

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN NUTRICIÓN



**“RELACIÓN ENTRE COMPOSICIÓN QUÍMICA Y LA PRODUCCIÓN
DE METANO *in vitro* DE PASTIZALES ALTOANDINOS CONSUMIDOS
POR ALPACAS”**

Presentada por:

LIZ BEATRIZ CHINO VELASQUEZ

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGISTER
SCIENTIAE EN NUTRICIÓN**

LIMA– PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**

**“RELACIÓN ENTRE COMPOSICIÓN QUÍMICA Y LA PRODUCCIÓN
DE METANO *in vitro* DE PASTIZALES ALTOANDINOS CONSUMIDOS
POR ALPACAS”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

LIZ BEATRIZ CHINO VELASQUEZ

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dra. Gladys Carrión- Carrera

PRESIDENTE

Ph.D. Carlos Alfredo Gómez Bravo

PATROCINADOR

Mg.Sc. Victor Hidalgo Lozano

MIEMBRO

Ph.D. Mariano Echevarria

MIEMBRO

DEDICATORIA

*A la Virgen de la Merced, al Señor de los Temblores, al Señor de Huanca y a San Jerónimo,
por su protección y amparo en cada paso que doy.*

*A mis queridos padres Rosa y Roberto por su amor, confianza y apoyo incondicional en todo
momento, aún estando lejos.*

*A William por su amor, paciencia, motivación, y comprensión desde siempre, especialmente
en los momentos más confusos*

AGRADECIMIENTOS

Al programa de becas CIENCIACTIVA CONCYTEC, Convenio de Gestión N° 183-2015 FONDECYT por subvención de estudios de Maestría en Nutrición de la UNALM.

A mi asesor de tesis, Ph.D. Carlos Gómez Bravo por su preciso y riguroso asesoramiento durante el desarrollo de la presente investigación.

A mi Comité evaluador presidido por la Dra. Gladys Carrión, como presidenta y los miembros, Ph.D. Mariano Echevarria y Mg Sc. Victor Hidalgo Lozano, por sus preciadas contribuciones para la mejora del presente estudio.

Al M.Sc. Juan Moscoso Muñoz por sus valiosos aportes científicos en este estudio.

Al Centro Experimental La Raya - UNSAAC, por la disposición de instalaciones y apoyo durante el proceso de evaluación experimental.

A William Choque, por su invaluable ayuda durante la etapa experimental.

Al Ing. Jorge Gamarra, responsable del Laboratorio de Nutrición de Rumiantes- UNALM y al Bach. Deivis Villalobos, técnico del laboratorio, por brindarme las facilidades y continuas recomendaciones en el uso de los equipos del laboratorio utilizados en este estudio.

A mis colegas y amigas, Masuli Guevara y Roxana Pillaca, por su soporte y compañerismo a lo largo de mi formación académica en la UNALM.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	Praderas altoandinas en la alimentación de camélidos.....	3
2.1.1.	Calidad nutricional del forraje.....	4
2.1.2.	Nutrición y alimentación de alpacas.....	6
2.1.3	Ganadería y cambio climático en el Perú	10
2.2.	Emisión de metano entérico por rumiantes	14
2.3.	Técnica de medición de metano <i>in vitro</i>	16
2.3.1.	Técnica de producción de gas <i>in vitro</i>	17
2.3.2.	Producción de gas <i>in vitro</i> y su relación con la producción de metano y composición química del alimento.	19
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1.	Ubicación	22
3.2.	Duración	22
3.3.	Materiales y equipos.....	22
3.3.1.	Materiales para la colección de muestras:.....	22
3.3.2.	Materiales y equipos para preparación de muestra (secado y molienda):.....	22
3.3.3.	Materiales y equipos para determinar materia seca:	22
3.3.4.	Materiales y equipos para determinar proteína cruda:	23
3.3.5.	Materiales y equipos para determinar materia orgánica:	23
3.3.6.	Materiales y equipos para determinar fibra detergente neutra:	23
3.3.7.	Materiales y equipos para determinar fibra detergente ácida:.....	23
3.3.8.	Materiales y equipos para determinar lignina detergente ácida:	24
3.3.9.	Materiales y equipos para realizar incubación <i>in vitro</i> :	24
3.4.	Metodología	24

3.4.1. Fases del trabajo	24
3.4.1.1. Fase de campo	24
3.4.1.2. Fase de laboratorio	26
3.4.2. Análisis estadístico	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1. Composición química de los pastos naturales altoandinos.	32
4.1.1. Época del año	32
4.1.2. Especie de pasto natural altoandino y la época	33
4.1.2.1. Comparación de medias dentro de la época del año	34
4.1.2.1. Comparación de medias entre especies de pastos naturales de acuerdo a la época....	35
4.2.1. Época del año	37
4.2.2. Especie de pasto natural altoandino y la época	38
4.2.2.1. Comparación dentro de la época del año	38
4.3. Producción de gas y metano en un sistema <i>in vitro</i> por los pastos naturales altoandinos consumidos por alpacas.....	39
4.3.1. Época del año	39
4.3.2. Producción de gas y metano <i>in vitro</i> por cada especie de pasto natural altoandino y la época del año.....	40
4.3.2.1. Comparación de medias dentro de la época del año	41
4.3.2.2. Comparación de medias entre especies de pastos naturales de acuerdo a la época del año.....	41
4.4. Relación entre la composición química y la producción de metano <i>in vitro</i> por los pastos naturales altoandinos	44
V. CONCLUSIONES	48
VI. RECOMENDACIONES	49
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
VIII. ANEXOS	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de especies de pastos con nombres científicos, comunes y palatabilidad.....	8
Tabla 2. Lugar de colección de acuerdo a la especie vegetal y época.	26
Tabla 3. Distribución de tratamientos y repeticiones.	31
Tabla 4. Composición química de los pastos naturales (g/kg MO) de acuerdo a la época del año (lluviosa y seca).....	32
Tabla 5. Composición química de los pastos naturales (g/kg MO) de acuerdo a la época del año (lluviosa y seca) y especie.	33
Tabla 6. Digestibilidad de la materia orgánica (%) y energía metabolizable (MJ/kg) de acuerdo a la época del año (lluviosa y seca).	37
Tabla 7. Digestibilidad de la materia orgánica (%) y energía metabolizable (MJ/kg) de acuerdo a la época del año (lluviosa y seca) y especie.....	38
Tabla 8. Producción de gas y metano <i>in vitro</i> de los pastos naturales (ml/kg MO) de acuerdo a la época del año (lluviosa y seca).....	40
Tabla 9. Producción de gas y metano <i>in vitro</i> (ml/kg MO) de acuerdo a cada especie de pasto natural altoandino y época.....	40
Tabla 10. Coeficiente de correlación de la producción de metano <i>in vitro</i> con producción de gas, PC, FDN, FDA, LDA, DMO y EM.	44
Tabla 11. Ecuación de regresión de producción de metano con componentes químicos de pastos naturales.	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Componentes de los alimentos y la obtención de metano (CH₄) entérico.....15

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 01. Contenido de cenizas en base seca (g/kg MS) de acuerdo a las especies de pasto en época de lluvias.	59
Anexo 02. Contenido de materia orgánica en base seca (g/kg MS) de acuerdo a las especies de pasto en época de lluvias.	59
Anexo 03. Contenido de fibra detergente neutro (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de lluvias.	60
Anexo 04. Contenido de fibra detergente ácida (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de lluvias.	61
Anexo 05. Contenido de lignina detergente ácida (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de lluvias.	62
Anexo 06. Contenido de proteína cruda (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de lluvias.	63
Anexo 07. Contenido de cenizas en base seca (g/kg MS) de acuerdo a las especies de pasto en época de secas.	64
Anexo 08. Contenido de materia orgánica en base seca (g/kg MS) de acuerdo a las especies de pasto en época de secas.	64
Anexo 09. Contenido de fibra detergente neutro (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de secas.	65
Anexo 10. Contenido de fibra detergente ácida (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de secas.	66
Anexo 11. Contenido de lignina detergente ácida (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de secas.	67
Anexo 12. Contenido de proteína cruda (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de secas.	68
Anexo 13. Producción de gas in vitro de los pastos naturales en base seca (ml/kg MO) en la época de lluvias.	69
Anexo 14. Producción de metano de los pastos naturales en base seca (ml/kg MO) en la época de lluvias.	70

Anexo 15. Producción de gas in vitro de los pastos naturales en base seca (ml/kg MO) en la época de secas.	71
Anexo 16. Producción de metano de los pastos naturales en base seca (ml/kg MO) en la época de secas.....	72

RESUMEN

Se realizó el estudio “Relación entre composición química y la producción de metano *in vitro* de pastizales altoandinos consumidos por alpacas”; con muestras obtenidas en el Centro Experimental “La Raya” -Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC); tomando en cuenta la aceptabilidad por parte de las alpacas, se realizó la colección en ambas épocas del año (lluviosa y seca) teniendo a ocho especies en ambas épocas: *Alchemilla pinnata*, *Distichia muscoides*, *Carex ecuadorica*, *Hipchoeris taraxacoides*, *Mulhenbergia fastigiata*, *Mulhenbergia peruviana*, *Stipa brachiphylla*, *Stipa mucronata*; el análisis químico de las muestras (determinación de proteína cruda (PC), materia orgánica (MO), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina detergente ácida (LDA)) se realizó en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes, Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), los análisis de producción de gas y metano bajo un sistema *in vitro*, así como la digestibilidad de la materia orgánica (DMO) y la energía metabolizable (EM) se realizó en el Laboratorio del Instituto de Nutrición Animal, Universidad de Hohenheim en Stuttgart-Alemania. El periodo comprendido para las evaluaciones fue entre febrero, 2018 y abril, 2019. El contenido de FDN y LDA de los pastos naturales, aunque no fueron estadísticamente significativo, fueron mayores en la época lluviosa (702.1 y 76.7 g/kg MO) que en la época seca (642.2 y 54.64 g/kg MO respectivamente), el contenido de FDA y PC si presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$), siendo mayores para la época lluviosa (351.59 y 111.04 g/kg MO) comparado frente a la época seca (318.4 y 82.52 g/kg MO). La DMO y EM no presentaron diferencias estadísticas significativas en ambas épocas (DMO y EM para la época lluviosa: 48.26 y 5.71 respectivamente; DMO y EM para la época seca: 47.17 y 5.94 respectivamente). La producción de gas *in vitro* fue ligeramente mayor en la época seca (156 635 ml/kg MO) comparado a la época lluviosa (150 617 ml/kg MO), la producción metano *in vitro* fue mayor en la época seca (28 553 ml/kg MO) comparado a la época lluviosa (25 939 ml/kg MO), ambos parámetros no fueron estadísticamente significativos.

Palabras claves: metano, pastizal altoandino, *in vitro*, alpacas.

ABSTRACT

The study "Relationship between chemical composition and *in vitro* methane production of high Andean grasslands consumed by alpacas" was conducted; with samples obtained at the Experimental Center "La Raya" -Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC; taking into account the acceptability of the alpacas, the collection was made at both seasons of the year (rainy and dry) having eight species at both seasons: *Alchemilla pinnata*, *Distichia muscoides*, *Carex ecuadorica*, *Hipochaeris taraxacoides*, *Mulhenbergia fastigiata*, *Mulhenbergia peruviana*, *Stipa brachiphylla*, *Stipa mucronata*; The chemical analysis of the samples (determination of crude protein (CP), organic matter (OM), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and acid detergent lignin (ADL)) was carried out in the Nutrition Laboratory of Ruminants of the Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), the analysis of gas production and production of enteric methane under an *in vitro* system, as well as the organic matter digestibility (OMD) and metabolizable energy (ME) was performed in the Laboratory of the Animal Nutrition Institute of the University of Hohenheim in Stuttgart-Germany. The period covered for the evaluations was between February 2018 and April 2019. The NDF and ADF content of natural pastures, although not statistically significant, was greater in the rainy season (702.1 and 76.7 g / kg OM) than in the dry season (642.2 and 54.64 g / kg OM), the ADF and CP content did show significant statistical differences ($p < 0.05$), being higher for the rainy season (351.59 and 111.04 g/kg OM) compared to the dry season (318.4 and 82.52 g / kg OM). OMD and EM did not show significant statistical differences in both seasons (DMO and EM for the rainy season: 48.26 and 5.71 respectively; OMD and ME for the dry season: 47.17 and 5.94). The *in vitro* gas production was greater in the dry season (156 635 ml / kg OM) compared to the rainy season (150 617 ml / kg OM), the enteric methane production *in vitro* was higher in the dry season (28 553 ml / kg OM) compared to the rainy season (25 939 ml / kg OM), however, both parameters were not statistically significant.

Keywords: methane, high Andean grassland, *in vitro*, alpacas.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático conlleva riesgos para los sistemas humanos y naturales, teniendo como resultado consecuencias en la adaptación y vulnerabilidad. Las poblaciones altoandinas y sus sistemas productivos (agropecuarios) se encuentran condicionados a dichos cambios, donde los pastizales tienen características químicas fuertemente dependientes de los factores medioambientales (variaciones de temperatura, altitud, presión, etc.), principalmente el cambio de estación (época lluviosa y seca).

Los efectos del cambio climático en las especies vegetales nativas se traducen en mayores ineficiencias digestivas y mayores pérdidas energéticas en el proceso de fermentación ruminal con la mayor emisión de gases de efecto invernadero, principalmente de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Asimismo, la producción ganadera contribuye al cambio climático por emisión de metano producto de la fermentación entérica de los rumiantes que consumen estos pastizales.

Se ha observado que la digestibilidad de estos pastizales juega un papel importante en las emisiones de metano ya que la fermentación ruminal es afectada por la composición nutricional del alimento ingerido, por ello es importante establecer esta relación. El valor nutritivo de los pastizales se mide a través de la concentración de sus componentes químicos, así como su velocidad y grado de digestión.

Existen varias técnicas *in vitro* disponibles para evaluar el valor nutritivo de alimentos a un costo relativamente bajo, entre ellos el uso de la metodología de producción de gas *in vitro* para estimar la digestión de los alimentos, el cual probablemente sea el mejor cálculo hecho en laboratorio así mismo son muy limitados los estudios sobre emisión de metano en alpacas y su relación con pastos que consumen en la zona altoandina

Por lo expuesto, el objetivo del presente estudio fue contribuir al conocimiento de la emisión de metano por las alpacas en pastizales altoandinos para lo cual se determinó la

producción de metano, mediante la fermentación in vitro de pastos altoandinos que consumen las alpacas en época lluviosa y seca, así mismo se determinó su composición química, para finalmente evaluar la relación entre la composición química y la producción de metano de los diferentes pastos evaluados previamente.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Praderas altoandinas en la alimentación de camélidos

La región andina del Perú está conformada por la cordillera de los Andes, que corre del sur a norte del territorio y está ubicado entre la costa y la selva. Se estima que en el Perú la superficie ocupada con pastos naturales altoandinas es de 27.6 millones de hectáreas, que representan el 21 % del territorio nacional, los cuales soportan el 84 % de la ganadería nacional (Vivanco, 2007). Más del 50 % de los sitios de los pastizales se encuentran en condición pobre y muy pobre, como consecuencia del sobre pastoreo y de las deficientes prácticas de manejo que se emplean (Flores y Zegarra, 1999).

Los pastizales alto andinos se localizan entre los 3800 a 4400 msnm y se encuentran mayormente en las comunidades campesinas y en menor cantidad en pequeños fundos privados; que son el único sustento con que cuentan los camélidos principalmente para su alimentación. Los pastos naturales comprenden áreas cubiertas de vegetación herbacea predominantemente de gramíneas perennes, ciperáceas y rosáceas, que varían su composición fundamentalmente de acuerdo a la humedad del suelo, exposición y características edafológicas como textura y contenido de materia orgánica (Tapia y Flores, 1984).

La producción ganadera en la zona altoandina depende de la vegetación natural de los pastizales compuestos por pajonales (gramíneas altas de baja calidad nutricional), céspedes de puna y bofedales, y recursos hídricos; ya que el 100 % de la población de alpacas y vicuñas, el 98 % de ovinos, 86 % de equinos y 80 % de vacunos pastorean en las praderas nativas, este tipo de crianza de animales garantiza la estabilidad económica de los campesinos (Flórez, 2005 ; Flores *et al.*, 2007); sin embargo, la producción pecuaria en esta zona no está libre de limitaciones. Los ecosistemas son frágiles, la productividad de la tierra es baja, y la vulnerabilidad al cambio climático es alta (Flores *et al.*, 2014).

En un escenario de cambio climático al año 2050 en la zona altoandina se prevé un aumento de la temperatura promedio en verano de 1.3°C (0.28°C/ década), la disminución de la humedad relativa (6%) y de la precipitación (15%), y el aumento de la variabilidad y amplitud diurna de la temperatura en 1°C (Martínez *et al.*, 2006). Los pajonales reducirían su extensión de 15.4 a 4.6 millones de hectáreas, la superficie cubierta por bofedales se reduciría de 0.5 a 0.2 millones de hectáreas. Mientras que los arbustales, vegetación dominada por plantas leñosas de porte bajo e intermedio, incrementarían sustancialmente su extensión de 2.8 a 7.1 millones hectáreas, lo que causará la disminución de la carga animal y del aporte de la ganadería a la economía nacional (Flores, 2019).

2.1.1. Calidad nutricional del forraje

El valor nutritivo es un concepto amplio en la cual está implicada la composición del alimento y su digestibilidad. La importancia que posee, está dada por una relación directa con la respuesta animal esperada. La calidad del forraje es un reflejo directo del contenido de nutrientes esenciales y la disponibilidad de estos nutrientes para el animal consumidor. Tres procesos definen la calidad del forraje: la capacidad de un animal para consumir (ingesta), digerir (digestibilidad) y asimilar (disponibilidad) nutrientes esenciales contenidos dentro de la alimentación. Sin embargo, no todos los forrajes tienen el mismo contenido de nutrientes y disponibilidad para el animal. El forraje puede abarcar un amplio espectro de calidad dentro y entre especies de leguminosas y gramíneas. Para entender el valor nutritivo de los forrajes es importante conocer las estructuras de la célula vegetal y sus componentes presentados a continuación (Farfán y Farfán, 2012; Van Saun, 2006).

Pared celular: Contiene la fracción fibrosa de los forrajes, la cual está conformada por tres componentes principales que son: la celulosa, hemicelulosa y lignina, la celulosa y hemicelulosa son digeribles a nivel ruminal (32-35 % de materia seca (MS)), por otro lado, la lignina es altamente indigerible (3-7 % de MS). Al incrementar el estado de madurez de las plantas, la proporción de pared celular y su grado de lignificación aumentan, disminuyendo la digestibilidad de los tejidos vegetales. La fracción fibrosa de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina) se estima en el laboratorio a través de la Fibra Detergente Neutra (FDN). Un segundo indicador del contenido de fibra es la denominada Fibra Detergente Acido (FDA), que cuantifica la porción menos digerible de la pared celular (lignina).

Contenido celular: Se encuentra la mayoría de nutrientes digestibles para el animal, tales como proteínas, carbohidratos no estructurales, ácidos grasos, minerales y vitaminas. El contenido celular puede representar cerca del 65 % de la MS de los tejidos vegetales jóvenes, pero disminuye a menos del 50 % a medida que aumenta la proporción de pared celular, con el avance de la madurez de las plantas. Las proteínas y los carbohidratos no estructurales son los principales componentes de la MS presente en el contenido celular. Ambas tienen una rápida y completa digestión en el rumen, la que alcanza un 100% en los azúcares. Los carbohidratos no estructurales (CNE) incluyen, azúcares, fructosanos y almidón, son altamente digestibles y constituyen la mayor fuente de energía rápidamente disponible para el animal. Comprenden un 5 y 25 % de la MS, registrándose los valores máximos durante la época lluviosa en la sierra.

Materia seca: Las praderas en estado vegetativo tienen, en general, una muy buena concentración de MS (14 a 16 %), la que aumenta de 18 a 25 % o más al estado reproductivo.

Fibra: El material fibroso es de más lenta digestión y evacuación del rumen, por lo que ejerce un efecto físico de llenado que limita el consumo, mientras incrementa el nivel de fibra de un forraje decrece su consumo de materia seca.

Digestibilidad del forraje: La digestibilidad del forraje puede variar de 55 a 85 % dependiendo de múltiples factores, pero lo más importante es que se asocian al estado de madurez de la planta.

Energía metabolizable: La energía metabolizable (EM) corresponde a la energía presente en la porción digestible de la planta menos la pérdida de energía a través de la orina y gas metano producido durante la fermentación ruminal; la energía utilizada para la mantención de la energía corporal y para la producción animal se llama energía neta (EN).

Proteína: La proteína cruda es un parámetro para medir la calidad del forraje, es uno de los componentes más variable en las pasturas, los factores que inciden sobre el valor nutritivo modificarán notoriamente el contenido de proteína debido a que a medida que el forraje madura se produce una disminución del porcentaje de proteína de la planta y aumentan la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, componentes químicos, menos apreciados como nutrientes pues tienen una menor digestibilidad. La proteína cruda incluye el nitrógeno proteico (proteína verdadera) y compuestos no nitrogenados. La fracción más importante de la proteína verdadera de los forrajes corresponde a la proteína degradable en el rumen, la que

es utilizada junto con el nitrógeno no proteico por los microorganismos ruminales, para la síntesis de la proteína microbiana (PM). Tanto la PM sintetizada en el rumen, como aquella no degradable, son utilizadas por el rumiante para cubrir sus necesidades de aminoácidos, los que son absorbidos a nivel intestinal a ella se denomina proteína metabolizable.

El valor nutritivo también se ve afectado por el estado fenológico de los pastos debido a que, a mayor madurez de la planta, su digestibilidad disminuye. Los eventos fenológicos se hallan finamente ajustados a las condiciones medio ambientales imperantes en el espacio alto andino. La germinación o rebrote se produce cuando las condiciones medio ambientales son favorables (época lluviosa) en los meses de octubre, noviembre y diciembre; la elongación en enero, inicio del espigado y floración en enero y febrero, fructificación en abril y diseminación en mayo; para finalmente ingresar a una etapa de hibernación o dormancia entre los meses de junio a setiembre (época seca). Las hojas que no fueron pastoreadas se secan, se tornan amarillas y no fotosintetizan; otros que, si han sido pastoreadas y no tienen tallos ni hojas, por tanto, tampoco fotosintetizan, de manera que, en ambos casos, el rebrote dependerá de la energía contenida en las sustancias de reserva (carbohidratos) ubicados en las raíces coronas, base del tallo, etc. (Farfán y Farfán 2012).

2.1.2. Nutrición y alimentación de alpacas

Según el CENAGRO (2012), el Perú cuenta con 3'685,516 cabezas, de las cuales, y el 99 % se encuentra en poder de personas naturales (pequeños criadores) y el 1% restante en diversas formas organizativas (medianas y grandes empresas, cooperativas, asociaciones, comunidades campesinas, etc.), lo que representa el 87 % de la población mundial de alpacas, la crianza está distribuida en 17 departamentos principalmente en Puno (55 %), Cusco (12 %), Arequipa (10 %) y Huancavelica (6%).

Las alpacas, junto con los otros camélidos sudamericanos son las especies mejor adaptadas para aprovechar la escasa y fibrosa vegetación de las praderas alto andinas, debido a que están bien adaptadas a áreas donde la cantidad de forraje está limitada y los nutrientes se hallan altamente diluidos por carbohidratos estructurales que son difíciles de digerir; también poseen ciertas particularidades digestivas, anatómicas y fisiológicas, como la selección de acuerdo a palatabilidad de pastos, reducido consumo, mayor tiempo de retención de la

digesta en su tracto digestivo, los cuales les permiten sobrevivir en zonas de gran altitud, (San Martín y Bryant, 1989).

El consumo promedio de materia seca en alpacas es de 1,8 % del peso vivo. En general el consumo diario de los camélidos sudamericanos es menor que el del ovino, bajo condiciones de pastoreo, llamas y alpacas tienen el mismo nivel de consumo, siendo este inferior al de los ovinos en 36% bajo pasturas cultivadas y en 26% en pasturas nativas (San Martín, 1987).

Las alpacas prefieren alimentarse en zonas más húmedas, ingiriendo una alta proporción de hojas, consume mayormente gramíneas altas en la estación lluviosa y gramíneas bajas en la estación seca. En comparación con el ovino, la alpaca selecciona más las gramíneas altas que las bajas; de acuerdo a la selectividad la alpaca sería un animal altamente adaptable, variando su selectividad de plantas en los forrajes nativos, de acuerdo a su disponibilidad. Así, cuando la disponibilidad de gramíneas es alta, y la disponibilidad de herbáceas y plantas parecidas es limitada, las gramíneas representan la mayor parte de la dieta. Por otro lado, cuando la disponibilidad de las herbáceas es alta, ellas son constituyentes importantes de la dieta (Tapia y Lazcano, 1970; Raggi, 1989; San Martín, 1987).

Hay que tener en cuenta que no todas las especies de pastos naturales son consumidas por las alpacas debido a la palatabilidad o aceptabilidad, cualidad del forraje que lo hace preferido por el animal cuando tiene la oportunidad de escoger entre varios forrajes (Flores, 1980), lo que hace que algunos pastos considerados excelentes por su nivel nutritivo, pero de baja palatabilidad no sean consumidos por todas las especies ganaderas, es así que se tiene la tabla 1. donde se muestra una referencia de los niveles de palatabilidad de acuerdo a especie ganadera.

Tabla 1. Lista de especies de pastos con nombres científicos, comunes y palatabilidad

	Especies	Nombre común	Palatabilidad			Bibliografía
			Ovino	Llama	Alpaca	
Poacea (Graminae)	<i>Agrostis breviculmis</i>	Chi'ji	PD	PD	PD	ONERN 1985, Farfán y Durand 1998
	<i>Agrostis tolucensis</i>	Tullu pasto	ND	D	ND	ONERN, 1985
	<i>Aristida adscencionis</i>	Paja plumilla	D	D	D	Tapia y Flórez 1984, Floréz 2005
	<i>Bromus catharticus</i>	Cebadilla	D	D	D	Tapia y Flórez 1984, Floréz 2005
	<i>Bromus lanatus</i>	Willma cebadilla	D	D	D	Floréz A 2005
	<i>Calamagrostis curvula</i>	Shumpo	D	D	PD	Fierro 1985, ONERN 1983
	<i>C. dichoclada</i>	Yurac ichu	PD	D	PD	Tapia y Flórez 1984
	<i>C. trychophylla</i>	Crespillo	PD	D	D	Farfán y Durant 1998
	<i>C. antoniana</i>	Sora sora	PD	D	PD	ONERN 1985, Farfán y Durant 1998
	<i>C. cephalantha</i>	Camadulce	D	D	PD	Del Carpio 2000
	<i>C. ovata</i>	Crespillo	D	D	D	Farfán y Durant 1998
	<i>C. chrysantha</i>	Kory waylla	PD	PD	PD	Tapia y Flórez 1984
	<i>C. rigescens</i>	Tullu pasto	PD	PD	PD	Tapia y Flórez 1984
	<i>Distichlis humilis</i>	Gramma dulce	D	D	D	Del Carpio 2000
	<i>Festuca dolichophylla</i>	Chillihua, coya	ND	D	D	Del Carpio 2000
	<i>F. orthophylla</i>	Iru ichu	ND	PD	ND	Canahua 1970, Farfán y Durand 1998
	<i>Hordeum muticum</i>	Cola de ratón	D	PD	D	Canahua 1970, Del Carpio 2000
	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	Chi'ji	D	D	D	Farfán y Durant 1998
	<i>Poa annua</i>	Llachu, chili	D	D	D	Tapia y Flórez 1984
	<i>Poa candamoana</i>	Cebadilla, k'achu	D	D	D	Tapia y Flórez 1984, Farfán 1998
	<i>Poa gymnantha</i>	Chumpi cura	D	D	D	Fierro 1985, Tapia y Flórez 1984
	<i>Poa horridula</i>	Koña pasto	D	D	D	ONERN 1985, Tapia y Flórez 1984
	<i>Polipogon elongatus</i>	Pata de conejo	D	D	D	Tapia y Flórez 1984, Farfán 1998
	<i>Polipogon interruptus</i>	Pasto barbado	D	D	D	Ponce 1969, Tapia y Flórez 1984
	<i>Stipa mucronata</i>	Gramma ichu	PD	PD	PD	Tapia y Flórez 1984, Farfán 1998
	<i>Stipa brachiphylla</i>	Granu ichu	D	D	D	Canahua 1970, Tapia y Flórez 1984
	<i>Stipa obtusa</i>	Tisña	PD	PD	PD	Farfán y Durant 1998
<i>Stipa hans-meyeri</i>	Ichu	PD	PD	PD	Farfán y Durant 1998	
<i>Aciachne pulvinata</i>	Paqu paqu	PD	PD	PD	Farfán y Durant 1998	
<i>Distichis humilis</i>	Gramma salada	D	D	D	Farfán y Durant 1998	
Juncaceae	<i>Distichia muscoides</i>	Kunkuna	D	D	D	Tapia y Florez 1984, Farfán 1998
	<i>Oxichloe andina</i>	Kunkuna macho	ND	PD	PD	Farfán 1998, Del Carpio 2000
	<i>Juncus bufonius</i>	Totorilla	PD	PD	PD	Farfán y Durant 1998
Cyperaceae	<i>Carex sp.</i>	Ccaran ccaran	D	D	D D	Fierro 1985, Farfán y Durant 1998
	<i>Luzula peruviana</i>	Uma sutu	ND	D	D	ONERN 1985, Farfán y Durant 1998
	<i>Eleocharis albibracteata</i>	Quemillo K	D	D	PD	Farfán y Durant 1998
	<i>Scirpus rigidus</i>	Cuchi pelo	PD	D		ONERN 1985, Tapia y Flórez 1984
Rosaceae	<i>Alchemilla diplophylla</i>	Libro libro	D	PD	D	Farfán 1998, Del Carpio 2000
	<i>Alchemilla pinnata</i>	Sillu sillu	D	D	D	Canahua 1970, Farfán y Durant 1998
	<i>Margiricarpus pinnatus</i>	Kanlli	ND	ND	ND	Tapia y Flórez 1984
Plantaginaceae	<i>Plantago monticola</i>	Sacarara	ND	PD	PD	Tapia y Flórez 1984
	<i>Plantago rigida</i>	Cha'ki llantén	D	ND	ND	Tapia y Flórez 1984
	<i>Plantago tubulosa</i>	Orqho llantén	PD	D	D	Farfán y Durant 1998
Isoetaceae	<i>Estilitis andicola</i>	Sasahui	D	PD	D	Floréz A 2005
Geraniaceae	<i>Geranium sessiliflorum</i>	Ojotilla, wilalayo	PD	PD	ND	Ponce, J. 1969
	<i>Geranium weddellii</i>	Ojotilla	D	PD	PD	Farfán y Durant 1998
Asteraceae	<i>Conyza senecioides</i>	Khea khea	ND	ND	ND	Farfán et al 1998, Del Carpio
	<i>Werneria apiculata</i>	Urso	D	D	D	Del Carpio 2000
Compuest	<i>Baccharis incarum</i>	Naka tola chilca	ND	PD	PD	Tapia y Flórez 1984, Farfán 1998
Apiaceae	<i>Azorella compacta</i>	Puna yareta	ND	ND	ND	Tapia y Flórez 1984, Farfán 1998

(continuación).

Loasaceae	Loasa cuscoensis	Orqo quisa	ND	ND	ND	Tapia y Flórez 1984
S	Lupinus chlorolepis	K'era	ND	ND	ND	Tapia y Flórez 1984
Malvaceae	Nototriche longirostris	Qora, ruphu	PD	PD	PD	Tapia y Flórez 1984
Cariophylla	Pycnophyllum	Ch'eka ch'eka	ND	ND	ND	Tapia y Flórez 1984
Ranuncula	Ranunculus sp.	Llacho	D	PD	D	Tapia y Flórez 1984
	Hypsela reniformis	Missi missi	D	D	D	Tapia y Flórez 1984, Del Carpio 2000
Apiaceae	Lilaeopsis andina	Caña caña	D	PD	D	Flórez A 2005
Gentianaceae	Gentianella sandiense	Oqo tike	D	ND	D	Del Carpio 2000
Amarantha	Gonphrena meyeniana	Peregrina	PD	PD	PD	Tapia y Flórez 1984
Violaceae	Viola pygmaea	Chanqo	PD	PD	PD	Tapia y Flórez 1984
Hidrocharit	Elodea potamogeton	Llacho	PD	ND	PD	Del Carpio 2000
Iridaceae	Sisyrinchium jamesoni	Azul papelillo	PD	PD	PD	Tapia y Flórez 1984
Oxalidaceae	Oxalis erirolepis	Apharu oqa	PD	PD	PD	Tapia y Flórez 1984
Amaryllida	Zephyranthes parvula	-----	PD	ND	PD	Slanis y Del Valle 2005
Labiadae	Mentostachis sp.	Muña	PD	PD	PD	Tapia y Flórez 1984
Lamiaceae	Hedeoma mandoniana	Muña negra	ND	ND	ND	Slanis y Del Valle 2005
Piperaceae	Peperomia umbilicata	Pampa choclo	ND	D	D	Fierro 1985
Scrophulara	Castilleja pumilla	Miskiyo	PD	PD	PD	Del Carpio 2000
Ephedrace	Ephedra andina	Pinqo pinqo	PD	ND	ND	Tapia y Flórez 1984
Cactaceae	Opuntia flocosa	Huaracco	ND	ND	ND	Farfán y Durant 1998
Portulacae	Calandrinia acaulis	Apaso	D	D	D	Tapia y Flórez 1984
Loaceae	Cajophora andina	Qisa	ND	ND	ND	Tapia y Flórez 1984
Valerianaceae	Valeriana nivalis	Occo marancilla	D	D	D	Tapia y Flórez 1984

Donde: D: Deseable PD: Poco Deseable, ND: No Deseable

Fuente: Farfán y Farfán, 2012

La capacidad selectiva de las alpacas en cuanto a partes de las plantas que ingieren se ve reducida comparada a los ovinos, las alpacas ingieren una alta proporción de hojas, sin embargo, también prefieren tallos, debido a que estos a diferencia de las hojas, son retenidos por un mayor tiempo en el estómago que las hojas causando una reducción en el consumo. El menor consumo observado en las alpacas, con respecto a los ovinos es el resultado de factores asociados tales como, el mayor tamaño corporal, el relativo menor requerimiento de energía y proteína en los camélidos sudamericanos, así como también el menor volumen

de los compartimentos del estómago. También se ha observado que las alpacas al ser pastoreadas en pastos frescos y cultivados no presentan timpanismo, fenómeno generalizado en otras especies de rumiantes (Schneider *et al.*, 1974, citado por San Martín y Bryant, 1989; Bustinza *et al.*, 1985; Liu *et al.*, 2009).

Se sabe que el consumo en la época seca en la región del altiplano es similar o ligeramente mayor que el consumo en la época lluviosa. Este menor consumo observado en la época lluviosa, aun cuando la calidad de las dietas registradas en esta época es mayor que la de la estación seca, podría deberse a que los animales en la época lluviosa incrementan su capacidad digestiva en respuesta al consumo de forraje de baja calidad. Otro factor que podría explicar estas respuestas estacionales de consumo sería el alto contenido de agua de los vegetales durante la estación lluviosa. San Martín (1987) determinó que la mayor calidad nutricional de la dieta corresponde a la consumida por la llama, seguida por la alpaca, siendo la de mejor calidad la ingerida por el ovino. Esta mejor calidad de la dieta consumida por los ovinos se debe a su mayor capacidad de selección de los forrajes consumidos, esta característica beneficiosa desde el punto de vista del animal, puede ser perjudicial para la condición de la pradera. La mayor selectividad de los ovinos se debe a su mayor tasa metabólica, lo que implica tener mayores requerimientos de proteína y energía.

2.1.3 Ganadería y cambio climático en el Perú

Uno de los problemas que actualmente enfrenta el planeta es el calentamiento global, consecuencia del cambio climático, debido al aumento del efecto invernadero causado por la acumulación de gases que atrapan el calor en la atmósfera. En los últimos decenios, los cambios del clima han causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos. Los impactos se deben al cambio climático observado, independientemente de su causa, lo que indica la sensibilidad de los sistemas naturales y humanos al cambio del clima (Soliva y Hess, 2007, IPCC, 2014).

En los últimos años, las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero (GEI) a saber, el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) han aumentado a niveles sin precedentes. En 2017, las concentraciones de estos gases de efecto invernadero alcanzaron 405.5 ppm, 1859 ppb y 329.9 ppb, respectivamente, valores que excedían los niveles preindustriales (antes de 1750) en aproximadamente el 46 %, el 157 % y el 22 %, respectivamente (OMM, 2018).

La OCDE y CEPAL (2016) informan que el 2012, el Perú emitió 171 millones 310 mil Toneladas de Gases de Efecto Invernadero que esta cifra constituye el 0.34% de emisiones mundiales y el 3.5% de las emisiones de América Latina y el Caribe. Si se excluye el cambio en el uso del suelo y los procesos de reforestación, las emisiones peruanas disminuyen al 0.2% global y al 2.5 de la región.

El CO₂ es uno de los GEI más abundante y con mayor aporte al incremento del calentamiento global, sin embargo, las emisiones de metano, gas que posee un potencial de calentamiento de 21 a 30 veces mayor que el CO₂, se han venido incrementando aceleradamente en las últimas décadas (Carmona *et al.* 2005). Otros autores reportan que el CH₄ tiene un potencial de efecto invernadero 23 veces mayor que el CO₂ (IPCC 2007).

La mitad de las emisiones actuales de CH₄ son de origen antropógeno generadas principalmente por el uso de combustibles fósiles, actividades ganaderas, actividades agrícolas (cultivo del arroz) y por los vertederos de residuos y desechos. Es estimado que la Agricultura representa alrededor del 10 al 12 % de las emisiones totales de GEI a la atmosfera. (IPCC, 2007). Sin embargo, el sector pecuario representa una fuente significativa de GEI en todo el mundo, al generar CO₂, CH₄ y N₂O a lo largo del proceso productivo. El ganado contribuye con el cambio climático al emitir GEI, bien sea directamente (fermentación entérica o el estiércol) o indirectamente (actividades desarrolladas durante la producción de piensos y la conversión de bosques en pastizales). Se ha calculado, con base en el análisis del ciclo de vida, que el sector emite aproximadamente 7.1 gigatoneladas de CO₂-eq/año, o cerca del 18 % del total de las emisiones de los GEI antropogénicas. (Steinfeld *et al.* 2009).

En el Perú, de acuerdo al INGEI (2012), las emisiones del sector Agricultura fueron 26 043.68 Gg CO₂ eq (15.20 % del total nacional), reportándose tres principales fuentes de emisión : la fermentación entérica (10 735.14 Gg CO₂ eq, que representa en 41.22 %) los suelos agrícolas (12 195.57 Gg CO₂ eq, que representa en 46.83 %), y el manejo de estiércol (1 318.66 Gg CO₂ eq, que representa en 5.06 %), los cuales en conjunto representan el 93.11 % del total de emisiones de GEI en el sector

Las emisiones provenientes de la fermentación entérica ha ido en ascenso a través del tiempo debido a que a que según los datos históricos sobre la población del ganado vacuno claramente demuestran que esta se viene incrementando, según la información proporcionada por la Dirección de estadística Agraria del Ministerio de agricultura y riego (MINAGRI), las poblaciones para los años 2000 y 2012 fueron de 4 990.508 y 5 660.948 respectivamente, lo que quiere decir que ha habido un incremento del 13.4% para el periodo comprendido entre los años de análisis.

El aumento de la concentración de los GEIs en la atmósfera está incrementando la temperatura en la Tierra y las estimaciones realizadas a través de modelos indican, para algunos escenarios de emisiones futuras, que antes de fin de siglo el aumento será del orden de 2 a 6 °C. Las observaciones directas de cambio recientes, a escala global y regional son el aumento de las temperaturas medias en el aire y en los océanos, el derretimiento de nieve y hielos, y el aumento del nivel medio del mar. (IPCC 2007).

La contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) pública en el 2013, menciona que se ha detectado la influencia humana en el calentamiento de la atmósfera y el océano, en alteraciones en el ciclo global del agua, en reducciones de la cantidad de nieve y hielo, en la elevación media mundial del nivel del mar y en cambios en algunos fenómenos climáticos extremos. Esta evidencia de la influencia humana es mayor desde que se elaborara el Cuarto Informe de Evaluación. Es sumamente probable que la influencia humana haya sido la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX.

La magnitud de los impactos asociados al cambio climático, no serán iguales para todas las regiones, la región de America Latina y el Caribe tienen dos características importantes, es una de las regiones más vulnerables frente al cambio climático y es una de las regiones con mayor concentración de biodiversidad del planeta, por lo que el estudio de los impactos sobre la biodiversidad resulte relevante. Perú se encuentra dentro de ésta región, y conjuntamente con Brasil, Colombia y Mexico, es uno de los países más biodiversos del mundo, concentra 84 zonas de vida natural y 11 ecorregiones naturales, registrando, además, una gran biodiversidad de flora con aproximadamente unas 25,000 especies (10% del total mundial) de las cuales un 30% son endémicas, también es el quinto país en el mundo en número de especies; primero en número de especies de plantas con propiedades conocidas y utilizadas

por la población (4,400 especies) y, primero en especies nativas domesticadas (128 especies)(SERVINDI, 2011; Botero, 2015)

Según la IPCC (2007) se prevé que los efectos del cambio climático serán directamente sobre los organismos individuales, poblaciones y ecosistemas, afectando distribución, tamaño, estructura y abundancia de las poblaciones de algunas poblaciones, debido a la modificación en los patrones de precipitación y el aumento de la temperatura; entre los principales, todo esto conlleva a que el cambio climático tendería a aumentar la tasa de pérdida de recursos biológicos, y que sus efectos serían particularmente severos en aquellos ecosistemas que se encuentran alterados por el efecto de las actividades humanas, por lo cual el cambio climático podría acelerar la pérdida de especies de la región , de alguna u otra forma conduciría a una disminución de la oferta de los bienes y servicios que los ecosistemas proporcionan a la sociedad, implicando cambios en la seguridad alimentaria en la región (14 millones de peruanos vulnerables a la inseguridad alimentaria).

De acuerdo con el Tyndall Centre for Climate Change Research, el Perú se encontraría entre los diez países más vulnerables ante eventos climáticos, lo que estaría asociado a la alta dependencia de algunas regiones a sectores sensibles al cambio climático, tales como el agrícola y el pesquero debido a que la agricultura, pesquería y ganadería son vulnerables por ser actividades que dependen del clima, de fuentes hidroeléctricas, disponibilidad del agua y limitados recursos financieros, técnicos, humanos y tecnológicos para apoyo a la adaptación; así como al bajo nivel institucional, que dificulta la planificación y ejecución de acciones de adaptación concretas (Barco y Vargas, 2010; Quiroz,2013).

Se predice que el Perú sufrirá una serie de efectos negativos; por ejemplo: la pérdida del 22 % de la superficie de los glaciares en los últimos treinta años, que a la vez son el 71 % de los glaciares tropicales del mundo; el peligro de extinción de flora y fauna amazónica; la pérdida de cultivos como el maíz, la papa, el arroz, entre otros productos básicos para la alimentación y exportación; la expansión de plagas que afecten los cultivos; la pérdida de infraestructura vial (se calcula que el 89 % de esa infraestructura vial es vulnerable a los eventos climáticos); el peligro de que en cuarenta años el Perú tenga el 60 % del agua que tiene en la actualidad; el riesgo de especies en peligro de extinción que no sobrevivan a los efectos del cambio climático, lo que llevará a que se modifique el mapa de distribución de las comunidades biológicas (MINAM,2016).

Por otro lado, las consecuencias del cambio climático en la ganadería en zonas donde el agua y los pastos escasean y la ganadería extensiva es predominante, que se encuentra más ligada a las condiciones naturales del medio, se verían más afectadas directamente por las modificaciones ambientales que se produzcan. El modelo tradicional extensivo tiene que sobrevivir en la actualidad luchando contra unas condiciones poco propicias. Según la FAO (2009), desde el punto de vista de la alimentación del ganado, el aumento de las temperaturas influirá en que en las zonas áridas o semiáridas el ganado ingiera menos alimento. Su producción, por lo tanto, será menor, dando lugar a una situación de estrés fisiológico. En cuanto a los pastos y los forrajes, la ausencia de precipitaciones hará que los pastos se desarrollen más lentamente. De este modo, la sobreexplotación y la degradación serán mayores. En estrecha relación con esto aparecerán problemas de acceso y necesidad de agua, problema que será compartido con los seres humanos. La ausencia de alimento y agua pueden desencadenar enfermedades en los animales que afecten a su productividad cárnica y a su fertilidad (Saiz, 2010).

2.2. Emisión de metano entérico por rumiantes

El CH₄ es el segundo gas de efecto invernadero más importante. Después de su emisión el CH₄ permanece en la atmósfera aproximadamente de 9 a 15 años. El poder de retención de calor del CH₄ es unas 21 a 30 veces superior al del dióxido de carbono en un período de más de 100 años. Las emisiones directas del ganado provienen de los procesos respiratorios de todas las especies animales en forma de dióxido de carbono. Además, los rumiantes, y en menor medida también los monogástricos, emiten CH₄ como parte de su proceso digestivo, que incluye la fermentación microbiana de los alimentos fibrosos (Steinfeld *et al.* 2009).

Vlaming (2008) indica que el CH₄ es uno de los productos finales de la fermentación microbiana de los hidratos de carbono del alimento, producido por microbios del grupo archaea, comúnmente llamados metanógenos como se muestra en la Figura 1., quienes poseen la capacidad de reducir el CO₂ usando hidrógeno (H₂) como única fuente de energía. El CO₂ e H₂ se combinan para formar CH₄ y agua (H₂O), como se muestra en la siguiente ecuación: $CO_2 + 4H_2 = CH_4 + 2H_2O$, el animal no puede utilizar el CH₄ y este es eructado o exhalado con parte del CO₂ y otros gases producidos en el rumen. La formación de CH₄ representa para el animal una pérdida de entre el 2 al 12 % de la energía bruta ingerida en los alimentos.

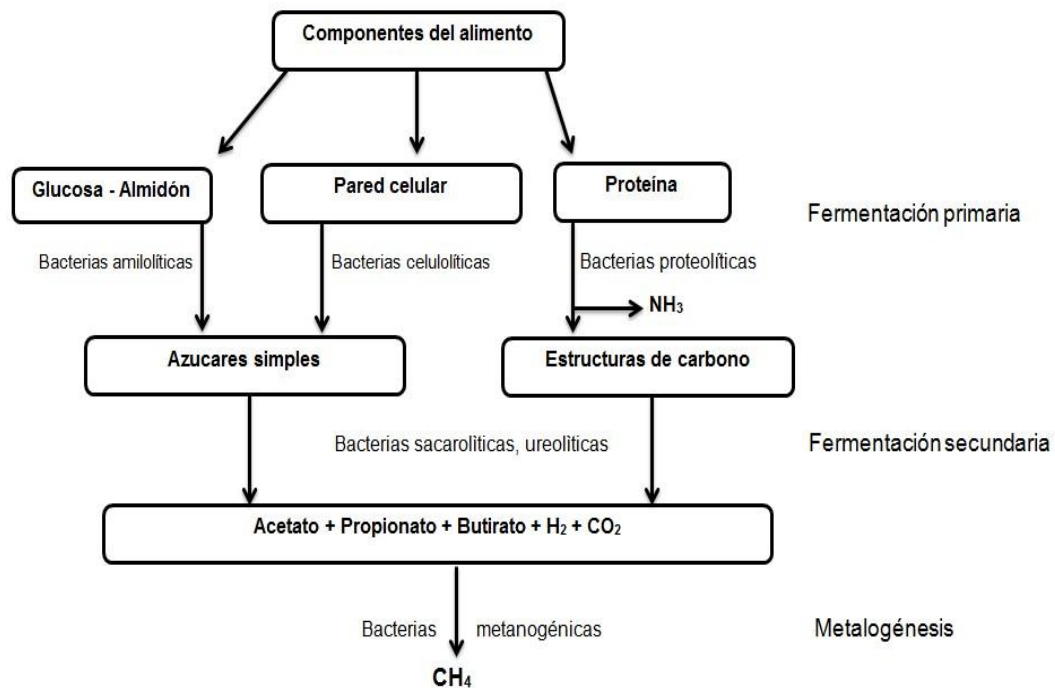


Figura 2: Componentes de los alimentos y la obtención de metano (CH₄) entérico.

Fuente: Vlaming (2008).

Gran parte de la energía en la alimentación de rumiantes está en forma estructural de la planta pared celular polímeros-celulosa, hemicelulosa y pectina. Los microorganismos capaces de degradar estos polímeros a sus monómeros constituyentes por fermentación o por otros es la principal importancia en el rumen. Las especies más involucradas en la degradación de celulosa son: *Bacteroides succinogenes*, *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens* y *Eubacterium cellulosolvens*. Estas bacterias se adhieren estrechamente a la superficie de la pared celular de la planta formando fosos de erosión como degradan los sustratos celulíticos. Técnicas moleculares permiten un mejor entendimiento en la cinética de la unión de la fibra por bacterias del rumen, demostrando que la degradación necesariamente sincronizada con cambios en la biomasa bacteriana, la hemicelulosa es también degradada por otros microorganismos celulíticos (Theodorou y France 2005).

El acto de rumiación, facilita mucho más la acción de la fermentación microbiana y la destrucción de la membrana celular de los pastos ingeridos, provocando una secreción intensa de saliva (Yaranga, 2009). Por otro lado, los microorganismos ruminales tienen enzimas capaces de actuar sobre los carbohidratos de reserva (almidón) así como también sobre los carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa y pectinas) que componen la

pared celular de las plantas (fracción fibrosa). Los principales factores que condicionan la eficacia del proceso son el grado de lignificación de la fibra, que dificulta la actuación de los microorganismos, y el tiempo de que dispongan estos para realizar la digestión. (De Blas *et al.* 2008).

Se presume que los camélidos producen menos CH₄ que los rumiantes por unidad de masa corporal. Dittman *et al.* (2014) observaron que existe una tendencia a la menor producción de metano en los camélidos frente a los rumiantes menores, esta diferencia es muy probablemente debido a su reducido metabolismo, menor consumo de alimento y fibra digestible de estos animales, también se observó que la emisión de CH₄ en función a la energía digestible ingerida fue menor en los camélidos frente a los rumiantes; los análisis realizados sugieren que cuando se expresa las emisiones de metano por la energía digestible ingerida, las diferencias entre animales es debido al contenido de fibra de los forrajes.

Con respecto a la cantidad de CH₄ emitido en el Perú, en el último Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI, 2012) se indicó que la fermentación entérica es responsable del 41 % de GEI emitido por el sector agricultura, además el MINAM en 2016 estimó para el Perú factores de emisión (FE) de acuerdo a las directrices del IPCC en base al nivel dos, asumiendo un valor del 6 % de conversión de energía bruta (EB) a CH₄, los valores de FE promedio de vacas lecheras es de 76.78 kg CH₄/cabeza/año a nivel nacional, el FE promedio de alpacas es de 8.19 kg CH₄/cabeza/año a nivel nacional. Teniendo en consideración que la ganadería altoandina predominantemente tiene una base alimenticia en pastizales altoandinos posiblemente el valor de 6 % sea diferente de la realidad.

La emisión de CH₄ proveniente de ganado bajo sistemas al pastoreo en el Perú, es explicado por la pobre calidad del forraje (pasturas nativas altoandinas) que en muchos casos limita los sistemas de producción animal debido a las condiciones medioambientales desfavorables y pobre manejo, los bajos consumos, así como por la baja eficiencia de utilización de nutrientes para poder producir carne o leche (Gómez *et al.* 2008).

2.3. Técnica de medición de metano *in vitro*

Se han desarrollado varios métodos con el fin de medir y estimar las emisiones de CH₄ de rumiantes. La aplicación, ventajas y desventajas de ninguno de ellos son perfectos: algunos

son caros, algunos más baratos; algunos son adecuados para animales en pastoreo, algunos para animales estabulados; algunos pueden ser manejados para muchos animales, algunos para pocos; todo eso afecta a los resultados de medición y la interpretación de ellos (Okpara,2018). Históricamente la concentración de CH₄ se mide típicamente mediante técnicas analíticas espectroscopia infrarroja, cromatografía de gases, espectroscopia de masa y técnicas de diodo laser (Johnson y Johnson, 1995). Los métodos mejor sabidos son la técnica de Calorimetría (Cámaras abiertas, cerradas o cámaras de respiración) cámaras de respiración, la técnica de gases trazadores (SF₆, Óxido nitroso y CO₂), técnica de GreenFeed™ y la estimación *in vitro*.

2.3.1. Técnica de producción de gas *in vitro*

Los estudios en fermentación y digestión juegan un papel crucial en los estudios nutricionales y fisiológicos en rumiantes. Desde la década de los 50's muchos métodos han sido desarrollados para simular el ecosistema ruminal. Aunque los estudios *in vivo* han sido de gran importancia, las simulaciones *in vitro* del medio ambiente ruminal son frecuentemente efectivas y eficientes por su rapidez y bajo costo de operación. Esta técnica ha sido usada para simular la fermentación ruminal de alimento y forraje por décadas. Además, porque se pueden definir factores específicos, que en condiciones *in vivo*, pueden ocultarse por una gran complejidad de factores (Kajikawa *et al.*, 2003, Rymer *et al.*, 2005).

Existen varias técnicas *in vitro* disponibles para evaluar el valor nutritivo de los alimentos a un costo relativamente bajo. El uso de la metodología de producción de gas *in vitro* para estimar la digestión de los alimentos se basa en las relaciones medidas entre la digestibilidad *in vivo* de piensos y producción de gas *in vitro*, en combinación con la composición química del pienso (Menke y Steingass, 1988). Los métodos de gas *in vitro* miden principalmente miden la digestión de carbohidratos solubles e insolubles (Menke y Steingass, 1988), y la cantidad del gas producido a partir de una alimentación en la incubación refleja la producción de ácidos grasos volátiles, que son una fuente importante de energía para rumiantes. El gas surge directamente de microbios degradación de los alimentos, e indirectamente de la amortiguación de ácidos generados como resultado de fermentación.

Tejido *et al.* (2002) mencionan que dentro de las técnicas más conocidas *in vitro* están la de Tilley y Terry implementada en 1963, o sus diversas modificaciones diseñado para obtener

la digestibilidad verdadera por determinación de los constituyentes no digeridos de las paredes celulares. Las técnicas de fermentación *in vitro* han sido usadas a través del tiempo para evaluar el valor nutritivo de los alimentos ofrecidos a los rumiantes, en las últimas décadas se ha utilizado para medir la producción de metano de acuerdo a su relación con la digestibilidad del alimento (Getachew 2004).

El principio básico de esta técnica es fermentar alimento bajo condiciones controladas de laboratorio empleando microorganismos naturales del rumen. Por ejemplo, forrajes son sometido a diferentes tratamientos, son incubados a 39° con una mezcla de fluidos del rumen, sustancia buffer y minerales por un cierto periodo de tiempo, usualmente a 24, 48, 72, 96 ó 144 h. La cantidad del total del gas producido durante incubación es medida y su composición analizada, para obtener la información de la producción de CH₄ producido (Storm *et al.*, 2012). El método requiere acceso a fluido del rumen fresco, el cual es usualmente obtenido de vacas u otros rumiantes fistulados. Los métodos alternativos para la colección de fluido ruminal son por un tubo esofágico de animales vivos o sacrificados. Varios sistemas de la técnica de producción de gas *in vitro* han utilizado jeringas, rusitec, envases sellados de fermentación y sistemas automatizados completamente, dependiendo del sistema y restricciones del laboratorio es posible realizar muchas incubaciones paralelas al mismo tiempo, permitiendo de esa manera realizar repeticiones entre experimentos para disminuir las diferencias estadísticas significativas (Okpara, 2018).

La ventaja es que es una técnica muy útil cuando primeras aproximaciones para probar el potencial de los forrajes y aditivos o cuando condiciones de incubación controladas son necesitadas. Los resultados de la técnica *in vitro* pueden ser usados para optimizar experimentos largos y más costosos en animales enteros (Storm *et al.*, 2012).

Por otro lado, una clara desventaja de esta técnica es que sólo simula la fermentación ruminal del alimento, no las emisiones y digestibilidad total del animal. Más aun, bajo condiciones normales esto no incluye el largo plazo de adaptación de los microorganismos ruminales a los forrajes probados. Durante los experimentos en animales vivos es común practicar periodos de adaptación a nuevos alimentos al menos por 14 días. Para la población de microbios ruminales productores de metano, las indicaciones que los periodos de adaptación después del intercambio al nuevo alimento son más de 30 días (Williams y Coleman., 1997).

2.3.2. Producción de gas *in vitro* y su relación con la producción de metano y composición química del alimento.

La medida de la producción de gas *in vitro* se hace para determinar los impactos de las fuentes de variación de los perfiles resultantes de la producción de gas como constante de presión y volumen (Rymer *et al.* 2005). La producción de gas se usa a menudo como el principal indicador de la función microbiana, confirmando que pueden existir disociaciones entre parámetros de fermentación (Durmic *et al.* 2010). La producción de gas, por lo tanto, puede ser un parámetro menos valioso si se utiliza como única medida de la función microbiana, en comparación con un sistema enfocado a las funciones de microorganismos ruminales (Banik *et al.*, 2013).

La producción de gas *in vitro*, es derivada directamente a través de la fermentación microbiana (tanto CO₂ como CH₄) e indirectamente a través del amortiguamiento de los ácidos grasos volátiles (AGV) con la producción relacionada tanto con la producción de AGV como con sus proporciones que a su vez se ve afectada por la composición de la dieta, junto con el rendimiento de la biomasa microbiana (Getachew *et al.*, 1998).

Se ha sugerido que el valor nutritivo de la planta afecta directamente perfiles de fermentación y potencial metanogénico (Baloyi *et al.* 2008), así como también su tasa y grado de digestión. Las diferencias en el valor nutritivo están bien establecidas para los pastos principales, como las gramíneas versus las leguminosas, la fermentabilidad *in vitro* de las plantas varía, desde las que tienen muy baja producción de gas y de ácidos grasos volátiles, hasta aquellas digeridas fácilmente por los microbios del rumen y comparable con el forraje suplementario convencional (Durmic *et al.* 2010). Otros investigadores han informado hallazgos similares con plantas que se sabe que contienen compuestos secundarios que pueden afectar los microbios ruminales cuando se examinan *in vitro* (Tavendale *et al.* 2005).

Aunque el análisis del valor nutritivo de la planta es un método ampliamente aceptado para la evaluación básica de la planta, simplifica interacciones complejas que ocurren entre la planta y los microbios ruminales. Por otro lado, el análisis de valor nutritivo solo apunta componentes seleccionados y no capturan todas las sustancias químicas de la planta, como azúcares solubles u oligosacáridos y compuestos secundarios, que pueden ser responsables de la moderación de poblaciones metanogénicas en el rumen. Por ejemplo, los taninos están presentes en la alfalfa, el trébol rojo, saponinas en alfalfa e isoflavonoides en el trébol

subterráneo y algunos de estos compuestos tienen efectos anti-metanogénicos en el rumen. Por tanto, es posible que estos compuestos también desempeñen un papel importante en el potencial metanogénico de las plantas y, por lo tanto, puede ser capaz de proporcionar biomarcadores de potencial metanogénico en la futura planta. (Banik *et al.*, 2013).

Uno de los aspectos más importantes a considerar en el manejo de los pastos es la edad de las plantas en el momento de su utilización, lo que afecta enormemente la producción y composición de los pastos. A pesar de la producción de materia seca de los pastos aumenta con la etapa de crecimiento, su digestibilidad y contenido de proteínas disminuyen con la madurez avanzada y en el momento en que también disminuye la proporción de hojas. Mientras que los tallos maduran rápidamente, el contenido celular de las hojas permanece en un nivel más alto y la lignificación y la producción de proteínas avanzan a un ritmo más lento (Jones y Wilson 1987 citado por Ronquillo *et al.*, 1998).

Los cambios en la composición química del forraje pueden afectar la cantidad de CH₄ producida en el rumen. Por ejemplo, un aumento en la digestibilidad de un alimento aumenta la proporción de ácido propiónico en el total de productos de fermentación del rumen formados a partir de él y disminuye la formación de hidrógeno (H₂) y CH₄ por unidad de carbohidratos fermentados en el rumen (Janssen, 2010).

La medición de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca se ha utilizado ampliamente para evaluar la calidad de los alimentos, debido a su alta correlación con la digestibilidad *in vivo*. Sin embargo, se reporta que la producción de gas *in vitro* por sí sola fue un mal predictor de digestibilidad de la materia seca *in vitro*, pero la inclusión de los niveles de proteína cruda, carbohidratos no fibrosos y grasa en las ecuaciones predictivas mejoraron de manera importante la predicción de digestibilidad de la materia seca *in vitro* a partir de la producción de gas. Una relación negativa entre el nivel de proteína cruda disponible (es decir, potencialmente digestible) de una producción de alimentación y gas sugiere que los altos niveles de proteína cruda, combinados con una alta degradabilidad, pueden influir negativamente en la producción de gas (Soliva *et al.*, 2008).

Getachew *et al.* (2004) reportaron que en su estudio se demostró una correlación negativa entre el nivel de FDN y la producción de gas, así como Iantcheva *et al.*, (1999) encontraron una clara diferencia entre el alcance del efecto negativo del FDN en la producción y

digestibilidad del gas, siendo mucho mayor en el heno de pasto versus la alfalfa en ese estudio. Esto demuestra que el efecto de FDN en la fermentación se vuelve menos importante a medida que disminuye el nivel de FDN.

En el estudio realizado por Mc. Geough *et al.* (2011) La producción de metano y gas total de los alimentos (maíz, cereales, ensilado de gramíneas) se relacionó con la composición química para evaluar la relación entre estas variables. A partir de este análisis, se observó que el 96% de la variación en la producción de metano por unidad de alimento incubado fue explicado por las variaciones en la digestibilidad de la materia orgánica *in vitro* (IVDMO), fibra detergente neutra (FDN) y ceniza. De estas variables, la mayor respuesta individual fue con FDN, que se relacionó negativamente con la producción de metano, sin embargo, esto difiere claramente con la tendencia esperada *in vivo*, por lo que se cuestionó su precisión para estimar metano en alimentos que difieran altamente en contenido de FDN y almidón. Moss (1994) reporta que la fibra detergente ácida digestible (FDA), la celulosa y la hemicelulosa son importantes fracciones de fibra que influyen en la producción de metano en el rumen. Experimentos *in vitro* podrían ser utilizados para obtener datos de producción de metano de diversos alimentos / forrajes para su uso posterior para estimar la producción de metano de rumiantes / ganado alimentado con diferentes piensos / forrajes o dietas (Bhatta *et al.*, 2017).

Banik *et al.* (2013) indican que la producción de metano no se correlacionó significativamente con ninguno de los parámetros del valor nutritivo de la planta. Sin embargo, la producción de metano tuvo una correlación positiva con algunos parámetros de fermentación, es decir, presión de gas ($r = 0,69$) y relación acetato: propionato ($r = 0,65$), estos resultados pueden deberse a que, aunque el análisis del valor nutritivo de la planta es un método ampliamente aceptado para la evaluación básica de la planta, simplifica las interacciones complejas que ocurren entre la planta y los microbios del rumen.

Además, Carulla *et al.* (2005) indican que los análisis del valor nutritivo se dirigen solo a los componentes seleccionados y no logran capturar todos los químicos de la planta, como los azúcares solubles u oligosacáridos o los compuestos secundarios de la planta (taninos y saponinas), que pueden ser responsables de moderar las poblaciones metanogénicas en el rumen pudiendo ser una limitante importante desde el punto de vista nutricional o tener un potencial en términos de mitigación de metano.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

La fase de campo (muestreo de especies vegetales) se realizó en el Centro Experimental “La Raya”, Universidad Nacional de San Antonio Abad de Cusco (UNSAAC); ubicado en el Distrito de Marangani, Provincia de Canchis, Departamento del Cusco., a una altitud promedio de 4313 m.s.n.m. La fase de laboratorio se realizó en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes, Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) y en el Laboratorio del Instituto de Nutrición Animal de la Universidad de Hohenheim en Stuttgart-Alemania.

3.2. Duración

El presente trabajo se llevó a cabo de febrero, 2018 a abril, 2019.

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales para la colección de muestras:

- Bolsas con cierre hermético.
- Bolsas de papel Kraft.
- Bolsas de polietileno.
- Cinta métrica 50 m.
- Pico con mango de madera.
- Tijeras corta césped.

3.3.2. Materiales y equipos para preparación de muestra (secado y molienda):

- Bandejas de aluminio para horno.
- Bolsas con cierre hermético
- Estufa de conveccion forzada BINDER, capacidad 720 l
- Molino de corte MF 10, IKA.

3.3.3. Materiales y equipos para determinar materia seca:

- Cápsulas pesa filtro de acero inoxidable

- Desecador.
- Pinzas
- Balanza Analítica OHAUS, capacidad 220 g/0.1 mg
- Estufa de conveccion forzada MEMMERT, capacidad 32 l

3.3.4. Materiales y equipos para determinar proteína cruda:

- Matraz Kjeldahl de 30 ml.
- Bureta de 25 ml.
- Vaso de precipitados de 100 ml.
- Matraz Erlenmeyer de 250 ml.
- Aparato de digestion Kjeldahl.
- Aparatode destilación Kjeldahl.
- Reactivos: HCl 0.01 N, NaOH 60%, Solución de ácido bórico con indicador.

3.3.5. Materiales y equipos para determinar materia orgánica:

- Crisoles de porcelana.
- Desecador.
- Pinzas.
- Mufla THERMCONCEPT, capacidad 9 l.

3.3.6. Materiales y equipos para determinar fibra detergente neutra:

- Bolsas para fibra, ANKOM F57
- Sellador de bolsas ANKOM 1915
- Desecador.
- Analizador de fibra ANKOM 200.
- Estufa de conveccion forzada MEMMERT, capacidad 32 l
- Reactivos: Solución detergente neutro, acetona grado reactivo

3.3.7. Materiales y equipos para determinar fibra detergente ácida:

- Bolsas para fibra, ANKOM F57
- Sellador de bolsas ANKOM 1915
- Desecador.

- Analizador de fibra ANKOM 200.
- Estufa de conveccion forzada MEMMERT, capacidad 32 l
- Reactivos: Solución detergente ácido, acetona grado reactivo

3.3.8. Materiales y equipos para determinar lignina detergente ácida:

- Bolsas para fibra, ANKOM F57
- Sellador de bolsas ANKOM 1915
- Incubador DAISY ANKOM D200.
- Estufa de conveccion forzada MEMMERT, capacidad 32 l
- Reactivos: H₂SO₄ al 72%, acetona grado reactivo.

3.3.9. Materiales y equipos para realizar incubación *in vitro*:

- Jeringas de cristal de 100 ml.
- Baño María.
- Gas CO₂.
- Licor ruminal de un bovino fistulado.
- Reactivos: Medio para Hohenheim Gas Test.

3.4. Metodología

3.4.1. Fases del trabajo

3.4.1.1. Fase de campo

Consistió en la colección de muestras (especies de pastos naturales deseables por las alpacas) presentes en diferentes sitios de pastizal (Chuspipujio, Caserío, Pulpera alta, Pulpera baja, Qquelloqa-Curpayani, Yanamayo, Plantakucho, Rayapata, Vilcanota, Mataballo bajo) en el Centro Experimental “La Raya” (tomado de Llantoy, 2009) siendo los meses de muestreo para la época lluviosa los meses de febrero y marzo, 2018 y, para la época seca en agosto del mismo año.

Las especies colectadas en ambas épocas fueron: *Alchemilla pinnata*, *Distichia muscoides*, *Carex ecuadorica*, *Hipochoeris taraxacoides*, *Muhlenbergia fastigiata*, *Muhlenbergia peruviana*, *Stipa brachiphylla*, *Stipa mucronata*.

Se propuso realizar 20 cortes de cada especie siendo mezcladas en una bolsa de polietileno para obtener una muestra representativa de cada sitio, sin embargo, cabe resaltar que no en todos los sitios de pastizal se encontraron todas las especies y en algunas zonas se encontraban escasas de pastos ya que, con la intención de corroborar el consumo de las alpacas, el muestreo se realizó en los lugares donde ellas se encontraban pastoreando en ese momento. El muestreo de las especies vegetales se realizó bajo el siguiente protocolo de colección:

a) Se recorrió caminando el área del pastizal con el método de transección al paso doble (cada metro).

b) Se realizó el corte de la parte aérea de las plantas al azar simulando lo que el animal hace en campo, es decir dejar 2-3 cm de altura como pasto remanente en el sitio para el caso de las especies de estrato alto (*Stipa brachiphylla*, *Stipa mucronata*) en el caso de las especies de estrato bajo y las que se encuentran postradas al suelo como es el caso de (*Hipochaeris taraxacoides*, *Alchemilla pinnata*, *Carex ecuadorica*, *Muhlenbergia fastigiata*, *Muhlenbergia peruviana*) se realizó el corte al ras del suelo, en el caso de la especie *Distichia muscoides* (especie de estrato postrado) el muestreo se realizó con la ayuda de un pico sacanado una porción del pasto conjunto con los tallos acuáticos y luego se procedió a separar las hojas cilíndricas, ya que, esa es la única parte comestible.

c) Se codificaron las muestras.

d) Las muestras fueron trasladadas al laboratorio para su preparación.

En la Tabla 2. se presentan los lugares de colección de las muestras de acuerdo a los tratamientos en ambas épocas (lluviosa y seca).

Tabla 2. Lugar de colección de acuerdo a la especie vegetal y época.

Espece vegetal	Sitio de colección- Época lluviosa	Sitio de colección- Época de seca
<i>Alchemilla pinnata</i>	Plantakucho, Yanamayo, Caserío	Caserío, Yanamayo
<i>Distichia muscoides</i>	Pulpera alta	Pulpera alta
<i>Carex ecuadorica,</i>	Pulpera alta	Rayapata, Pulpera baja, Plantakucho, Quelloqa- Curpayani, Vilcanota
<i>Hipochoeris taraxacoides</i>	Chuspipujio, Mataballo bajo	Chuspipujio
<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	Yanamayo, Vilcanota, Plantakucho, Caserío	Pulpera baja, Vilcanota, Plantakucho, Caserío
<i>Muhlenbergia peruviana</i>	Plantakucho, Mataballo bajo	Yanamayo, Quelloqa-Curpayani, Plantakucho, Mataballo bajo, Chuspipujio
<i>Stipa brachiphylla</i>	Mataballo bajo, Yanamayo	Vilcanota, Mataballo bajo
<i>Stipa mucronata</i>	Mataballo bajo	Mataballo bajo, Quelloqa-Curpayani

3.4.1.2. Fase de laboratorio

Consistió en la preparación y las mediciones analíticas en los pastos, la duración de esta fase comprendió los meses de marzo, abril, setiembre del 2018; y enero, febrero, abril del 2019.

La preparación de las muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición Animal (UNSAAC), bajo el siguiente protocolo:

- a) Las muestras fueron admitidas e inmediatamente se realizó el secado parcial al ambiente.
- b). Para el secado de las muestras, estas permanecieron en una estufa durante 96 horas a 40° C.
- d) Posteriormente se molieron las muestras en un molino de corte a 1 mm de diámetro.
- e) Finalmente las muestras fueron preservadas en contenedores adecuados hasta el momento de realizar los análisis posteriores.

En cuanto a las mediciones analíticas, se determinó la calidad nutritiva de los pastos a través de la composición química y su digestibilidad con la finalidad de establecer su relación con la producción de gas y metano *in vitro*.

Composición química

Se utilizó técnicas acreditadas, AOAC (Asociación de las comunidades analíticas) (2005):

- *Determinación de materia seca (MS)*

La determinación de la materia seca se calculó por la diferencia de la humedad encontrada en las muestras tratadas en una estufa a 105°C por 6 h, método AOAC (2005), 950.46.

- *Determinación de proteína cruda (PC)*

La determinación de proteína se calculó por el método Semi-Micro Kjeldahl (AOAC 2005).

- *Determinación de materia orgánica (MO)*

La determinación de la materia orgánica se calculó por la diferencia entre la materia seca y la ceniza encontrada en las muestras que fueron tratadas en una mufla a 550 °C por 7 h, AOAC (2005), 950.05.

- *Determinación de fibra detergente neutra o fibra total (FDN)*

Se determinó de acuerdo al método ANKOM (2005b). Method N° 6. Neutral Detergent Fiber in feed. Filter bags technique, donde se trata a las muestras en el Aparato de digestión - ANKOM Technology, Fiber Analyzer: A200/220 con solución detergente neutra por 75 minutos a 100°C y luego fueron sometidas a enjuague y secado en la estufa a 105°C por 2 horas.

- *Determinación de la fibra detergente ácida (FDA)*

La fibra detergente acida se determinó mediante la digestión de la misma con una solución detergente ácida durante 75 minutos a 100 °C, luego enjuagada y secada por 2 horas en una estufa a 105 °C, ANKOM (2005c). Method N° 5. Neutral Detergent Fiber in feed. Filter bags technique.

- *Determinación de la lignina detergente ácida (LDA)*

La lignina detergente acida se determinó mediante la digestión en la incubadora DAISY^{II} de las mismas muestras tratadas previamente para fibra detergente ácida, se utilizó ácido sulfurico durante 3 horas, luego fue enjuagada y secada por 2 horas en una estufa a 105 °C, para determinar LDA en base a materia orgánica se procedió, después del enjuague, a tratar

las muestras por 3 horas a 525°C en una mufla, ANKOM (2005a). Method N° 9 Acid Detergent Lignin in DAYSI. Filter bags technique.

Producción de gas *in vitro* para estimar digestibilidad, energía metabolizable y producción de metano

La prueba de producción de gases HGT (Hohenheim gas test, por sus siglas en inglés) fue diseñado por la Universidad de Hohenheim en Stuttgart, Alemania principalmente para estimar la digestibilidad de alimentos y estimar la energía metabolizable a través de la incubación *in vitro* y midiendo la producción de gases generada durante 24 horas (Menke *et al.* 1979). Esta prueba se realizó bajo el siguiente procedimiento:

- a) Se pesó aproximadamente 200 mg de materia seca 24 horas antes de iniciar la prueba, posteriormente se colocan en jeringas de cristal de 100 ml de volumen (36 mm de diámetro externo y 200 mm de longitud) con pistones a los cuales se les agrega vaselina. Las jeringas llevan un pequeño tubo de silicona en la punta con un clip plástico para cerrar la salida.
- b) Las jeringas se mantuvieron atemperadas a 39°C mediante baño María hasta el día siguiente de la incubación.
- c) La preparación del medio empezó aproximadamente a las 6:30 am para luego trabajar con el licor ruminal (proveniente de un bovino fistulado), 30 minutos antes de recibirlo. El medio se debe mantener a 39°C por baño María, con aplicación de un flujo constante de CO₂ y constante agitación magnética.
- d) El licor ruminal fue previamente filtrado, para luego ser agregado al medio totalmente reducido en una relación de uno de licor por dos de solución.
- e) Se agregaron 30 ml de la mezcla de licor ruminal con el medio en cada jeringa.
- f) Las jeringas se incubaron a 39°C, posteriormente las muestras se agitan a cada hora, durante 6 horas.

*Para estandarizar la variación en la actividad del licor ruminal se realizaron tres incubaciones en paralelo. Un blanco que contiene solo la mezcla de licor ruminal y del medio, y dos estándares mezclados con el licor ruminal y el medio. El primer estándar consiste en heno molido y el segundo es un concentrado. Estos estándares tienen una producción de gas conocida (49.16 y 61.13 ml/200mg MS respectivamente), la cual debe

coincidir con no más de 5 % de variabilidad con lo observado en la incubación, de lo contrario se descarta todo el lote de muestras incubadas.

- Digestibilidad *in vitro*

La digestibilidad de la materia orgánica (DMO, g/kg) se estimó a través de la fórmula sugerida por Close y Menke (1986) que utiliza los resultados de la prueba de producción de gas con el Hohenheim gas test junto con los datos de proteína cruda (PC) y ceniza (Cz).

$$\text{DMO(g/kg)} = 8.89 \times \text{PG} + 0.448 \times \text{PC} + 0.651 \times \text{Cz} + 149$$

Donde:

DMO: Digestibilidad de la materia orgánica (g/kg).

PG: producción de gas *in vitro* por 200 g MS de muestra (ml)

PC: proteína cruda, N x 6.25 (g/kg).

Cz: contenido de ceniza (g/kg).

- Energía Metabolizable

La energía metabolizable (EM, MJ/kg) se estimó también a través de la fórmula sugerida por Close y Menke (1986) con los resultados de la prueba de producción de gas y PC.

$$\text{EM(MJ/kg)} = 1.06 + 0.157 \times \text{PG} + 0.0084 \times \text{PC} + 0.022 \times \text{G} - 0.0081$$

Donde:

EM: Energía Metabolizable (MJ/kg)

PG: producción de gas *in vitro* por 200 g MS de muestra (ml)

PC: proteína cruda, N x 6.25 (g/kg).

G: Grasa cruda

- Producción de metano bajo un sistema *in vitro*

El contenido de CH₄ procedente del sistema de producción de gas presente en las jeringas se analizó en simultáneo a partir de la medición del volumen de gas a través de un analizador de voltaje (voltímetro) calibrado para el enjuague con nitrógeno molecular (gas cero) durante aprox. 10 minutos, seguidamente el instrumento fue purgado con el gas de calibración (estándar de metano, 12.1%). Las jeringas se conectaron directamente al analizador y se

inyectaron lentamente la totalidad del gas contenido hasta que la concentración de CH₄ mostrada fuera constante. El CH₄ producido por cada muestra se corrigió por la cantidad de CH₄ producido por las jeringas en blanco (que contenían solo el fluido ruminal) y por los factores de referencia de heno y alimento concentrado que se incluyeron en cada ciclo.

3.4.2. Análisis estadístico

Se decidió utilizar un Diseño Completamente al Azar (DCA) con ocho tratamientos (pastos altoandinos) y dos repeticiones para cada tratamiento, tal como se puede apreciar en la tabla 3. Para evaluar las diferencias entre la composición química, producción de gas y metano por especie y la comparación entre especies por época se utilizó la prueba de comparación de medias Tukey ($p < 0,05$). El modelo aditivo para este diseño experimental fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta.

μ = Efecto de la media general.

τ_i = Efecto del i-enésimo tratamiento.

e_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental.

Tabla 3. Distribución de tratamientos y repeticiones.

Tratamiento	Especie vegetal	Repeticiones
T1	<i>Alchemilla pinnata</i>	R1: Especie colectada en época lluviosa. R2: Especie colectada en época de seca.
T2	<i>Carex ecuadorica,</i>	R1: Especie colectada en época lluviosa. R2: Especie colectada en época de seca.
T3	<i>Distichia muscoides</i>	R1: Especie colectada en época lluviosa. R2: Especie colectada en época de seca.
T4	<i>Hypochoeris taraxacoides</i>	R1: Especie colectada en época lluviosa. R2: Especie colectada en época de seca.
T5	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	R1: Especie colectada en época lluviosa. R2: Especie colectada en época de seca.
T6	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	R1: Especie colectada en época lluviosa. R2: Especie colectada en época de seca.
T7	<i>Stipa brachiphylla</i>	R1: Especie colectada en época lluviosa. R2: Especie colectada en época de seca.
T8	<i>Stipa mucronata</i>	R1: Especie colectada en época lluviosa. R2: Especie colectada en época de seca.

Para establecer la relación entre el contenido químico nutricional y la producción de metano se empleó un análisis de correlación de Pearson y un análisis de regresión lineal múltiple. El modelo es el siguiente:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 * X_{i,1} + \beta_2 * X_{i,2} + \beta_3 * X_{i,3} + \beta_4 * X_{i,4} + \beta_5 * X_{i,5} + e_i$$

Donde:

Y_i = Variable dependiente (Cantidad de metano).

β_0 = Coeficiente de intersección, valor promedio de la variable Y cuando los valores de variables X son todos iguales a cero.

β_i = Coeficiente de regresión parcial de la variable X_i , $i=1$ (FDN g/kg MO), 2 (FDA g/kg MO), 3 (LDA g/kg MO), 4 (PC g/kg MO), 5 (GAS ml/kg MO), 6 (% DMO), 7 (EM MJ/kg).

e_{ij} = Efecto del error o residual.

*Se utilizó el software estadístico Minitab® 18.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Composición química de los pastos naturales altoandinos.

4.1.1. Época del año

Al comparar las especies de pasto natural de acuerdo a la época del año (lluviosa y seca) en todos los parámetros evaluados como, FDN y LDA se encontró que no hubo diferencias estadísticas significativas entre la época ($p=0.239$ y $p=0.089$) y para los parámetros de FDA y PC se encontró que si existe diferencias estadísticas significativas entre la época. En la Tabla 4. se presenta las medias de los parámetros, así también la comparación en parejas de Tukey con una confianza de 95%.

Tabla 4. Composición química de los pastos naturales (g/kg MO) de acuerdo a la época del año (lluviosa y seca).

Época	FDN	FDA	LDA	PC
Lluviosa	702.10 ^a ±154.50	351.59 ^a ±43.50	76.70 ^a ±46.10	111.04 ^a ±34.56
Seca	642.20 ^a ±173.00	318.40 ^b ±53.20	54.64 ^a ±29.96	82.52 ^b ±37.69

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p<0.05$)

Donde: FDN: Fibra Detergente Neutra, FDA: Fibra Detergente Ácida, LDA: Lignina Detergente Ácida ,y PC: Proteína Cruda.

De acuerdo a los datos presentados para todos los parámetros (FDN, FDA, LDA y PC), a pesar de que los datos para FDN y LDA no presentan diferencias estadísticas significativas, se puede observar que los pastos durante la época lluviosa tiene una media superior a los datos de la época seca, estos datos coinciden con Van Soest (1982) y Bojórquez (1994) que indican que en la época de verano equivalente a la época lluviosa por la alta temperatura y luminosidad solar. Existe un efecto de acelerar las funciones fisiológicas de las plantas, es decir un crecimiento acelerado, por tal razón es más rápida la madurez de la fibra en las paredes celulares de las plantas e incluso aumenta el proceso de lignificación.

4.1.2. Especie de pasto natural altoandino y la época

Se comparó los parámetros: FDN, FDA, LDA y PC de cada especie de acuerdo a la época del año (lluviosa y seca). En la Tabla 5. se presenta las medias de los parámetros, así también la comparación en parejas de Tukey, de acuerdo a la época y de acuerdo a la especie vegetal en cada época, con una confianza de 95%.

Tabla 5. Composición química de los pastos naturales (g/kg MO) de acuerdo a la época del año (lluviosa y seca) y especie.

Época	Especie	FDN	FDA	LDA	PC
Lluviosa	<i>Alchemilla pinnata</i>	435.97 ^{aD} ±3.52	327.67 ^{aB} ±3.73	149.41 ^{aA} ±2.48	145.97 ^{aB} ±0.54
	<i>Carex ecuadorica</i>	747.2 ^{aBC} ±18.9	397.40 ^{aA} ±3.56	115.67 ^{aAB} ±2.87	138.27 ^{aC} ±1.76
	<i>Distichia muscoides</i>	716.3 ^{aC} ±22.6	310.24 ^{aBC} ±13.25	76.82 ^{aBC} ±2.26	115.04 ^{aD} ±0.07
	<i>Hipochaeris taraxacoides</i>	364.62 ^{aE} ±11.16	298.81 ^{aC} ±8.33	139.43 ^{aA} ±12.82	152.19 ^{aA} ±2.62
	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	790.9 ^{bAB} ±25.4	330.42 ^{aB} ±9.40	82.71 ^{aBC} ±3.27	105.03 ^{aE} ±0.26
	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	773.4 ^{aAB} ±18.8	316.13 ^{bBC} ±1.75	49.50 ^{aCD} ±1.31	109.28 ^{aE} ±0.76
	<i>Stipa brachiphylla</i>	781.65 ^{aAB} ±4.46	393.53 ^{bA} ±5.63	31.11 ^{aD} ±0.95	73.26 ^{aF} ±0.423
	<i>Stipa mucronata</i>	820.45 ^{aA} ±5.54	407.38 ^{aA} ±2.77	29.20 ^{aD} ±25.3	49.3 ^{aG} ±1.37
Seca	<i>Alchemilla pinnata</i>	334.37 ^{bE} ±12.34	255.26 ^{bF} ±7.86	88.23 ^{bB} ±2.14	142.9 ^{aA} ±0.15
	<i>Carex ecuadorica</i>	592.57 ^{bC} ±14.60	285.67 ^{bE} ±3.42	27.78 ^{bF} ±0.71	108.63 ^{bC} ±0.24
	<i>Distichia muscoides</i>	684.01 ^{aB} ±16.56	282.64 ^{aE} ±4.35	44.24 ^{bD} ±1.24	117.31 ^{aB} ±1.29
	<i>Hipochaeris taraxacoides</i>	383.46 ^{aD} ±10.63	294.56 ^{aDE} ±0.38	117.58 ^{aA} ±0.6	89.56 ^{bD} ±1.73
	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	767.44 ^{aA} ±4.21	298.38 ^{bD} ±1.60	50.41 ^{bC} ±0.8	73.93 ^{bE} ±2.33
	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	765.39 ^{aA} ±10.60	331.12 ^{aC} ±0.95	50.97 ^{aC} ±1.37	53.93 ^{bF} ±0.62
	<i>Stipa brachiphylla</i>	782.88 ^{aA} ±5.32	424.41 ^{aA} ±5.54	31.35 ^{aEF} ±1.25	34.24 ^{bH} ±0.85
	<i>Stipa mucronata</i>	790.34 ^{bA} ±2.25	394.79 ^{bB} ±1.94	32.46 ^{bE} ±1.08	39.64 ^{bG} ±0.006

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Letras minúsculas representan comparación entre época (lluviosa y seca)

Letras mayúsculas representan comparación entre especies vegetales de acuerdo a la época

Donde: FDN: Fibra Detergente Neutra, FDA: Fibra Detergente Ácida, LDA: Lignina Detergente Ácida, y PC: Proteína Cruda.

4.1.2.1. Comparación de medias dentro de la época del año

En la época lluviosa se presentan diferencias estadísticas significativas para todos los parámetros evaluados (FDN, FDA, LDA y PC) entre todas las especies vegetales analizadas. Para el parámetro FDN la especie vegetal con una media superior significativa estadísticamente a las otras especies es la *Stipa mucronata* (820.45 g/kg MO) y la especie vegetal con la media inferior significativa estadísticamente es la *Hipochoeris taraxacoides* (364.62 g/kg MO). Para el parámetro FDA la especie vegetal con una media superior significativa estadísticamente es la *Stipa mucronata* (407.38 g/kg MO) y la especie vegetal con la media inferior significativa estadísticamente es la *Hipochoeris taraxacoides* (298.81 g/kg MO). Para el parámetro LDA la especie vegetal con una media superior significativa estadísticamente es la *Alchemilla pinnata* (149.41 g/kg MO) y la especie vegetal con la media inferior significativa estadísticamente es la *Stipa brachiphylla* (31.11 g/kg MO). Para el parámetro PC la especie vegetal con una media superior significativa estadísticamente a las otras especies es la *Hipochoeris taraxacoides* (152.19 g/kg MO) y la especie vegetal con la media inferior significativa estadísticamente es la *Stipa mucronata* (49.3 g/kg MO).

En la época seca se presentan diferencias estadísticas significativas para todos los parámetros evaluados (FDN, FDA, LDA y PC) entre todas las especies vegetales analizadas. Para el parámetro FDN la especie vegetal con una media superior significativa estadísticamente es la *Stipa mucronata* (790.34 g/kg MO) y la especie vegetal con la media inferior significativa estadísticamente es la *Hipochoeris taraxacoides* (383.46 g/kg MO). Para el parámetro FDA la especie vegetales con una media superior significativa estadísticamente es la *Stipa brachiphylla* (424.41 g/kg MO) y la especie vegetal con la media inferior significativa estadísticamente es la *Alchemilla pinnata* (255.26 g/kg MO). Para el parámetro LDA la especie vegetal con una media superior significativa estadísticamente es la *Hipochoeris taraxacoides* (117.58 g/kg MO) y la especie vegetal con la media inferior significativa estadísticamente es la *Stipa brachiphylla* (31.35 g/kg MO). Para el parámetro PC la especie vegetal con una media superior significativa estadísticamente frente a las otras especies es la *Alchemilla pinnata* (142.9 g/kg MO) y la especie vegetal con la media inferior significativa estadísticamente es la *Stipa brachiphylla* (34.24 g/kg MO).

4.1.2.1. Comparación de medias entre especies de pastos naturales de acuerdo a la época

Al realizar la comparación de medias entre especies vegetales de acuerdo a la época la *Alchemilla pinnata* presenta diferencias significativas entre la época lluviosa y seca para los parámetros evaluados (FDN, FDA y LDA), para el parámetro de PC no presenta diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, en todos los parámetros las medias son superiores en la época lluviosa. La fibra es un indicador de la calidad nutritiva, en este sentido Bojórquez (1994), indica que los valores de fibra aumentan durante la época lluviosa debido a que el estado de crecimiento es más rápido y se encuentra en pleno estado de floración, lo cual es coincidente con este trabajo ya que la *Alchemilla pinnata* al ser una especie perenne durante la época lluviosa se encuentra en etapa reproductiva cuyas fases fenológicas son el botón floral, inicio de floración y plena floración, lo que no sucede en época seca. Mayta, en su libro de cultivo y manejo de pastos, indican un valor de fibra cruda para esta especie, de 28% y 17.4 % para la época lluviosa y seca respectivamente, encontrándose la misma tendencia mencionada anteriormente.

Para el caso del *Carex ecuadorica*, presenta diferencias significativas entre la época lluviosa y seca para todos los parámetros evaluados (FDN, FDA, LDA y PC) teniendo las medias más altas para la época lluviosa, esta especie también es perenne y durante la época lluviosa se encuentra en etapa reproductiva, por otro lado en la época seca esta especie entra en dormancia disminuyendo así su estructura por lo tanto la proporción de hojas y tallos son más bajas, esto no solo provoca un bajo porcentaje de fibra, sino también de proteína cruda.

La *Distichia muscoides*, especie propia de bofedal no presenta diferencias estadísticas significativas para los parámetros de FDN, FDA y PC, lo cual nos indica que el manejo del bofedal es similar en ambas épocas, sin embargo si se presenta una diferencia numérica mayor para la época lluviosa, así mismo estadísticamente existe diferencia significativa para LDA, concordando con la teoría anterior de que en época seca la no presencia de inflorescencia produce que el contenido fibroso sea mayor.

El *Hipochaeris taraxacoides* también es una especie perenne, sin embargo, no presenta diferencias estadísticas significativas para los parámetros de FDN, FDA y LDA.

La *Muhlenbergia fastigiata* también es una especie perenne, al igual que las especies previas, presenta diferencias estadísticas significativas para todos los parámetros evaluados, reafirmando la tendencia explicada anteriormente. Mamani Linares *et al.* (2013) indican valores, para la época seca en el altiplano chileno, de 68.46 % (FDN) y 33.11 % (FDA) lo cual difiere numéricamente con los resultados presentados en este estudio para la misma época, sin embargo, el valor de FDN coincide para la época lluviosa. Por otro lado, Rodríguez *et al.*, (1986) reportan datos FDN y FDA para la etapa de diseminación cuya principal fase fenológica es el semilleo en dos temporadas de estudio (1980-81 y 1981-82), esta etapa corresponde para la época seca, los datos fueron de 73 y 74 %, lo cual se asemejan con lo reportado en este estudio.

La *Muhlenbergia peruviana* no presenta diferencias estadísticas significativas para los parámetros de FDN, LDA. Mamani Linares *et al.* (2013) indica valores, para la época seca en el altiplano chileno, de 67.75 % (FDN) y 38.78 % (FDA) lo cual difiere numéricamente con los resultados presentados en este estudio para la misma época.

La *Stipa brachiphylla*, no se encontró diferencias estadísticas significativas para FDN, LDA, sin embargo, la PC presenta diferencia estadística significativa encontrándose la media superior en la época lluviosa que lo encontrado en la época seca, lo cual indicaría que en la época lluviosa al encontrarse en fases de elongación y floración concentra mayor cantidad de proteína.

En el caso de la *Stipa mucronata*, presenta diferencias estadísticas significativas para todos los parámetros evaluados y presentan la misma tendencia de los pastos anteriores, es decir los valores en la época lluviosa son mayores que en la época seca. Para el caso de la cantidad de PC, para la mayoría de pastos se muestra una diferencia estadística significativa, siendo mayor el contenido de PC para la época lluviosa. Meale *et al.* (2012) señalan que la concentración de proteína cruda por debajo de 7% puede restringir la actividad microbiana debido a la falta de nitrógeno, siendo reportado en este estudio para los pastos *Stipa mucronata*, *Stipa brachiphylla* y *Muhlenbergia peruviana* en la época seca. Sin embargo, los niveles de proteína por encima de este valor se considera que potencia la multiplicación microbiana en el rumen, por lo tanto, mejora la fermentación, es decir la proteína al incidir directamente en el crecimiento microbiano compromete la producción de gas y producción de enzimas fibrolíticas.

4.2. Digestibilidad de la materia orgánica y energía metabolizable de los pastos naturales altoandinos.

4.2.1. Época del año

Al comparar las especies de pasto natural de acuerdo a la época del año (lluviosa y seca) en los parámetros evaluados digestibilidad de la materia orgánica (DMO) y energía metabolizable (EM) se encontró que no hubo diferencias estadísticas significativas. En la Tabla 6. se presenta las medias de los parámetros, así también la comparación en parejas de Tukey, de acuerdo a la época con una confianza de 95 %.

Tabla 6. Digestibilidad de la materia orgánica (%) y energía metabolizable (MJ/kg) de acuerdo a la época del año (lluviosa y seca).

Época	DMO	EM
Lluviosa	48.26 ^a ±12.53	5.71 ^a ±1.52
Seca	47.17 ^a ±12.06	5.94 ^a ±1.65

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Donde: DMO: Digestibilidad de la Materia Orgánica, EM: Energía Metabolizable.

Estos datos no coinciden con lo reportado en el estudio conducido por Reiner y Bryant (1984) donde evaluaron la selectividad y valor nutricional de dietas de alpacas pastoreadas en bofedales y pajonales ya que ellos reportan una DMO en promedio para dietas de laderas y bofedales 63 % y 64% para dieta de pajonales durante la época seca la digestibilidad decreció considerablemente, lo cual basándose en la alta correlación que existe entre la DMO y la energía digestible (ED), esto podría indicar una deficiencia energética durante ese periodo. Por otro lado, los datos observados para DMO en la época seca se acercan a lo reportado por San Martín (1987) que evaluó la composición nutritiva de dietas en tres diferentes especies de animales y en diferentes periodos del año en pastizales naturales y encontró que la calidad de dieta de alpacas en los pastizales naturales fue más bajo en la época seca (42.9 %) y hubo un incremento en la época lluviosa (55.3 %). La reducida calidad de la dieta observada en el periodo seco se debe a la madurez de la vegetación, la cual es acompañada por una reducida digestibilidad, bajo contenido de proteína cruda y a un incremento de los constituyentes de la pared celular.

4.2.2. Especie de pasto natural altoandino y la época

4.2.2.1. Comparación dentro de la época del año

Se comparó los parámetros DMO y EM de cada especie de acuerdo a la época del año (lluviosa y seca). En la Tabla 7. se presenta las medias de los parámetros, de acuerdo a la época y de acuerdo a la especie vegetal en cada época, con una confianza de 95%.

Tabla 7. Digestibilidad de la materia orgánica (%) y energía metabolizable (MJ/kg) de acuerdo a la época del año (lluviosa y seca) y especie.

Época	Especie	DMO	EM
Lluviosa	<i>Alchemilla pinnata</i>	57.68 ^{bC}	5.89 ^{bC}
	<i>Carex ecuadorica</i>	60.07 ^{aB}	7.15 ^{bB}
	<i>Distichia muscoides</i>	39.58 ^{bF}	4.91 ^{bE}
	<i>Hipchoeris taraxacoides</i>	70.18 ^{aA}	8.77 ^{bA}
	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	41.99 ^{aD}	4.53 ^{aG}
	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	41.20 ^{aE}	5.19 ^{aD}
	<i>Stipa brachiphylla</i>	38.92 ^{aG}	4.79 ^{aF}
	<i>Stipa mucronata</i>	36.47 ^{aH}	4.45 ^{aH}
Seca	<i>Alchemilla pinnata</i>	60.29 ^{aB}	7.31 ^{aB}
	<i>Carex ecuadorica</i>	54.36 ^{bC}	7.22 ^{aC}
	<i>Distichia muscoides</i>	42.71 ^{aD}	5.34 ^{aD}
	<i>Hipchoeris taraxacoides</i>	68.00 ^{bA}	8.88 ^{aA}
	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	38.71 ^{bF}	4.92 ^{bE}
	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	39.03 ^{bE}	4.83 ^{bF}
	<i>Stipa brachiphylla</i>	37.85 ^{bG}	4.63 ^{bG}
	<i>Stipa mucronata</i>	36.40 ^{bH}	4.36 ^{bH}

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Letras minúsculas representan comparación entre época (lluviosa y seca)

Letras mayúsculas representan comparación entre especies vegetales de acuerdo a la época

Donde: DMO: Digestibilidad de la Materia Orgánica, EM: Energía Metabolizable.

En la época lluviosa y seca la especie vegetal que tuvo una media superior significativa estadísticamente, para los parámetros DMO y EM, comparado a las otras especies fue la *Hipchoeris taraxacoides* (70.18 % y 8.7 MJ/kg respectivamente para la época lluviosa, y

68.00 y 8.88 respectivamente para la época seca), esta observación coincide con lo indicado por Waghorn y Barry (1987), la digestibilidad de la pastura facilita el cálculo de EM dada la alta correlación entre estas dos variables.

Lo observado previamente se corrobora con los datos obtenidos para la media inferior de los parámetros de DMO y EM, la especie vegetal que presenta una media inferior significativa estadísticamente en ambas épocas es la *Stipa mucronata* con 36.47 % y 4.45 MJ/kg respectivamente para la época lluviosa, y 36.40 % y 4.36 MJ/kg respectivamente para la época seca.

Salazar (2006) en su estudio de digestibilidad *in vitro* de 5 especies forrajeras reporta que la DMO de *Alchemilla pinnata* para la época lluviosa es de 68.55 %, lo cual difiere con lo observado en este estudio (57.68 %), en el caso de la época seca en este estudio se observa 60.29 %, lo cual difiere también del resultado reportado por Salazar (66.46 %). El autor también indica que la DMO para *Hipochaeris taraxacoides* en la época lluviosa es 72.83 %, lo cual es un dato similar a lo encontrado en este estudio (70.18 %), la DMO para la época seca encontrado en este estudio es 68 %, similar también a lo reportado por Salazar (58.87 %).

4.3. Producción de gas y metano en un sistema *in vitro* por los pastos naturales altoandinos consumidos por alpacas

4.3.1. Época del año

Al realizar la comparación de medias (con un nivel de confianza de 95%) de la producción de gas y metano originado por las especies de pasto natural de acuerdo a la época del año (lluviosa y seca), no se encontró diferencias estadísticas significativas ($p=0.719$) para producción de gas, tampoco para producción de metano ($p=0.245$), sin embargo, numéricamente las medias superiores se presentan en época seca. En la Tabla 8. se presenta las medias de los parámetros, de acuerdo a la época (lluviosa y seca) con una confianza de 95%.

Tabla 8. Producción de gas y metano *in vitro* de los pastos naturales (ml/kg MO) de acuerdo a la época del año (lluviosa y seca).

Época	GAS	CH ₄
Lluviosa	150 617 ^a ±66 655	25 939 ^a ±9 363
Seca	156 635 ^a ±67 524	28 553 ^a ±8 452

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Donde: GAS: Producción de gas *in vitro*, CH₄: Producción de metano *in vitro*

4.3.2. Producción de gas y metano *in vitro* por cada especie de pasto natural altoandino y la época del año

Se comparó los parámetros: producción de gas *in vitro* y producción de metano. En la Tabla 9. se presenta las medias de los parámetros, de acuerdo a la época y de acuerdo a la especie vegetal en cada época, con una confianza de 95%.

Tabla 9. Producción de gas y metano *in vitro* (ml/kg MO) de acuerdo a cada especie de pasto natural altoandino y época

Época	Especie	GAS	CH ₄
Lluviosa	<i>Alchemilla pinnata</i>	167 673 ^{bC} ±5 514	35 276 ^{aB} ±1 749
	<i>Carex ecuadorica</i>	206 941 ^{aB} ±8 485	31 585 ^{aC} ±1 504
	<i>Distichia muscoides</i>	100 698 ^{bDE} ±4 512	19 045 ^{bEF} ±583
	<i>Hypochoeris taraxacoides</i>	279 177 ^{aA} ±10 779	43 809 ^{aA} ±1 167
	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	95 878 ^{bE} ±4 712	16 610 ^{bF} ±385
	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	114 180 ^{aD} ±2 523	22 329 ^{aD} ±988
	<i>Stipa brachiphylla</i>	107 866 ^{aDE} ±4 361	20 236 ^{bDE} ±919
	<i>Stipa mucronata</i>	100 380 ^{aEF} ±3 506	18 622 ^{bEF} ±718
Seca	<i>Alchemilla pinnata</i>	229 208 ^{aB} ±8 640	36 987.3 ^{aB} ±760
	<i>Carex ecuadorica</i>	194 173 ^{aC} ±7 956	33 704 ^{aC} ±1 657
	<i>Distichia muscoides</i>	117 912 ^{aD} ±5 107	24 013 ^{aD} ±1 160
	<i>Hypochoeris taraxacoides</i>	285 242 ^{aA} ±6 416	44 757 ^{aA} ±2 181
	<i>Muhlenbergia fastigiata</i>	110 735 ^{aD} ±5 184	20 748 ^{aE} ±806
	<i>Muhlenbergia peruviana</i>	113 849 ^{aD} ±5 484	23 349 ^{aDE} ±1 145
	<i>Stipa brachiphylla</i>	112 398 ^{aD} ±4 873	22 502 ^{aDE} ±1 132
	<i>Stipa mucronata</i>	89 563 ^{bE} ±4 280	22366 ^{aDE} ±1 079

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Letras minúsculas representan comparación entre época (lluviosa y seca)

Letras mayúsculas representan comparación entre especies vegetales de acuerdo a la época

Donde: GAS: Producción de gas *in vitro*, CH₄: Producción de metano *in vitro*

4.3.2.1. Comparación de medias dentro de la época del año

En la época lluviosa se presentan diferencias estadísticas significativas para todos los parámetros evaluados (GAS y CH₄) entre todas las especies vegetales analizadas. Para el parámetro GAS la especie vegetal con una media superior significativa estadísticamente a las otras especies es *Hipchoeris taraxacoides* (279 177 ml/kg MO) y la especie vegetal con la media inferior significativa estadísticamente es la *Stipa mucronata* (100 380 ml/kg MO). Para el parámetro CH₄ la especie vegetal con una media superior significativa estadísticamente es la *Hipchoeris taraxacoides* (43 809 ml/kg MO) y la especie vegetal con la media inferior significativa estadísticamente es la *Muhlenbergia fastigiata* (16 610 ml/kg MO).

En la época seca se presentan diferencias estadísticas significativas para todos los parámetros evaluados (GAS y CH₄) entre todas las especies vegetales analizadas. Al igual que en la época lluviosa, para los parámetros GAS y CH₄ la especie vegetal con una media superior significativa estadísticamente es la *Hipchoeris taraxacoides* (285 242 y 44 757 ml/kg MO respectivamente) y la especie vegetal con la media inferior significativa estadísticamente para el parámetro GAS es la *Stipa mucronata* (89 563 ml/kg MO), para el parámetro CH₄ la especie vegetal con una media inferior significativa estadísticamente es la *Muhlenbergia fastigiata* (20 748 ml/kg MO).

4.3.2.2. Comparación de medias entre especies de pastos naturales de acuerdo a la época del año

Al realizar la comparación de Tukey entre especies vegetales de acuerdo a la época la *Alchemilla pinnata* presenta diferencias significativas entre la época lluviosa y seca para el parámetro GAS, teniendo una mayor producción de gas en la época seca (229 208 vs 167 673 ml/kg MO) el parámetro de CH₄ no presenta diferencias estadísticas significativa (35 276 vs 36 987.3 ml/kg MO para la época lluviosa y seca respectivamente).

Para el caso del *Carex ecuadorica* no presenta diferencias significativas entre la época lluviosa y seca para todos los parámetros evaluados (GAS y CH₄), para el parámetro de GAS se tiene los siguientes datos en la época lluviosa y seca: 206 941 y 194 173 ml/kg MO respectivamente, para el parámetro de CH₄ se tiene los siguientes datos en la época lluviosa y seca: 31 585 y 33 704 ml/kg MO respectivamente.

La *Distichia muscoides*, presenta diferencias estadísticas significativas para ambos parámetros (GAS y CH₄), para el parámetro de GAS se tiene los siguientes datos en la época lluviosa y seca: 100 698 y 117 912 ml/kg MO respectivamente, para el parámetro de CH₄ se tiene los siguientes datos en la época lluviosa y seca: 19 045 y 24 013 ml/kg MO respectivamente, en ambos casos las medias mayores son para la época seca.

El *Hipochaeris taraxacoides* no presenta diferencias estadísticas significativas para los parámetros de GAS y CH₄, para el parámetro de GAS se tiene los siguientes datos en la época lluviosa y seca: 279 177 y 285 242 ml/kg MO respectivamente, para el parámetro de CH₄ se tiene los siguientes datos en la época lluviosa y seca: 43 809 y 44 757 ml/kg MO respectivamente, en ambos casos las medias mayores son para la época seca.

La *Muhlenbergia fastigiata* presenta diferencias estadísticas significativas para los parámetros evaluados, en ambos casos las medias superiores se encuentran en la época seca, para el parámetro de GAS se tiene los siguientes datos en la época lluviosa y seca: 95 878 y 110 735 ml/kg MO respectivamente, para el parámetro de CH₄ se tiene los siguientes datos en la época lluviosa y seca: 16 610 y 20 748 ml/kg MO respectivamente.

La *Muhlenbergia peruviana* no presenta diferencias estadísticas significativas para los parámetros evaluados, para el parámetro de GAS se tiene los siguientes datos en la época lluviosa y seca: 114 180 y 113 849 ml/kg MO respectivamente, para el parámetro de CH₄ se tiene los siguientes datos en la época lluviosa y seca: 22 329 y 23 349 ml/kg MO respectivamente.

La *Stipa brachiphylla*, al realizar la comparación de Tukey no se encontró diferencias estadísticas significativas para GAS, sin embargo, la CH₄ presenta diferencia estadística significativa encontrándose la media superior en ambos parámetros en la época seca que lo encontrado en la época lluviosa, para el parámetro de GAS se tiene los siguientes datos en la época lluviosa y seca: 107 866 y 112 398 ml/kg MO respectivamente, para el parámetro de CH₄ se tiene los siguientes datos en la época lluviosa y seca: 20 236 y 22 502 ml/kg MO respectivamente.

En el caso de la *Stipa mucronata*, presenta diferencias estadísticas significativas para los parámetros evaluados, para el parámetro de GAS se tiene los siguientes datos en la época lluviosa y seca: 100 380 y 89 563 ml/kg MO respectivamente, para el parámetro de CH₄ se tiene los siguientes datos en la época lluviosa y seca: 18 622 y 22 366 ml/kg MO respectivamente.

Los datos reportados en este estudio para la especie *Hipochoeris taraxacoides* en ambas épocas (279 177 ml/kg MO para la época lluviosa y 285 242 ml/kg MO para la época seca). coinciden con lo reportado por Hatew *et al.* (2015) donde en su estudio comparativo de niveles de almidón en los animales con alimento de alta calidad nutricional (ensilado de maíz y concentrado para vacunos) se reportó una producción de gas desde 249 000 ml/kg MO a 297 000 ml/kg MO (530 g de almidón fermentable rápidamente y lentamente por kg de MS concentrada respectivamente) Por otro lado, Hatew *et al.* (2015) también se reportaron una producción de metano desde 36 800 ml/kg MO a 50 600 ml/kg MO (530 g de almidón fermentable rápidamente y 270 g de almidón fermentable lentamente por kg de MS concentrada respectivamente) estos datos se aproximan a lo reportado en este estudio en ambas épocas (lluviosa y seca) de las especies *Hipochoeris taraxacoides* (43809 y 44757ml/kg MO respectivamente) y *Alchemilla pinnata* (35 276 y 36 987.3 ml/kg MO).

Los datos observados en el presente estudio de las especies en época seca *Hipochoeris taraxacoides* (285 242 ml/kg MO) y *Alchemilla pinnata* (229 208 ml/kg MO) se aproximan lo reportado por Chen *et al.* (2016) en su estudio con doce alimentos (cereales, subproductos fibrosos, subproductos ricos en proteína y forrajes) los cuales reportan que, la producción de gas para los forrajes varió desde 257 000 ml/ kg MO para el heno de alfalfa, 256 000 ml/kg MO para heno de bermuda y 318 000 ml/kg MO para ensilado de maíz;. Por otro lado, la producción de metano para los forrajes varió desde 51 900 ml/ kg MO para el heno de alfalfa, 49 900 g/kg MO para heno de bermuda y 39 600 g/kg MO para ensilado de maíz; los datos observados en ambas épocas (lluviosa y seca) en el presente estudio de las especies *Hipochoeris taraxacoides* (43 809 y 44 757ml/kg MO respectivamente) y *Alchemilla pinnata* (35 276 y 36 987.3 ml/kg MO) son los que más se aproximan a lo reportado por los autores mencionados.

4.4. Relación entre la composición química y la producción de metano *in vitro* por los pastos naturales altoandinos

El coeficiente de correlación para la producción de metano con los componentes químicos de los pastos (FDN, FDA, LDA, PC) y así también la producción de gas *in vitro*, la DMO y la EM, se puede observar en la Tabla 10.

Tabla 10. Coeficiente de correlación de la producción de metano *in vitro* con producción de gas, PC, FDN, FDA, LDA, DMO y EM.

Época	GAS	FDN	FDA	LDA	PC	DMO	EM
General	0.961	-0.907	-0.454	0.702	0.558	0.961	0.942
Lluviosa	0.952	-0.892	-0.340	0.803	0.764	0.955	0.918
Seca	0.980	-0.926	-0.515	0.825	0.575	0.989	0.980

Donde: GAS: Producción de gas *in vitro*, FDN: Fibra Detergente Neutra, FDA: Fibra Detergente Ácida, LDA: Lignina Detergente Ácida, PC: Proteína Cruda, DMO: Digestibilidad de la Materia Orgánica, EM: Energía Metabolizable

El coeficiente de correlación es una medida que permite conocer el grado de asociación lineal entre dos variables cuantitativas, según los datos registrados se observa que, para todos los datos independiente de la época, existe un nivel de asociación muy alta ($0.80 < r < 1$) positiva entre la producción de metano y los parámetros GAS, DMO y EM, la asociación entre la producción de metano y LDA también es alta ($0.60 < r < 0.80$), también se puede observar una asociación moderada ($0.40 < r < 0.60$) entre la producción de metano y PC. Por otro lado, se observa una asociación muy alta ($0.80 < r < 1$) negativa entre la producción de metano y FDN y para finalizar existe un nivel de asociación moderada ($0.40 < r < 0.60$) negativa entre la producción de metano y LDA.

Para la época lluviosa, el nivel de asociación de la producción de metano con la producción de gas DMO, EM y LDA es muy alta positiva; la asociación con PC es alta positiva. En el caso de FDN se presenta una asociación muy alta negativa, y por último, la FDA presenta una asociación baja ($0.20 < r < 0.40$) negativa.

Por otro lado, para la época seca, existe un nivel de asociación muy alta positiva de la producción de metano con la producción de gas, DMO, EM y LDA; por el contrario, la FDN presenta una asociación muy alta negativa; la FDA presenta una asociación moderada negativa.

Por otra parte, los coeficientes de correlación obtenidos en este estudio varían desde asociación moderada a muy alta positiva y negativa, lo cual difiere con lo reportado por Banik *et al.* (2013), quienes en su estudio con diferentes pasturas de Australia no encontraron correlación con alguno de los parámetros del valor nutritivo de la planta.

Los datos registrados en este estudio, correspondiente al coeficiente de correlación de la PC y LDA (positiva en ambos casos) no coinciden con lo reportado por Chen *et al.* (2016) en su estudio donde también analiza la relación que existe entre la composición química (FDN, FDA, LDA y PC) con la producción de metano incubados *in vitro* por 48 horas, la producción de metano se encuentra correlacionado negativamente con PC y LDA ($p < 0.05$) para los alimentos estudiados en general. En cuanto a la FDN y FDA Chen *et al.* (2016) también encontraron correlación positiva en los forrajes lo cual, también, difieren de los datos encontrados en el presente estudio (correlación negativa). Sin embargo, la asociación negativa de la FDN con la producción de metano en ambas épocas en este estudio coincide con lo reportado por McGeough *et al.* (2011) en su estudio con maíz, cereales y ensilado de gramíneas.

Los resultados reportados en este estudio no se encuentran dentro de lo esperado, esto podría deberse a que en el presente estudio el tiempo de incubación es de 24 horas, McGeough *et al.* (2011) también utilizan el mismo tiempo de incubación lo que aparentemente concuerda en la correlación negativa de la FDN con la producción de metano en ambos estudios, lo cual podría significar un tiempo de incubación demasiado corto para forrajes destinados a la alimentación de las alpacas, y podría ser atribuido a que el tiempo recomendado por la NRC (2001) para la digestión de las fracciones fibrosas es de 48 horas para estimar el contenido de los nutrientes digestibles totales, esto se argumenta con que el alimento fibroso permanece en el rumen de 20 a 48 horas. Por otro lado, algunos laboratorios disminuyeron el tiempo de incubación a 30 y 24 horas debido a que comparado con la digestión *in vivo* el tiempo de retención de los alimentos menos fibrosos es de alrededor 30 horas. Por lo expuesto, los pastos

utilizados en este estudio destinados a la alimentación de alpacas, que son más fibrosos, necesitarían un tiempo de incubación mayor al de 24 horas, para poder así ver su verdadera producción de gas y metano y en función a esto establecer un nuevo coeficiente de correlación.

Con respecto al análisis de regresión de la producción de metano con la producción de gas en. se presenta la ecuación obtenida independiente de la época ($R^2 = 92.28\%$).

$$\text{CH}_4(\text{ml/kg MO}) = 7\,371 + 0.13090 \text{ GAS (ml/kg MO)}$$

En la Tabla 11. se presenta las ecuaciones obtenidas durante el análisis de regresión de la producción de metano con los componentes químicos de los pastos.

Tabla 11. Ecuación de regresión de producción de metano con componentes químicos de pastos naturales.

Ecuación	R^2 (%)
$\text{CH}_4(\text{ml/kg MO}) = 57214 - 46.21 \text{ FDN}$	82.25
$\text{CH}_4(\text{ml/kg MO}) = 56610 - 52.15 \text{ FDN} + 26.9 \text{ FDA}$	84.83
$\text{CH}_4(\text{ml/kg MO}) = 49213 - 49.86 \text{ FDN} + 29.2 \text{ FDA} + 13.4 \text{ LDA}$	85.89
$\text{CH}_4(\text{ml/kg MO}) = 48810 + 0.5 \text{ PC} - 51.47 \text{ FDN} + 34.6 \text{ FDA} + 8.2 \text{ LDA}$	85.69
$\text{CH}_4(\text{ml/kg MO}) = 48651 - 52.57 \text{ FDN} + 37.5 \text{ FDA} + 5.7 \text{ PC}$	85.65
$\text{CH}_4(\text{ml/kg MO}) = 56750 - 44.73 \text{ FDN} + 35.8 \text{ LDA} - 28.3 \text{ PC}$	84.07
$\text{CH}_4(\text{ml/kg MO}) = 37692 - 52.5 \text{ FDA} + 149.5 \text{ LDA} - 27.8 \text{ PC}$	53.66
$\text{CH}_4(\text{ml/kg MO}) = 52176 - 40.85 \text{ FDN} + 24.9 \text{ LDA}$	83.22
$\text{CH}_4(\text{ml/kg MO}) = 59766 - 48.00 \text{ FDN} - 11.0 \text{ PC}$	83.02
$\text{CH}_4(\text{ml/kg MO}) = 26254 - 27.9 \text{ FDA} + 105.5 \text{ PC}$	32.82
$\text{CH}_4(\text{ml/kg MO}) = 14966 + 127.4 \text{ LDA} + 32.7 \text{ PC}$	47.42

Donde: CH_4 : Producción de metanos in vitro, FDN: Fibra Detergente Neutra, FDA: Fibra Detergente Ácida, LDA: Lignina Detergente Ácida, PC: Proteína Cruda.

De acuerdo a las ecuaciones presentadas en la Tabla 11. se puede concluir que las ecuaciones que más predicen la producción de metano, son las que tienen incluidos la fibra siendo la fracción principal la FDN.

Referente al análisis de regresión de la producción de metano con la DMO de los pastos se obtuvo la siguiente ecuación ($R^2 = 92.41\%$) para todos los datos independiente de la época, el cual se presenta a continuación: $CH_4(\text{ml/kg MO}) = -9\ 228 + 761.2 \text{ DMO}$

V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se realizó el presente estudio, se concluye en lo siguiente:

1. La producción de metano *in vitro* de los pastos naturales altoandinos en la época lluviosa fue de 25 939 ml/kg MO., observando la mayor producción con el pasto *Hipchoeris taraxacoides* (43 809 ml/kg MO) y la menor producción con el pasto *Muhlenbergia fastigiata* (16 610 ml/kg MO).
2. La producción de metano *in vitro* de los pastos naturales altoandinos en la época seca fue de 28 553 ml/kg MO, registrando la mayor producción con el pasto *Hipchoeris taraxacoides* (44 757 ml/kg MO) y la menor producción con el pasto *Muhlenbergia fastigiata* (20 748 ml/kg MO).
3. Los coeficientes de correlación entre la producción de metano y los parámetros GAS, DMO y EM son: 0.961, 0.961, 0.942 respectivamente. Los coeficientes de correlación entre la producción de metano y los parámetros FDN, FDA, LDA y PC son: -0.907,-0.454, 0.702, 0.558 respectivamente.
4. Las ecuaciones de regresión que más se ajustan a la producción de metano obtenidas en este estudio son:
 - $CH_4(\text{ml/kg MO}) = 49\,213 - 49.48 \text{ FDN} + 29.2 \text{ FDA} + 13.4 \text{ LDA}$ ($R^2 = 85.89\%$)
 - $CH_4(\text{ml/kg MO}) = 7\,371 + 0.13090 \text{ GAS}$ ($R^2 = 92.28\%$)
 - $CH_4(\text{ml/kg MO}) = -9\,228 + 761.2 \text{ DMO}$ ($R^2 = 92.41\%$)

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar el mismo estudio con contenido digestivo de alpacas, puesto que tiene una población bacteriana distinta, pudiendo afectar la producción de gas y metano *in vitro*.
2. Se recomienda realizar el mismo estudio con un tiempo de incubación mayor al de 24 horas
3. Se sugiere realizar estudios de producción de metano entérico *in vivo* en alpacas que consuman una dieta a base de los pastos utilizados en este estudio para establecer una comparación con los datos obtenidos en la presente investigación.
4. Se recomienda mejorar las técnicas de muestreo en campo de las especies vegetales para evitar cualquier tipo de contaminación que perjudique los resultados de los análisis en laboratorio.
5. Se recomienda tener un mejor manejo en la rotación de pasturas en praderas altoandinas, para evitar tener diferentes estados fenológicos de la misma especie vegetal dentro de una misma época (lluviosa y seca)
6. Se recomienda estudiar los efectos de los compuestos bioactivos, que también tiene una participación en la producción de metano, de cada especie vegetal utilizada en este estudio.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANKOM. 2005a. Acid detergent fiber in feeds. Filter Bag Technique. ANKOM technology method 5. Macedon, NY.

ANKOM. 2005b. Method for determining acid detergent lignin in DAYSI. ANKOM technology method 9. Macedon, NY.

ANKOM. 2005c. Neutral detergent fiber in feeds. Filter Bag Technique. ANKOM technology method 6. Macedon, NY.

AOAC. (Assotiation of Official Analytical Chemists). 2005. Official methods of analysis.

Baloyi, J. J.; Ngongoni, N. T; Hamudikuwanda, H. 2008. Chemical composition and ruminal degradability of cowpea and silverleaf desmodium forage legumes harvested at different stages of maturity. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 8(1), 0.

Banik, B. K.; Durmic, Z.; Erskine, W; Nichols, P.; Ghamkhar, K.; Vercoe, P. 2013. Variability of in vitro ruminal fermentation and methanogenic potential in the pasture legume biserrula (*Biserrula pelecinus* L.) *Crop and Pasture Science*, 64(4), 409-416.

Barco, D.; Vargas, P. 2010. "El cambio climático y sus efectos en el Perú," *Revista Moneda, Banco Central de Reserva del Perú*, 143(1), 25-29.

Bhatta, R.; Saravanan, M.; Baruah, L.; Malik, P.; Sampath, K. 2017. Nutrient composition, rate of fermentation and in vitro rumen methane output from tropical feedstuffs. *The Journal of Agricultural Science*, 155(1), 171-183.

Bojorquez C. 1994. Alimentación del ganado lechero en base a pasturas. UNMSM/IVITA. Huancayo.

Botero, E. U. 2015. El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina. UN. 77 pp.

Bustanza, V.; Medina, G.; Fernández, E. 1985. Crecimiento de la alpaca. V Convención Internacional sobre Camélidos Sudamericanos. Cuzco, Perú.

Castellaro, G.; Ullrich, R.; Wackwitz, B.; Raggi, S. 2004. Composición botánica de la dieta de alpacas (*Lama pacos* L.) y llamas (*Lama glama* L.) en dos estaciones del año, en praderas altiplánicas de un sector de la Provincia de Parinacota, Chile. *Agricultura técnica*, 64(4), 353-363.

Carmona, J. C.; Bolívar, D. M.; Giraldo, L. A. 2005. El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), 49-63.

Carulla, J. E.; Kreuzer, M.; Machmüller, A.; Hess, H. D. 2005. Supplementation of *Acacia mearnsii* tannins decreases methanogenesis and urinary nitrogen in forage-fed sheep. *Australian journal of agricultural research*, 56(9), 961-970.

CENAGRO. 2012. Tercer. Censo Nacional Agropecuario. Boletín 02, MINAGRI, 2012.

Chen, C. N.; Lee, T. T.; Yu, B. 2016. Improving the Prediction of Methane Production Determined by in Vitro Gas Production Technique for Ruminants. *Annals of Animal Science*, 16(2), 565-584.

CNCC (Comisión Nacional de Cambio Climático). 2002. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Versión N.º 8. Lima. Recuperado de <http://www.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/imagenes/Estrategia%20Nacional20de%20Cambio%20Climatico.pdf>

Close, W.; Menke, K.H. 1986. Selected topics in animal nutrition. Feldafing, Germany: Deutsche Stiftung für internationale Entwicklung.

De Blas, C.; García-Rebollar, P.; Cambra-López, M.; Torres, A. G. 2008. Contribución de los rumiantes a las emisiones de gases con efecto invernadero. XXIV Curso de especialización FEDNA. Editorial FEDNA. Madrid, 121-150.

Dittmann M.T; Runge U.; Lang R.A.; Moser D.; Galeffi C.; Kreuzer M.; Clauss M. 2014. Methane Emission by Camelids. *PLoS One*, 9(4): 94363.

Durmic, Z.; Hutton, P.; Revell, D. K.; Emms, J.; Hughes, S.; Vercoe, P. E. 2010. In vitro fermentative traits of Australian woody perennial plant species that may be considered as potential sources of feed for grazing ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 160(3), 98-109.

- FAO.2009. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Roma, Italia pp 200.
- Farfán R.; Farfán E. 2012. Producción de pasturas cultivadas y manejo de pastos naturales altoandinos, Moquegua; INIA – Gobierno regional de Moquegua 260pp.
- Flores, M. E. 1980. Boletín, Manejo y Conservación de Praderas Naturales .UNALM. Lima. 12 pp.
- Flores, E. 1991. Manejo y Utilización De Pastizales. Oficina Regional de FOA para América latina y el Caribe. 429 pp.
- Flores, E.; Zegarra.; R. 1999. Inventario de recursos naturales optimización de estrategias para el mejoramiento de praderas nativas en el fundo San Lorenzo - Ancash. Convenio Laboratorio de Utilización de Pastizales y CEDEP. 8 pp.
- Florez, E.; Cruz J.; Ñaupari. J. 2005. Utilización de praderas cultivadas en secano y praderas naturales para la producción lechera. Boletín Técnico. Convenio LUP-INCAGRO. Lima Perú. 24 pp.
- Flores, E. R.; Cruz, J.; López, M. 2007. Management of sheep genetic resources in the Central Andes of Peru. En Tempelman, K. y Cardellino, R. (Eds.). People and animals. Traditional livestock keepers: Guardians of domestic animal diversity, pp. 47-58. Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Flores, E. R.; Ñaupari, J. A.; Tácuna, R. E. 2014. La economía del cambio climático en el Perú: Ganadería altoandina. En Ludeña, C. E., Sánchez Aragón, L., de Miguel, C., Martínez, K. y Pereira, M. (Eds.). La economía del cambio climático en el Perú. Lima, Banco Interamericano de Desarrollo / Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Recuperado de [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/1136,37419\(2\),1420992_es](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/1136,37419(2),1420992_es).
- Flores, E. 2019. Cambio climático: pastizales altoandinos y seguridad alimentaria. Climate Change: High Andean Rangelands and Food Security, 1(6) -10.
- Getachew, G.; Blummel, M.; Makkar, H.P.S.; Becker K. 1998. In vitro gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. Animal Feed Science and Technology, 72(3-4), 261–281.

Getachew, G.; Robinson, P. H.; Depeters, E. J.; Taylor, S. J. 2004. Relationships between chemical composition, dry matter degradation and in vitro gas production of several ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 111(1), 57-71.

Gómez, C.; Fernández, M.; García, O. 2008. Methane emissions from enteric fermentation of representative dairies in Peru in relation to economic performance. IFCN Dairy Report 2008 International Farm Comparison Network (poster), IFCN Dairy Research Center, Kiel.

Hatew, B.; Cone, J. W.; Pellikaan, W. F.; Podesta, S. C.; Bannink, A.; Hendriks, W. H., Dijkstra, J. 2015. Relationship between in vitro and in vivo methane production measured simultaneously with different dietary starch sources and starch levels in dairy cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 202((4), 20-31.

INGEI.2012 Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Perú, MINAM

IPCC. 2007. Guidelines for national greenhouse gas inventories, Available online:<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.

IPCC. 2014. Bases físicas, Resumen para responsables de políticas, Resumen técnico y Preguntas frecuentes.

Iantcheva, N.; Steingass, H.; Todorov, N.; Pavlov, D. 1999. A comparison of in vitro rumen fluid and enzymatic methods to predict digestibility and energy value of grass and alfalfa hay. *Animal Feed Science and Technology*, 81(3-4), 333-344.

Janssen, P. H. 2010. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. *Animal Feed Science and Technology*, 160(1-2), 1-22.

Johnson, K.A.; Johnson D.E. 1995. Methane emissions from cattle. *J Animal Science*, 73(8), 2483-2492

Jones, D.I.H.; Wilson, A.D. 1987. Nutritive quality of forage. In: Hacker, J.B., Ternouth, J.H. Eds., *The Ž . Nutrition of Herbivores*. Academic Press, Marrickville, Australia, pp. 65–89.

Kajikawa, H.; Hai J.; Terada, F.; Suga, T. 2003. Operation and characteristics of newly improved and marketable artificial rumen (Rusitec). In: *Memoirs of National Institute of Livestock and Grassland Science*. N°2.

Liu, Q.; Dong, C. S.; Li, H. Q.; Yang, W. Z.; Jiang, J. B.; Gao, W. J.; Liang, Z. Q. 2009. Forestomach fermentation characteristics and diet digestibility in alpacas (*Lama pacos*) and sheep (*Ovis aries*) fed two forage diets. *Animal feed science and technology*, 154(3-4), 151-159.

Llantoy H. 2009. Evaluación de la composición florística y la condición de los pastizales del CICAS LA RAYA. Tesis de pregrado presentada para optar al título profesional de Ingeniero Zootecnista. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Mamani-Linares W.; Gallo C.; Pulido R.G. 2013 Composición botánica y contenido nutricional de pasturas nativas en periodo seco en el altiplano. Conferencia en :XXXVII Congreso anual Sociedad Chilena de Producción.

Martínez, A.; Núñez, E.; Silva, Y.; Takahashi, K.; Trasmonte, G.; Mosquera, K.; Lagos, P. 2006. Vulnerability and adaptation to climate change in the Peruvian Central Andes: Results of a pilot study. En *Proceedings of the 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (ICSHMO)*, Foz do Iguaçu, Brazil, São José dos Campos, INPE, pp.297-305.

McGeough, E. J.; O’Kiely, P., O’Brien, M.; Kenny, D. A. 2011. An evaluation of the methane output associated with high-moisture grains and silages using the in vitro total gas production technique. *Animal Production Science*, 51(7), 627-634.

Menke, KH.; Steingass, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development*, 28, 7-55.

MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016. Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos. (s. f.). ¿Por qué el Perú es el tercer país más vulnerable al cambio climático? Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/por-que-el-peru-es-el-tercer-paismas-vulnerable-al-cambio-climatico/>

Moss, A. 1994. Methane production by ruminants – Literature review of I. Dietary manipulation to reduce methane production and II. Laboratory procedures for estimating methane potential of diets. *Nutrition Abstracts and Reviews* 64, 786– 806.

Okpara, M. O. 2018. Methane Emissions in Ruminants: Perspectives on Measurement and Estimation Methods. *Russian Agricultural Sciences*, 44(3), 290-294.

OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2018. Cambio climático: ciencia y soluciones, boletín, 67 (2)1-80.

OCDE (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos); CEPAL (Comisión para América Latina y el Caribe). 2016. Evaluaciones del desempeño ambiental: Perú 2016. 13p.

Quiroz, R. 2013. Efectos del cambio climático en el Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Forestal.

Raggi, L. 1989. Fisiología digestiva y aspectos nutricionales en camélidos domésticos. En: Tópicos sobre biología y manejo de camélidos sudamericanos. Santiago. Fac. Ciencias Veterinarias y Pecuaria, Univ. De Chile, 116 p

Reiner, R.; Bryant, F.C. 1985. Diet selection and nutrition of alpacas grazing two ecoregions of Southern of Peru. Abs. 38th. Ann.Meet. Soc. for Range Management. Salt Lake City, Utah. USA

Rodriguez, N., Florez, A., Malpartida E., Fierro, L.C.; Farfan, R.D. 1986. Determinación del valor nutritivo de las principales especies de los pastizales naturales de la sierra central: Investigaciones sobre pastos y forrajes de Texas Tech University. Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria, Lima (Perú); Programa Colaborativo de Apoyo a la Investigación en Rumiantes Menores, Lima (Perú); AID, Lima (Perú); Texas Tech University, Lima (Perú), 3(2), 14-24.

Ronquillo, M. G.; Fondevila, M.; Urdaneta, A. B.; Newman, Y. 1998. In vitro gas production from buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.) fermentation in relation to the cutting interval, the level of nitrogen fertilisation and the season of growth. *Animal Feed Science and Technology*, 72(1-2), 19-32.

Rymer, C.; Huntington, J. A.; Williams, B. A.; Givens, D. I. 2005. In vitro cumulative gas production techniques: History, methodological considerations and challenges. *Animal Feed Science and Technology*, 123(1-2), 9-30.

Saiz, A. L. 2010. Ganadería y cambio climático: una influencia recíproca. *GeoGraphos: Revista Digital para Estudiantes de Geografía y Ciencias Sociales*, 1(3), 1-22.

Salazar, D. 2006. Análisis químico y digestibilidad in vitro de cinco especies forrajeras nativas recolectadas en dos épocas del año. Universidad Mayor de San Andrés. Tesis de Grado presentado como requisito parcial para optar el Título de Ingeniera Agrónoma.

San Martin, F. A. 1987. Comparative forage selectivity and nutrition of South American camelids and sheep. Tesis Doctoral. Texas Tech University.

San Martin, F. ; Bryant, F.C. 1989. Nutrition of domestic South American llamas and alpacas. Small Ruminant Research, 2(3), 191–216.

SERVINDI (2011). Mundo: ¿Qué es la biodiversidad y cual es su importancia para el desarrollo?, 6 pp.

Soliva, C. R.; Hess, H. D. 2007. Measuring methane emission of ruminants by in vitro and in vivo techniques. In Measuring methane production from ruminants. Springer, Dordrecht. pp. 15-31.

Soliva, C.; Zeleke, A.; Clement, C.; Hess.; Fievez, V.; Kreuzer, M. 2008. In vitro screening of various tropical foliage seeds, fruits and medicinal plants for low methane and high ammonia generating potentials in the rumen. Animal Feed Science and Technology, 147(1-3), 53-71.

Steinfeld, H.; Gerber, P.; Wassenaar, T.; Castel.; V.; Rosales, M.; De Haan, C. 2009. La larga sombra del ganado: Problemas ambientales y opciones. FAO.

Storm, I. M.; Hellwing, A. L. F.; Nielsen, N. I.; Madsen, J. 2012. Methods for measuring and estimating methane emission from ruminants. Animals, 2(2), 160-183.

Suárez, J. C.; Carulla, J. E.; Velásquez, J. E. 2008. Composición química y digestibilidad in vitro de algunas especies arbóreas establecidas en el piedemonte Amazónico. Zootecnia Tropical, 26(3), 231-234.

Tapia, M.; Flores, J. 1984. Pastoreo y pasturas de los andes del Sur del Perú. Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria.

Tapia, M.E; Lazcano, J.L. 1970. Contribución al conocimiento de la dieta de las alpacas pastoreando (hábito de pastoreo). En: I Convención internacional sobre camélidos, Universidad Nacional Técnica del Altiplano, Puno.

- Tavendale, M. H.; Meagher, L. P.; Pacheco, D.; Walker, N.; Attwood, G. T.; Sivakumaran, S. 2005. Methane production from in vitro rumen incubations with *Lotus pedunculatus* and *Medicago sativa*, and effects of extractable condensed tannin fractions on methanogenesis. *Animal Feed Science and Technology*, 123(1), 403-419.
- Tejido, M.L.; Ranilla M.J.; Carro, M.D. 2002. In vitro digestibility of forages as influenced by source of inoculum (sheep rumen versus Rusitec fermenters) and diet of the donor sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 97(1-2), 41-51
- Theodorou, M. K.; France J. 2005. Rumen microorganisms and their interactions. In; Dijkstra J., Forbes J. M., France J. *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. 2nd ed. pp 207-228.
- Van Saun, R. 2016. What is forage quality and how does it effect a feeding program? *Lamalink.com*, 3(6), 31-36.
- Van Soest, P.J. 1982. In: *Nutritional Ecology of the Ruminant*. O & B Books, Inc., Corvallis, Oregon. pp.81-374.
- Van Soest, P.J.; Robertson, J.B.; Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74 (10), 3583–3597.
- Vargas, J.; Pabón, M.; Carulla, J. 2014. Producción de metano in vitro en mezcla de gramíneas-leguminosas del trópico alto colombiano. *Archivos de zootecnia*, 63(243), 397-407.
- Vivanco, H. 2007. Situación y proyección de la Ganadería Peruana. *Mejoramiento Genético y Reproducción animal Perú*. pp. 1-22.
- Vlaming J. 2008. Quantifying variation in estimated methane emission from ruminants using the SF6 tracer technique. Thesis Doctoral. Palmerston North, New Zealand, Massey University.
- Waghorn, G. C.; Barry, T. N. 1987. Pasture as a nutrient source. *Livestock feeding on pasture*, 10 (1), 21-38.

Williams, A.G.; Coleman, G.S. 1997. The rumenProtozoa. In: Hobson, P.N. and Stewart, C.S.(Eds.). The rumen microbial ecosystem. BlackieAcademic & Professional. London, UK. p. 82

Yáñez-Ruiza, D. R.; Bannink, A.; Dijkstra, J.; Kebreab, E.; Morgavi, D. P.; O’Kiely, P.; Hristov, A. N. 2016. Design, implementation and interpretation of in vitro batch culture experiments to assess enteric methane mitigation in ruminants—a review. *Animal Feed Science and Technology*, 216, (1), 1-18.

Yaranga, R 2009. Alimentación de camélidos sudamericanos y manejo de pastizales, Facultad de Zootecnia – Universidad Nacional del Centro del Perú, 36 pp.

VIII. ANEXOS

Anexo 01. Contenido de cenizas en base seca (g/kg MS) de acuerdo a las especies de pasto en época de lluvias.

ESPECIE-ÉPOCA	Media	Agrupación
Alchemilla pinnata-lluvias	246.61	A
Carex ecuadorica-lluvias	165.75	B
Hipochoeris taraxacoides-lluvias	168.71	B
Muhlenbergia fastigiata-lluvias	134.27	C
Distichia muscoides-lluvias	60.93	D
Stipa brachiphylla-lluvias	63.157	D
Muhlenbergia peruviana-lluvias	59.569	D
Stipa mucronata-lluvias	58.884	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 02. Contenido de materia orgánica en base seca (g/kg MS) de acuerdo a las especies de pasto en época de lluvias.

ESPECIE-ÉPOCA	Media	Agrupación
Stipa mucronata-lluvias	941.116	A
Muhlenbergia peruviana-lluvias	940.431	A
Distichia muscoides-lluvias	939.07	A
Stipa brachiphylla-lluvias	936.843	A
Muhlenbergia fastigiata-lluvias	865.73	B
Carex ecuadorica-lluvia	834.25	C
Hipochoeris taraxacoides-lluvias	831.29	C
Alchemilla pinnata-lluvias	753.39	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 03. Contenido de fibra detergente neutro (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de lluvias.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESPECIE	7	474007	67715.3	243.42	0.000
Error	13	3616	278.2		
Total	20	477623			

Medias

ESPECIE	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Alchemilla pinnata-lluvias	2	435.97	3.52	(410.49; 461.44)
Carex ecuadorica-lluvias	2	747.2	18.9	(721.8; 772.7)
Distichia muscoides-lluvias	3	716.3	22.6	(695.5; 737.1)
Hipochoeris taraxacoides-lluvias	2	364.62	11.16	(339.14; 390.10)
Muhlenbergia fastigiata-lluvias	3	790.9	25.4	(770.1; 811.7)
Muhlenbergia peruviana-lluvias	3	773.4	18.8	(752.6; 794.2)
Stipa brachiphylla-lluvias	3	781.65	4.46	(760.84; 802.45)
Stipa mucronata-lluvias	3	820.45	5.54	(799.65; 841.25)

Comparaciones en parejas de Tukey

ESPECIE	N	Media	Agrupación
Stipa mucronata-lluvias	3	820.45	A
Muhlenbergia fastigiata-lluvias	3	790.9	A B
Stipa brachiphylla-lluvias	3	781.65	A B
Muhlenbergia peruviana-lluvias	3	773.4	A B
Carex ecuadorica-lluvias	2	747.2	B C
Distichia muscoides-lluvias	3	716.3	C
Alchemilla pinnata-lluvias	2	435.97	D
Hipochoeris taraxacoides-lluvias	2	364.62	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 04. Contenido de fibra detergente ácida (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de lluvias.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESPECIE	7	33614.7	4802.11	118.75	0.000
Error	11	444.8	40.44		
Total	18	34059.6			

Medias

ESPECIE	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Alchemilla pinnata-lluvias	2	327.67	3.73	(317.77; 337.57)
Carex ecuadorica-lluvias	2	397.40	3.56	(387.50; 407.29)
Distichia muscoides-lluvias	2	310.24	13.25	(300.34; 320.14)
Hipochoeris taraxacoides-lluvias	2	298.81	8.33	(288.92; 308.71)
Muhlenbergia fastigiata-lluvias	2	330.42	9.40	(320.53; 340.32)
Muhlenbergia peruviana-lluvias	3	316.13	1.75	(308.05; 324.21)
Stipa brachiphylla-lluvias	3	393.53	5.63	(385.44; 401.61)
Stipa mucronata-lluvias	3	407.38	2.77	(399.30; 415.46)

Comparaciones en parejas de Tukey

ESPECIE	N	Media	Agrupación
Stipa mucronata-lluvias	3	407.38	A
Carex ecuadorica-lluvias	2	397.40	A
Stipa brachiphylla-lluvias	3	393.53	A
Muhlenbergia fastigiata-lluvias	2	330.42	B
Alchemilla pinnata-lluvias	2	327.67	B
Muhlenbergia peruviana-lluvias	3	316.13	B C
Distichia muscoides-lluvias	2	310.24	B C
Hipochoeris taraxacoides-lluvias	2	298.81	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 05. Contenido de lignina detergente ácida (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de lluvias.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESPECIE	7	36781	5254.4	39.07	0.000
Error	11	1480	134.5		
Total	18	38260			

Medias

ESPECIE	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Alchemilla pinnata-lluvias	2	149.41	2.48	(131.36; 167.46)
Carex ecuadorica-lluvias	2	115.67	2.87	(97.62; 133.72)
Distichia muscoides-lluvias	2	76.82	2.26	(58.77; 94.87)
Hipochoeris taraxacoides-lluvias	2	139.43	12.82	(121.38; 157.48)
Muhlenbergia fastigiata-lluvias	2	82.71	3.27	(64.66; 100.76)
Muhlenbergia peruviana-lluvias	3	49.495	1.308	(34.758; 64.232)
Stipa brachiphylla-lluvias	3	31.110	0.950	(16.373; 45.847)
Stipa mucronata-lluvias	3	29.2	25.3	(14.5; 43.9)

Comparaciones en parejas de Tukey

ESPECIE	N	Media	Agrupación
Alchemilla pinnata-lluvias	2	149.41	A
Hipochoeris taraxacoides-lluvias	2	139.43	A
Carex ecuadorica-lluvias	2	115.67	A B
Muhlenbergia fastigiata-lluvias	2	82.71	B C
Distichia muscoides-lluvias	2	76.82	B C
Muhlenbergia peruviana-lluvias	3	49.495	C D
Stipa brachiphylla-lluvias	3	31.110	D
Stipa mucronata-lluvias	3	29.2	D

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 06. Contenido de proteína cruda (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de lluvias.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESPECIE	7	17899.4	2557.05	1579.67	0.000
Error	8	12.9	1.62		
Total	15	17912.3			

Medias

ESPECIE	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Alchemilla pinnata-lluvias	2	145.973	0.542	(143.898; 148.048)
Carex ecuadorica-lluvias	2	138.27	1.76	(136.20; 140.34)
Distichia muscoides-lluvias	2	115.040	0.069	(112.966; 117.115)
Hipochoeris taraxacoides-lluvias	2	152.19	2.62	(150.11; 154.26)
Muhlenbergia fastigiata-lluvias	2	105.031	0.259	(102.957; 107.106)
Muhlenbergia peruviana-lluvias	2	109.278	0.757	(107.203; 111.352)
Stipa brachiphylla-lluvias	2	73.257	0.423	(71.182; 75.332)
Stipa mucronata-lluvias	2	49.298	1.369	(47.224; 51.373)

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

ESPECIE	N	Media	Agrupación
Hipochoeris taraxacoides-lluvias	2	152.19	A
Alchemilla pinnata-lluvias	2	145.973	B
Carex ecuadorica-lluvias	2	138.27	C
Distichia muscoides-lluvias	2	115.040	D
Muhlenbergia peruviana-lluvias	2	109.278	E
Muhlenbergia fastigiata-lluvias	2	105.031	E
Stipa brachiphylla-lluvias	2	73.257	F
Stipa mucronata-lluvias	2	49.298	G

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 07. Contenido de cenizas en base seca (g/kg MS) de acuerdo a las especies de pasto en época de secas.

ESPECIE-ÉPOCA	Media	Agrupación
Alchemilla pinnata-secas	153.344	A
Hipochoeris taraxacoides-secas	127.546	B
Carex ecuadorica-secas	72.0172	C
Distichia muscoides-secas	68.56	C D
Stipa mucronata-secas	65.810	D E
Stipa brachiphylla-secas	63.105	E F
Muhlenbergia peruviana-secas	61.514	F
Muhlenbergia fastigiata-secas	48.386	G

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 08. Contenido de materia orgánica en base seca (g/kg MS) de acuerdo a las especies de pasto en época de secas.

ESPECIE-ÉPOCA	Media	Agrupación
Muhlenbergia fastigiata-secas	951.614	A
Muhlenbergia peruviana-secas	938.486	B
Stipa brachiphylla-secas	936.895	B C
Stipa mucronata-secas	934.190	C D
Distichia muscoides-secas	931.44	D E
Carex ecuadorica-secas	927.983	E
Hipochoeris taraxacoides-secas	872.454	F
Alchemilla pinnata-secas	846.656	G

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 09. Contenido de fibra detergente neutro (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de secas.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESPECIE	7	626644	89520.6	731.11	0.000
Error	14	1714	122.4		
Total	21	628358			

Medias

ESPECIE	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Alchemilla pinnata-secas	3	334.37	12.34	(320.67; 348.08)
Carex ecuadorica-secas	3	592.57	14.60	(578.87; 606.28)
Distichia muscoides-secas	3	684.01	16.56	(670.31; 697.71)
Hipochoeris taraxacoides-secas	2	383.46	10.63	(366.67; 400.24)
Mulhenbergia fastigiata-secas	3	767.44	4.21	(753.73; 781.14)
Mulhenbergia peruviana-secas	3	765.39	10.60	(751.69; 779.09)
Stipa brachiphylla-secas	3	782.88	5.32	(769.18; 796.58)
Stipa mucronata-secas	2	790.34	2.25	(773.56; 807.12)

Comparaciones en parejas de Tukey

ESPECIE	N	Media	Agrupación
Stipa mucronata-secas	2	790.34	A
Stipa brachiphylla-secas	3	782.88	A
Mulhenbergia fastigiata-secas	3	767.44	A
Mulhenbergia peruviana-secas	3	765.39	A
Distichia muscoides-secas	3	684.01	B
Carex ecuadorica-secas	3	592.57	C
Hipochoeris taraxacoides-secas	2	383.46	D
Alchemilla pinnata-secas	3	334.37	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 10. Contenido de fibra detergente ácida (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de secas.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESPECIE	7	50719.6	7245.66	547.49	0.000
Error	11	145.6	13.23		
Total	18	50865.2			

Medias

ESPECIE	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Alchemilla pinnata-secas	2	255.26	7.86	(249.60; 260.92)
Carex ecuadorica-secas	3	285.67	3.42	(281.05; 290.29)
Distichia muscoides-secas	2	282.64	4.35	(276.98; 288.30)
Hipochoeris taraxacoides-secas	2	294.560	0.377	(288.898; 300.222)
Mulhenbergia fastigiata-secas	3	298.337	1.603	(293.714; 302.959)
Mulhenbergia peruviana-secas	3	331.119	0.951	(326.496; 335.742)
Stipa brachiphylla-secas	2	424.41	5.54	(418.75; 430.07)
Stipa mucronata-secas	2	394.79	1.94	(389.13; 400.45)

Comparaciones en parejas de Tukey

ESPECIE	N	Media	Agrupación
Stipa brachiphylla-secas	2	424.41	A
Stipa mucronata-secas	2	394.79	B
Mulhenbergia peruviana-secas	3	331.119	C
Mulhenbergia fastigiata-secas	3	298.337	D
Hipochoeris taraxacoides-secas	2	294.560	D E
Carex ecuadorica-secas	3	285.67	E
Distichia muscoides-secas	2	282.64	E
Alchemilla pinnata-secas	2	255.26	F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 11. Contenido de lignina detergente ácida (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de secas.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESPECIE	7	16133.5	2304.79	1297.30	0.000
Error	11	19.5	1.78		
Total	18	16153.1			

Medias

ESPECIE	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Alchemilla pinnata-secas	3	88.23	2.14	(86.54; 89.92)
Carex ecuadorica-secas	2	27.776	0.712	(25.701; 29.850)
Distichia muscoides-secas	2	44.241	1.237	(42.167; 46.316)
Hipochoeris taraxacoides-secas	2	117.582	0.599	(115.508; 119.657)
Mulhenbergia fastigiata-secas	2	50.405	0.799	(48.331; 52.479)
Mulhenbergia peruviana-secas	2	50.971	1.369	(48.897; 53.045)
Stipa brachiphylla-secas	3	31.350	1.253	(29.656; 33.044)
Stipa mucronata-secas	3	32.464	1.084	(30.770; 34.157)

Comparaciones en parejas de Tukey

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

ESPECIE	N	Media	Agrupación
Hipochoeris taraxacoides-secas	2	117.582	A
Alchemilla pinnata-secas	3	88.23	B
Mulhenbergia peruviana-secas	2	50.971	C
Mulhenbergia fastigiata-secas	2	50.405	C
Distichia muscoides-secas	2	44.241	D
Stipa mucronata-secas	3	32.464	E
Stipa brachiphylla-secas	3	31.350	E F
Carex ecuadorica-secas	2	27.776	F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 12. Contenido de proteína cruda (g/kg MO) de acuerdo a las especies de pasto en época de secas.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESPECIE	7	21294.4	3042.06	2156.07	0.000
Error	8	11.3	1.41		
Total	15	21305.7			

Medias

ESPECIE	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Alchemilla pinnata-secas	2	142.896	0.153	(140.959; 144.833)
Carex ecuadorica-secas	2	108.629	0.240	(106.692; 110.566)
Distichia muscoides-secas	2	117.305	1.294	(115.369; 119.242)
Hipochoeris taraxacoides-secas	2	89.56	1.73	(87.62; 91.50)
Mulhenbergia fastigiata-secas	2	73.93	2.33	(72.00; 75.87)
Mulhenbergia peruviana-secas	2	53.934	0.624	(51.997; 55.871)
Stipa brachiphylla-secas	2	34.242	0.848	(32.305; 36.179)
Stipa mucronata-secas	2	39.6366	0.0059	(37.6998; 41.5735)

Comparaciones en parejas de Tukey

ESPECIE	N	Media	Agrupación
Alchemilla pinnata-secas	2	142.896	A
Distichia muscoides-secas	2	117.305	B
Carex ecuadorica-secas	2	108.629	C
Hipochoeris taraxacoides-secas	2	89.56	D
Mulhenbergia fastigiata-secas	2	73.93	E
Mulhenbergia peruviana-secas	2	53.934	F
Stipa mucronata-secas	2	39.6366	G
Stipa brachiphylla-secas	2	34.242	H

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 13. Producción de gas in vitro de los pastos naturales en base seca (ml/kg MO) en la época de lluvias.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESPECIE	7	1.41162E+11	20165931470	497.85	0.000
Error	25	1012643933	40505757		
Total	32	1.42174E+11			

Medias

ESPECIE	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Alchemilla pinnata-lluvias	4	167673	5514	(161119; 174227)
Carex ecuadorica-lluvias	4	206941	8485	(200388; 213495)
Distichia muscoides-lluvias	4	100698	4512	(94144; 107252)
Hipochoeris taraxacoides-lluvias	5	279177	10779	(273315; 285039)
Muhlenbergia fastigiata-lluvias	4	95878	4712	(89324; 102432)
Muhlenbergia peruviana-lluvias	4	114180	2523	(107626; 120734)
Stipa brachiphylla-lluvias	4	107866	4361	(101312; 114419)
Stipa mucronata-lluvias	4	100380	3506	(93826; 106934)

Desv.Est. agrupada = 6364.41

Comparaciones en parejas de Tukey

ESPECIE	N	Media	Agrupación
Hipochoeris taraxacoides-lluvias	5	279177	A
Carex ecuadorica-lluvias	4	206941	B
Alchemilla pinnata-lluvias	4	167673	C
Muhlenbergia peruviana-lluvias	4	114180	D
Stipa brachiphylla-lluvias	4	107866	D E
Distichia muscoides-lluvias	4	100698	D E
Stipa mucronata-lluvias	4	100380	D E
Muhlenbergia fastigiata-lluvias	4	95878	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 14. Producción de metano de los pastos naturales en base seca (ml/kg MO) en la época de lluvias.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESPECIE	7	2688230055	384032865	311.24	0.000
Error	24	29613493	1233896		
Total	31	2717843549			

Medias

ESPECIE	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Alchemilla pinnata-lluvias	4	35276	1749	(34129; 36422)
Carex ecuadorica-lluvias	4	31585	1504	(30439; 32732)
Distichia muscoides-lluvias	4	19045	583	(17898; 20191)
Hipochoeris taraxacoides-lluvias	4	43809	1167	(42663; 44955)
Muhlenbergia fastigiata-lluvias	4	16610	445	(15464; 17757)
Muhlenbergia peruviana-lluvias	4	22329	1051	(21183; 23475)
Stipa brachiphylla-lluvias	4	20236	981	(19089; 21382)
Stipa mucronata-lluvias	4	18622	762	(17475; 19768)

Comparaciones en parejas de Tukey

ESPECIE	N	Media	Agrupación
Hipochoeris taraxacoides-lluvias	4	43809	A
Alchemilla pinnata-lluvias	4	35276	B
Carex ecuadorica-lluvias	4	31585	C
Muhlenbergia peruviana-lluvias	4	22329	D
Stipa brachiphylla-lluvias	4	20236	D E
Distichia muscoides-lluvias	4	19045	E F
Stipa mucronata-lluvias	4	18622	E F
Muhlenbergia fastigiata-lluvias	4	16610	F

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 15. Producción de gas in vitro de los pastos naturales en base seca (ml/kg MO) en la época de secas.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESPECIE	7	1.40433E+11	20061796792	527.61	0.000
Error	24	912568488	38023687		
Total	31	1.41345E+11			

Medias

ESPECIE	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Alchemilla pinnata-secas	4	229208	8640	(222844; 235571)
Carex ecuadorica-secas	4	194173	7956	(187810; 200537)
Distichia muscoides-secas	4	117912	5107	(111548; 124275)
Hipochoeris taraxacoides-secas	4	285242	6416	(278879; 291605)
Mulhenbergia fastigiata-secas	4	110735	5184	(104371; 117098)
Mulhenbergia peruviana-secas	4	113849	5484	(107486; 120213)
Stipa brachiphylla-secas	4	112398	4873	(106035; 118761)
Stipa mucronata-secas	4	89563	4280	(83200; 95927)

Comparaciones en parejas de Tukey

ESPECIE	N	Media	Agrupación
Hipochoeris taraxacoides-secas	4	285242	A
Alchemilla pinnata-secas	4	229208	B
Carex ecuadorica-secas	4	194173	C
Distichia muscoides-secas	4	117912	D
Mulhenbergia peruviana-secas	4	113849	D
Stipa brachiphylla-secas	4	112398	D
Mulhenbergia fastigiata-secas	4	110735	D
Stipa mucronata-secas	4	89563	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 16. Producción de metano de los pastos naturales en base seca (ml/kg MO) en la época de secas.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ESPECIE	7	2174964749	310709250	187.43	0.000
Error	24	39784746	1657698		
Total	31	2214749496			

Medias

ESPECIE	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Alchemilla pinnata-secas	4	36987.3	76.0	(35658.6; 38315.9)
Carex ecuadorica-secas	4	33704	1657	(32375; 35033)
Distichia muscoides-secas	4	24013	1160	(22685; 25342)
Hipochoeris taraxacoides-secas	4	44757	2181	(43429; 46086)
Mulhenbergia fastigiata-secas	4	20748	806	(19420; 22077)
Mulhenbergia peruviana-secas	4	23349	1145	(22021; 24678)
Stipa brachiphylla-secas	4	22502	1132	(21173; 23831)
Stipa mucronata-secas	4	22366	1079	(21037; 23695)

Comparaciones en parejas de Tukey

ESPECIE	N	Media	Agrupación
Hipochoeris taraxacoides-secas	4	44757	A
Alchemilla pinnata-secas	4	36987.3	B
Carex ecuadorica-secas	4	33704	C
Distichia muscoides-secas	4	24013	D
Mulhenbergia peruviana-secas	4	23349	D E
Stipa brachiphylla-secas	4	22502	D E
Stipa mucronata-secas	4	22366	D E
Mulhenbergia fastigiata-secas	4	20748	E

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.