando al mismo ritmo que lo están haciendo los sistemas de producción dependientes de los rumiantes, se prevé un incremento del 60% en las emisiones de este gas para el año 2 030 (FAO 2003). Este gas tiene un potencial efecto invernadero hasta 25 veces superior al del CO₂

con una vida media en la atmósfera de 12 años, siendo además el segundo gas de efecto invernadero en volumen por detrás del CO₂ (Wright y Klieve, 2011).

Aproximadamente el 90 % del metano emitido por los rumiantes se produce en el rumen y se exhala por la boca y la nariz (Wright et al., 2004).

Las Archaeas presentes en los rumiantes se encuentran constituidas fundamentalmente por las clases Methanobacteria, Methanomicrobia, Thermoplasmata y Methanopyri, que el género Methanobrevibacteres es el más abundante (Whitford et al., 2001). Dentro de la clase Methanobacteria, familia Methanobacteriaceae predominan 3 géneros: Methanobrevibacter, Methanomicrobium y Methanosphaera (50, 15 y 13 % del total de archaeas, respectivamente), debido a su crecimiento relativamente rápido y su competitividad en la utilización del H₂ y CO₂ (Kim et al., 2011).

La metanogénesis se puede ver afectada por numerosos factores como el pH, la concentración de AGVs en el rumen, el tipo de dieta, la forma de alimentación del animal, la especie animal o el estrés ambiental (Johnson y Johnson, 1995). El pH ruminal es uno de los principales factores que puede afectar la

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

2.3.2.1 Metano

El metano (CH_4) es un poderoso gas de efecto invernadero que tiene la propiedad de absorber 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).

La fuerza radiativa del metano es de 25 veces más poderosa que la de CO_2 en un horizonte de 100 años y constituye el 18 % de la fuerza radiativa global en la atmósfera (sin contar el vapor de agua), y es posible que

incremente su papel en el calentamiento global. Su concentración atmosférica está en constante incremento, con un aumento de 158 % en los últimos 120 años, habiendo alcanzado a la alarmante cifra de 1830 ppb (NOAA, 2013).

2.3.2.2 Metano entérico

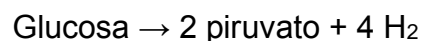
El metano entérico (por fermentación del tubo digestivo) es el gas digestivo más abundante que eliminan los animales rumiantes, como producto del trabajo bioquímico de un grupo de microorganismos del dominio Archaea que viven en el rumen, con predominio del género *Methanobrevibacter*, un grupo anaerobio 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 (Mosset 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).

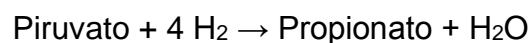
Las archaeas metanógenas no utilizan oxígeno para respirar (el oxígeno inhibe su crecimiento), sino carbono como aceptor final de electrones. El carbono puede derivar de un pequeño número de compuestos orgánicos, todos con bajo peso molecular. En términos fisiológicos, hay tres rutas de metanogénesis: (a) a partir de la reducción de dióxido de carbono (CO₂) con hidrógeno (H₂) (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).

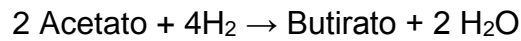
Mosset al., (2000), resumen de la siguiente manera la estequiometría de las principales rutas de fermentación:

Reacciones productoras de H₂:

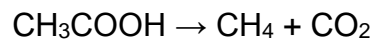
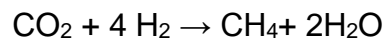


Reacciones que utilizan de H₂:





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



Sin embargo, la metanogénesis puede utilizar también carbono de otros compuestos orgánicos pequeños, tales como el ácido fórmico (formato), metanol, metilaminas, dimetil sulfuro y metanotiol, dependiendo del pH y la temperatura. Los metanógenos son beneficiarios directos del hidrógeno (H_2) que genera la fermentación de los alimentos por los otros microbios del rumen. 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). Por consiguiente, la metanogénesis disminuye la cantidad de H_2 en el rumen y constituye la principal ruta de remoción de H_2 en el rumen. La información disponible indica que

se puede minimizar la metanogénesis disminuyendo la producción de H₂ (disminuyendo el número de productores de H₂ tales como los protozoarios y algunos microorganismos fibrolíticos), inhibiendo la formación de CH₄ y/o re direccionando el H₂ hacia la producción de propionato (incrementando el número y la actividad de los no metanógenos tales como los utilizadores de H₂) (Morgavi et al., 2010).

La cantidad de metano emitido está estrechamente ligada a la cantidad de alimento ingerido y digerido. La digestión ruminal produce ácidos grasos volátiles (AGV), CO₂, H₂, amoníaco y calor. Los metanógenos reducen CO₂ a CH₄, usando H₂ como fuente de energía, como último paso de la fermentación ruminal. La formación de CH₄ actúa como el más importante sumidero de electrones que drena el H₂ producido por los microorganismos ruminales (Mc Allister 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 CH₄ de 70 - 90 kg de una vaca lactante (cerca de 250 kg / ha / año para una carga animal de tres vacas / ha) (Pinares et al., 2009).

2.3.2.3 Mitigación de metano entérico

Los estudios sobre mitigación de las emisiones de metano entérico en el ganado rumiante han mostrado una variedad de alternativas posibles de realizar. Estas estrategias incluyen la adición de ionóforos, grasas, uso de forrajes de alta calidad y granos. Estos cambios nutricionales reducen las emisiones de CH₄ por manipulación de la fermentación ruminal, inhibiendo directamente los metanógenos y protozoarios, o desviando los iones de hidrógeno lejos de los metanógenos. La adición de probióticos, acetógenos, bacteriocinas, virus de archaeas, ácidos orgánicos, extractos de plantas (aceites esenciales) a la dieta, así como la inmunización y selección genética de las vacas (Patra, 2012).

Los últimos reportes indican que el incremento de la digestibilidad de los forrajes y el consumo de forrajes digestibles es una de las mayores prácticas de mitigación recomendadas. Las leguminosas pueden también disminuir las emisiones de CH₄ comparado con las gramíneas debido a sus menores concentraciones de fibra. La inclusión de alimentos concentrados en la dieta de rumiantes disminuye la intensidad de las emisiones de CH₄ (Hristov et al., 2013).

Los forrajes de leguminosas juegan un rol importante en la mitigación de las emisiones de metano con relación a los forrajes de gramíneas. Un estudio comparó el efecto de la alimentación de vacas lecheras con cebadilla (100) y asociación cebadilla + alfalfa (22:78). Las vacas alimentadas con asociación forrajera consumieron mayor cantidad de materia seca que las alimentadas con cebadilla sola (11,4 vs. 9,7 kg MS/d), pero eliminaron menor cantidad de metano (373,8 vs. 411,0 CH₄/d) y menor pérdida de energía como CH₄ (7,1 vs. 9,5 % de la energía bruta consumida), respectivamente (McCaughey et al., 1999). Otro estudio

confirmó lo mismo. Las vacas alimentadas con dietas de leguminosa eliminaron 124 g CH₄/d frente a 170 g CH₄/d de las alimentadas con dietas de gramínea + leguminosa, evidenciando el efecto de los forrajes de leguminosas en la mitigación de las emisiones de metano (Vlaming et al., 2008).

Los estudios de digestión in vitro han mostrado que los pastizales de trébol blanco tienen menor emisión de metano entérico (CH₄) que los pastizales de gramíneas perennes, debido a las diferencias en su composición química y la dinámica de la fermentación ruminal (Purcell et al. 2012).

Existe un creciente interés para reducir las emisiones de metano entérico (CH₄) de los rumiantes por medios dietarios a fin de mejorar la captura de la energía dietaria y reducir los efectos ambientales (Fonty et al., 2007); sin embargo, este esfuerzo se ve limitada por la complejidad de la comunidad microbial en el rumen del animal adulto. (Abecia et al. 2013), el sistema de producción así como el grupo racial de los animales, juegan un papel importante en las emisiones de metano

producto de la fermentación ruminal (Pedreira et al., 2009).

Las emisiones de metano entérico son afectadas tanto por el tipo de pastura y el estado fenológico en el pastoreo. Las emisiones están influenciadas por la calidad y la disponibilidad de la materia seca, en la medida en que las emisiones son más altas cuando la calidad del pasto y su disponibilidad son bajas. Los autores concluyen que las emisiones entéricas de metano son las más altas cuando el animal es sometido a forrajes de baja calidad y con limitadas oportunidades para seleccionar, es decir, forraje escaso y de pobre calidad (Ominski y Wittenberg, 2004).

En un extenso estudio sobre la calidad de las pasturas se presentan pruebas de que muchos de los pastos estudiados eran deficientes en diversos minerales como el cobre, el manganeso y el zinc. Se prevé que la falta de suplementos minerales o la ingesta inadecuada de mineral suplementario a través de estos pastos se traduce en un menor rendimiento, lo que a su

vez incrementará las emisiones por unidad de producto (Wittenberg, 1997).

La selección genética de animales que consumen menos alimento o producen menos metano por unidad de alimento es otra estrategia de gestión que se puede emplear para reducir las emisiones de metano entérico. (Boadi y Wittenberg 2002). Quienes estiman que la variación de animal-animal representa del 70 % al 85 % de la variación en la producción de metano diariamente. Dos aspectos que están siendo activamente investigados como medio para identificar los animales genéticamente superiores son la eficiencia alimenticia neta y el tiempo medio de retención de la digesta en el rumen (Hegarty, 2002).

Otro factor que afecta la producción de metano es la relación de ácidos grasos volátiles (AGV) producidos, la cual regula la producción de hidrógeno y la subsecuente producción de metano. Si la relación acética: propiónica llega a ser de 0,5 la pérdida energética puede ser de 0 %. Pero si todos los glúcidos fuesen fermentados a ácido acético y no se produjera propiónico las pérdidas

energéticas podrían llegar a ser del 33 %. La relación acético: propiónico puede variar entre 0,9 a 4, por lo tanto las pérdidas por metano varían ampliamente (Johnson y Johnson, 1995).

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

2.3.2.4 Metodologías para medir las emisiones de metano en rumiantes

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

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

Para las mediciones como tal de metano se han usado técnicas y/o equipos tales como: a) la cromatografía de gases; b) los analizadores de gases infrarrojos con detección fotoacústica; c) la espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR); d) la espectroscopía de absorción láser con diodos sintonizables y, e) los semiconductores sensores de chip. Por su parte, para la medición de las emisiones de metano por parte de los rumiantes existen varias opciones o metodologías como: a) la calorimetría de la respiración; b) el uso de gases trazadores calibrados como el hexafluoruro de azufre (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).

Hay muchas opciones disponibles para medir las emisiones de metano producidas por los rumiantes, la selección de la técnica dependerá de la exactitud de cada una, las ventajas y desventajas (Johnson et al., 2000).

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

La técnica *in vitro* de producción de gases permite determinar la extensión y la cinética de degradación del alimento a través del volumen de gas producido durante el proceso fermentativo (Theodorou et al., 1994).

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

2.3.2.5 Antecedentes del FTIR en animales

Transformada de Fourier (FTIR) espectroscopia de absorción infrarroja

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).

2.3.2.6 Antecedentes de uso del equipo Gasmét DX – 4030

El método utilizado para la medición de la producción de metano fue la técnica CO₂, que se basa con CO₂ como gas trazador. La medición de la relación de CH₄ /

CO₂ a intervalos regulares, combinados con la medición de CO₂ diaria total producido, la cantidad de metano producido se puede calcular. 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 DX-4030 basado en mediciones infrarrojas. Los animales se mantuvieron en la cámara durante 15 minutos, y los gases se midieron los últimos 5 minutos (Bäckman et al., 2012).

La producción de metano por canguros-cuello rojo (*Macropus rufogriseus*)

En el presente experimento, se midió la producción de CH₄ de 8 canguros de cuello rojo (*Macropus rufogriseus*) de los cuales 4 fueron alimentados con dietas diferentes en una cámara de respiración de circuito abierto. Donde se mide la relación entre CH₄ y CO₂ y se utiliza junto con el CO₂ calculado para cuantificar la producción de CH₄. El experimento demostró que los canguros producen CH₄. Sin embargo, la cantidad de CH₄ producido por estos canguros era

entre 1,6 y 2,5 l/d equivalente a 1,6 y 2,5 % de GE o el 2,2 % y el 3,5 % de la ingesta de DE y 0,22 l / BW, kg^{0.75}. Esto es entre 25 y 33 % de lo que puede esperarse de los rumiantes alimentados con la misma dieta. Sobre la base de la liberación desigual de CH₄ con el tiempo, lo más probable es que el CH₄ se excreta a través de la piel el año y no a través de la respiración como se ve en rumiantes (Madsen y Bertelsen, 2012).

CAPÍTULO III

MATERIAL Y MÉTODO

3.1 Material

3.1.1 Ubicación geográfica y temporal

El estudio se realizó en el Centro Experimental Quimsachata – INIA – Puno, ubicado en el distrito de Santa Lucía, en la puna seca, zona sur oeste de la provincia de Lampa, departamento de Puno, a una altitud de 4 300 m, entre las coordenadas 15° 41´ 39" de latitud sur y 70° 36´ 24" de longitud oeste. Presenta dos estaciones marcadas (lluviosa y seca) y una humedad relativa de 55 %. La superficie del Anexo Quimsachata es de 6281.50 ha; el periodo de estudio abarcó los meses de febrero – mayo del 2015. Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNA-Puno, entre Junio y Agosto del 2015.

3.1.2 Unidad de estudio

Para el experimento se utilizaron 12 alpacas de la raza Huacaya de dos años de edad, procedentes de la población de camélidos del Anexo Quimsachata del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

3.1.3 Población y muestra

Población:

Total de alpacas machos de dos años de edad 500 animales

Muestra:

La muestra se determinó por el criterio del investigador por ser un trabajo experimental; La población de alpacas presenta características homogéneas y el muestreo fue completamente al azar considerando para:

Alpacas machos de dos años de edad un total de 12 animales.

3.1.4 Materiales

3.1.4.1 Material biológico

Para el experimento se utilizó 12 alpacas machos de la raza Huacaya de dos años de edad que fueron distribuidos en tres (03) corrales o boxes, conformadas por 4 animales cada uno en donde comían y pernoctaban.

Las alpacas fueron debidamente desparasitadas con una inyección intramuscular con 1 dosis de Ivermectina 1 %, el producto que se utilizó fue IVERMEC L.A. 1ml/animal. Asimismo se dosificó vía oral con albendazol al 12,5 % adicionado con Cobalto, Selenio y Zinc; el nombre del producto fue ABZ 12,5 % con minerales 1 ml/26kg.

Alimentos y Alimentación

Los alimentos para las alpacas estuvieron conformados por forrajes conservados como el heno de avena y heno de alfalfa que fueron ofrecidos enteros a un grupo experimental tomado como control y concentrado fibroso elaborado a partir de heno de avena, heno de alfalfa, tomasino,

grano de cebada (descarte), grano de avena negra (descarte), harina de haba (descarte), harina de pescado, suplemento mineral comercial, úrea, sal común y melaza de caña (Tabla 1). Los forrajes fueron procesados mecánicamente, mediante molienda con un molino PICADOR/TRITURADOR FORRAJERO TRF 700 ®, a través de una zaranda de 12 y 8 mm Ø (Roque et al., 2012). Mezclados y ofrecidos a las alpacas de los 2 grupos experimentales con el concentrado fibroso picado y con el concentrado fibroso molido). El consumo de alimento fue ad libitum, en una cantidad equivalente al 2.7 % del peso vivo de los animales, repartidos en 2 partes (mañana y tarde), durante todo el período experimental, con animales confinados en jaulas individuales. Asimismo el agua se les suministraba en 01 recipiente de plástico (lavadores) de 20l. De capacidad para cada 04 alpacas. La etapa pre experimental tuvo una duración de 07 días y la etapa experimental 85 días. El período de alimentación tuvo una duración

de 85 días en el grupo experimental y control (con 01 semanas previa de acostumbramiento), correspondientes a los meses de febrero a mayo, durante los cuales se realizaron las mediciones cuantitativas de alimento ofrecido, alimento rechazado y el registro de los pesos vivos iniciales y finales de los animales.

Tabla 1. Concentrado fibroso destinado a alpacas machos (100 % de materia seca).

Alimentos	Mezcla, %	Valor nutricional, 100% materia seca	
Heno de avena	47,5	H°, % máx.	8,7
Heno de alfalfa	10,5	EB, cal/Kg	4379
Alimento comercial ®	12,0	ED, Kcal/Kg	2692
Grano de cebada	9,5	EM, Kcal/Kg	2311
Grano de avena	9,5	NDT, %	61,2
Harina de haba	4,0	PC, % mín.	14,0
Harina de pescado	2,5	FDN, % mín.	41,3
Urea, 46%N	0,5	CNF, % mín.	34,1
Suplemento mineral ®	0,5	Calcio, % mín.	0,60
Sal común	0,5	Fósforo total, % mín.	0,48
Melaza de caña	3,0	Sodio, % mín.	0,25
Total	100,0		

Fuente: Elaboración propia

Mezcla ajustada con el formulador Solver. H° = humedad, EB = energía bruta, NDT = nutrientes digestibles totales, EM = energía metabolizable, PC = proteína cruda, FDN = fibra detergente neutro, CNF = glúcidos no fibrosos, EE = extracto etéreo.

La composición química de los forrajes se determinó a través de los métodos oficiales de la AOAC (1990), habiéndose determinado humedad (H°) y materia seca (MS), extracto etéreo (EE), fibra detergente neutro (FDN), proteína cruda (PC) y cenizas totales (CT). El contenido de H° y MS se determinó por secado en estufa de aire caliente forzado a 60°C hasta peso constante por un tiempo ≥ 72 horas (Goering y Van Soest, 1970). La preparación de las muestras se realizó por molienda en molino de disco a un tamaño de partícula de 12 y 8 mm Ø, luego conservadas a temperatura de laboratorio en recipientes especiales a prueba de humedad.

El extracto etéreo se determinó por extracción a reflujo con hexano en soxhlet; la fibra detergente neutro, por extracción a reflujo en analizador de fibra provista de vasos Berzelius; la proteína cruda, a partir de nitrógeno total determinada por análisis Kjeldahl (DK6, VelpCientífica); las cenizas totales, por incineración a 600° C durante 4 horas en mufla Thermoline 48000. El contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF) se estimó por diferencia aritmética entre la materia seca y los componentes analizados químicamente, según la siguiente ecuación (Mertens, 1997):

$$\text{CNF} = 100 - (\text{EE} + \text{FDN} + \text{PT} + \text{CT})$$

3.1.4.2 Material y equipo para trabajo de campo

- Cuaderno de campo
- Botas de hule
- Mameluco
- Mascarilla
- Guantes

- Protector de ojos
- Plumón indeleble
- Collares de plástico

Materiales para preparación de bretes

- Troncos de madera
- Malla ganadera de 9 hilos
- Alambre de púas
- Grapas metálicas
- Clavos de 2 pulgadas.
- Martillo, alicate
- Comederos de metal
- Bateas de plástico
- Pintura esmalte
- Cinta métrica
- Barreta de metal

Materiales para pesar decolorar la fibra de la alpaca

- Sacos y bolsas de plástico
- Liguillas para cabello
- Decolorante de Cabello

- Guantes de latex

Materiales para preparación de habitación para medir Metano Entérico (CH₄)

- Plástico
- Clavos de 2 pulgadas
- Martillo
- Pegamento Terocal
- Cinta adhesiva
- Cinta métrica

Materiales para la preparación del Concentrado

Fibroso

- Sacos de polietileno
- Planchas de papel
- Lampa y rastrillo
- Rafia de polietileno
- Balanza de plataforma (báscula)
- Baldes de plástico

3.1.4.3 Material de escritorio

Hojas de papel

Lapiceros

Tablero de madera

Los datos obtenidos en hojas de campo, nominadas y diseñadas para tal fin como sigue:

- Registro de Alpacas (arete, sexo, color)
- Registro de pesos
- Registro de medición de longitud de Fibra
- Registro de medición de producción de metano entérico (CH₄)

3.2 Método

3.2.1 Tipo y diseño de la investigación

El estudio es de tipo experimental, porque se manipuló las variables independientes, implicando la obtención de datos en un tiempo y espacio determinado. Nos permitió revelar datos en mérito a la diversidad de las variables propias del estudio con la finalidad de mejorar la producción (ingesta de concentrado, ganancia de peso y crecimiento de fibra) y la reducción de emisiones del gas metano.

Análisis estadístico

El estudio experimental aplicado para la generación de datos presenta un Diseño Completamente al Azar (DCA) con 4 repeticiones:

Distribución muestral de animales machos para el experimento de rendimiento productivo y emisiones de metano entérico (CH₄) en alpacas.

Tipo de Forraje:

Forraje entero:	4 alpacas
Concentrado molido a 12 mm Ø:	4 alpacas
Concentrado molido a 8 mm Ø:	4 alpacas
Total:	12 alpacas

3.2.2 Método de la investigación

Los animales del estudio proceden de un sistema de crianza pastoril, por lo que su acostumbramiento al manejo en confinamiento fue gradual y sistemático, dado en tres etapas a fin de minimizar los efectos de la neofobia, garantizar el bienestar animal, el éxito experimental y la validez de los resultados. La primera semana permanecerán en un potrero de

pastos naturales consumiendo la vegetación disponible; la segunda semana recibirán heno entero de gramínea y leguminosa a fin de que aprendan a consumir forrajes; y la tercera semana recibirán la dieta experimental para que aprendan a consumir en comedero la mezcla forrajera molida.

3.2.3 Diseño procedimental

Instalaciones

Las instalaciones estuvieron conformadas por 3 corrales, cada uno acogió cuatro animales, en cada uno de los bretes se suministró el forraje entero y en los otros el forraje molido a 12 y 8 mmØ y las variables dependientes fueron el rendimiento productivo (consumo de alimento, ganancia de peso, crecimiento de fibra) y las emisiones de metano entérico CH₄).

Como instalación de medición de metano (CH₄) entérico, se utilizó una cámara de respiración herméticamente cerrada, con adecuación a los sistemas de medición de la calidad del aire de las instalaciones lecheras (Teye et al., 2009). Dicha cámara de respiración, tuvo dimensiones de 3,50 y 3.30 m de largo, 2,70 y 2,85 m de ancho y 2,20 m de alto, con un volumen de 20,69 m³

cuyas paredes fueron forradas con plástico, haciéndola impermeable, y una acondicionada para el ingreso del animal.

3.2.3.1 Determinación del consumo de concentrado fibroso

El consumo de concentrado fibroso se determinó pesando el residuo de alimento del comedero dejado por las alpacas, ya fuera forraje entero o concentrado fibroso molido.

Para esto, una vez distribuidos los animales en sus bretes correspondientes, se les proporcionó el forraje entero, el concentrado fibroso molido de 12 mm Ø y 8 mm Ø. El nivel de consumo de alimento expresado en kg de materia seca por día, se les proporcionó 2,5; 2,8 y 3% de peso vivo en alpacas. Al día siguiente antes de proporcionarles la ración correspondiente, se recogía el concentrado no ingerido y pesaba con una balanza digital lo restante del comedero de cada animal.

$$FO - FR = FC$$

FO: Forraje Ofrecido

FR: Forraje Rechazado

FC: Forraje Consumido

3.2.3.2 Determinación de la ganancia de peso

La determinación de la ganancia de peso vivo consistió en pesarlos por primera vez, luego cada 20 días, para ello se usó una balanza de piso, una báscula llevando a los animales a una manga de manejo y pasando uno a uno

$$PI - PF = GPV$$

PI : PESO INICIAL

PF : PESO FINAL

GPV: GANANCIA DE PESO VIVO

3.2.3.3 Determinación del crecimiento de mecha

El crecimiento de mecha se determinó preparando una solución para decolorar la fibra de los tuis, a base de polvo decolorante de marca IGORA SCHWARZKOPF Blonde y crema oxidante revelador de color de marca OXICREAM 60 vol. La fibra se marcó con dicho decolorante en la región del costillar medio, a la altura de la décima costilla (Aylan-Parker y McGregor, 2002).

Para medir el crecimiento de longitud de mecha se realizaba en cada pesaje del animal, utilizando una cinta métrica,

midiendo desde la base de la fibra hasta la marca que había dejado el mechón decolorado.

Para obtener una medida más exacta, se afeitó la zona del mechón decolorado y se midió con una regla graduada.

3.2.3.4 Determinación de las emisiones entérico (CH₄)

Las emisiones de metano entérico (CH₄) se determinaron mediante la tecnología de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) (Li et al., 2003), incorporada en un analizador portátil de gases (Gasmeter DX-4030), a partir del aire atmosférico de una cámara de respiración donde permanecieron las alpacas durante un período de tiempo. Los animales ingresaron a la cámara en horas fijas de la tarde, a partir de las 18:00 horas, en forma individual, permaneciendo en la cámara durante 30 minutos. El aparato, previa calibración con aire atmosférico, fue colocado en el interior de la cámara de respiración a una altura de 1,20m y controlado desde el exterior por sistema inalámbrico (Bluetooth) de un PDA (personal digital assistant). El muestreo y análisis de la masa de aire contenida en la cámara de respiración se realizó cada 5 minutos, 6 veces por alpaca y por sesión, tomándose como

dato la medición del minuto 30. Luego de retirar al animal, los gases fueron expulsados de la cámara por ventilación mecánica forzada durante 30 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 los gases en partes por millón en volumen (ppmv).

Dado que las mediciones se realizaron en altitud, presión y temperatura distintas a las condiciones estándar, y considerando que la altitud tiene efecto sobre la presión atmosférica (West, 2004) y la concentración 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 (CH₄, mg/m³) se estimó considerando la presión calculada y la temperatura registrada en altitud, tomando en cuenta el peso molecular del CH₄ = 16,04246 g/mol (EPA, 2015), según la siguiente fórmula:

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

Donde: P_h = presión atmosférica en altitud (mm Hg), M = peso molecular de metano (g/mol), ppmv = partes por millón por volumen, R = constante universal de los gases (62,4) T = temperatura (273,15 + °C).

Dado que las mediciones se realizaron en una condición ambiental donde la humedad forma parte de los gases del aire atmosférico, se realizó también la corrección a la base seca, mediante la siguiente fórmula:

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

Donde: C = concentración de CH₄ en el aire (mg/m³), W = humedad (fracción de 1).

La producción total de CH₄ entérico del animal dentro de la cámara de respiración corresponde 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 ha calculado la producción total de metano durante las 24 horas del día (g/día, mol/día, etc.).

La ley de los gases ideales indica que 1 mol de gas ocupa 22,4 litros, a presión y temperatura estándar (760mmHg y 273,15K); sin embargo, ese volumen varía cuando la presión y temperatura varían por efecto de la altitud (Scott, 2011).

$$V = (RT/ P)$$

Donde, R = constante de los gases (62,4), T = temperatura (273,15 + 6,82°C), Ph = presión atmosférica en altitud (444,4 mmHg). A partir de estos datos, 1 mol de gas ocupa 39,31 litros en condiciones de presión y temperatura de la altitud.

De igual manera debe descontarse el volumen del animal que se encuentra dentro de la cámara de respiración, utilizando la siguiente fórmula (Papatungan, 2015).

$$\text{Peso vivo del animal} = 1,26016 \times \text{Volumen Corporal} - 3,06084$$

Las emisiones de CH₄ entérico se expresaron en cantidades absolutas (moles/día), proporción del consumo (Moles/Kg IMS) o % MS o energía consumida y como intensidad de las emisiones (moles/unidad de producto) (Leslie et al., 2008), así

como en equivalentes de dióxido de carbono (CO_{2e}), considerando para el metano una fuerza radiativa de 25 en un horizonte de 100 años (Forster et al., 2007).

3.3 Análisis estadístico

Los resultados se expresaron en medidas de tendencia central y dispersión (promedio y desviación estándar). La composición de los forrajes y el efecto de la suplementación de concentrado fibroso sobre las variables en estudio (consumo, ganancia de peso, crecimiento de fibra y emisiones de metano entérico) se analizaron mediante la prueba de Tukey, sujeta a pruebas de hipótesis a un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 CONSUMO DE CONCENTRADO FIBROSO

Tabla 2. Consumo en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.

ANVA					
F de V	GL	SC	CM	FC	F [∞]
Tart	2	1,03182517	0,51591258	33,3987653	4,25649473
Error exp	9	0,1390235	0,01544706		
TOTAL	11	1,17084867			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Prueba de significación de Tukey de consumo en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.

CM	TRAT	PROMEDIO	SIGNIFICADO		
1o	12mmØ	0,97925	a		
2o	8mmØ	0,86775	a		
3o	Forraje entero	0,309	b		
0,00386176	0,06214309		0,24546521	0,67025	sig
	3,95			0,1115	ns
				0,55875	sg

Fuente: Elaboración propia

El análisis de varianza de consumo en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje, tabla 2, indica que existen diferencias altamente significativas, por lo que se procedió a realizar las comparaciones múltiples de medias utilizando la prueba de significación de Tukey (Tabla 3) en el que se observa que las dietas procesadas de 12mmØ y 8mmØ de tamaño de partícula, resultaron ser estadísticamente similares y superiores con promedios de 0,97925 y 0,0867 kg/d respectivamente, mientras que el forraje entero resultó ser inferior a las demás dietas.

Tabla 4: Consumo y sus equivalentes

CONSUMO	Forraje entero	Concentrado Fibroso	
		12mmØ	8mmØ
Alimento ofrecido MS, g/d	511,00	988,00	905,00
Alimento rechazado MS, g/d	202,25	8,825	8,675
Consumo MS, Kg/d	309,0	979,25	867,75
Consumo MS, Kg/d	0,309	0,97925	0,86775

Fuente: Elaboración propia

4.2 Ganancia de peso

Tabla 5. Ganancia de peso en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.

ANVA					
F de V	gl	SC	CM	FC	F ∞
Tart	2	2860,42445	1430,21223	5,0958839	4,25649473
Error exp	9	2525,94256	280,660285		
TOTAL	11	5386,36701			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Prueba de significación de Tukey de ganancia de peso en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.

CM	TRAT	PROMEDIO	SIGNIFICADO
1o	12mmØ	55,88	a
2o	8mmØ	50,00	a b
3o	Forraje entero	20,59	b
	16,7529187	39,7395093	
70,165072	8,37645934	33,0870144	35,294 sig
	3,95		5,88225 ns
			<u>29,41175</u> ns

Fuente: Elaboración propia

El análisis de varianza de ganancia de peso en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje, tabla 5, indica que existen diferencias significativas, por lo que se procedió a realizar las comparaciones múltiples de medias utilizando la prueba de significación de Tukey (Tabla 6) en el que se observa que las dietas procesadas de 12mmØ y 8mmØ de tamaño de partícula, resultaron ser estadísticamente similares con promedios de 55,88 y 50,00 g/d respectivamente, mientras que el forraje entero resultó ser inferior a las demás dietas, con un promedio de 20,59 g/d.

Tabla 7: Ganancia de peso y sus equivalentes

Ganancia de peso	Forraje entero	Concentrado fibroso	
		12mmØ	8mmØ
Peso inicial, Kg	36,75	35,5	31,25
Peso final, Kg	38,5	40,25	35,5
Gnanacia de peso, Kg	1,75	4,75	55,9
Ganancia de peso, g/d	20,59	55,88	50,00

Fuente: Elaboración propia

4.3 Crecimiento de mecha

Tabla 8. Crecimiento de mecha en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.

ANVA					
F de V	GL	SC	CM	FC	F _∞
Tart	2	1,76166667	0,88083333	7,71532847	4,25649473
Error exp	9	1,0275	0,11416667		
TOTAL	11	2,78916667			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Prueba de significación de Tukey de crecimiento de mecha en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.

CM	TRAT	PROMEDIO	SIGNIFICADO
1o	8mmØ	2,575	a
2o	12mmØ	2,55	a
3o	Forraje entero	1,75	b
0,02854167	0,16894279		0,66732402 0,825 sig
	3,95		0,025 ns
			0,8 sg

Fuente: Elaboración propia

El análisis de varianza del crecimiento de mecha en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje, tabla 8, indica que existen diferencias significativas, por lo que se procedió a realizar las comparaciones múltiples de medias utilizando la prueba de significación de Tukey (Tabla 9) en el que se observa que las dietas procesadas de 12mmØ y 8mmØ de tamaño de partícula, resultaron ser estadísticamente similares y superiores con promedios de 2,55 y 2,575 cm respectivamente, mientras que el forraje entero resultó ser inferior a las demás dietas, con un promedio de 1,75 cm.

Tabla 10: Crecimiento de mecha

Crecimiento de mecha	Forraje entero	Concentrado fibroso	
		12mmØ	8mmØ
Tamaño inicial, cm	10,63	8,63	9,35
Tamaño final, cm	12,38	11,18	11,93
Crecimiento	1,75	2,55	2,575

Fuente: Elaboración propia

4.4 Emisiones de metano entérico (CH₄)

Tabla 11. Emisiones de metano entérico (CH₄) en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.

ANVA					
F de V	gl	SC	CM	FC	F [∞]
Tart	2	65,66	32,83	9,99475687	4,25649473
Error exp	9	29,5625	3,28472222		
TOTAL	11	95,2225			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Prueba de significación de Tukey de emisiones de metano entérico (CH₄) en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje.

CM	TRAT	PROMEDIO	SIGNIFICACION
.1o	Forraje entero	18,025	a
2o	12mmØ	13,275	b
3o	8mmØ	12,875	b
0,82118056	0,90619013	3,57945102	5,15 sig
	3,95		4,75 Sig
			0,4 ns

Fuente: Elaboración propia

El análisis de varianza del emisión de metano entérico (CH₄) en alpacas alimentadas con dietas procesadas a diferentes tamaños de partícula de forraje, tabla 11, indica que existen diferencias significativas, por lo que se procedió a realizar las comparaciones múltiples de medias utilizando la prueba de significación de Tukey (Tabla 12) en el que se observa que el forraje entero es diferente y superior con un promedio de 18,025 g/d Mientras que las dietas procesadas de 12 mmØ y 8 mmØ de tamaño de partícula, resultaron

ser estadísticamente similares e inferiores con promedios de 13,275 y 12,875 g/d.

Tabla 13: Emisiones de metano entérico (CH₄) y sus equivalentes

Variables	Forraje entero	Forraje procesado	
		12mmØ	8mmØ
CH ₄ , g/día	18,025	13,275	12,875
CH ₄ , mol/día	1,12	0,83	0,80
CH ₄ , L/día	44,2	32,6	31,6
CH ₄ , L/Kg peso vivo	1,18	0,87	0,96
CH ₄ , L/W ^{0.75}	2,92	2,15	2,30
CH ₄ , L/Kg IMS	60,9	35,5	39,4
CH ₄ , mol/Kg gpv	67,1	15,9	19,9
CH ₄ , % EB	7,6	4,4	4,9
CO ₂ e, mol/día	28,1	20,7	20,1
CO ₂ e, L/W _{Kg} ^{0.75} /día	72,9	53,6	57,5

Fuente: Elaboración propia

* Peso molecular de CH₄ = 16,04246 g/mol (EPA, 2015); volumen de CH₄ = 39,31 litros/mol, corregido a 4300m de altitud y 6,82 °C de temperatura promedio; humedad del aire 0,05 %.

Los resultados se resumen en la Tabla 13. Las alpacas alimentadas con forraje entero eliminaron mayores cantidades de CH₄ entérico (44,2 L/d) que las alpacas alimentadas con concentrados fibrosos de forrajes procesados a 12 y 8mmØ (32,6 y 31,6L/d, respectivamente). Las emisiones con los dos concentrados fibrosos fueron similares. Los tres valores equivalen a 60,9; 35,5 y 39,4 L/Kg de materia seca consumida, respectivamente.

4.5 Contrastación de hipótesis

Hipótesis planteada

Ho: El concentrado fibroso no incrementa el rendimiento productivo y no disminuye las emisiones de metano entérico (CH₄) en alpacas.

Ha: El concentrado fibroso incrementa el rendimiento productivo y disminuye las emisiones de metano entérico (CH₄) en alpacas.

Para contrastar la hipótesis se utilizó la técnica del análisis de varianza y la prueba de F a un nivel de significación del 0.05 y del 0.01 y para comparar los promedios se utilizó la prueba de

TUKEY a un nivel de significación de 0.05, por lo tanto se confirma la hipótesis de investigación.

Conclusión

El concentrado fibroso incrementa el rendimiento productivo y disminuye las emisiones de metano entérico (CH₄) en alpacas. Lo cual concuerda con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, cabe mencionar las dietas procesadas de 12mmØ y 8mmØ de tamaño de partícula son similares y mejores a la dieta de forraje entero, estos resultados fueron significativos.

DISCUSIONES

El tipo de dieta consumido por los animales fue quizá el factor de mayor influencia en la alta tasa de ganancia de peso (Dillon et al., 1997; Ferris et al., 1999; Kunkle et al., 2000; Kennedy et al., 2003). Los concentrados fibrosos normalmente incrementan el consumo y la digestibilidad de los alimentos y disminuyen las emisiones de metano entérico por consiguiente mejoran la productividad de los animales (McCollum y Galyean, 1985; Del Curto et al., 1990; Brandyberry et al., 1991; Olson et al., 1999).

Puesto que las emisiones de metano entérico constituyen pérdidas de energía para los animales, una menor emisión de metano entérico se manifiesta en una mayor eficiencia de uso de la energía del alimento, una mayor ganancia de peso en los animales y una menor contaminación ambiental. A nivel digestivo, el concentrado fibroso incrementa la producción de AGVs en el rumen, reorienta el patrón de la fermentación ruminal hacia una mayor producción de ácido propiónico con relación al ácido acético. A nivel metabólico, el ácido propiónico es el principal precursor de la biosíntesis de glucosa y el promotor de la secreción de la insulina pancreática (Harmon, 1992; Udum et al., 2008).

Las alpacas alimentadas con forraje entero eliminaron mayores cantidades ($p < 0.01$) de CH_4 entérico ($44,2 \pm 1,2 \text{L/d}$) que las alpacas alimentadas con concentrados fibrosos de forrajes procesados a 12 y 8mmØ ($32,6 \pm 5,8$ y $31,6 \pm 4,9 \text{L/d}$, respectivamente). Las emisiones con los dos concentrados fibrosos fueron similares. Los tres valores equivalen a 60,9; 35,5 y 39,4L/Kg de materia seca consumida, respectivamente. Estos resultados son mucho mayores a los reportados por otros estudios. Así por ejemplo, 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 ($20,1 \text{L/Kg}$ de materia seca consumida), con relación a los tres valores encontrados en el presente trabajo a 4300 metros de altitud. Las diferencias podrían atribuirse al efecto que ejerce la altitud sobre la presión atmosférica y el volumen de los gases. La mayor parte de estudios se han realizado en condiciones estándar de altitud y presión, próximos al nivel del mar; sin embargo, la altitud ejerce efecto sobre la presión atmosférica (West, 2004), por consiguiente, las emisiones de metano varían en relación inversa con la altitud, siendo mayor el volumen de las emisiones.

La producción de metano con relación a la energía bruta consumida (7,6% de EB) obtenida con forrajes enteros, es similar al reporte de Pinares et al. (2003), quienes mediante la técnica del trazador hexafluoruro de azufre (SF₆), encontraron diferentes valores para las emisiones de metano entérico en alpacas alimentadas con forrajes de alfalfa, ryegrass + trébol blanco, y lotus, con un promedio de 7,0% de la energía bruta consumida. En cambio, las emisiones de metano con los concentrados fibrosos, fueron menores al indicado valor referencial, evidenciando que el procesamiento forrajero disminuye las emisiones de metano; similar a lo observado en estudios de alimentación de vacunos con forrajes enteros maduros (Doreau et al., 2011) y con concentrados fibrosos (Roque et al., 2012).

A partir de la teoría desarrollada en rumiantes del infraorden *pecora*, las disminuciones de las emisiones de metano por efecto de los concentrados fibrosos podrían explicarse en el hecho de que la metanogénesis disminuye con forrajes molidos con relación a los forrajes picados, y más aún con relación a los forrajes enteros (Martin et al., 2010). La disminución es mínima en niveles bajos de consumo; sin embargo, esa disminución incrementa de 20 a 40% por unidad de materia seca consumida en niveles altos de consumo. La otra explicación de la

declinación de la producción de CH₄ se puede deber a la menor digestibilidad de la fibra, aunque este proceso es cuestionable.

La alimentación del ganado con concentrados basados en granos constituye en una alternativa para la disminución de la cantidad total de metano producido en el rumen; debido a la disminución del pH y el incremento en el uso del H₂ en la producción de propionato en el rumen, disminuyendo la disponibilidad de sustrato para la producción de metano (Moss et al., 2000; Boadi et al., 2004). A partir de los resultados se puede concluir que los concentrados fibrosos a base de forrajes procesados mecánicamente y el refuerzo de algunas fuentes de nutrientes, disminuyen la producción de CH₄ entérico en las alpacas. La única limitación para el uso potencial de esta estrategia para la reducción de las emisiones de CH₄ entérico en camélidos podría ser quizá el costo económico y las dificultades tecnológicas para los productores.

CONCLUSIONES

1. El procesamiento del forraje entero, se usa para un concentrado fibroso molido que no solo aumenta el rendimiento productivo en alpacas sino que también ayuda a conservar el medio ambiente contribuyendo así a hacerle frente al cambio climático.
2. La alpaca consume en su totalidad el alimento ofrecido en forma de concentrado fibroso ya sea de 8 ó 12 mmØ, a diferencia del forraje entero ofrecido al animal (avena y alfalfa), que resultó desagradable para su ingesta.
3. La ganancia de peso es mayor en las alpacas que ingieren el alimento procesado en comparación con los que comen solo el forraje entero, como es el caso del concentrado fibroso que contienen otros insumos como son el tomasino, grano de cebada (descarte), grano de avena negra (descarte), harina de haba (descarte), harina de pescado y aditivos como suplemento mineral comercial, úrea, sal común y melaza de caña.

4. El crecimiento de mecha de las alpacas fue marcado entre tratamientos, las alpacas que consumieron el concentrado fibroso molido de 8 y 12 mm fue mayor el crecimiento de vellón con respecto a las que se les ofreció el forraje entero.

5. El uso de concentrado fibroso en la alimentación de alpacas, disminuye las emisiones de metano entérico (CH₄), siendo una estrategia para reducir las emisiones de metano entérico.

RECOMENDACIONES

1. Los resultados obtenidos en el presente estudio son sorprendentes, sobre todo por las altas tasas de ganancia de peso y las bajas emisiones de metano entérico de las alpacas alimentados con concentrado fibroso, por lo que es necesario realizar una réplica del ensayo a fin de confirmar o contrastar los resultados.
2. Para que la crianza de camélidos sudamericanos productores de fibra y a la vez carne sea prospera en las regiones alto andinas, donde continúan con el sistema de alimentación tradicional de pastos y forrajes enteros, es necesario dirigir nuevos ensayos y estrategias de alimentación en base a concentrados fibrosos que logren incremento en la productividad y también mitigación de las emisiones de metano entérico a la atmósfera.
3. Se recomienda realizar trabajos de investigación similares en la zona altoandina de Tacna, por las características de ubicación de zonas donde existe el trasvase de agua.
4. Realizar trabajos de investigación dirigidos a la ganadería de desierto debido a que Tacna es cabecera del desierto de Atacama.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abecia, L., A. I. Martín-García, G. Martínez, C. J. Newbold, and D. R. Yáñez-Ruiz. 2013. Nutritional intervention in early life to manipulate rumen microbial colonization and methane output by kid goats post weaning. *J. Anim. Sci.*, 91:4832-4840
- Aylan-Parker, J., and McGregor, B.A., 2002. Optimizing sampling techniques and estimating sampling variance of fleece quality attributes in alpacas. *Small Rum. Res.*, 44:53-64.
- Bäckman. K.,2012, The effect of additional nitrate and sulfur in the diet on methane production in cattle, Swedish University of Agricultural Sciences Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science Department of Animal Nutrition and Management,pag 6.
- Bargo, F., L.D. Muller, E.S. Kolver y J.E. Delahoy, 2003. Invited Review: Production And Digestion Of Supplemented Dairy Cows On Pasture. *J. DairySci.* 86:1–42.
- Bargo, F., L.D. Muller, J.E Delahoy and T.W. Cassidy, 2002. Milk Response to Concentrate Supplementation of High

- Producing Dairy Cows Grazing At Two Pasture Allowances. J. DairySci. 85:1777–1792.
- Benchaar, C., J. Rivest, C. Pomar, and J. Chiquette. 1998. "Prediction of methane production from dairy cows using existing mechanistic models and regression equations." *Journal of Animal Science* 76(2):617-27.
- Beychok, M. 2005. *Fundamentals of spack gas dispersión*. 4th ed. Milton R. Beychok, California, UEA
- Beychok, M. 2005. *Fundamentals of spack gas dispersión*. 4th ed. Milton R. Beychok, California, 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
- Boadi D, Benchaar C, Chiquette J and Masse D 2004. Mitigation strategies to reduce enteric methane emissions from dairy cows: update review. *Can. J. Anim. Sci.*, 84: 319-335.
- Boadi, D.A., K.M. Wittenberg, And W. Mc caughey. 2002. "Effects Of Grain Supplementation On Methane Production Of Grazing Steers Using The Sulphur (Sf6) Tracer Gas Technique." *Canadian Journal Of Animal Science* 82(2):151-57.

Broucek, J. 2014. Methods of methane measuring in ruminants. Slovak J. Anim. Sci., 47: 81-90.

Dittmann MT, U. Runge, R.A. Lang, D. Moser, C. Galeffi, et al. 2014. Methane Emission by Camelids.

Doreau, M., H. M. G. van der Werf, D. Micol, H. Dubroeuq, J. Agabriel, Y. Rochette, and C. Martin. 2011. Enteric methane production and greenhouse gases balance of diets differing in concentrate in the fattening phase of a beef production system. J. Anim. Sci., 89: 2518-2528.

EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1978. Altitude as a factor in air pollution, Washington, D.C., EPA/600/9-78/015 (NTIS PB285645), 1978.

EPA (United States Environmental Protection Agency). 2015. The National Institute of Standards and Technology, Atomic Weights.

FAO. 2003. World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective. FAO, Rome, p 97.

FAO. 2006. World Agriculture to wards 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.

- FAO. 2011. World Livestock 2011. Livestock in food security. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Fonty, G., K. Joblin, M. Chavaro, R. Roux, G. Naylor, and F. Michallon. 2007. Establishment and Development of Ruminant Hydrogenotrophs in Methanogen-Free Lambs. *Appl. Environ. Microbiol.*, 73:6391-6403.
- Forster, P., et al. 2007. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Gasmet^{MR}, 2012, Gasmet DX-4030 USER MANUAL FTIR Gas Analyser On-site Series Instruction and Operating Manual Version E1.18 (5.12.2012)
- Getachew, G., M. Blümmel, H. Makkar, and K. Becker. 1998. "In vitro gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: A review." *Animal Feed Science and Technology* 72(3):261-81.
- Hegarty, R.S. 2002. "Strategies For Mitigating Methane Emissions From Livestock – Australian Options And Opportunities. In: Takahashi J, Young Ba (Eds) *GHGs And Animal Agriculture*. Elsevier, Dordrecht".
- 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.

Hristov, A. N., J. Oh, J. L. Firkins, J. Dijkstra, E. Kebreab, G. Waghorn, H. P. S. Makkar, A. T. Adesogan, W. Yang, C. Lee, P. J. Gerber, B. Henderson, and J. M. Tricarico. 2013. SPECIAL TOPICS — Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J. Anim. Sci.*, 91:5045-5069.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Camb. Univ. Press, Cambridge, U.K.

Ishler, V; J. Heinrichs, and G. Varga. 1994. *From Feed To Milk: Understanding Rumen Function; Extension Circular No. 422*, Pennsylvania State University, College Of Agricultural Sciences: Pages 5.

Janssen, P. H., M. Kirs. 2008. Structure of the archaeal community of the rumen. *Appl. Environ. Microbiology* 74:3619-3625.

Jhonson, K. 1972. Energy utilization of growing cattle as determined in seventy-two comparative slaughter experiments. In: *Energy Metabolism*, L. Mount. Butter worths, London.

Johnson, D.E., K.A. Johnson, G.M. Ward, and M.E. Branine. 2000. "Ruminants and other animals. In: *Atmospheric Methane: Its role in*

the global environment, (Ed. M. A. K. Khalil), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 112-133."

Johnson, K. A., and D. E. Johnson. 1995. Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.*, 73:2483-2492.

Johnson, K. A., H. H. Westbeg., J. J. Michal, And M. W. Cossalman. 2007. "Measuring Methane Emission Of Ruminants By In Vitro And In Vivo Techniques." Pp. 33-67 In *Measuring Methane Production From Ruminants*, Edited By Harinder P.S.; Vercoe Makkar, Philip E. (Eds.). Vienna, Austria: Springer.

Johnson, K. A., H. H. Westberg, B. K. Lamb and R. L. Kincaid. 2002. The use of sulphur hexafluoride for measuring methane emissions from farm animals. In *Proc. 1st international conference on greenhouse gases and animal agriculture*, Obihiro, Hokkaido, Japan, pp. 72-81.

Johnson, K. A., R. L. Kincaid, H. H. Westberg, C. T. Gaskins, B. K. Lamb, and J. D. Cronrath. 2002. The effect of oilseeds in diets of lactating cows on milk production and methane emissions. *J. Dairy Sci.* 85:1509–1515.

Kim, M., M. Morrison, And Z. Yu. 2011. Status of the Phylogenetic Diversity Census Of Ruminant Microbiomes. *Fems microbiology ecology.* 76:49-63.

- Leslie, M., M. Aspin, and H. Clark. 2008. Greenhouse gas emissions from New Zealand agriculture: Issues, perspectives and industry response. *Aust. J. Exp. Agric.*, 48:1-5.
- Li, Y., J. Wang, Z. Huang, and X. Zhou. 2003. Mapping air contaminant concentrations using remote sensing FTIR. *J. Environm. Sci. and Health, Part A*, 38: 429-438.
- López, A. and L. Raggi. 1998. Requerimientos nutritivos de camélidos sudamericanos: llamas (*Lama glama*) y alpacas (*Lama pacos*) *Arch. Med. Vet.* 24(2): 121-130.
- Madsen and J., M. F. Bertelsen, 2012, Methane production by red-necked wallabies (*Macropus rufogriseus*) *J ANIM SCI* 2012, 90:1364-1370. doi: 10.2527/jas.2011-4011-
- Martin, C., D. P. Morgavi, and M. Doreau. 2010. Methane mitigation in ruminants: From microbe to the farm scale. *Animal*, 4: 351-365.
- Mc Allister, T. A., and C. J. New bold. 2008: Redirecting rumen fermentation to reduce methano genesis. *Aust. J. Exp. Agr.*, 48: 7-13.
- McCaughey, W. P., K. Wittenberg, and D. Corrigan. 1999. Impact of pasture type on methane production by lactating beef cows. *Can. J. Anim. Sci.*, 79:221-226.

- Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 80:1463-1481
- Mertens, D.R. 2002. *J. Anim. Sci.* 64, 1548
- Montzka, S. A., E. J. Dlugokencky, and J. H. Butler. 2011. Non-CO₂ greenhouse gases and climate change. *Nature*, 476:43-50.
- Morgavi, D. P., E. Forano, C. Martin, And C. J. Newbold. 2010. Microbial Ecosystem And Methano genesis In Ruminants. *Animal*, 4:1024-1036.
- Moss A.R., J. P. Jounany, J. Neewbold. 2000. Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. *Ann Zootech* ;49:231-253.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2013. Methane bomb, clathrates, and arctic tundra. Life in a world at 1830 parts per billion and rising.
- Ominski, K.H., And K.M. Wittenberg. 2004. "Strategies For Reducing Enteric Methane Emissions In Forage-Based Beef Production Systems." Presented At "The Science Of Changing Climates- Impact On Agriculture, Forestry And Wetlands" July 20- 23 2004 University Of Alberta, Edmonton, Alberta Canadian Society Of Agronomy, Animal Science, And Soil Science.

- Paputungan, U., L. Hkim, G. Ciptadi and H.F.N.Lapian. 2015. Application of body volume formula for predicting live weight in On golecross bred cows. *J. Anim. Sci.* Vol. 6(3), pp 35-40.
- Patra, A. K. 2012. Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: a synthesis of current research and future directions. *Environ. Monit. Assess.* 184:1929-1952. *Perspectives in Public Health.* 2011. Second edition. Oxford: Radcliffe. 314-321.
- Pedreira, Márcio Dos Santos, OdoPrimavesi, Magda Aparecida Lima, Rosa Frighetto, Simone Gisele De Oliveira, And Telma Teresinha Berchielli. 2009 "Ruminal Methane Emission By Dairy Cattle In Southeast Brazil." *ScientiaAgricola*66:742-50.
- Peyraud, JI; L, Delaby, R, Delagarde. 1997. XXIII Reunión Anual, Sociedad Chilena De Producción Animal, Valdivia, Chile, Pp 60-93.
- 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.
- Pinares, 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.*, 140:215-

226.Rangeland in Southern Peru. Research Highlights. Texas Tech University.

Pulido, R. 1997. Interaction of pasture conditions, concentrate supplementation and milkyield level in relation to dairy cow performance and behavior. tesis doctoral, University of London.

Purcell, P. J., J. Grant, T. M. Boland, D. Grogan, and P. O'Kiely. 2012. The in vitro rumen methane output of perennial grass species and white clover varieties, and associative effects for their binary mixtures, evaluate using a batch-culture technique. Anim. Prod. Sci., 52:1077-1088.

Ravishankara, A. R., J. S. Daniel, And R. W. Portmann. 2009: Nitrous Oxide (N₂O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted In The 21st Century. Science, 326:123-125. Rochinotti, D. 1998. Model components of forage-fed cattle systems: Energy expenditure of grazing cattle and prediction of intake in dairy cows. Ph.D. Diss., University of Florida, Gainesville.

Roque, B., J. L. Bautista, M. J. Aranibar, R. D. Rojas, D. Pineda, A. Flores, F. Rojas y C. Pinares. 2012. Uso de concentrado fibroso en el incremento de la productividad y la disminución de las emisiones de metano entérico en ganadería de altura. XXXV Reunión Científica

- Anual de la Asociación Peruana de Producción Animal (APPA 2012).
Libro de Resúmenes, pp 11-19.
- Ruíz de Castilla, M. 1994. Camelicultura: Alpacas y Llamas del Sur del Perú. Municipalidad del Qosco. Editorial Mercantil. Qosco, Perú. 180 p.
- Scott, G. R. 2011. Elevated performance: The unique physiology of birds that fly at high altitudes. *J. Exper. Biol.*, 214: 2455-2462.
- 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.
- Theodorou, M.K. , B.A. Williams, M.S. Dhanoa, A.B. Mc Allan, and France J. 1994. "A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds " *Animal Feed Science and Technology* 48:185-97.
- Tian, H., C. Lu, G. Chen, B. Tao, S. Pan, S. J. Del Grosso, X. Xu, L. Bruhwiler, S. C. Wofsy, E. A. Kort, and S. A. Prior. 2012. Contemporary and projected biogenic fluxes of methane and nitrous oxide in North American terrestrial ecosystems. *Front. Ecol. Environ.*, 10:528-536

- Van Aardenne, J. A., F. J. Dentener, C. G. M. Klijn Goldewijk, J. Lelieveld, and J.G.J. Olivier. 2001. A 1°-1° resolution dataset of historical anthropogenic trace gas emissions for the period 1890-1990. *Global Biogeochemical Cycles*. 15(4): 909-928.
- Vlaming, J. B., N. Lopez-Villalobos, I. M. Brookes, S. O. Hoskin, And H. Clark. 2008. Within- And Between-Animal Variance In Methane Emissions In Non-Lactating Dairy Cows. *Aust. J. Exp. Agric.*, 48:124-127.
- 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.
- Wittenberg, K. 1997. "Making Sense Of Minerals, In Proc. Manitoba Grazing School, Portage La Prairie, Manitoba, Canada, December 9-10, 1997, 56."
- Wright, A.D. G., Auckland, C.H., And Lynn, D.H. 2007. Molecular Diversity Of Methanogens In Feedlot Cattle From Ontario And Prince Edward

Island, Canada. *Applied And Environmental Microbiology*, 73: 4206-4210.

Wright, A.D.G., A.J Williams., B Winder., C.T Chris top hersen., S.L Rodgers., and K.D. Smith, 2004. Molecular Diversity Of Rumen Methanogens From Sheep In Western Australia. *Applied And Environmental Microbiology*, 70: 1263.

Wright, A.D.G And Klieve, A.V. 2011. Does The Complexity Of The Rumen Microbial Ecology Preclude Methane Mitigation? *Animal Feed Science And Technology*, 166-167: 248-253.

Yusuf, R. O., Z. A. Noor, A. H. Abba, M. A. A. Hassan, and M. F. M. Dinb. 2012. Methane emission by sectors: A comprehensive review of emission sources and mitigation methods. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16:5059-5070.

ANEXOS

Anexo 1: Registro de alpacas

TRAT.		Nº ARETE	RAZA	COLOR	PESO VIVO Kg.
Forraje Entero	A1	247213	HUACAYA	Café oscuro	37
	A2	258213	HUACAYA	Api	32
	A3	13113	HUACAYA	LFY	36
	A4	579313	HUACAYA	Blanco	42
Concentrado Fibroso 12mm	B1	14113	HUACAYA	Gris	33
	B2	182113	HUACAYA	Blanco	30
	B3	159113	HUACAYA	Café claro	41
	B4	281213	HUACAYA	Café claro	38
Concentrado Fibroso 8mm	C1	178113	HUACAYA	Negro	33
	C2	333213	HUACAYA	Gris	28
	C3	108113	HUACAYA	Api	38
	C4	279213	HUACAYA	Café claro	26

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Emisión de metano entérico en alpacas

TRATAMIENTO		CH ₄ ppm	PM Metano	Cte de gases	Temp.	Presión mmHg	V, m3 (CUARTO)	V	Volumen animal	Volumen REAL	CH ₄ , mg/m ³
Forraje Entero	A1	45,1	16,04246	62,40	282,75	444,4	20,69	39,70	0,033	20,657	18,2
	A2	45,2	16,04246	62,40	282,75	444,4	20,69	39,70	0,028	20,662	18,3
	A3	45,3	16,04246	62,40	282,75	444,4	20,69	39,70	0,032	20,658	18,3
	A4	42,8	16,04246	62,40	282,75	444,4	20,69	39,70	0,037	20,653	17,3
	PROM	44,6	16,04246	62,40	282,75	444,4	20,69	39,70	0,033	20,658	18,0
Concentrado Fibroso 12mm	B1	28,7	16,04246	62,40	282,75	444,4	20,69	39,70	0,031	20,659	11,6
	B2	29,2	16,04246	62,40	282,75	444,4	20,69	39,70	0,027	20,663	11,8
	B3	41,3	16,04246	62,40	282,75	444,4	20,69	39,70	0,037	20,653	16,7
	B4	32,2	16,04246	62,40	282,75	444,4	20,69	39,70	0,033	20,657	13,0
	PROM	32,9	16,04246	62,40	282,75	444,4	20,69	39,70	0,032	20,658	13,3
Concentrado Fibroso 8mm	C1	37,5	16,04246	62,40	282,75	444,4	20,69	39,70	0,029	20,661	15,2
	C2	32,1	16,04246	62,40	282,75	444,4	20,69	39,70	0,027	20,663	13,0
	C3	32,2	16,04246	62,40	282,75	444,4	20,69	39,70	0,034	20,656	13,0
	C4	25,6	16,04246	62,40	282,75	444,4	20,69	39,70	0,025	20,665	10,3
	PROM	31,9	16,04246	62,40	282,75	444,4	20,69	39,70	0,029	20,661	12,9

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Emisión de metano entérico en alpacas (continuación)

TRATAMIENTO	TRATAMIENTO	mg/30 min	mg/día	g/d	M/d	L/d	M/W0.75	L/AÑO
Forraje Entero	A1	376,4	18069,4	18,1	1,126	44,718	24,48	16322,170
	A2	377,4	18113,8	18,1	1,129	44,828	24,48	16362,320
	A3	378,1	18150,4	18,2	1,131	44,919	24,48	16395,346
	A4	357,2	17144,5	17,1	1,069	42,430	24,48	15486,776
	PROM	372,3	17869,5	17,9	1,1	44,2	24,48	16141,7
Concentrado Fibroso 12mm	B1	239,6	11499,8	11,5	0,717	28,460	24,48	10387,841
	B2	243,8	11702,4	11,7	0,729	28,961	24,48	10570,860
	B3	344,7	16543,7	16,5	1,031	40,943	24,48	14944,015
	B4	268,8	12901,0	12,9	0,804	31,927	24,48	11653,523
	PROM	274,2	13161,7	13,2	0,8	32,6	24,48	11889,1
Concentrado Fibroso 12mm	C1	313,1	15027,3	15,0	0,937	37,190	24,48	13574,277
	C2	268,0	12864,6	12,9	0,802	31,838	24,48	11620,706
	C3	268,8	12900,3	12,9	0,804	31,926	24,48	11652,958
	C4	213,8	10260,6	10,3	0,640	25393	24,48	9268,500
	PROM	265,9	12763,2	12,8	0,8	31,6	24,48	11529,1

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 4: Análisis químico del concentrado fibroso: CENIZAS
TOTALES.**

INSUMO	Peso de Crisol	MO perdida	CT Obtenida	CT%
Alfa molida	21,4514	1,8044	0,1956	9.78
Tomasino	23,1507	1,8492	0,1923	9,41954445
Cebada molida	21,0164	1,932	0,0783	3,89494105
Harina de pescado	17,4203	1,0553	0,9582	47,5887758
Concentrado fibroso molido	17,2301	1,8458	0,1573	7,85282812
Avena molida	18,3201	1,8864	0,1142	5,70828751
Avena negra	15,9299	1,9351	0,0882	4,35921514
Haba	17,4052	2,003	0,0756	3,63706341
Alfa molida	22,2184	1,7854	0,21	10,5242057
Tomasino	20,297	1,8096	0,1902	9,5109511
Cebada molida	19,6113	1,9175	0,0823	4,11541154
Harina de pescado	15,6519	1,0325	0,9637	48,2767258
Concentrado fibroso molido	17,4617	1,8497	0,1542	7,69499476
Avena molida	17,4546	1,8672	0,125	6,27447043
Avena negra	21,4939	1,8899	0,0852	4,31370564
Haba	20,6108	2,1762	0,824	9,14835992

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Análisis químico del concentrado fibroso: MATERIA SECA.

INSUMO	Peso de bolsa	Hº%	MS%
Alfa molida	9,7	7,99	92,01
Tomasino	9,7	8,00	92,00
Cebada molida	9,7	7,53	92,47
Harina de pescado	9,7	4,93	95,07
Concentrado fibroso molido	9,7	8,40	91,60
Avena molida	9,7	8,80	91,20
Avena negra	9,7	8,00	92,00
Haba	9,7	7,87	92,13

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6: Análisis químico del concentrado fibroso: FIBRA DETERGENTE NEUTRA (FDN).

INSUMO	PESO MUESTRA	CRISOL + CENIZA	FIBRA PERDIDA	FDN,% en BS
Alfa molida	1,0062	23,1606	0,4118	40,9262572
Tomasino	1,0066	21,5045	0,3507	34,8400556
Cebada molida	1,0051	17,4797	0,5037	50,1144165
Harina de pescado	1,0064	21,0001	2,1922	217,825914
Avena molida	1,0025	15,6655	0,5259	52,4588529
Avena negra	1,0046	22,2329	0,431	42,9026478
Haba	1,0045	20,6182	0,2981	29,6764559
Tomasino	1,0066	31,8275	0,4726	46,9501291

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 7: Análisis químico del concentrado fibroso: PROTEÍNA
TOTAL.**

INSUMO	Muestra	Titulación	NT%	PT%
Alfa molida	0,2153	6,7	2,17835578	13,6147236
Tomasino	0,2139	10,7	3,50163628	21,8852267
Cebada molida	0,2013	3,4	1,18231495	7,38946846
Harina de pescado	0,2133	10,2	3,34739803	20,9212377
Avena molida	0,2179	2	0,64249656	4,01560349
Avena negra	0,224	3,5	1,09375	6,8359375
Haba	0,2269	14,5	4,47333627	27,9583517
Harina de pescado	0,2073	8,4	2,83646889	17,7279305
Tomasino	0,205	8,9	3,03902439	18,9939024
Cebada molida	0,2062	2,3	0,78079534	4,8799709
Haba	0,206	11,8	4,00970874	25,0606796
Alfa molida	0,2038	7,2	2,47301276	15,4563297
Avena	0,2062	2	0,67895247	4,24345296
Avena negra	0,204	2,7	0,92647059	5,79044118
Harina de pescado	0,206	8,6	2,9223301	18,2645631
Tomasino	0,2068	8,7	2,94487427	18,4054642

Fuente: Elaboración propia

Anexo 8: Análisis químico del concentrado fibroso: EXTRACTO ETÉREO (GRASA).

Extracto					
INSUMO	Peso Papel	Etereo	EE% en BS	EE% en BF	MS%
Alfa molida	1,1752	0,0739	3,60276911	3,31454758	0,92
Tomasino	1,168	0,1054	5,1117901	4,70284689	0,92
Cebada molida	1,2101	0,1242	6,06563782	5,60464935	0,924
Harina de pescado	1,2304	0,1601	7,83766583	7,44578254	0,95
Avena molida	1,1594	0,07	3,36312098	3,06716633	0,912
Avena negra	1,2163	0,1316	6,4604811	5,94364261	0,92
Haba	1,1416	0,0725	3,53451638	3,25528959	0,921

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9: Análisis químico del concentrado fibroso: ENERGÍA.

INSUMO	Muestra	ΔT°	W	Fusible	Na ₂ CO ₃	EB
	g	°C	Kcal/°C	cm	ml	Kcal/Kg MS
Alfa molida	1,0548	1,7696	2430	6,2	8,3	4269
Avena molida	1,0132	1,7635	2430	6,1	5,5	4432
Avena negra	1,0192	1,8495	2430	5,1	7,4	4622
Cebada molida	1,0334	1,9215	2430	8,4	9,0	4727
Haba	1,0215	1,8172	2430	6,8	6,0	4528
Harina de pescado	0,9970	1,6282	2430	5,0	6,2	4159
Tomasino	1,0192	1,8163	2430	8,5	7,4	4531

Humedad de las muestras utilizadas para calorimetría: 5%

W : calor específico de la bomba de oxígeno, Kcal/°C,

Anexo 10: Análisis químico total del concentrado fibroso

INSUMOS								Determinado	Estimado
	H	MS	CT	PT	FDN	EE	CNF	EB*	EB**
	Composición en 100% MS							Kcal/Kg MS	Kcal/Kg MS
	%	%							
Heno de avena	8,8	91,2	6,0	4,1	42,9	3,1	43,9	4432,0	4352,2
Heno de alfalfa	8,0	92,0	10,2	14,5	40,9	3,3	31,1	4269,0	4358,9
Tomasino conejos	8,0	92,0	9,5	19,7	40,9	4,7	25,2	4531,0	4549,8
Grano de cebada	7,5	92,5	4,0	6,1	50,1	5,6	34,1	4727,0	4659,7
Grano de avena negra	8,0	92,0	4,3	6,3	42,9	5,9	40,5	4622,0	4613,1
Harina de haba	7,9	92,1	3,6	26,5	29,7	3,3	36,9	4528,0	4735,0
Harina de Pescado	4,9	95,1	47,9	19,0	217,8	7,4	192,2	4159,0	4481,7

Datos procedentes del análisis con repetición.

* Datos determinados mediante calorimetría de bomba (Parr Instrument Co.).

** Datos estimados a partir de la composición química (Nehring y Haenlein, 1973)

Fuente: Elaboración propia

Anexo 11: Panel fotográfico

PREPARACION DEL CONCENTRADO FIBROSO



Heno de avena



Heno de alfalfa



Molienda de insumos



Empaquetado de insumos



Avena molida a 12 mm ϕ



Avena molida a 8 mm ϕ



Preparación del concentrado fibroso



Mezcla del concentrado fibroso



Alimento ofrecido según peso vivo de las alpacas



Alpaca comiendo concentrado fibroso



Alpaca comiendo forraje entero

SELECCIÓN DE ANIMALES



Selección de animales para experimento



Peso de animales al inicio del experimento

PREPARACION DE BRETES



Área para la ubicación de los bretes



Plantación de postes



Enmallado de bretes



Animales en bretes individuales

MEDICION DE METANO ENTERICO EN ALPACAS



Cuarto vacío para medición de metano



Cámara de respiración forrada con polietileno y vista del equipo de medición GASMET DX-4030



Vista interior de la cámara de respiración para medir metano



Vista exterior de la cámara de respiración para medir metano



Alpacas durante el día antes de la medición de metano



Alpaca durante medición de metano