

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y ZOOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE ZOOTECNIA



TESIS

**EFFECTO DE LA SUBALIMENTACIÓN SOBRE LA EMISIÓN DE
METANO ENTÉRICO EN ALPACAS HUACAYA (*Vicugna pacos*)**

Presentada por:

Br. MAYKOL HUAMANI CHANCAHUAÑA

para optar al Título Profesional de:

INGENIERO ZOOTECNISTA

Asesores:

PhD. Walter Orestes Antezana Julián

M.Sc. Víctor Manuel Vélez Marroquín

PhD. José Ignacio Gere

Financiada por: Programa “Yachayninchis Wiñarinanpaq” - UNSAAC

CUSCO – PERÚ

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada:.....

EFECTO DE LA SUBALIMENTACIÓN SOBRE LA EMISIÓN DE METANO
ENTÉRICO EN ALPACAS HUACAYA (VICUÑA PULOS)

presentado por: MAYKOL HUAMANI CHANCAHUANA con DNI Nro.: 77466881

para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO ZOOTECNISTA

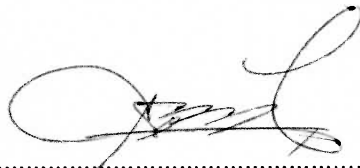
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 9 de enero de 2024



Firma

Post firma WALTER ORESTES ANTEZANA JULIAN

Nro. de DNI 23943240

ORCID del Asesor: 0000-0001-9446-7338

ORCID 2^{do} Asesor: 0000-0002-2224-2786

DNI: 29633416

ORCID 3^{er} Asesor: 0000-0002-2663-8761

DNI: 29154871

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid:27259:302274517

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS MAYKOL FINAL (1).docx

AUTOR

MAYKOL HUAMANI CHANCAHUAÑA

RECUENTO DE PALABRAS

19211 Words

RECUENTO DE CARACTERES

101829 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

91 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

20.0MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 8, 2024 10:23 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 8, 2024 10:26 AM GMT-5**● 8% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 18 palabras)

DEDICATORIA

*A mi padre Servio Julio Huamani y a mi madre
Cerila Chancahuaña por su apoyo
constante incondicional y siempre incentivarme a
ser mejor cada día.*

*A mis hermanos, Lili, Katia, Pamela, Ana Cristina, Shadan,
Verónica, Haydee, Henry, a mi sobrino Frank
Diego y familia en general, que supieron ayudarme
en los momentos propicios.*

*A todos ustedes, con cariño
Maykol Huamani Chancahuaña*

AGRADECIMIENTO

- *A Dios por guiarme y protegerme en el transcurso de mi vida y mi carrera, por ser mi fortaleza, motivación en los momentos más difíciles y por concederme oportunidades, sabiduría, sobre todo salud y felicidad.*
- *Al Proyecto de Investigación “**Desarrollo y validación de metodologías de evaluación de la actividad y la emisión de gases de efecto invernadero en alpacas**”, por el financiamiento de este trabajo de investigación.*
- *Agradezco a la **Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco** y a la **Escuela Profesional de Zootecnia**, por haberme permitido crecer profesionalmente y expreso mi agradecimiento a todos los docentes por brindarme sus conocimientos y experiencia profesional.*
- *A mi asesor de tesis **PhD. Walter Orestes Antezana Julián**, por brindarme su apoyo, dedicación, conocimiento y tiempo en el transcurso y culminación del presente trabajo de investigación.*
- *Al personal administrativo y técnico del Centro de Investigación en Camélidos Sudamericanos, CICAS “La Raya” – UNSAAC; por el apoyo y conocimiento brindado durante el estudio.*
- *Al Laboratorio de Nutrición Animal de la Escuela Profesional de Zootecnia de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en particular a la M.Sc. Liz Beatriz Chino Velásquez y al Ph.D. Juan Elmer Moscoso Muñoz por el apoyo en el uso de los equipos y análisis realizados en el presente estudio.*
- *A mis compañeros Wilfredo Rios, Paola Katherine Chipa y Nilton Ttito por el apoyo en las diferentes etapas del trabajo de investigación.*
- *A la confraternidad LMDK*

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
GLOSARIO	viii
RESUMEN	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN	3
1.1 Identificación del problema	3
CAPÍTULO II	4
II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN	4
2.1 Objetivos.....	4
2.2 Justificación	5
CAPÍTULO III	6
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1 Antecedentes	6
3.1.1 Antecedentes internacionales	6
3.1.2 Antecedentes nacionales	7
3.2 Marco teórico	8
3.2.1 Aspectos generales de los camélidos	8
3.2.2 Energía y requerimientos de la alpaca	12
3.2.3 Anatomía y fisiología de los Camélidos Sudamericanos	16

3.2.4	Cambio climático en la ganadería alpaquera	22
3.2.5	Factores que afectan la emisión de metano.....	28
3.2.6	Emisiones de metano en el Perú.....	29
3.2.7	Técnicas de medición de metano.....	30
CAPÍTULO IV	32
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	32
4.1	Lugar de Estudio.....	32
4.2	Instalaciones.....	33
4.3	Animales	33
4.4	Alimento y dieta experimental.....	34
4.5	Materiales y equipos de campo	34
4.5.1	Equipos de laboratorio	36
4.5.2	Reactivos	36
4.6	Metodología	36
4.6.1	Etapa pre-experimental	36
4.6.2	Etapa experimental	37
4.6.3	Fase de laboratorio	43
4.7	Análisis estadístico	44
4.7.1	Estadística descriptiva.....	44
CAPÍTULO V	45
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
5.1	Consumo de materia seca en alpacas subalimentadas.....	45
5.2	Emisión de metano (CH ₄)	46
5.3	Producción de dióxido de carbono (CO ₂).....	49
5.4	Consumo de oxígeno (O ₂)	51

CAPÍTULO VI.....	54
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de potencial de calentamiento global en una escala de 100 años y tiempos de vida de diferentes gases basados en el sexto informe de evaluación (AR6) del IPCC, en unidad equivalentes al CO ₂	25
Tabla 2. Composición química de los insumos de la dieta experimental	34
Tabla 3. Información básica de los animales experimentales, kg	37
Tabla 4. Composición química de la dieta ofrecida para condiciones de subalimentación	38
Tabla 5. Registro de alpacas Huacaya evaluadas en cámara dinámica.....	40
Tabla 6. Consumo de nutrientes en alpacas Huacaya alimentadas con una dieta de subalimentación (31.5 gMS/kgPM).....	45
Tabla 7. Referencia del consumo de materia seca en alpacas de diferentes autores	45
Tabla 8. Emisión de metano entérico en alpacas sometidas a condiciones de subalimentación	46
Tabla 9. Producción de dióxido de carbono en alpacas Huacaya sometidas a condiciones de subalimentación en un periodo de 24 horas.....	50
Tabla 10. Consumo de oxígeno en alpacas Huacaya sometidas a condiciones de subalimentación en un periodo de 24 horas.....	52

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Dinámica de la emisión de metano (L/H) durante 24 horas en alpacas subalimentadas	49
Gráfico 2. Dinámica de la emisión media de metano de alpacas subalimentadas ..	49
Gráfico 3. Dinámica de la producción de dióxido de carbono (L/H) durante 24 horas en alpacas subalimentadas	51
Gráfico 4. Dinámica de la producción media de dióxido de carbono en alpacas subalimentadas	51
Gráfico 5. Dinámica del consumo de oxígeno (L/H) durante 24 horas en alpacas subalimentadas	53
Gráfico 6. Dinámica del consumo de oxígeno en alpacas subalimentadas.....	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico	75
Anexo 2. Consumo heno de avena de alpacas subalimentadas	79
Anexo 3. Consumo pellet de alfalfa de alpacas subalimentadas.....	79
Anexo 4. Consumo de agua (L) de alpacas subalimentadas	79
Anexo 5. Registro de heces excretadas (g/día) de alpacas subalimentadas	80
Anexo 6. Registro de Producción de orina (ml/día) en alpacas subalimentadas	80
Anexo 7. Excreción de nutrientes de alpacas subalimentadas.....	80
Anexo 8. Retención de nutrientes de alpacas subalimentadas	81
Anexo 9. Digestibilidad de nutrientes de alpacas subalimentadas	81

GLOSARIO

AGVs: Ácidos grasos volátiles

CH₄: Metano

CO₂: Dióxido de carbono

CSA: Camélidos sudamericanos

DMS: Digestión de materia seca

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FDA: Fibra detergente neutro

FTIR: Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier

GEI: Gases de efecto invernadero

IPCC: Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático

IMS: Insumo de materia seca

MF: Materia fresca

MS: Materia seca

N₂O: Óxido nitroso

NRC: Consejo Nacional de Investigación

O₂: Oxígeno

Ph: Presión atmosférica

PCG: Potencial de Calentamiento Global

ppb: Partes por billón

Gg: Gigagramos

SF₆: Hexafluoruro de Azufre

T°: Temperatura

Tg: Teragramos

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro de Investigación de Camélidos Sudamericanos CICAS - La Raya, de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. El objetivo del presente estudio fue determinar la producción de CH₄, CO₂ y consumo de O₂ (intercambio gaseoso) en alpacas Huacaya en condiciones de subalimentación, empleando el equipo analizador de gases ABB Easyflow (EL 3020) unido al sistema de respirometría de circuito abierto móvil, donde el animal permanecía 24 horas mientras el equipo recogía datos, para ello, se utilizó 3 alpacas Huacaya macho con edades de 2 a 3 años, con un peso medio de 47.3 ± 4.44 kg; la dieta brindada fue calculado basándose en las necesidades de gramos de materia seca por kilogramo de peso metabólico (g MS/kgPV^{0.75}), considerando para la dieta de subalimentación 31.5 g MS/kgPV^{0.75}, que fue a base de heno de avena y pellet de alfalfa con una proporción de 70:30%, respectivamente. La emisión de metano entérico (CH₄) en alpacas Huacaya en condiciones de subalimentación en promedio fue 13.8 ± 2.11 (g/día), así mismo, la producción media de dióxido de carbono (CO₂) fue 669 ± 65.2 (g/día) y el consumo de Oxígeno fue 273 ± 104.1 (g/día).

Palabra clave: Alpaca, metano entérico, subalimentación

INTRODUCCIÓN

El cambio climático puede definirse como una variación significativa del promedio del clima durante un periodo prolongado, afectando notablemente los sistemas de producción agropecuaria (Fischer *et al.*, 2002), que tiene mayor incidencia en los Andes a grandes altitudes con el incremento de la temperatura frente a menores altitudes (0,6 vs. 0,2 °C/ década) (Haynes *et al.*, 2014; Michelutti *et al.*, 2015) y la actividad ganadera es partícipe en los impactos ambientales con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) tales como: Metano (CH₄) y Dióxido de carbono (CO₂) (Animut *et al.*, 2008), contribuyendo con el 18% de las emisiones antropogénicas de GEI a nivel mundiales (Steinfeld *et al.*, 2006), por ello, en las últimas décadas, la comunidad científica ha prestado mucha atención en la emisión de metano por parte de los rumiantes domésticos (Johnson y Johnson, 1995; Stevens y Hume, 1998) y los camélidos sudamericanos, en especial las alpacas considerados Pseudorumiante, donde su prevalencia poblacional mundial es mayor en el Perú con 3'685,516 ejemplares, de los cuales, el 99% se encuentra en poder de pequeños criadores y el 1% restante en diferentes organizaciones (CENAGRO, 2012), teniendo relevancia económica, social, cultural y científica, siendo a menudo, único medio de subsistencia para la población Alto Andina (FAO, 2005).

Los rumiantes, a diferencia de otros mamíferos herbívoros, producen más metano entérico y los camélidos sudamericanos comparten algunas características de su anatomía y fisiología digestiva (Franz, 2010; Lerner, 1988; IPCC, 2006), donde las emisiones pueden ser influenciados por la cantidad y calidad del alimento consumido (Johnson y Johnson, 1995).

La cantidad y/o disponibilidad de los pastizales en las zonas Alto Andinas están regidos por la época del año (seca y húmeda), por ende, la producción de

metano, dióxido de carbono y consumo de oxígeno pueden verse influidos independientemente para cada época, por ello, para la época seca se puede simular en condiciones controladas con alpacas subalimentadas; la subalimentación consiste en proporcionar alimento por debajo del nivel de mantenimiento, por ende, no cubren dicho requerimiento, práctica común en situaciones de escasez de pasto en época seca (Bryant y Farfán, 1984; San Martín 1996b); estudios reportados por Ríos (2023), para alpacas en mantenimiento indicó la producción de CH₄ (16.4 ± 2.89 g/animal/día), CO₂ (692.7 ± 67.3 g/animal/día) y el consumo de O₂ (472.8 ± 40.8 g/animal/día), así mismo, Dittmann *et al.* (2014), para alpacas mantenidos con una dieta a base de alfalfa, reportó 19.88 L/ día.

Sin embargo, es insuficiente la información generada respecto a la producción de metano en alpacas, que esté relacionado con la subalimentación, es por ello, que el principal objetivo de esta investigación es evaluar el efecto de la subalimentación en la producción de metano en alpacas Huacaya, datos que podrían servir como línea base para estrategias de mitigación, inventarios de GEI, necesidades nutritivas, metabolismo y cociente respiratorio.

CAPÍTULO I

I. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación del problema

El problema objeto de investigación de este proyecto de tesis se centra en determinar cómo la subalimentación, es decir, proporcionar a las alpacas una cantidad de alimento por debajo de sus requerimientos nutricionales (una práctica común en situaciones de escasez de pasto o en periodos de sequía) influye en la producción de metano, dióxido de carbono y consumo de oxígeno en su sistema digestivo, ya que el metano y el dióxido de carbono (productos de la fermentación ruminal) contribuyen al calentamiento global y a la vez el metano supone una pérdida energética del alimento consumido.

Es escasa la información sobre la producción de metano, dióxido de carbono y consumo de oxígeno en condiciones de subalimentación, datos que permitan caracterizar la actividad metabólica, potencial de producción o contribución de metano por parte de esta especie al calentamiento global e inventarios de producción de gases como línea base.

CAPÍTULO II

II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

2.1 Objetivos

Objetivo general

- Evaluar el efecto de la subalimentación en la producción de metano entérico en alpacas Huacaya (*Vicugna pacos*) en el centro experimental La Raya.

Objetivos específicos

- Determinar las emisiones de metano entérico (CH_4) en alpacas subalimentadas.
- Determinar el consumo de oxígeno (O_2) en alpacas en condiciones de subalimentación.
- Determinar la producción de dióxido de carbono (CO_2) en alpacas subalimentadas.

2.2 Justificación

El cambio climático es un problema a nivel mundial y cada vez va aumentando, contribuyendo a ello los gases de efecto invernadero como el metano y el dióxido de carbono (Khalil, 2000) parte de la liberación generado por los rumiantes y en específico las alpacas que tienen como fuente de alimento los pastos naturales y que su disponibilidad está estrechamente relacionada con la época del año. En la época seca las alpacas entran a un estado de penuria y/o escasez nutricional donde los animales no cubren sus requerimientos nutricionales que representa las condiciones de subalimentación, teniendo en cuenta que el Perú cuenta con la mayor población de alpacas a nivel mundial (CENAGRO, 2012) que juegan un rol importante en el aspecto económico, social, cultural y científico, en especial en las zonas Alto Andinas y a menudo, siendo único medio de subsistencia (FAO, 2005; Sumar, 1988; Davies *et al.*, 2007); se realizaron estudios que han demostrado que la emisión de metano está relacionada con la cantidad y calidad de alimento consumido (Johnson y Johnson, 1995), sobre la producción de CH₄ en alpacas haciendo uso de una cámara respirométrica (Rios, 2023), necesidades nutritivas, metabolismo, sin embargo, sigue siendo insuficiente la información generada en relación con la subalimentación, que permita desarrollar estrategias de mitigación e inventarios de producción de metano para países que albergan la mayor población de alpacas, considerándose como línea base.

CAPÍTULO III

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes internacionales

Pinares *et al.* (2003), usó la técnica del trazador de hexafluoruro de azufre (SF_6), reportó la producción de metano de alpacas alimentadas en interiores con heno de alfalfa 14.9 (g de CH_4 /día), animales que pastan en pastos de Rye Grass Perenne/ Trébol blanco 22.60 (g de CH_4 /día) y en pasto Lotus 19.10 (g de CH_4 /día).

Por otra parte, Dittmann *et al.* (2014), en su estudio con tres especies de camélidos (entre ellos la alpaca), empleó como única dieta alimentos producidos a partir de la alfalfa, realizó mediciones en cámara de respiración durante un periodo de 24 horas para determinar la producción de metano, reportó 21.96 (L de CH_4 / día).

Criscioni y Patricia (2016), emplearon un sistema de calorimetría indirecta de circuito abierto para mediciones e intercambio gaseoso, entre ellos el metano, con cabras en lactación alimentadas con avena y salvado de arroz (30.1 g de CH_4 /día y 23.2 g de CH_4 /día) y las mismas alimentadas con Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) y dieta mixta con Alfalfa como forraje (25.9 g de CH_4 /día y 28.5 g de CH_4 /d) a correspondencia.

En un estudio con cabras murciano granadinas en lactación, Monllor (2012), empleó dos dietas (almidón y FND) para conocer el efecto sobre la producción de metano, fue 42.51 y 40.96 L de CH_4 /día, respectivamente, para ello hace uso de un calorímetro de circuito abierto para pequeños rumiantes, donde el animal permaneció por 24 horas.

3.1.2 Antecedentes nacionales

Ríos (2023), en su estudio “Diseño y validación de sistema de seguimiento metabólico (jaula metabólica y cámara dinámica) para alpacas” en condiciones de mantenimiento, empleó la cámara dinámica (sistema móvil de respirometría de circuito abierto), reportó las emisiones de CH₄, CO₂ y consumo de O₂ durante 24 horas, una media de 16.4 ± 2.89 (g/día), 692.7 ± 67.3 (g/día) y 472.8 ± 40.8 (g/día), respectivamente.

Al igual que Ttito (2023), empleó la cámara dinámica en alpacas durante 24h, sometiendo a condiciones de sobrealimentación con dietas de heno de avena y pellet de alfalfa, reportó una media de 15.9 ± 2.80 (g CH₄/día), 737.2 ± 73.6 (g CO₂/día) y 443.2 ± 16.9 (g O₂/día).

Quispe (2015), con la tecnología de espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) incorporada con un analizador portátil de gases (Gasmeter DX-4030) para determinar las emisiones de metano en alpacas alimentadas con concentrados fibrosos con diferentes tamaños de partículas 12 mmØ y 8 mmØ, reportó 13.275 (g de CH₄/día) y 12.875 (g de CH₄/día), respectivamente. Así mismo, Ramírez (2018), con la misma tecnología, pero con diferentes tamaños de partículas, reportó para 12 mmØ (11.53 ± 1.82 g de CH₄/día) y 24 mmØ (13.87 ± 3.39 g de CH₄/día) con una producción de 11.53 ± 1.82 g de CH₄/día, 13.87 ± 3.39 g de CH₄/día en los grupos A y B, respectivamente.

Del mismo modo, Marca y Roque (2019), emplearon una cámara de acumulación de gases y el equipo analizador de gases (Gasmeter DX-4030) para determinar el metano producido por alpacas al pastoreo (17.7 ± 1.9 g/d) y en confinamiento una media de 21.24 ± 3.94 g/d.

Por otra parte, Quispe (2017), en su investigación “Emisión de metano entérico en alpacas al pastoreo en praderas andinas”, haciendo uso del (Gasmeter DX-4030) a través de (FTIR), indica que las alpacas emiten a la atmósfera un promedio de $17.7 \pm 1.3 \text{ CH}_4 \text{ g/d}$ al pastoreo.

Asimismo, Piccalayco (2017) en su tesis “Emisiones de metano de alpacas al pastoreo en un pastizal de ryegrass/trébol blanco en cicas la Raya” tiene como resultado la emisión de metano en dos tratamientos T_1 (pastura cultivada en época de lluvia) $24,4 \pm 9,0 \text{ g/d/alpaca}$ y T_2 (Pastura cultivada en época seca) $24,0 \pm 8,5 \text{ g/d/alpaca}$. Gualdrón *et al.* (2022), en su investigación “emisión de metano de alpacas en condiciones de pastoreo durante la estación seca en los andes peruanos” empleando la técnica del trazador SF_6 , el metano producido fue de $32.0 \pm 7.26 \text{ g/d}$.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Aspectos generales de los camélidos

La domesticación de los camélidos actuales data desde hace 6 millones de años, encontrando restos arqueológicos en los lugares de asentamiento. Los camélidos domésticos (alpaca y llama) proceden de las especies silvestres, vicuña y guanaco, respectivamente, como señala Bonavia (1996). Hoy en día los camélidos Sudamericanos (CSA), se encuentran distribuidos principalmente en algunos países de la región andina (Perú, Bolivia, Chile, Ecuador y Argentina) que constituyen un recurso genético de importancia social, económica, cultural y científica, por su contribución en el aporte de fibra, carne, subproductos y transporte, haciendo uso de manera eficiente las extensas áreas de pastos naturales de las zonas Alto Andinas, teniendo ventaja sobre las demás especies domésticas (López y Raggi, 1992; Fernández-Baca, 2005). En el Perú se encuentra

la mayor población de alpacas a nivel mundial, ocupando el primer lugar con un total de 3'685,516 cabezas, distribuidas entre los 3800 y 4800 de altitud y segundo lugar en la tenencia de llamas después de Bolivia (CENAGRO, 2012). Teniendo esta ventaja comparativa de los camélidos domésticos y silvestres frente a las demás especies, puede ser un medio para salir de la pobreza y la inseguridad alimentaria que aqueja a las comunidades campesinas, cuyo único solvento es la crianza de esta especie (Fernández-Baca, 2005).

3.2.1.1 La alpaca (*Vicugna pacos*)

La alpaca es la especie más pequeña de los camélidos domésticos (Marín *et al.*, 2007), se caracteriza por ser buena productora de fibra y carne, siendo utilizado para la subsistencia y bienestar de sus criadores (Engelhardt *et al.*, 1986). Se distribuye desde el norte de Perú hasta el sur de Bolivia, habiendo pocos animales en el norte de Chile y noroeste de Argentina (Wheeler, 1995). En el Perú se encuentra más del 80 % de la población total de alpacas a nivel mundial (más de tres millones y medio), en las zonas Alto Andinas de los departamentos de Puno, Arequipa, Cusco, Ayacucho, Apurímac y Huancavelica, el 20% restante en Bolivia, Chile, estando también en algunos países de la Unión Europea y Estados Unidos, donde el 86% son de color blanco (Brenes *et al.*, 2001); existen dos razas de alpacas, la Huacaya que se caracteriza por un vellón compacto, esponjoso, fibras suaves con rizos y el Suri que presenta un vellón más suelto, sedoso y lacio (García *et al.*, 2002).

3.2.1.2 Hábitat

Los CSA pueden tener un ámbito de vida desde el nivel del mar hasta más de 5000 metros de altitud (Ruiz *et al.*, 2004), actualmente la crianza de alpacas y llamas en la sierra del Perú es una de las pocas actividades ganaderas que se llevan a cabo en las elevadas altitudes, sometidas a condiciones desfavorables

como la pobre concentración de Oxígeno, temperaturas que oscilan en un promedio de 6 - 8 °C, precipitación de 400-700 mm y la alta incidencia de radiación cósmica, a los cuales estas especies se pudieron adaptar desde el punto de vista biológico, morfológico y comportamiento (Quispe *et al.*, 2009; Quispe, 2011; Brenes *et al.*, 2001), tales condiciones corresponden a las áreas Alto Andinas, con altitudes de entre 3600 y 5500 metros donde predominan los pastos naturales de bajo valor nutritivo (Leyva, 1991).

Las alpacas tienen una preferencia a las zonas húmedas o bofedales, opuesto a ello, las vicuñas prefieren las praderas altas y las llamas habitan en todos los niveles, aunque prefieren los lugares secos (Brenes *et al.*, 2001). El peso promedio al nacimiento de una alpaca es de 7 kg incrementando 28 kg al 6 - 8° mes de edad y a los 2 años un promedio de 48 kg con un rendimiento de carcasa del 56% (García *et al.*, 2002) al igual que las demás especies de CSA son polígamos cuyo periodo de gestación es de 342 y 345 días.

3.2.1.3 Alimentación de alpacas

La disponibilidad y calidad de los pastos naturales, depende de la época del año (estación de lluvia y seca), carga animal y selectividad de cada individuo, el alimento que consumen generalmente tiene alto contenido de fibra y baja en proteína en función a la preponderancia de gramíneas frente a leguminosas (Bustinza, 2001).

El factor climático influye directamente en la disponibilidad y aporte nutricional del pastizal altoandino durante todo el año, por ello, en época seca hay una preferencia por las especies como *Calamagrostis heterophylla*, *Calamagrostis vicunarum*, *Poa spp.* *Carex spp.*, *Alchemilla pinnata*, etc, como también las especies poco predominantes, pero con alta palatabilidad como: *Stipa brachiphylla*, *Poa gymnantha*, *Muhlenbergia peruviana*, *Trifolium amabile*, entre otras y las poco

apetecibles como la *Festuca dolichophylla* (Bryant y Farfan, 1984). El empleo de los pastos cultivados para complementar a las praderas naturales en altitudes de 4000 metros a más, tiene rendimientos excelentes como las especies de gramíneas del género *Lolium* y de leguminosas del género *Trifolium*, siendo apetecibles por las llamas y alpacas, que fueron evaluados por la Estación de Camélidos Sudamericanos de la Raya, lo mismo que, por el departamento de Puno con el proyecto de cooperación de Nueva Zelanda en Perú, que se llevó a cabo en la década de los 70, con buenos resultados de ganancia de peso en alpacas al pastoreo con pastos asociados de alfalfa y *Dactylis glomerata* con una carga animal de 60 cabezas por hectárea, resultados similares a los ovinos, además, con ventajas frente a los ovinos y vacunos de no presentar timpanismo por consumo de leguminosas, siendo así, los pastos cultivados una manera de aliviar la presión de los pastos naturales y al mismo tiempo obtener mayor productividad, que conlleva a un mayor beneficio económico para los productores (FAO, 2005).

Los camélidos tienen una baja ingesta de alimentos en comparación con los rumiantes (Meyer, 2010) que corresponde a requerimientos bajos de energía (NRC, 2007) esto puede deberse a una adaptación a ambientes con escasos recursos. El consumo de alimentos dependerá de su composición química, digestibilidad y disponibilidad (López *et al.*, 1998) como también, de su contenido de proteína (San Martín y Bryant, 1989).

El consumo de agua en alpacas y llamas es menor en comparación con el ovino, se puede deber al menor consumo de materia seca observado en los CSA, sin embargo, en relación con el consumo de agua y materia seca, se observa que la alpaca y el ovino guardan una relación similar, mientras que la llamas presenta una relación menor (mejor adaptación a ambientes áridos) (San Martín, 1987; San Martín., 1996).

Se reportó que los camélidos tienen mayor eficiencia en la digestión de la materia seca y fibra que los rumiantes (Hintz, 1973; Sponheimer, 2003). Esto probablemente ocurra por la mayor tasa de retención de partículas y no por diferentes vías de fermentación, ya que la composición de la comunidad microbiana del camello se asemeja a la de los rumiantes (Ghali, 2011). La disposición de pastizales con cierta frecuencia en la sierra alta es afectada por tormentas de nieve que cubren a los pastos naturales, dejando sin acceso al alimento para los animales por varios días (FAO, 2009).

Asimismo, FAO (2005) señala que aún no se ha reportado las deficiencias de minerales en los CSA, que sí podrían presentarse. Los camélidos no tienen el hábito de lamer como lo hacen otros animales, debido a ello no se les brinda mezclas de minerales.

3.2.2 Energía y requerimientos de la alpaca

3.2.2.1 *Materia seca*

La energía es considerada como el primer nutriente limitante en todo sistema de alimentación, de ahí la importancia de la valoración energética de los alimentos consumidos por los animales (NRC., 1985).

El consumo de Materia seca tiene mayor importancia en la producción, puesto que define la cantidad de nutrientes disponibles para el animal, su importancia radica en evitar la subalimentación o la sobrealimentación, el NRC (2007) sugiere la ingesta de materia seca para mantenimiento de 1.37% del peso vivo (PV) por otra parte, San Martín y Van Saun (2014) indican el 1.8% de su PV, siendo menor en comparación con los ovinos (2,5%), mientras que López y Raggi (1992) sugieren el 1.7% del (PV).

Las alpacas en confinamiento responden al consumo dependiendo al tipo de forraje ofrecido, son más eficientes en la ingestión y masticación de forrajes largos en

comparación con los ovinos (Flores y Gutierrez, 1995), consumen a voluntad una mayor cantidad de Rye grass y Festuca que Trébol y paja de trigo, variando de 39.9 a 63.1 g/W^{0.75} para materia seca y 36.5 a 57.1 g/W^{0.75} para materia orgánica (López *et al.*, 1998). Así mismo, para mantenimiento en alpacas es de 38.8 g/MS/PM, según propuesto por Pinares *et al.* (2003). La alpaca requiere 60.5 g/kg PV^{0.75} y de 53.7g/kg PV^{0.75}, dependiendo a la estación seca o húmeda, respectivamente, para cubrir su demanda de consumo de materia seca (Reiner *et al.*, 1987) representando un promedio de 1.80% del peso corporal (San Martín y Bryant, 1989) disponiendo el 1.25 % para su mantenimiento y hasta 1.50 % para su gestación, teniendo la posibilidad de llegar hasta un promedio de 2.75%, cuando se incluye la lactación (Van Saun, 2006).

Ramírez (2017) a través de modelos lineales reporta los requerimientos energéticos para mantenimiento y ganancia de peso, con ensayos en alimentación de alpacas y llamas en condiciones de altura, para mantenimiento 40 gMS/PV^{0.75}, 50 g MS/PV^{0.75} intermedio bajo, intermedio alto 60 gMS/PV^{0.75} y 70 gMS/PV^{0.75} en el nivel ad libitum, este patrón de alimentación fue para ambas especies. El consumo de materia seca depende de la composición del alimento, la disponibilidad y la digestibilidad del forraje (López *et al.*, 1998; Trabalza *et al.*, 2001), como también, del contenido de proteína y fibra detergente neutra (San Martín y Bryant, 1991).

3.2.2.2 Agua

El agua cumple una función importante en la regulación de la temperatura corporal y proporciona un medio acuoso para sostener todas las reacciones metabólicas. El agua corporal total disminuye con la edad y el contenido de grasa corporal. El cuerpo va perdiendo agua a medida que pasan los años de vida; los animales recién nacidos tienen más del 80% de agua corporal comparado con

animales adultos, que están entre el 60% y 70%. El promedio de agua corporal en 4 llamas de 3 a 6 años de edad está entre 62 y 149 kg en un rango de 70.4% a 63.8%, respectivamente. (Rübsamen y Von Engelhardt, 1975). El requerimiento total está determinado por el peso vivo, estado fisiológico, nivel de actividad, composición de la dieta y condiciones ambientales. Los animales que se mantienen en pastos requieren el doble de tasa de renovación de agua en comparación con los animales alojados en interiores. Por ello, los numerosos factores que influyen en las necesidades de agua en un animal confunden para generar modelos de requisitos específicos (NRC, 2007). Usando métodos de disolución de isótopos, se puede medir la tasa de renovación del agua, y se supone que este valor es equivalente a la ingesta o pérdida total de agua del animal, suponiendo un equilibrio de estado estable. Solo un estudio midió la tasa de recambio de agua en las llamas bajo confinamiento en un ambiente de temperatura neutral, las llamas adultas tuvieron una mayor tasa de renovación de agua (62.1 ± 8.8 mililitros por kilogramo de peso metabólico [mL/kg BW^{0.82}]) comparado con cabras (59.0 ± 10.9 mL/kg BW^{0.82}) (Davies *et al.*, 2007).

3.2.2.3 Energía

La energía dietética respalda todas las funciones corporales y, por lo tanto, se considera cuantitativamente el nutriente más importante desde el punto de vista del rendimiento animal. A diferencia de otros nutrientes esenciales, la energía no está descrita por una sola entidad física como proteína, calcio o selenio, más bien, la energía es una entidad abstracta que solo puede medirse en su transformación de una forma a otra. En nutrición, la energía química se mide por la producción de calor a medida que se oxidan las moléculas, por lo que la energía se cuantifica como calorías o julios (1 caloría [cal]= 4,184 julios [J]). En dos estudios diferentes, las necesidades de mantenimiento para llamas se determinaron en 61, 2 kcal/kg

PM y 84,5 kcal/kg PM (Schneider *et al.*, 1974; Carmean *et al.*, 1992). El informe de la NRC aceptó un valor promedio de los dos estudios (72,85 kcal/kg PM) como requisito de energía de mantenimiento para alpacas y llamas (NRC, 2007).

3.2.2.4 Proteína

Las proteínas son compuestos orgánicos esenciales, conformadas por cadenas de aminoácidos que contienen un 16% de nitrógeno. Los CSA excretan menor cantidad de urea y reciclan mejor el nitrógeno (Hinderer y Engelhardt, 1975), como parte del proceso de la fermentación del rumen se obtiene el amoníaco (generación de nitrógeno) que no puede ser aprovechado en su totalidad como proteína microbiana, el excedente es llevado hacia el hígado pasando por la pared del rumen, a través del sistema venoso portal para su desintoxicación en urea, ya permaneciendo en la sangre puede tomar dos cursos, uno de ellos es retornar al rumen por medio de la saliva, como fuente de nitrógeno para el desarrollo bacteriano o ser evacuado como orina; cuando hay una deficiencia en la disponibilidad de proteína en la dieta existe un mecanismo de alta actividad ureolítica por parte de las bacterias adheridas a la pared ruminal, a fin de aumentar la entrada de urea sanguínea al rumen. La disponibilidad de nitrógeno depende de la dieta, energía fermentable, tasas de degradación y paso de las proteínas (Van Saun, 2006; Garriz y López, 2002; Rodríguez *et al.*, 2007).

3.2.2.5 Subalimentación

La subalimentación implica una deficiencia en la cantidad de alimento y nutrientes que percibe un animal, esto puede verse influenciado por factores ambientales, épocas de sequía y por factores de manejo. La alimentación de los camélidos sudamericanos es exclusivamente de los pastos naturales y su disponibilidad en la región está condicionada por la marcada estacionalidad de la precipitación: estación de lluvia (noviembre-abril) y otra de seca (mayo-noviembre)

donde el crecimiento de las pasturas es reducido, lo que origina una precariedad nutricional, por ende, no se cubre los requerimientos nutricionales de los animales (San Martín, 1999).

La alpaca desde el punto de vista alimenticio es un herbívoro selectivo y oportunista, teniendo preferencia por las herbáceas y únicamente ramonea cuando hay extrema necesidad, tomando en cuenta la libre disposición de agua (San Martín, 1991).

3.2.3 Anatomía y fisiología de los Camélidos Sudamericanos

Los camélidos pertenecen al suborden *Tylopoda* y son diferentes a los típicos rumiantes (vacunos, ovinos y caprinos) del suborden *Ruminantia* (presentando una similitud en la anatomía y fisiología digestiva), con los que a menudo compite y comparte ambientes alimenticios, debido a ello, los programas de alimentación no se pueden aplicar en los CSA (San Martín, 2015; Fowler, 2008).

3.2.3.1 Cavidad bucal

El labio de la alpaca es una estructura delgada, el labio superior está dividido por un surco medio (labio leporino) y el labio inferior, relativamente grande, cuelga en los animales viejos, especialmente en estado de reposo, ambos móviles, característica que les permite una alta selectividad de los alimentos bajo condiciones de pastoreo (De la Vega, 1952; San Martín, 1999).

3.2.3.2 Dentición

Los camélidos presentan una dentición en constante crecimiento, teniendo los incisivos bastante desarrollados, especialmente en la etapa adulta, los incisivos con los que nacen cambian a una determinada edad, teniendo una dentadura completa a los 4.5 años (De la Vega, 1952). Los premolares y molares cumplen un rol importante en la eficiencia del corte y molido del alimento (Rossi, 2004). Los

premolares se renuevan entre los 3.5 y 4 años, completando los extremos entre los 4 a 5 años (San Martín F., 1996; Bustinza, 2001).

3.2.3.3 Glándulas Salivales

Las glándulas son tanto serosas, mucosas y mixtas (San Martín, 1996; San Martín y Bryant, 1989), cumplen la función de la secreción de la saliva que contiene tres funciones cruciales: lubricación del alimento seco, la liberación de bicarbonato y fosfato que amortigua los efectos de los ácidos durante la fermentación. El pH y las concentraciones de ion en la saliva de la alpaca son similares a la del ovino, pero el flujo de saliva de las alpacas demostró ser mayor, habiendo mayor poder amortiguador debido a la relación entre el flujo salival y el tamaño de los dos compartimentos (C_1 , C_2) del estómago, permitiendo de esta forma mayor concentración amortiguadora más potente por unidad de volumen de contenido del estómago (Ortiz, 1971).

La actividad de la rumia es de suma importancia para los CSA, que se realiza decenas de veces en periodos de 7 a 12 horas, facilitando de esta forma la acción de la fermentación microbiana y destrucción de las paredes del forraje ingerido, conllevando a una mayor secreción salival (Yaranga, 2009).

3.2.3.4 Sistema digestivo

El estómago de los CSA presenta 3 compartimentos (C_1 , C_2 y C_3), donde es comparable con el rumen, omaso y abomaso, que comprenden el 83%, 6% y 11%, respectivamente, de su volumen total del estómago (Heller, 1984; San Martín F., 1996 y Bustinza, 2001). Existe una similitud anatómica y fisiológica digestiva con la familia Ruminantia (Franz, 2010; Lerner, 1988; IPCC, 2006). Por lo tanto, son también responsables de la liberación de los gases de efecto invernadero, sin embargo, a pesar de esta similitud, existen algunas diferencias entre los dos subórdenes: El compartimento (C_1 y C_2) representan una cámara de fermentación

similar al retículo-rumen de los rumiantes. El último compartimento (C₃) muestra similitudes al abomaso de los rumiantes (Wang *et al.*, 2000), a pesar de las similitudes estructurales con el estómago anterior de los rumiantes, los compartimientos de los camélidos no pueden ser homólogos directos (Vallenas, 1971).

El C₁ es el más grande de los tres compartimentos, dividido por un pliegue muscular transversal en dos porciones, una craneal y caudal, que contiene un ecosistema microbiano complejo, incluye bacterias, protozoos, arqueas y hongos; espacio donde ocurre la fermentación del forraje consumido (proceso fundamental para la nutrición del animal) y el beneficio de vegetales fibrosos (Cerón, 2016). El C₂ es el más pequeño y es la continuación del C₁. El C₃ se origina del C₂, situado al lado derecho del C₁ con una forma tubular y alargada, produciendo únicamente la secreción de ácido clorhídrico en la parte final de este (Engelhardt *et al.*, 2007). Los compartimentos C₁ y C₂, están cubiertos por sacos glandulares en el estómago (Bowen, 2003), permitiendo una eficiente maceración, mezclado y absorción de la digesta provistas de células epiteliales y microvellosidades (Lechner-Doll *et al.*, 1995).

3.2.3.5 Glándulas Estomacales

La pared interna del compartimento (C₁ y C₂) están cubiertas por dos tipos de mucosas (estructuras que la diferencia de los rumiantes), en la parte ventral se encuentran los sacos glandulares cubiertos de mucosa glandular y la parte dorsal (parte expuesta) cubierta por un epitelio escamoso estratificado (San Martín y Bryant, 1989); todos los compartimentos del estómago presentan la mucosa glandular mucinógena a excepción de la quinta parte distal del C₃ (estructura similar a la de los rumiantes), con diferencias en la disposición física (Cumming *et al.*, 1972). Los sacos glandulares del rumen secretan cantidades significativas de

bicarbonato para una acción tamponadora de la digesta (Eckerlin y Stevens, 1973). Por otro parte, San Martín (1996) y Bustinza (2001) mencionan que los sacos glandulares del C₁ y C₂ cumplen varias funciones, una de las principales es la absorción de solutos y agua, como también, el aporte de cantidades de carbonato en asociación con la ingesta del C₁, que pueden contribuir a la capacidad buffering del contenido del C₁-C₂ y la secreción de la mucosidad, glicoproteínas y urea, condicionando un ambiente óptimo para los microorganismos, de tal modo que, la tasa de absorción en el rumen retículo de los CSA es 2 a 3 veces superior comparado con el rumen de ovinos y caprinos (Cumming *et al.*, 1972).

3.2.3.6 Motilidad Estomacal

La motilidad del estómago de los CSA se produce en dos fases distintas: fase A (contracción en el C₂ que sigue fuertemente la contracción del aspecto distal del C₁) y fase B (puede repetirse de 3 a 6 veces durante un ciclo antes de un breve periodo de descanso y el comienzo de un nuevo ciclo), siendo continua y regular que la del rumiante (Heller *et al.*, 1984; Van Saun, 2006), teniendo importancia para la actividad microbiana en la fermentación constante de la degradación y una mezcla de las fases líquidas y sólidas de la ingesta, favoreciendo el vaciamiento de los reservorios digestivos (Avendaño, 2002; Van Saun, 2006). Los camélidos presentan contracciones del estómago cada 1-2 minutos, pudiendo ser menor en animales en reposo de 3-4 veces/minuto y mayor durante el proceso de ingestión del alimento 4-5 veces/ minuto. El eructo puede ocurrir de 3-4 veces durante cada ciclo de motilidad (Heller *et al.*, 1984; San Martín, 1996). Demostrando una mayor actividad del estómago comparado con la contracción trifásica única por minuto de los verdaderos rumiantes, este patrón de motilidad incrementado en los camélidos puede influir en la resistencia a la acumulación de los gases del estómago (evitando

la hinchazón) en comparación con los verdaderos rumiantes (Heller *et al.*, 1984; Van Saun, 2006).

3.2.3.7 Tiempo de retención del alimento en el tracto digestivo

Las alpacas tienen mayor retención de la digesta (50.3 h) que las ovejas (43.2 h) (Florez, 1973), mientras San Martín (1987a) reportó que la retención de la digesta en llamas es de 63.2 horas y ovejas 40.9 horas. Clemens y Stevens (1980) en su estudio acerca del tiempo de tránsito gastrointestinal, las llamas retienen partículas más grandes durante un periodo de tiempo más prolongado que el ganado o los caballos. San Martín (1987a) reportó que el pasaje de líquido del (C₁-C₂) en llamas es más rápida (10.4%/h) comparadas con ovejas (7.7%/h) apoyando a Clemens y Stevens (1980); Heller *et al.* (1984). La tasa de pasaje rápida del líquido en llamas podría deberse a la mayor relación entre el flujo salival y el tamaño del estómago (Ortiz, 1971).

La retención relativamente más corta de líquido ruminal en las llamas que en las ovejas indica que las llamas pueden haber mejorado el crecimiento microbiano en C₁-C₂, asegurando una cantidad mínima de energía para mantener las poblaciones microbianas (Isaacson *et al.*, 1975; Hespel y Bryant, 1979; Orskov, 1982). Sin embargo, el aumento de la tasa de dilución del líquido por la aplicación de saliva artificial mejora en la síntesis de proteínas microbianas hasta en un 25% (Harrison *et al.*, 1975).

3.2.3.8 Fermentación

Los rumiantes digieren los carbohidratos fibrosos mediante la fermentación microbiana del material vegetal en el tracto gastrointestinal (Stevens y Hume, 1998), donde ocurre la producción de los ácidos grasos volátiles (AGV) producto de la fermentación bacteriana en los compartimentos (C₁, C₂) de llamas y guanacos (Vallenas y Stevens, 1971a).

Vallenas *et al.* (1973), indica que las alpacas fueron provistas de un mecanismo amortiguador más eficiente que las ovejas debido a la similitud de concentraciones de AGV, pero los valores de pH eran diferentes (mayor en ovejas que en alpacas), pudiendo ser un factor en el rendimiento de las bacterias, puesto que, las condiciones ácidas aumentan los requerimientos de energía para el mantenimiento de las bacterias, además, las bacterias celulolíticas aparentemente obtienen rendimientos más bajos con valores de pH más bajos (Russell, 1985; Vallenas *et al.*, 1973b), al determinar AGV total en la digesta gastrointestinal de 36 CSA adultos (25 alpacas y 11 llamas) encontraron gran actividad fermentativa en los dos primeros compartimentos, los dos tercios proximales del compartimento 3 (C₃), ciego y colon proximal presentaron concentraciones considerables de AGV en comparación a los datos disponibles para bovinos, ovinos y ciervos, que se puede deber a la eficiencia en la absorción de AGV por parte de las alpacas y llamas. Las diferentes concentraciones de AGV y la cantidad de gas eructado en las alpacas es similar al ganado por unidad de peso corporal (Dougherty y Vallenas, 1968).

3.2.3.9 Arqueas del rumen

Las arqueas pertenecientes al Reino Archaea fueron descubiertas en 1977 por Wolf R. y Woese C. quienes le denominan el término arcaico, estas arqueas se multiplican en medios anaeróbicos y producen CH₄. Dentro del dominio arquea, de la clase *Methanobacteria*, predomina el género *Methanobrevibacter* debido a su crecimiento relativamente rápido y su competitividad en la utilización del H₂ y CO₂ (Kim *et al.*, 2011) única Arquea con predominio y responsable de la producción de metano (Tajima *et al.*, 2001).

La especie metanogénica predominante en el estómago de la alpaca es la *Methanobrevibacter millerae* (St-Pierre y Wright, 2012). Las arqueas se multiplican en un medio anaeróbico (el oxígeno impide su crecimiento), para ello, utilizan el

carbono como aceptor final de electrones que proviene de compuestos orgánicos con bajo peso molecular. En términos fisiológicos, existe tres rutas de metanogénesis: (i) a partir de la reducción del dióxido de carbono (CO_2) con hidrógeno (H_2) (ruta hidrogenotrópica), (ii) a partir de compuestos metilados tales como el metanol y aminas metiladas (ruta metilotrópica) y (iii) a partir de la escisión del acetato (ruta acetoclástica) (Thauer *et al.*, 2008).

El hidrógeno (H_2) es un producto de la fermentación ruminal por acción microbiana, donde las arqueas metanógenas son beneficiarias directas. La mayoría de especies de metanógenos obtienen energía para su desarrollo a partir de la reducción de dióxido de carbono (CO_2) con los electrones que derivan de la oxidación de hidrógeno (H_2) o formato, produciendo CH_4 (Janssen y Kirs, 2008), en sí, reducen CO_2 a CH_4 , utilizando H_2 como fuente de energía, como último paso de la fermentación entérica. Los niveles de metano producido puede verse influida por la cantidad de alimento ingerido y digerido. Como productos finales de la digestión ruminal tenemos a los Ácidos Grasos Volátiles, CO_2 , H_2 , amoníaco y calor. La formación de CH_4 actúa como el sumidero más importante de electrones que drena el H_2 producido por los microorganismos ruminales (McAllister *et al.*, 1996).

3.2.4 Cambio climático en la ganadería alpaquera

El cambio climático está afectando al medio ambiente, de tal modo que, altera nuestro planeta y la vida humana, algunas de estas expresiones hoy se centran en analizar las causas o factores que influyen en la industria ganadera, por su crecimiento se está acelerando y ahora compite con otros sectores en términos de recursos naturales, que han sido descritos como áreas donde son particularmente codiciosos (Gerber *et al.*, 2013).

El impacto directo del cambio climático sobre la producción ganadera, se menciona a las sequías, inundaciones, eventos climáticos extremos, incremento de la

temperatura y la disminución en los recursos del agua. Entre los impactos indirectos se menciona a la disminución de la cantidad y calidad de forraje, la aparición de epidemias y los cambios en las interacciones huésped-patógeno (Thornton y Gerber, 2010). Los fenómenos climáticos extremos (cambios bruscos de temperatura) pueden provocar la reducción de pasturas y bofedales, los cuales, son la principal fuente de alimento, por el contrario, habrá un aumento de especies arbustivas, siendo menos productivos, originando así la merma económica del productor Alto Andino (Flores *et al.*, 2015).

3.2.4.1 Gases de efecto invernadero

El cambio climático global es una de las amenazas que enfrentan los países de todo el mundo, los principales gases que componen la categoría de gases de efecto invernadero se dividen en gases directos e indirectos, a saber, los gases directos como el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hexafluoruro de azufre (SF_6) y compuestos halogenados (CFC), por su parte, los indirectos son los óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVDM).

Los gases de CO_2 , N_2O Y SF_6 (directos) destacan por su origen antropogénico, al CO_2 se asocia con la producción de combustibles fósiles, cambio de uso del suelo, silvicultura y algunos procesos de producción industrial; el CH_4 está vinculado con la ganadería, cultivo de arroz inundado, producción de combustibles fósiles y brindar bienes/servicios; el N_2O se le atribuye con la aplicación de fertilizantes, la quema de biomasa, la disposición de los residuos de estiércol animal en la actividad agrícola y ganadera (Butler y Montzaka, 2016; Braatz y Doorn, 2008; IPCC, 2008).

3.2.4.2 Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero que se produce de manera natural en la atmósfera terrestre, pero también se emite en grandes cantidades debido a la actividad humana. La principal fuente de emisiones de CO₂ causada por la actividad humana es la quema de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural para producir energía. Además de la quema de combustibles fósiles, hay otras actividades humanas que también contribuyen en la emisión de CO₂, como la deforestación, la tala de árboles y la agricultura intensiva (IPCC, 2008).

3.2.4.3 Producción de CO₂ por los animales

El CO₂ producido por la respiración animal también contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero, pero en general se considera que no es una fuente significativa de emisión en comparación con otras fuentes dentro de la industria ganadera. Los animales, al igual que los seres humanos, respiran oxígeno y exhalan dióxido de carbono como subproducto del proceso de la respiración.

Sin embargo, la cantidad de CO₂ que se produce por la respiración animal es relativamente baja en comparación con la cantidad de CO₂ que se produce por otras actividades relacionadas con la industria ganadera, como la producción de alimentos para animales y el transporte de animales y productos animales. Por lo tanto, aunque la respiración animal contribuye a las emisiones de CO₂, no se considera una fuente principal de emisiones dentro de la industria ganadera (IPCC, 2006).

3.2.4.4 Metano

El metano es un potente gas con efecto invernadero, debido a su potencial de absorción de la radiación, siendo aproximadamente 28 veces superior al CO₂

(Al Khourdajie *et al.*, 2022), producto de la fermentación anaeróbica de los alimentos a nivel ruminal que puede representar una pérdida de 2-12 % de la energía bruta ingerida (Johnson y Johnson, 1995).

Tabla 1: Valores de potencial de calentamiento global en una escala de 100 años y tiempos de vida de diferentes gases basados en el sexto informe de evaluación (AR6) del IPCC, en unidad equivalentes al CO₂.

GAS	Vida media	PCG
Dióxido de carbono (CO ₂)	Múltiple	1
Metano biogénico (CH ₄)	11.8 ± 1.8	27.0 ± 11
Óxido nitroso (N ₂ O)	109 ± 10	273 ± 130
Clorofluorcarbonados (CFCs)	5.4 ± 1.1	771 ± 292

Fuente: (Al Khourdajie *et al.*, 2022)

La actividad ganadera y agrícola contribuyen directamente a la emisión de gases de efecto invernadero, teniendo mayor participación la ganadería que, después del sector energético, es la actividad más comprometida (Berra y Finster, 2002). Los rumiantes contribuyen aproximadamente con 18 al 20 % del CH₄ producido anualmente a nivel mundial y siendo una de las pocas fuentes de CH₄ que pueden ser reducidas a través de apropiadas estrategias alimenticias (Gibbs, 1989). Los estudios satelitales (GOSAT) han estimado una emisión global de 539 Tg de metano por año, de los cuales 39% procede de los humedales, 22% de la ganadería, 12% de petróleo/gas, 12% del estiércol, 8% del arroz y 6% de la minería del carbón (Turner *et al.*, 2015). La mayoría de los rumiantes dependen del consumo de forraje que muchas veces es de pobre calidad, limitando la disponibilidad de proteína microbial y energía e incrementando la emisión de CH₄ (Leng, 1993), es por ello que, si los animales consumen forraje de alta digestibilidad producen menos CH₄ por unidad de producto terminado (leche, carne, etc.) que animales consumiendo de baja calidad (Blaxter y Clapperton, 1965). Los microorganismos forman sus comunidades según los tipos de sustratos que

fermentan, los metanógenos consisten en una variedad de especies capaces de obtener energía al reducir el H₂ en el gas ruminal y producir CH₄ como producto final: $\text{CO}_2 + 8 \text{ H} \rightarrow \text{CH}_4 + 2 \text{ H}_2\text{O}$

La producción de metano depende de diferentes factores: el tipo de animal (monogástrico o rumiante) y el tipo de dieta (forraje, dieta mixta o concentrada) siendo los más importantes, como también, el estado fisiológico y el nivel de alimentación. Las especies herbívoras (ruminantes) presentan una elevada población de bacterias y protozoos que habitan en el retículo-rumen, cuando se da la fermentación entérica hay una mayor emisión de metano (Crutzen *et al.*, 1986; Moss *et al.*, 2000).

3.2.4.5 Metano entérico

Gas digestivo que liberan los animales ruminantes en gran proporción, como producto de la actividad bioquímica de un grupo de microorganismos pertenecientes al dominio Archaea que habitan en el rumen, con predominio del género *Methanobrevibacter*, que son capaces de desarrollarse utilizando H₂ como fuente de energía y electrones que derivan del H₂ para reducir CO₂ a CH₄ (Janssen y Kirs, 2008).

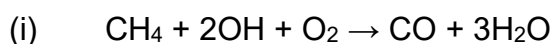
En la producción de metano pueden influir diversos factores como el Ph, la concentración de AGVs en el rumen, el tipo de dieta, la forma de alimentación del animal, la especie animal o estrés ambiental (Johnson y Johnson, 1995). La emisión de metano tiene implicancias tanto nutricionales (pérdida de la energía dietaria) como ambientales (gas de efecto invernadero), donde la digestión de los pastos templados representa el 6-7% de la energía bruta del alimento consumido (Pinares *et al.*, 2009). La ganadería altoandina se caracteriza por una alimentación a base de forrajes enteros y maduros con alto contenido de fibra, en consecuencia,

genera altas emisiones de metano con efectos negativos sobre la eficiencia de la utilización del alimento y el aporte al calentamiento global (Doreau *et al.*, 2011).

3.2.4.6 Metano atmosférico

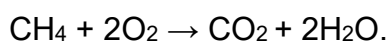
Las emisiones de metano se pueden agrupar en términos generales en tres categorías: biogénicas, termogénicas y pirogénicas. Las fuentes biogénicas contienen microbios generadores de CH₄ (metanógenos) (Cicerone y Oremland, 1988) y comprenden entornos anaeróbicos como humedales naturales y arrozales, depósitos de agua dulce pobres en oxígeno (como represas), sistemas digestivos de rumiantes y termitas, también de depósitos de desechos orgánicos (como estiércol, alcantarillado y vertederos). El metano termogénico, formado durante millones de años a través de procesos geológicos, es un combustible fósil (carbón, petróleo y gas natural). El CH₄ pirogénico se produce por la combustión incompleta de la biomasa y el carbono del suelo durante los incendios forestales de biocombustibles y combustibles fósiles (Kirschke *et al.*, 2013). Los estudios satelitales (GOSAT) estimaron una emisión de 539 Tg de metano por año, de los cuales 39% proceden de los humedales, 22% de la ganadería, 12% de petróleo/gas, 12% del estiércol, 8% del arroz y 6% de la minería del carbón (Turner *et al.*, 2015).

El principal sumidero de CH₄ atmosférico es la oxidación del radical hidroxilo (OH) que provoca la remoción del CH₄, sobre todo en la tropósfera, la misma que representa el 90% de la remoción mundial de metano (Kirschke *et al.*, 2013). Donde por intermedio de las reacciones químicas, el metano es reducido a monóxido de carbono y agua (i).



El monóxido de carbono también es oxidado por el radical hidroxilo (OH) en CO₂ y agua (Seiler, 1974). La formación del OH se debe a la fotodisociación del ozono

troposférico (O₃) por la luz ultravioleta en presencia del vapor de agua (Fiore, 2014). En la troposfera la vida media de una molécula de CO₂ es mayor a 100 años, mientras que del CH₄ oscila entre 8-12 años, por ello, las reducciones de metano de hoy pueden dar lugar a las bajas concentraciones en una o dos décadas, reduciendo el calentamiento global, especialmente en las regiones más vulnerables del planeta. Existe otra forma de remoción del metano a cargo de los metanótrofos, únicas bacterias gram-negativas que usan el metano como fuente de carbono y energía (Trotsenko y Murrell, 2008). La oxidación ocurre en los suelos aireados, donde el CH₄ reacciona con el oxígeno dando origen al CO₂ y H₂O (ii) (Kirschke *et al.*, 2013), siendo el mayor sumidero de metano atmosférico



3.2.5 Factores que afectan la emisión de metano

3.2.5.1 Factor dieta

La cantidad y calidad del alimento pueden afectar la producción de metano, el tipo de carbohidratos en la dieta, el grado de procesamiento del alimento, la adición de lípidos o ionóforos al alimento y cambios en la comunidad microbiana del rumen. La tasa de pasaje y cantidad de glúcidos fermentados en el rumen son los dos principales factores responsables de las variaciones de la producción de metano (Johnson y Johnson, 1995).

3.2.5.2 Factor ambiental

La producción de metano por unidad de materia seca ingerida se incrementa cuanto mayor es el contenido de lignocelulosa en los pastos, siendo mayor en los pastos subtropicales (C₄) frente a pastos de climas templados (C₃) (Ulyatt *et al.*, 2002). Animales con dietas de forraje de baja calidad con limitadas oportunidades de selección (forraje escaso de baja calidad) tienden a emitir más metano entérico (Ominski *et al.*, 2004).

3.2.5.3 Factor fisiológico

La producción de metano incrementa a mayor retención del alimento ruminal o menor digestibilidad por unidad digerida, opuesto a ello, la mayor tasa de pasaje ruminal disminuye dicha producción (McAllister *et al.*, 1996). La producción de H₂ y CH₄ es regulada por la producción de Ácidos Grasos Volátiles (AGV). Si la relación acética: propiónico fuese de 0.5, la pérdida energética sería del 0%; las pérdidas energéticas pueden representar hasta el 33% en caso sí, los glúcidos fuesen fermentados a ácido acético y no se produjera ácido propiónico; esta relación acética: propiónico puede variar entre 0.9 y 4, debido a ello, las pérdidas por metano pueden variar significativamente (Johnson y Johnson, 1995). El aumento en la tasa de pasaje del alimento, también está asociado con el incremento en la proporción de propionato entre los productos de fermentación. Existe una fuerte correlación negativa entre la formación de Propionato en el rumen y la cantidad de CH₄ producido (Janssen, 2010).

3.2.5.4 Factor genético

Los criterios de selección tomando en cuenta a los animales que consumen menos alimento o producen menos metano por unidad de alimento, como también, animales que sean genéticamente superiores en la eficiencia alimenticia neta y el tiempo medio de retención de la ingesta en el rumen, son estrategias para mitigar las emisiones de metano entérico (Boadi y Wittenberg, 2002; Hegarty, 2002).

3.2.6 Emisiones de metano en el Perú

En el año 1994 la producción de gases fue de 720 mega toneladas equivalentes al CO₂ según el panel intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC) y para el año 2006 fue 474 gigagramos (Gg) de metano proveniente de los diferentes sistemas de producción animal, que representa un incremento de 25%

respecto al año 1994, resultando la fermentación entérica y de estiércol los principales contribuyentes (Gómez *et al.*, 2008).

El Perú emitió 171 millones 310 mil toneladas de gases de efecto invernadero en el año 2012, la OCDE (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos) y CEPAL (Comisión para América Latina y el Caribe) informaron que esta cifra constituye el 0.34% de emisiones mundiales y el 3.5% de las emisiones de América Latina y el Caribe (MINAM, 2016).

3.2.7 Técnicas de medición de metano

Las emisiones de metano por parte del ganado forman parte del estudio de la fermentación ruminal, balance energético, evaluación de aditivos y recientemente para determinar y reducir el aporte de CH₄ entérico global; empleando técnicas como la calorimetría de la respiración que incluye las cámaras para el cuerpo entero, máscaras ventiladas, cajas de cabeza y cámaras (Jhonson y Jhonson, 1995). A partir de los datos obtenidos mediante estas técnicas se derivan las ecuaciones predictivas utilizadas para generar modelos matemáticos e inventarios nacionales y mundiales (Benchaar *et al.*, 1998). Para la medición de metano como tal, se ha empleado técnicas y/o equipos tales como: cromatografía de gases, analizadores de gases infrarrojos con detección fotoacústica, espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR), espectroscopia de absorción láser con diodos sintonizables y los semiconductores sensores de chip. Por otra parte, para la medición de metano entérico producido por los rumiantes existen varias metodologías como: calorimetría de la respiración, el uso de gases trazadores calibrados como el hexafluoruro de Azufre (SF₆), ecuaciones predictivas y las técnicas *in vitro* destacando la técnica de simulación ruminal –RUSITEC- y la técnica de producción de gases (Bhatta *et al.*, 2007). La elección de las técnicas para medir las emisiones de metano entérico, dependerá de la exactitud de cada

una, las ventajas y desventajas (Johnson *et al.*, 2000). Las técnicas analíticas para precisar la medición de CH₄ entérico comprenden: Cámaras de respiración para pequeños rumiantes (Fernández *et al.*, 2015).

3.2.7.1 Medición de metano, dióxido de carbono y oxígeno mediante el sistema móvil de circuito abierto de calorimetría indirecta

La respirometría en circuito abierto es un método de calorimetría indirecta que consiste en medir el intercambio de gases asociado a la oxidación de sustratos energéticos y determinar la producción de calor asociada (HP). Fernández *et al.* (2012), construyó un sistema de respirometría móvil de circuito abierto para estimar la producción de CH₄ y CO₂ y el consumo de O₂ para pequeños rumiantes. Cualquier método al aire libre para estimar el metabolismo energético debe cumplir con ciertos requisitos: validez, confiabilidad, aceptabilidad, precisión y costo (Lachica y Aguilera, 2008). Se logran ampliamente en un laboratorio de calorimetría, pero cuando el costo tiene que ser bajo, una opción es un sistema de respirometría de circuito abierto móvil. Para obtener tiempos de respuesta rápidos en períodos cortos, con frecuencia se han empleado máscaras o capuchas en conexión con circuitos abiertos en rumiantes (Brosh, 2007). El sistema se puede incorporar a un carro para monitorear animales cerca de su entorno normal.

CAPÍTULO IV

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Lugar de Estudio

El experimento se realizó en el Centro de Investigación de Camélidos Sudamericanos (CICAS) “La Raya”, a una altitud de 4200 msnm, de la Facultad de Agronomía y Zootecnia (FAZ), de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC) situado en el distrito de Maranganí, Provincia de Canchis y Departamento del Cusco; dicho centro está ubicado en las siguientes coordenadas:

- Latitud sur. $14^{\circ}00' - 15^{\circ}45'$
- Latitud Oeste $69^{\circ}45' - 75^{\circ}00'$
- Altitud. 4130 m.s.n.m.
- Promedio de precipitación pluvial. 965 mm
- Temperatura promedio anual. $6.54^{\circ}\text{C} - 13.5^{\circ}\text{C}$

Figura 1. Centro de investigación en Camélidos Sudamericanos CICAS “La Raya - UNSAAC”



4.2 Instalaciones

Se utilizó dos ambientes, en uno se ubicó las 5 jaulas metabólicas de acero inoxidable adaptadas para alpacas, con las dimensiones de 0.75 metros de ancho, 1.60 metros de largo, 2.0 metros de altura, suspendidas a una altura de 0.33 metros (Fotografía 10) el otro ambiente fue para la evaluación del intercambio gaseoso donde se encuentra la cámara dinámica acoplada a una jaula metabólica y el sistema analizador de gases (Fotografía 25); dichas jaulas metabólicas estuvieron provistas de comederos metálicos, bebederos y plataformas metálicas para facilitar la colección de heces y orina.

Las jaulas a nivel de la base estuvieron constituidas de una serie de plataformas metálicas, liso con agujeros en la parte posterior (en referencia al tren posterior del animal) donde permaneció la alpaca, debajo de esta, hubo otro nivel en forma de V con una ligera pendiente que permitía coleccionar la orina que se conduce hacia un recipiente colector, como se aprecia en la Fotografía 11.

4.3 Animales

Se utilizó 5 alpacas macho de la raza Huacaya con edades de 2 a 3 años, que fueron seleccionados de acuerdo a su peso, edad, condición corporal, con fines de establecer la mayor homogeneidad posible, animales ubicados en el Centro de investigación de Camélidos Sudamericanos (CICAS LA RAYA-UNSAAC).

Fotografía 1. Animales experimentales.



4.4 Alimento y dieta experimental

La dieta experimental estuvo conformada por heno de avena y pellet de alfalfa, en una proporción de 70:30%, respectivamente. El análisis químico de los insumos (heno de avena y pellet de alfalfa) se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Tabla 2. Composición química de los insumos de la dieta experimental

	Unidad	Heno de avena	Pellet de alfalfa
Materia Seca	%	81.9	89.1
Materia Orgánica	%	96.0	91.1
Energía bruta	Kcal/g MS	4.36	4.45
Proteína Cruda	%	5.28	17.0
Fibra Detergente Neutra	%	60.9	44.6
Carbono	%	45.8	45.2
Nitrógeno	%	0.845	2.72

Fotografía 2. Insumos experimentales.



4.5 Materiales y equipos de campo

- 01 Sistema móvil de circuito abierto para la medición de gases
- 05 jaulas metabólicas para alpacas equipadas con comedero y bebedero, provistas de plataformas para la colecta de heces y de orina

- 05 bolsas de tela colectoras de heces impermeabilizadas de 25x35 cm
- 01 recipiente para pesaje del alimento rehusado
- 01 recipiente para pesaje de heces
- 05 baldes para el abastecimiento de agua
- Bolsas ziploc
- Recipiente para pesado de alimento
- Guantes de látex
- Frascos para coleccionar muestras de heces
- Frascos para coleccionar muestras de orina
- Papel toalla
- Cuaderno de campo
- Rotulador indeleble
- Bolsas de papel
- Sogas
- Brochas
- 01 probeta de vidrio graduada
- 01 balanza digital (AND, EJ-2000)
- 01 Balanza digital de tipo plataforma para el pesaje de animales (PERUTRONIX)
- 01 Refrigeradora (COLDEX CH 40)
- 02 Mamelucos de trabajo
- Alcohol de 96°
- Algodón
- Vaso de precipitado de 100 y 500 ml de capacidad (VITLAB)

4.5.1 Equipos de laboratorio

- Balanza analítica de precisión (Sartorius Quintix, 224-iS)
- Ultramicrobalanza (Perkin Elmer AD 6000)
- Molino de cuchillas (Foss Knifotec, KN 295)
- Mufla electrónica (PROTHERM, ECO 110/9)
- Analizador NIR (Perkin Elmer DA 7250)
- Estufa de Convección Forzada de 720 L (BINDER, FED 720)
- Estufa de Convección Forzada (POL EKO APARATURA, SLW 750)
- Analizador Elemental CHNO/S (PERKIN ELMER, 2400 Series II)
- Prensa Peletizadora (Parr)
- Bomba calorimétrica (PARR INSTRUMENT COMPANY, 6400)

4.5.2 Reactivos

- Ácido sulfúrico al 10%

4.6 Metodología

Estudio de tipo cuantitativo que presenta tres etapas: pre-experimental, experimental y análisis de las muestras en laboratorio.

4.6.1 Etapa pre-experimental

Se acondicionó el ambiente de trabajo, así como las jaulas metabólicas y materiales adicionales. Se ubicó las jaulas en posiciones contiguas y enumeradas, para el flujo de abastecimiento y manejo de los alimentos.

4.6.1.1 Adaptación de los animales experimentales

Se registró el peso inicial de las alpacas, con edades de entre 2 y 3 años (Tabla 3) con un peso promedio de 47.48 ± 5.04 kg, posterior a ello, se sometió a un periodo de adaptación a las jaulas metabólicas, a la dieta (a libre disposición) y bolsas colectoras, durante 21 días previos al inicio de la fase experimental.

Fotografía 3. Animales en adaptación.



Tabla 3. Información básica de los animales experimentales, kg

N.º Jaula	Fecha de nacimiento	N.º de arete	Peso inicial - etapa Pre-experimental	Promedio
1	2/2018	H9596	45.200	
2	1/2019	H10139	51.200	
3	2/2019	H10442	42.000	
4	2/2019	H10387	44.800	
5	2/2018	H9591	54.200	47.48

4.6.2 Etapa experimental

4.6.2.1 Tratamiento de subalimentación

La fase experimental de Subalimentación consistió en brindar alimento al animal por debajo de sus requerimientos nutricionales, tomando en consideración que Ramírez (2017) a través de modelos lineales reportó los requerimientos energéticos para mantenimiento y ganancia de peso, con ensayos de alimentación de alpacas en condiciones de altura, para mantenimiento 40 g MS/PV^{0.75}; la fase de subalimentación tuvo una duración de 8 días, donde los 5 primeros días se destinó al estudio de la digestibilidad y los 3 últimos días a la medición de los gases (CO₂, CH₄ y O₂).

4.6.2.2 **Dieta experimental subalimentación**

Se realizó el análisis químico de la composición nutricional (pellet de alfalfa y heno de avena) (Tabla 4) en el laboratorio de Nutrición Animal perteneciente a la Escuela Profesional de Zootecnia de Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, luego se calculó la dieta de subalimentación en relación con el consumo estimado para condiciones de mantenimiento en alpacas, según lo propuesto por Ramírez,(2017) $40 \text{ gMS/PV}^{0.75}$, se consideró para subalimentación 31.5 g MS/PM , que representa el 80% del nivel de mantenimiento.

Tabla 4. Composición química de la dieta ofrecida para condiciones de subalimentación

Subalimentación	
Variables registradas	
Materia Seca ^a	31.5
Materia Orgánica ^a	29.8
Energía bruta ^b	1.38
Proteína Cruda ^a	3.05
Fibra Detergente Neutra ^a	18
Carbono ^a	14.37
Nitrógeno ^a	0.495

Donde ^a: $\text{g/KPV}^{0.75}$ ^b: $\text{Kcal/KPV}^{0.75}$

4.6.2.3 **Control de consumo de alimento y agua**

Se pesó el alimento a suministrar en función a su peso metabólico multiplicado por el consumo de materia seca para condición de subalimentación (31.5 g/ kgPM), de los cuales, el 70% fue heno de avena y el 30% pellet de alfalfa, que fueron ofrecidos en una sola ración. El alimento fue suministrado a las 8:00 a.m. tras haber retirado y registrado el alimento rechazado, del día anterior, así mismo, se ofreció agua 2.5 litros con el fin de brindarle agua a libre disposición (Anexo 4).

4.6.2.4 Control de peso vivo

Se registró tres pesos, al inicio de la etapa Pre-experimental, experimental y al finalizar la etapa experimental. Cabe mencionar que para el registro de peso se utilizó una balanza tipo plataforma marca PERUTRONIX SERIAL RS-232, que cuenta con un lector digital de peso, con una capacidad máxima de 2000 kg y margen de error 300 gr.

4.6.2.5 Control de heces y orina

En la fase experimental del Tratamiento Subalimentación se registró la producción de heces (Anexo 5) y orina (Anexo 6) durante los 8 días, los 2 últimos días de la prueba de digestibilidad se tomó muestras de 100 gramos de heces por animal/día y 100 ml de orina por animal/día (previo a ello se le añadió 15 ml de Ácido sulfúrico al 10% a cada contenedor evitando de esta forma la volatilización del nitrógeno) para luego ser congelados a -20 °C. Para el pesaje se utilizó balanza electrónica de laboratorio AND EJ-2000, capacidad máxima de 2100 g. con un error de 0.1 g.

4.6.2.6 Animales en cámara respirométrica

Se seleccionó 3 alpacas macho de la raza Huacaya que mejor se adaptaron (jaula metabólica, bolsas colectoras, insumos y manejo) en la etapa Pre-experimental, estos animales tuvieron un peso promedio al inicio de la etapa experimental de 47.3 ± 4.44 kg para determinar la producción de metano, CO₂ y consumo de oxígeno (Tabla 5).

Fotografía 4. Animal en cámara.



Tabla 5. Registro de alpacas Huacaya evaluadas en cámara dinámica

N.º Jaula	Fecha de nacimiento	N.º de Arete	Peso (kg)	Peso promedio (kg)
1	Ene-19	H10139	46.0	
2	Feb-19	H10442	43.6	
3	Feb-18	H9591	52.2	47.3

4.6.2.7 Medición del intercambio Gaseoso

Para cuantificar y/o registrar de manera precisa los gases: O₂, CO₂ y CH₄, se determinó por un sistema de respiración de circuito abierto, conectado a una cámara dinámica, adaptado para alpacas.

4.6.2.8 Cámara dinámica

Siendo de acero quirúrgico, con las dimensiones de 1.5 metros de altura, 0.685 metros de largo y 0.50 metros de ancho (medidas biométricas de la alpaca), que permaneció acoplado en la parte frontal de la jaula metabólica, la cámara tuvo una ventana acrílica transparente en la parte frontal, un cajón con asa para colocar la comida y el agua, se aseguró con dos cerraduras laterales situadas en la parte frontal.

Fotografía 5. Cámara dinámica vista anterior y posterior.



En la parte posterior de la cámara se instaló un capuchón de nylon fijado por cuatro placas atornilladas y pegadas alrededor del borde de la abertura, que termina en forma de embudo, orificio extremo con un cordón de nailon al borde del

mismo, para ajustar y atar alrededor del cuello del animal, evitando de esta forma fugas de gases. La cámara contó con dos conexiones separadas, una que permite la entrada de aire atmosférico del medio exterior y la otra que es la línea de succión que está conectado al sistema analizador de gases.

4.6.2.9 Sistema Móvil de Respirimetría de Circuito Abierto

El sistema se encontró en un espacio móvil de acero inoxidable de dos pisos, en la parte baja se acoplaron el **Flujómetro** (Thermal Mass Flowmeter Sensyflow VT-S; ABB Automation Products GmbH, Alzenau, Alemania) que registró el flujo de masa o volumétrica de los gases (50 L/min) y la temperatura del flujo en una primera línea de análisis, **Enfriador de gases** (Sample Gas Cooler, SCC-C, ABB, Alzenau, Alemania) que permitió que la muestra de gas fuese filtrada y secada para eliminar la humedad antes de cada análisis en una segunda línea (1 L/min), y un **Ventilador Helicocentrífugo** (Ventiladores Helio Centrífugo In-Line, TD-MIXVENT, Soler & Palau) que facilitó la aspiración de aire en un valor de 50 L/min.

En la parte superior, **Rotámetro** (Medidor de flujo RATE- MASTER®, Dwyer, ABB, Alzenau, Alemania) con su respectiva válvula, **Bomba de membrana ajustable y de precisión** (Diaphragm Pump 4N, ABB Automation Products GmbH, Alzenau, Alemania) que registró el flujo constante de la segunda línea de análisis , **Analizador de gases** (Continuous Gas Analyzers, EasyLine EL 3020, ABB Automation Products GmbH, Alzenau, Alemania) el cual poseía dos sensores, Sensor Uras26 para la determinación de la presencia de CO₂ y CH₄ en la muestra de aire analizado y el Sensor Magnos28 el cual determinó la presencia de O₂ en la muestra de aire analizado, el **Sistema de colección de datos** (CR800 Series Dataloggers, Campbell Scientific. Inc.) que recopiló datos de los diferentes equipos y una **Computadora integrada** (Pos-D) para el control del sistema, adquisición de

datos y grabación, que permitía observar registro de datos y gráficos generados mediante el software de Campbell Scientific Inc.

Fotografía 6. Sistema analizador de gases.



El sistema de respirometría poseía dos líneas de muestreo. La línea principal para el aire aspirado (50 L/min) conectada a la cámara dinámica mediante un tubo de PVC de cloruro de polivinilo (diámetro interno de 25 mm). Una línea secundaria (diámetro interior 5 mm), situada detrás del medidor de flujo de masa que toma una submuestra de gas de la línea principal por medio de la bomba de membrana mencionada anteriormente (1 L/min), unida al rotámetro y conectada a la unidad de análisis de gas. La muestra de gas es filtrada y secada mediante el gas refrigerante para eliminar la humedad antes de cada análisis.

4.6.2.10 Control y registro de producción de gases

Los 3 últimos días de la fase experimental se puso en marcha el sistema. Los tres animales que mejor se adaptaron fueron sometidos a la medición de gases en la cámara dinámica por un periodo de 24 horas/ animal, donde el sistema registró datos por minuto.

Antes de que el animal ingrese a la cámara dinámica, se suministró la ración correspondiente al animal para condiciones de subalimentación, incluido el agua

en el cajón de la cámara. El encendido del equipo analizador se hizo media hora antes con el fin de estabilizar los niveles basales de CH₄, CO₂ y O₂ del aire atmosférico; posteriormente con el animal dentro de la cámara dinámica, actividad que se realizó desde las 6.30 a 7:00 a.m. de tal forma que, a las 8:00 a.m. se registró datos de gases con animal dentro. Cabe mencionar que cada operación o movimiento se registró con fecha y hora correspondiente.

4.6.2.11 Cálculos de producción de gases

En un principio se realizó el test de recuperación, valores que fueron tomados en cuenta para precisar los resultados obtenidos de la producción de CH₄, CO₂ y el consumo de O₂. Los datos registrados en la PC integrada fueron en términos de porcentaje, para expresarlo en g/d o L/d, se calculó la presión parcial de vapor de agua (PWP), el volumen de aire atmosférico (VMR), volumen de aire seco y finalmente el volumen de aire seco a condiciones normales de presión y temperatura (VRCNTP) y luego se corrigió cada dato por minuto.

4.6.2.1 Determinación del coeficiente de digestibilidad

Adicional a los objetivos planteados, se determinó el coeficiente de digestibilidad, empleando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Digestibilidad} = \frac{\text{Nutriente consumido} - \text{Nutriente excretado}}{\text{Nutriente consumido}} \times 100$$

4.6.3 Fase de laboratorio

La composición química de las muestras del alimento, heces y orina se analizó por triplicado en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Se determinó materia seca (MS), materia orgánica (MO), energía bruta (EB), proteína cruda (PC) y la fibra detergente neutra (FDN), Carbono (C) y Nitrógeno (N).

4.7 Análisis estadístico

4.7.1 Estadística descriptiva

Se aplicó una estadística descriptiva para determinar los parámetros estadísticos descriptivos como: (Promedio, Desviación Estándar, Coeficiente de Variación, valor Máximo y Mínimo) de la producción de Metano, Dióxido de carbono, heces y orina, lo propio para el consumo de Oxígeno, alimento y agua.

CAPÍTULO V

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Consumo de materia seca en alpacas subalimentadas

El consumo de materia seca para alpacas fue de 507.3 ± 26.8 (g animal/día). Lo que supone un promedio de consumo de 1.10% del peso vivo y unos 31.5 g/PV^{0.75} para alpacas sometidas a condiciones de subalimentación.

Tabla 6. Consumo de nutrientes en alpacas Huacaya alimentadas con una dieta de subalimentación (31.5 gMS/kgPM)

Variables registradas	Dieta de Subalimentación (31.5 gMS kg PV ^{0.75})				
	Promedio (n:5)	SD	CV(%)	Min	Max
Peso vivo , kg	46.08	3.24	0.070	43.60	52.2
Peso metabólico (kgPV ^{0.75})	17.68	0.92	0.052	16.97	19.4
Materia Seca, (g/ animal/ día)	507.3	26.8	0.053	484.6	560
Materia seca, (g/ PV ^{0.75} / día)	28.70	0.09	0.003	28.56	28.8

Dónde: kgPV^{0.75}, kg de peso metabólico

Tabla 7. Referencia del consumo de materia seca en alpacas de diferentes autores

Fuente	Peso (kg)	MS g/día	MS kg/PV ^{0.75}	proporción PV (%)
Vélez <i>et al.</i> , (2022)	71.2	964.0	42.70	1.35
Marca y Roque (2019)	54.8	1115	55.30	2.03
Ramírez (2018)	53.9	1181	59.43	2.19
Huareccallo (2017)	60.0	792.0	36.70	1.32
Quispe (2015)	34.5	719.0	48.10	2.08
Pinares (2003)	63.3	870.7	38.80	1.38

Dónde: MS, materia seca; PV^{0.75}, peso metabólico; PV, peso vivo

El promedio de consumo de materia seca (MS) del presente estudio 507.3 ± 26.8 (g /día) es inferior a lo reportado por Vélez *et al.* (2022), Marca y Roque (2019), Ramírez (2018), Huareccallo (2017), Quispe (2015) y Pinares (2003), que puede deberse al suministro por debajo de sus requerimientos, tal como se aprecia en la Tabla 7.

5.2 Emisión de metano (CH₄)

Tabla 8. Emisión de metano entérico en alpacas sometidas a condiciones de subalimentación

	Subalimentación (31.5 g MS/kg PV ^{0.75})							
	A1	A 2	A3	Pro-medio	SD	CV%	Min	Max
VARIABLES REGISTRADAS								
Peso Vivo, kg	46.0	43.6	52.2	47.3	4.44	9.4	43.6	52.2
Peso Metabólico, kg PM	17.7	17.0	19.4	18.0	1.26	7.02	17.0	19.4
Consumo								
Materia seca, kg/día	0.497	0.487	0.554	0.513	0.036	7.03	0.487	0.554
Materia orgánica, kg/día	0.469	0.460	0.523	0.484	0.034	7.03	0.460	0.523
Proteína cruda, kg/día	0.045	0.044	0.050	0.047	0.003	7.01	0.044	0.050
FDN, kg/día	0.276	0.271	0.308	0.285	0.020	7.04	0.271	0.308
Emisión de Metano								
CH ₄ , g/día	13.7	11.8	16.0	13.8	2.11	15.3	11.8	16.0
CH ₄ , g/kg PM	0.776	0.693	0.822	0.763	0.066	8.59	0.693	0.822
CH ₄ , g/kg MS consumido	27.6	24.1	28.8	26.8	2.43	9.05	24.1	28.8
CH ₄ , g/kg MO consumido	29.2	25.6	30.5	28.4	2.58	9.06	25.6	30.5
CH ₄ , g/kg PC consumida	301.7	266.3	317.2	295.1	26.1	8.85	266.3	317.2
CH ₄ , g/kg FDN consumido	49.6	43.4	51.8	48.3	4.39	9.10	43.4	51.8
CH ₄ , L/día	19.2	16.5	22.3	19.3	2.95	15.3	16.5	22.3
CH ₄ , L/kg MS consumido	38.6	33.8	40.3	37.6	3.40	9.05	33.8	40.3
CH ₄ , L/kg PM	1.09	0.970	1.15	1.07	0.092	8.59	0.970	1.15

Dónde: MS: Materia seca; MO: Materia orgánica; FDN: Fibra detergente neutra; kg PM o kg PV^{0.75}: Kilogramo de peso metabólico; A: animal

La producción de metano entérico en alpacas durante 24 horas subalimentadas, con un peso promedio de 47.3 ± 4.44 kg, fue de 13.8 ± 2.11 (g CH₄/día), 19.3 ± 2.95 (L/día), con un coeficiente de variabilidad de 15.3%, con valores máximos de 16 g CH₄/día y valores mínimos de 11.8 g CH₄/día y respecto a la producción de metano entérico en términos de kilogramo de peso metabólico fue una media de 0.76 ± 0.066 (g CH₄/día) (Tabla 08).

La emisión de metano fue de 13.8 ± 2.11 (g CH₄/día), inferior a los estudios reportados por Rios (2023), con 16.4 ± 2.89 (g CH₄/día) alpacas Huacaya macho

en condiciones de mantenimiento, Ttito (2023) que también trabajó con alpacas Huacaya macho con dieta de sobrealimentación que reporta 15.9 ± 2.80 (g CH₄/día), por ello, las diferencias se deben a los diferentes niveles de dieta o la disponibilidad de alimento que influyen directamente en la emisión de metano.

Asimismo, Dittmann *et al.* (2014), reportó 0.32 ± 0.11 (L/CH₄/kgPV/día), donde realizó mediciones en cámara de respiración durante un periodo de 24 horas para determinar la producción de metano entérico en alpacas y referenciados en términos de consumo de Fibra Detergente Neutra fue 92.70 ± 33.9 (L/CH₄/kg FDN), en comparación con el presente estudio fue de 0.41 ± 0.03 (L/CH₄/kgPV/día) y 67.61 ± 6.15 (L/CH₄/Kg FDN consumida), así, Ttito (2023) reportó emisiones que fueron superiores al presente estudio $0,46$ L/CH₄/kg PV/día) y $55,85$ L/CH₄/kg FDN) consumida. Por otra parte, los resultados de Marca y Roque, (2019) que emplearon una cámara de acumulación de gases y el equipo analizador de gases (Gasmeter DX-4030) en alpacas al pastoreo (pastos naturales) reportó 17.7 ± 1.9 (g/día) y en confinamiento alimentado con forraje picado, una media de 21.24 ± 3.94 (g/día); comparados con el presente estudio 13.8 ± 2.11 (g CH₄/día), las emisiones fueron superiores, que pueden deberse a la técnica de medición y la alimentación distinta para cada estudio.

Así mismo, Gualdrón *et al.* (2022), registró 32.0 ± 7.26 (g/CH₄/día) en alpacas bajo condiciones de pastoreo durante la estación seca, con la técnica del trazador SF₆. Por otro lado, Piccalayco (2017) con la técnica del trazador SF₆ reportó la emisión en alpacas al pastoreo en un pastizal de ryegrass/trébol blanco en época de lluvia reportó 24.4 ± 9.0 (g día/alpaca) y en la época seca fue de $24.0 \pm 8,5$ (g/día/alpaca), donde existe una diferencia marcada con el presente estudio 13.8 ± 2.11 (g CH₄/día), que se puede deber a la disposición de alimento, la eficiencia en la utilización de los insumos y la metodología empleada. Pinares *et al.* (2003) con

la técnica del trazador de SF₆ reportó la producción de metano en alpacas alimentadas en interiores con heno de alfalfa 14.9 (g/CH₄/día), que se asemeja a los datos obtenidos en el presente estudio 13.8 ± 2.11 (g/CH₄/día) (tal semejanza se podría atribuir a la digestibilidad de los insumos) e inferior para animales que pastan en pastos de Rye Grass/ trébol Blanco (22.60 (g/CH₄/día)) y en pasto Lotus (19.10 (g/CH₄/día)). Sin embargo, la cifra obtenida del presente estudio 13.8 ± 2.11 (g CH₄/día) fue superior a los reportes de Quispe C., (2015) con 13.275 (g CH₄/día) y 12.875 (g CH₄/día) en alpacas alimentadas con diferentes tamaños de partículas (12 y 8 mmØ, respectivamente); Ramírez (2018), reportó 11.53 ± 1.82 (g de CH₄/día) y 13.87 ± 3.39 (g de CH₄/día) con tamaños de partículas de 12 mmØ y 24 mmØ a correspondencia, dichos autores emplearon la tecnología de espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) incorporada en un analizador portátil de gases (Gasmeter DX-4030). Las cifras inferiores podrían deberse al tamaño de partícula de los insumos, siendo estos más digestibles comparados con forrajes enteros.

También se apreció la dinámica de la emisión de metano entérico en alpacas subalimentadas durante 24 horas, para ello, se agrupó los datos por hora con el fin de estimar la tendencia de la emisión. Se puede observar en el gráfico 1, que en horas de la mañana la emisión de metano se incrementó hasta el mediodía. Disminuyó pasado el mediodía, donde el animal entra en reposo, poca actividad metabólica, al igual que en la producción media o promedio (Gráfico 2). Misma tendencia decreciente de la emisión de metano que reportó Rios (2023). Por ello, el tiempo de medición influye para precisar los datos de las emisiones. Machaca *et al.* (2015), midió el metano entérico en alpacas durante periodos de tiempo (mañana y noche), con un ligero incremento durante el día.

Gráfico 1. Dinámica de la emisión de metano (L/H) durante 24 horas en alpacas subalimentadas

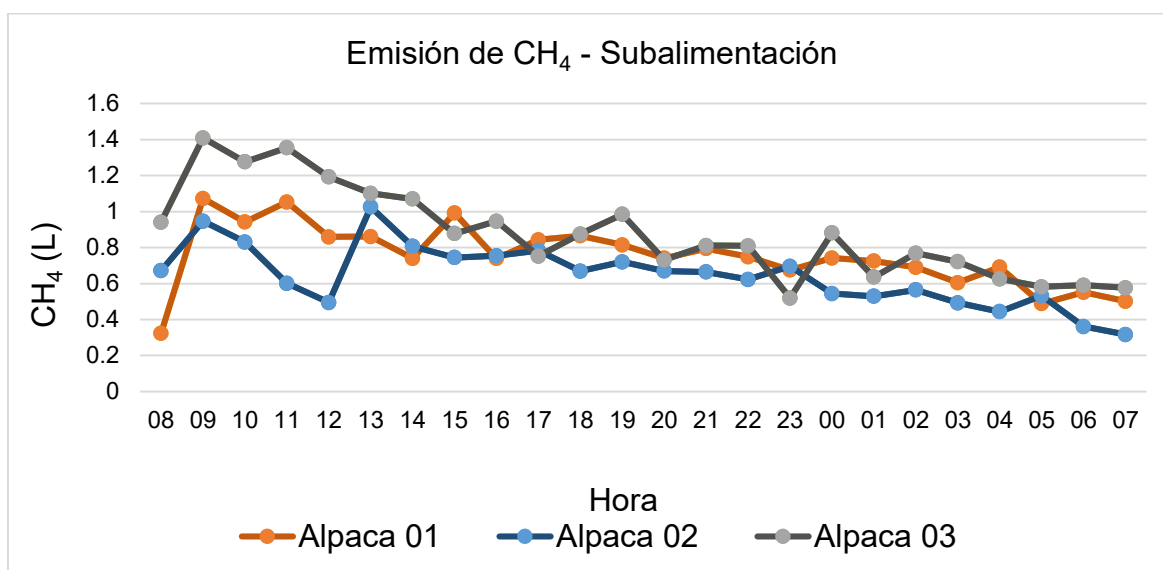
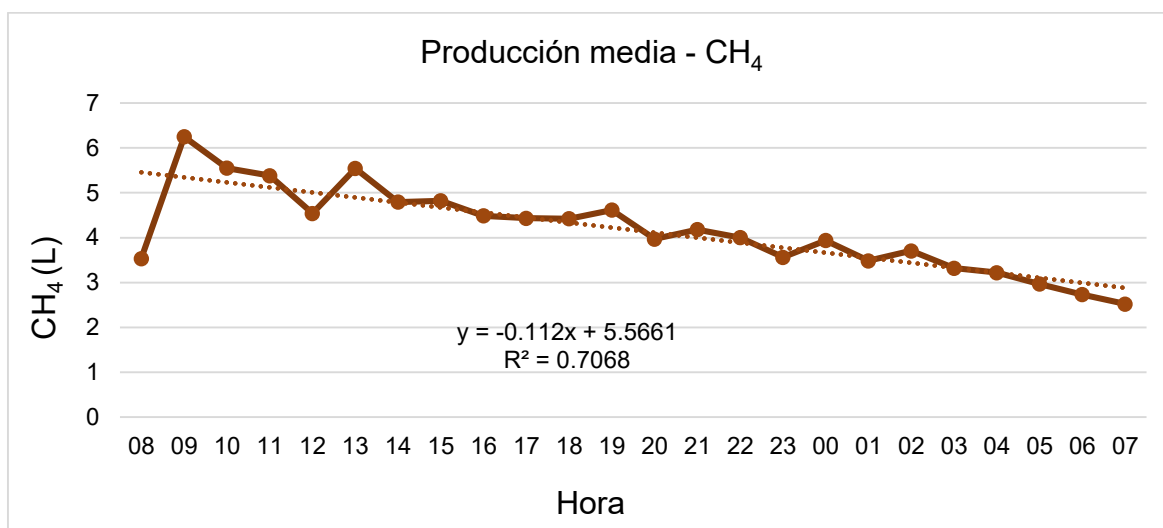


Gráfico 2. Dinámica de la emisión media de metano de alpacas subalimentadas



5.3 Producción de dióxido de carbono (CO₂)

La producción media de CO₂ en condiciones de subalimentación fue 669 ± 65.2 (g/día) y 1305 ± 74.3 gramos por kilogramo de materia seca ingerida (g/kg/MSI), como se muestra en la Tabla 9, cifra que fue inferior al reporte de Rios, (2023) con 692.7 ± 67.3 (g/CO₂/día) dieta de mantenimiento y Ttito (2022) con 692.7 ± 67.3 (g/CO₂/día) dieta de sobrealimentación, mismos que emplearon la cámara dinámica para determinar la producción de CO₂, por ello, el nivel de dieta ofrecido influyó directamente en la producción de CO₂; Tejada *et al.* (2015), en su

estudio del intercambio gaseoso, empleando la calorimetría indirecta, reportó para llamas 1,515.05 (g/CO₂/24 horas), ovejas 896.89 (g/CO₂/24 horas) y cabras 555.69 (g/CO₂/24 horas), el presente estudio resultó ser inferior en las llamas y ovejas, sin embargo, fue superior en cabras.

Tabla 9. Producción de dióxido de carbono en alpacas Huacaya sometidas a condiciones de subalimentación en un periodo de 24 horas

	Subalimentación (31.5 g MS/kg PV ^{0.75})							
	A1	A2	A3	Pro-medio	SD	CV%	Min	Max
Variables registradas								
Peso Vivo, kg	46.0	43.6	52.2	47.3	4.44	9.4	43.6	52.2
Peso Metabólico, kgPM	17.7	17.0	19.4	18.0	1.26	7.02	17.0	19.4
Producción de CO₂								
CO ₂ , g/día	684.2	598.0	725.9	669.4	65.2	9.74	598.0	725.9
CO ₂ , g/kg PM	38.7	35.2	37.4	37.1	1.76	4.74	35.2	38.7
CO ₂ , g/kg MS consumido	1376	1228	1311	1305	74.3	5.70	1228	1376
CO ₂ , g/kg MO consumido	1458	1301	1388	1382	79.0	5.71	1301	1458
CO ₂ , g/kg PC consumido	15066	13552	14425	14348	760.1	5.30	13552	15066
CO ₂ , g/kg FDN consumido	2479	2208	2358	2348	135.9	5.79	2208	2479
CO ₂ , L/día	348.3	304.5	369.5	340.8	33.2	9.74	304.5	369.5
CO ₂ , L/kg MS consumido	700.7	625.1	667.2	664.3	37.8	5.70	625.1	700.7
CO ₂ , L/kg PM	19.7	17.9	19.0	18.9	0.896	4.74	17.9	19.7

Dónde: MS: Materia seca; MO: Materia orgánica; FDN: Fibra detergente neutra; kg PM o kg PV^{0.75}: Kilógramo de peso metabólico; A: animal

Para referir la dinámica de la producción de CO₂ en alpacas durante 24 horas se agrupó los datos por hora/animal, se observó que la tendencia de producción (Gráfico 3) fue en horas de la mañana y disminuyó para horas de la tarde, misma tendencia decreciente reportada por Ríos (2023); esto se debe a que la producción de CO₂ está estrechamente relacionado con la tasa metabólica de los animales y su actividad (Estellés *et al.*, 2010), misma tendencia descendente en los estudios realizados por Ruiz Mojica (2013). Así mismo, hubo la misma tendencia decreciente con los datos del promedio de producción de CO₂ para los animales que permanecieron 24 horas (Gráfico 4).

Gráfico 3. Dinámica de la producción de dióxido de carbono (L/H) durante 24 horas en alpacas subalimentadas

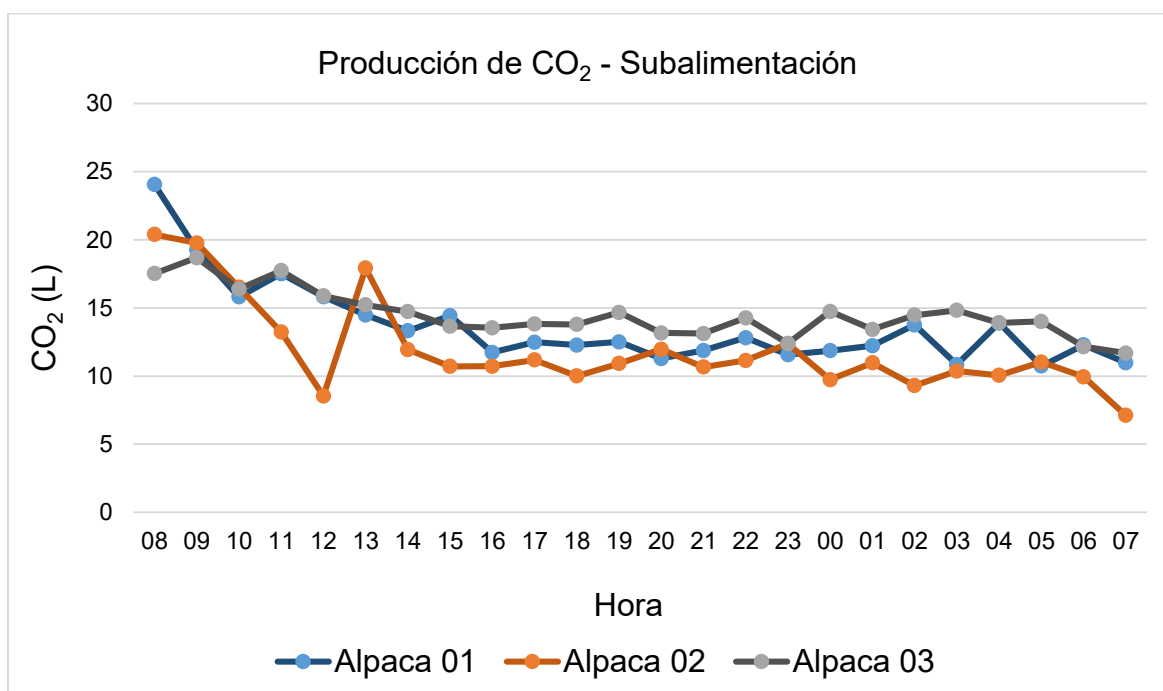
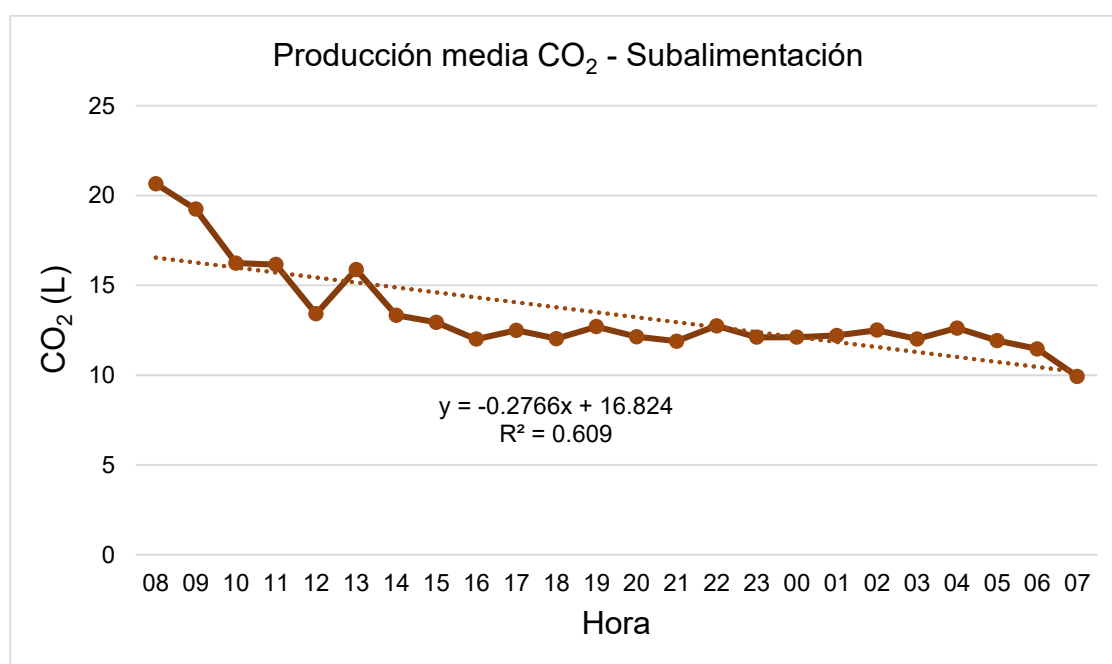


Gráfico 4. Dinámica de la producción media de dióxido de carbono en alpacas subalimentadas



5.4 Consumo de oxígeno (O₂)

El consumo de oxígeno en alpacas subalimentadas durante 24 horas en promedio fue de 273 ± 104.1 (g O₂/día) y una media de consumo de oxígeno 538

± 219.6 gramos por kg de materia seca ingerida (g kg/MSI) (Tabla 10), cifra que fue inferior a los estudios de Rios (2023) 472.8 ± 40.8 (O₂ g/día) con dieta de mantenimiento y Ttito (2022) 443.2 ± 16.9 (O₂ g/día) con dieta de sobrealimentación, mismos que emplearon la cámara dinámica para determinar el consumo de O₂; igualmente, inferior a lo que reportó Tejada *et al.* (2015), en llamas 875.6 (O₂ g/día), ovejas 670.5 (O₂ g/día) y cabras 432.9 (O₂ g/día).

Tabla 10. Consumo de oxígeno en alpacas Huacaya sometidas a condiciones de subalimentación en un periodo de 24 horas

	Subalimentación (31.5 g MS/kg PV ^{0,75})							
	A1	A2	A3	Pro-medio	SD	CV%	Min	Max
Variables registradas								
Peso Vivo, kg	46.0	43.6	52.2	47.3	4.44	9.4	43.6	52.2
Peso Metabólico, kgPM	17.7	17.0	19.4	18.0	1.26	7.02	17.0	19.4
Consumo de O₂								
O ₂ , g/día	393.3	205.1	222.0	273.5	104.1	38.1	205.1	393.3
O ₂ , g/kg PM	22.3	12.1	11.4	15.3	6.07	39.8	11.432	22.3
O ₂ , g/kg MS consumido	791.0	421.2	400.8	537.7	219.6	40.8	400.8	791
O ₂ , g/kg MO consumido	838.1	446.1	424.6	569.6	232.8	40.9	424.6	838.1
O ₂ , g/kg PC consumida	8659	4648	4412	5906	2387	40.4	4412	8659
O ₂ , g/kg FDN consumido	1425	757	721	967.7	396.2	40.9	721.1	1425
O ₂ , L/día	275.3	143.6	155.4	191.4	72.9	38.1	143.6	275
O ₂ , L/kg MS consumido	553.7	294.8	280.6	376.4	153.7	40.8	280.6	554
O ₂ , L/kg PM	15.6	8.46	8.00	10.7	4.25	39.8	8.00	15.6

Dónde: MS: Materia seca; MO: Materia orgánica; FDN: Fibra detergente neutra; kg PM o kg PV 0,75: Kilógramo de peso metabólico

Para la dinámica del consumo de oxígeno se procesó los datos por hora, con el fin de observar la tendencia de consumo en animales sometidos a condiciones de subalimentación y es evidente que en horas de la mañana el consumo fue mayor (actividad metabólica) y en horas de la tarde esta disminuyó (reposo). De igual forma, la tendencia fue decreciente en el consumo de oxígeno para las medias y/o promedios de los tres animales en cámara, como se aprecia en el Gráfico 6.

Gráfico 5. Dinámica del consumo de oxígeno (L/H) durante 24 horas en alpacas subalimentadas

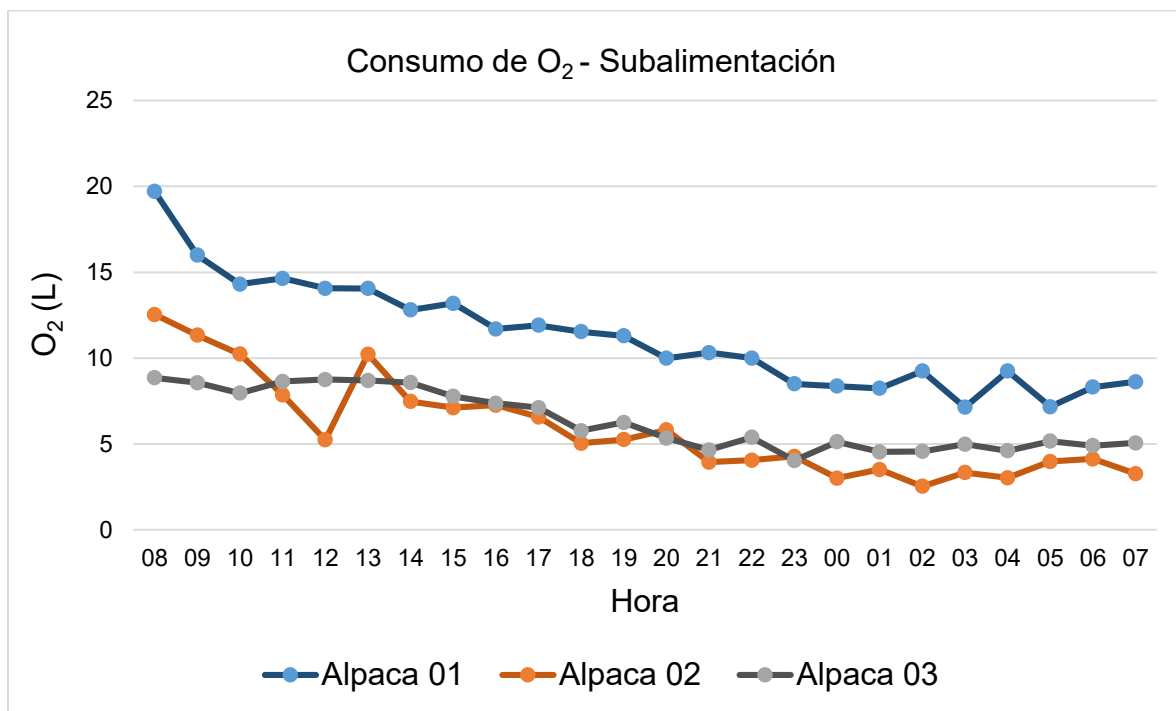
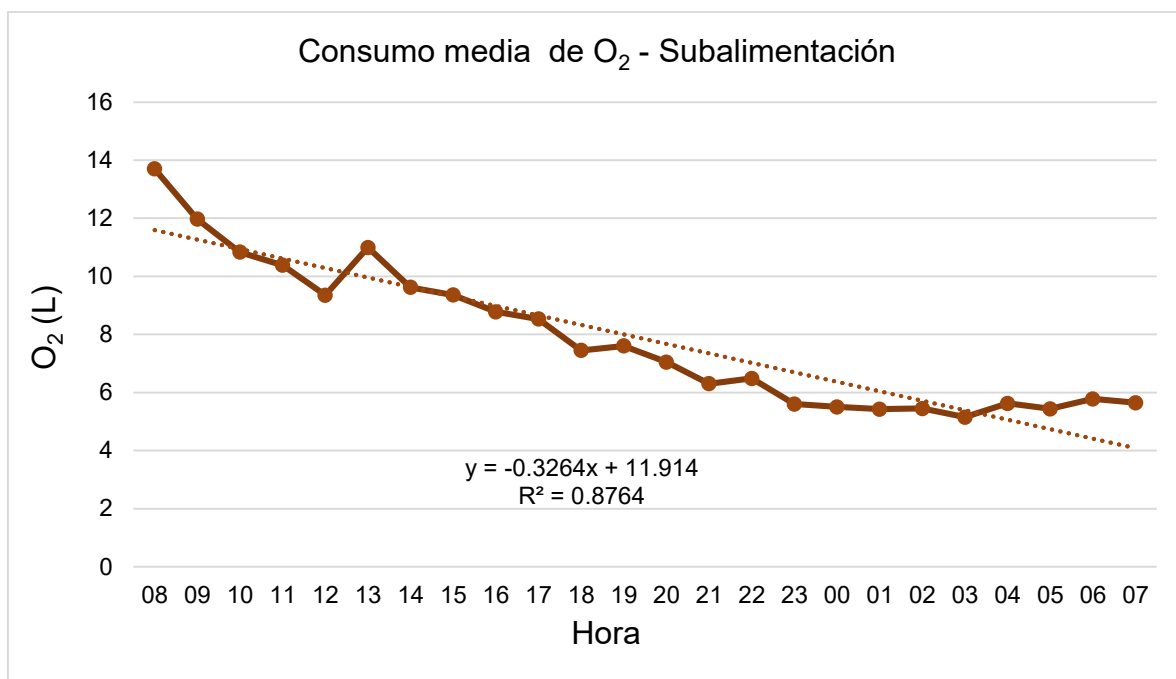


Gráfico 6. Dinámica del consumo de oxígeno en alpacas subalimentadas



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

- La emisión de metano entérico en alpacas sometidos a condiciones de Subalimentación en promedio fue de **13.8 ± 2.11 (g/CH₄/día)**, expresado en gramos de CH₄ emitidos por kilogramo de peso metabólico fue de **0.763 ± 0.066 (g/CH₄/kgPM)** y referente a los gramos de CH₄ liberado por kg de materia seca consumido fue **26.8 ± 2.43 (g/CH₄/kgMS)**.
- La producción de dióxido de carbono en alpacas subalimentadas fue un promedio de **669 ± 65.2 (g/CO₂/día)**, expresado en gramos de CO₂ producidos por kilogramo de peso metabólico fue **37.1 ± 1.76 (g/CO₂/kgPM)** con una producción de **1305 ± 74.3 (g/CO₂/kgMS)**.
- El consumo de oxígeno en alpacas en condiciones de subalimentación fue una media de **273 ± 104.1 (g/O₂/día)**, expresado en gramos de O₂ consumido por kilogramo de peso metabólico fue de **15.3 ± 6.07 (g/O₂/kgPM)** y consume **538 ± 219.6 (g/O₂/kgMS)**.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar las emisiones de metano entérico para diferentes estados fisiológicos en alpacas.
- Se recomienda determinar la emisión de metano entérico en alpacas en condiciones controladas y al pastoreo libre.
- Se recomienda emplear diferentes niveles de alimentación en alpacas para estimar las emisiones de metano entérico.
- Se recomienda evaluar las emisiones de metano entérico en alpacas alimentadas con pastizales naturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, J. F., & Prieto, C. (1986). Description and function of an open-circuit respiration plant for pigs and small ruminants and the techniques used to measure energy metabolism. *Archives of Animal Nutrition*, 36(11): 1009-1018.
- Al Khourdajie, A., van Diemen, R., Lamb, W. P., Reisinger, A., Skea, J., & ... y Steg, L. (2022). *IPCC, 2022: Anexo II: Definiciones, Unidades y Convenciones*. Lawrence Berkeley National Lab. (LBNL), Berkeley, CA (United States).
- Animut, G., Puchala, R., Goetsch, A. L., A.K. Patra, A. K., Sahlu, T., V.H.Varel, V. H., & Wells, J. (2008). Methane Emission by Goats Consuming Diets with Different Levels of Condensed Tannins from Lespedeza . *Animal Feed Science and Technology*, 144:212–227.
- Avendaño, S. (2002). Estudio comparativo de la digestibilidad in vitro in situ y enzimática de forrajes de diferente calidad nutritiva en alpacas (Lama pacos). *Tesis de Médico Veterinario. Univ. Nac. Mayor de San Marcos. Lima-Perú*, 52.
- Benavides, H. O., & León, G. E. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático NDEAM-METEO-008-2007. Nota Técnica. *Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales-IDEAM. Bogotá, Colombia*.
- Benchaar, C., Rivest, J., Pomar, C., & Chiquette, J. (1998). Prediction of methane production from dairy cows using existing mechanistic models and regression equations. *Journal of Animal Science*, 6(2), 617-627.
- Berra, G., & Finster, L. (2002). Instituto de Patobiología, INTA Castelar. *IDIA XXI: Cadena de la carne vacuna. N° 2, Julio*.

- Bhatta, R., Enishi, O., & Kurihara, M. (2007). Measurement of Methane Production from Ruminants. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 20(8), 1305-1318.
- Blaxter, K., & Clapperton, J. (1965). Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *Brit. J. Nutr.* 19, 511-522. CONAM. *Brit. J. Nutr.* , 19, 511-522.
- Boadi, D. A., & Wittenberg, K. M. (2002). Methane production from dairy and beef heifers fed forages differing in nutrient density using the sulphur hexafluoride (SF6) tracer gas technique. *Canadian Journal of Animal Science*, 82(2): 201-206.
- Bonavia, D. (1996). Los camélidos sudamericanos: Una introducción a su estudio. (págs. 12-20). Lima, Perú: Instituto Francés de Estudios Andinos.
- Bowen, R. (2003). Digestive Anatomy in Ruminants. *Colorado State University*.
- Braatz, B., & Doorn, M. (2008). *Manejo del proceso de elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Manual de la unidad de apoyo a las comunicaciones nacionales.* Obtenido de http://www.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/e2008g_guia.pdf.
- Brenes, E. R., Madrigal, K., Pérez, F., & Valladares, K. (2001). El cluster de los camélidos en Perú: diagnóstico competitivo y recomendaciones estratégicas. *Instituto Centroamericano de Administración de Empresas INCAE*.
- Brenes, E., Madrigal, K., Pérez, F., & Valladarez, K. (2001). Proyecto andino de competitividad, diagnóstico competitivo y recomendaciones estratégicas. Lima – Perú.
- Bryant, F., & Farfan, R. (1984). Dry season forage selection by alpaca (*Lama pacos*) in Southern Peru. *J. Range Manage.*, 37:330:33.

- Bustinza, V. (2001). "La alpaca: Conocimiento del gran potencial andino". *1ra. Edic., Publicaciones UNA-Puno. Perú*, 57-91.
- Butler, J., & Montzaka, S. (2016). *El índice de gases de efecto invernadero de NOAA*. Obtenido de <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>
- C.Fernández, López, M. C., & Lachica, M. (2012). Description and function of a mobile open-circuit respirometry system to measure gas exchange in small ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 172(3-4), 242-246.
- Carmean, B. R., Johnson, K. A., Johnson, D. E., & Johnson, L. W. (1992). Maintenance energy requirement of llamas. *American Journal of Veterinary Research*, 53:1696.
- CENAGRO. (2012). *IV Censo Nacional Agropecuario Resultados finales. INELI Lima Perú*. Lima-Perú: INEI.
- Cerón, M. E. (2016). Diversidad microbiana del estómago de los camélidos sudamericanos. *VII Congreso Mundial En Camelidos Sudamericanos Puno - Perú 2015*.
- Cicerone, R. J., & Oremland, R. S. (1988). Biogeochemical aspects of atmospheric. *Glob. Biogeochem.*, 2, 299–327.
- Clemens, E., & Stevens, C. (1980). A comparison of gastrointestinal transit time in ten species of mammal. *J. Agric. Sci., Camb.*, 94: 735-737.
- CONAM. (2001). *National Communication submitted by Peru to the UN Convention on Climate Change. Lima – Peru*. Lima - Perú.
- Criscioni, F., & Patricia, F. (2016). Aplicación de un sistema de calorimetría indirecta de circuito abierto para la medición del intercambio gaseoso en la nutrición de pequeños rumiantes. *Universitat Politècnica de València*.

- Crutzen, P. J., Aselman, I., & Seiler, W. (1986). Methane Production by Domestic Animals, Wild Ruminants, other Herbivorous Fauna, and Humans. *Tellus*, 38: 271-284.
- Cumming, J., Munnell, J., & Vallenias, A. (1972). The mucigenous glandular mucosa in the complex stomach of two New World Camelids, the llama and guanaco. *J. Morphol.* 137, 71-110.
- Davies, H. T., Roeder, B., Sharp, M., Johnston, N., & Christensen, A. (2007). Plasma metabolites and nitrogen balance in Lama glama associated with forage quality at altitude. *Small Rumin. Res.*, 69, 1–9.
- Davies, H., Robinson, T., Roeder, B., Sharp, M., N.P., J., & A.C. Christensen, G. S. (2007). Digestibility, nitrogen balance, and blood metabolites in llama (Lama glama) and alpaca (lama pacos) fed barley or barley alfalfa diets,. *Small Ruminant Research*, 1-7.
- De la Vega, E. (1952). Aspectos histológicos del aparato digestivo de la alpaca. *In Anales de la Facultad de Medicina. Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 490-514.
- Dittmann, M., Runge, U., Lang, R. M., Galeffi, C., Kreuzer, M., & Clauss, M. (2014). Methane Emission by Camelids. *PLoS One*, 9 (4), e94363.
- Doreau, M., Werf, V. D., HMG, M. D., Dubroeuq, H., Agabriel, J., Rochette, Y., & Martin, C. (2011). Producción de metano entérico y equilibrio de gases de efecto invernadero de dietas que difieren en concentrado en la fase de engorde de un sistema de producción de carne vacuna. *J. Anim. Sci.*, 89, 2518-2528.
- Dougherty, R., & Vallenias, A. (1968). Quantitative study of eructated gas expulsion in alpacas. *Cornell Vet.*, 58: 3-7.

- Eckerlin, R., & Stevens, C. (1973). Bicarbonate secretion by the glandular sacculles of the llama stomach. *Cornell Vet.* 63, 436-445.
- Engelhardt, W., & Schneider, W. (1977). Energy and nitrogen metabolism in the llama. *Animal Research and development*, 5, 68-72.
- Engelhardt, W., Dycker, C., & Lechner-Doll, M. (2007). Absorption of short-chain fatty acids, sodium and water from the forestomach of camels. *Journal of Comparative Physiology B.*, 177: 631-640.
- Engelhardt, W., Weyreter, H. H., Lechner-Doll, M., Schwartz, H., Rutagwenda, R., & Schultka. (1986). Adaptation of indigenous sheep, goats and camels in harsh grazing conditions. *International Atomic Energy Agency: Vienna*, 105-113.
- Estellés, F., Rodríguez-Latorre, A., Calvet, S., Villagrà, A., & Torres, A. (2010). Daily carbon dioxide emission and activity of rabbits during the fattening period. *Byosystems Engineering* 106:4, 338-343.
- FAO. (2005). *Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los Camélidos Sudamericanos en la Región Andina*. Perú.
- FAO. (2005). Situación Actual de los Camélidos Sudamericanos en el Perú. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los Camélidos Sudamericanos en la Región Andina TCP/RLA/2914*.
- FAO. (2009). *Situación actual de los camélidos sudamericanos en Perú y Bolivia*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (FAO).

- Fernández, C., López, M., & M., L. (2015). Low-cost mobile open-circuit hood system for measuring gas exchange in small ruminants: from manual to automatic recording. *Journal of Agricultural Science*, 153: 1302–130.
- Fernández-Baca, S. (2005). Situación actual de los camélidos sudamericanos en Perú. (*Proyecto de cooperación técnica de la FAO para el apoyo a la crianza y aprovechamiento de los camélidos sudamericanos en la Región Andina*). *Proyecto de cooperación técnica TCP/RLA/2914-*. (pág. 62). Roma-Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Fiore, A. M. (2014). Sources and sinks of hydroxyl (OH) radicals. *Nature*, 513, 176-178.
- Fischer, G., Shahm, M., & Van Veltuisen, H. (2002). Climate change and agricultural vulnerability. *IIASA. Special report*, 160.
- Flores, E. R., & Gutierrez, G. A. (1995). Ingestive Mastication and forage fragmentation in sheep, alpacas and llamas. *Fifth International Rangeland Congress.*, Salt lake, Utah, EE.UU.
- Flores, E., Ñaupari, J., & Tácuna, R. (2015). La economía del cambio climático en el Perú: Ganadería Altoandina. (*L. Ludeña, C.E., Sánchez-Aragón, Ed.*) *Washington D. C.*
- Florez, J. (1973). Velocidad de pasaje de la ingesta y digestibilidad en alpacas y ovinos . *Prog. Acad. Med. Vet., Univ. Nac. Mayor de San Marcos, Lima (B.S. Thesis)*, 46.
- Fowler, M. (2008). Camelids are not ruminants. *Zoo and Wild Animal Medicine Current Therapy*, Vol VI. 375-385.
- Franz R., S. C. (2010). Methane production in relation to body mass of ruminants and equids. 727-738.

- García, W., San Martín, F., Novoa, C., & Franco, L. (2002). Engorde de llamas bajo diferentes regímenes alimenticios. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 13(2):1-9 .
- Garriz, M., & López, A. (2002). Suplementación con Nitrógeno no proteico en Rumiantes. *Facultad de Veterinaria de la Universidad de Buenos Aires*, 24.
- Gerber, P. J., Hristov, A. N., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C., & Oosting, S. (2013). Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock. *animal*, 7(s2), 220-234.
- Ghali, M., Scott, P., Alhadrami, G., & RAM., A. J. (2011). Identification and characterisation of the predominant lactic acid-producing and lactic acidutilising bacteria in the foregut of the feral camel (*Camelus dromedarius*) in Australia. *Anim Prod Sci.*, 51: 597-604.
- Gibbs, M. J. (1989). 'Reducing Methane Emissions from Livestock: Opportunities and Issues.'. (U.S. Environmental Protection Agency: Washington, D.C.) , 284.
- 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*.
- Gualdrón, D. L., Franco, F., Vélez Marroquín, V. M., Cabezas García, E. H., Loza, C., Huanca Marca, N., & . . . Diaz Cespedes, M. A. (2022). Emision de metano de alpacas en condiciones de pastoreo durante la estación seca en los Andes peruanos. *8va Conferencia Internacional sobre Gases de Efecto Invernadero y Agricultura Animal (GGAA, 2022)*.

- Harrison, D., Beever, D. T., & Osbourn, D. (1975). Manipulation of rumen fermentation in sheep by increasing the rate of flow of water from the rumen. *J. Agric. Sci., Camb.*, 85: 93-101.
- Hegarty, R. (2002). Strategies For Mitigating Methane Emissions From Livestock – Australian Options And Opportunities. *Takahashi J, Young Ba (Eds) Ghges And Animal Agriculture. Elsevier, Dordrecht.*
- Heller, R., Gregory, P., & Engelhardt, W. (1984). Pattern of motility and flow of digesta in the forestomach of the Llama (*Lama guanaco f. glama*). *Journal Composition Physiology*, 154:529-533.
- Hespel, R., & Bryant, M. (1979). Efficiency of rumen microbial growth influence of some theoretical and experimental factors on YATP. *J. Anim. Sci.*, 49: 1640-1659.
- Hinderer, S., & Engelhardt, W. (1975). Metabolismo de la urea en la llama. *Bioquímica y fisiología comparadas Parte A: Fisiología*, 52 (4), 619-622.
- Hintz HF., S. H. (1973). A note on the comparison of digestion by new-world camels, sheep and ponies. *Anim Prod* 16, 30-35.
- Huwasquiche, A. (1974). *Balance del nitrógeno y digestibilidad en alpacas y ovinos*. Lima, Perú.: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- IPCC. (2001). *Glosarios de términos, en Tercer Informe de Evaluación del IPCC*. Obtenido de Intergovernmental Panel on Climate Change: <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>
- IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Japón: Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K.

- IPCC. (2008). *Cambio climático 2007: Informe de Síntesis*. Obtenido de Intergovernmental Panel on Climate Change: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- Isaacson, H., Hinds, F., Bryant, M., & Owens, F. (1975). Efficiency of energy utilization by mixed rumen bacteria in continuous culture. *J. Dairy Sci.*, 58: 1645.
- 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.
- Janssen, P., & Kirs, M. (2008). Structure of the archaeal community of the rumen. *Appl. Environ. Microbiology*, 74:3619-3625.
- Johnson, D., Johnson, K., Ward, G., & Branine, M. (2000). Ruminants and other animals. In: *Atmospheric Methane: Its role in the global environment*. (Ed. M. A. K. Khalil), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 112-133.
- Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.*, 73, 2483-2492.
- Khalil, M. A. (2000). *Atmospheric Methane, its Role in the Global Environment*. Berlín: Springer-Verlag.
- Kim, M., Morrison, M., & Yu, Z. (2011). Status of the phylogenetic diversity census of ruminal microbiomes. *Fems microbiology ecology*, 76, 49-63.
- Kirschke, S., Bousquet, P., Ciais, P., Saunois, M., Canadell, J. G., Dlugokencky, E. J., . . . Zeng, G. (2013). Three decades of global methane sources and sinks. *Nature geoscience*, 6(10), 813-823.
- Kleiber, M. (1961). *Fire of Life. An introduction to Animal energetic*. Wiley.

- Lechner-Doll, M., Von Engelhardt, W., Abbas, H., Mousa, L., Luciano, L., & Reale, E. (1995). Particularities in forestomach anatomy, physiology and biochemistry of camelids compared to ruminants. *Elevage et alimentation du dromadaire-camel production and nutrition. Options méditerranéennes, Serie B: Etudes et Recherches Nr 13, CIHEAM, Paris*, 19-32.
- Leng, R. A. (1993). Quantitative ruminant nutrition - A green science. *Australian Journal of Agricultural Research*, 44: 363-80.
- Lerner J., M. E. (1988). Methane emission from animals: A Global High-Resolution Data Base. *Global Biogeochemical Cycles*, 139-156.
- Leyva, V. (1991). Informe técnico fase III. Proyecto Camélidos Sudamericanos (IVITA - CIID). (pág. 21). Lima: UNMAM.
- López, A. M., Maiztegui, J. I., & Cabrera, R. I. (1998). Voluntary Intake and digestibility of forages with different nutritional quality in alpacas (*Lama pacos*). (Elsevier, Ed.) *Small Ruminant Research*, 29(3): 295-301.
- López, A., & Raggi, L. (1992). Requerimientos nutritivos de camélidos sudamericanos: Llamas (*Lama glama*) y alpacas (*Lama Pacos*). *Archive medician veterinary*, 24:121-130.
- Machaca, M., Quispe, C., & Castro, A. (2015). Efecto de dos dietas fibrosas en la producción de metano en alpacas. *Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Investigation*, 3, 17. doi:<https://doi.org/10.18271/ria.2015.159>
- Marca, C. U., & Roque, H. B. (2019). Producción de metano en camélidos sudamericanos dosmésticos y sus efecto en la salud pública. *Revista de investigaciones de la escuela de posgrado* , 1016-1027.
- Marín, J. C., Zapata, B., González, B. A., Bonacic, C., Wheeler, J. C., Casey, C., & Spotorno, A. E. (2007). Sistemática, taxonomía y domesticación de alpacas

- y llamas: nueva evidencia cromosómica y molecular. *Revista Chilena en Historia Natural*, 121-140.
- McAllister, T. A., Cheng, K. J., Okine, E. K., & Mathison, G. W. (1996). Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, 76(2): 231-243.
- Meyer K., H. J. (2010). The relationship between forage cell wall content and voluntary food intake in mammalian herbivores. *Mamm Rev* 40, 221-245.
- Michelutti, N., Wolfe, A. P., Hobbs, W. O., & Vuille, M. y. (2015). Climate change forces new ecological states in tropical Andean lakes. *PloS one*, 10(2), e0115338.
- MINAM. (2016). El acuerdo de París: el largo proceso hacia el éxito. Rol, retos y oportunidades para el Perú Lima.
- Moss, A. R., Jouany, J. P., & Newbold, C. J. (2000). Methane production by ruminants: Its contribution to global warming. *Ann. Zootech.*, 43: 231-253.
- NRC. (2007). *National Research Council. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids and New World camelids*. Washington DC, USA: National Academy of Science Press.
- NRC. (1985). *National Research Council. Nutrient Requirements of Sheep, Sixth Revised Edition*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Ominski, K., Boadi, D., & Wittenberg, K. (2006). Enteric methane emissions from backgrounded cattle consuming all-forage diets. *Canadian Journal of Animal Science*, 86(3), 393-400.
- Orskov, E. (1982). Protein nutrition in ruminants. *Academic Press, New York, NY*, 159.

- Ortiz, C. (1971). Contribucion al estudio de la saliva parotidea de la alpaca: pH, Na, K, y Ca. *Prog. Acad. Med. Vet., Univ. Nac. Mayor de San Marcos, Lima (B.S. Thesis)*, 27.
- Piccalayco, F. N. (2017). Emisiones de metano de alpacas al pastoreo en un pastizal de ryegrass/trèbol blanco en cicas la raya. *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*.
- Pinares, C. S., M. J. Ulyatt, G. C. Waghorn, K.R. Lassey, T. N. Barry, C.W. Holmes, & Johnson, D. E. (2003). Methane emission by alpaca and sheep fed on lucerne hay or grazed on pastures of perennial ryegrass/white clover or birdsfoot trefoil. (R. i. University, Ed.) *J. Agric. Sci.*, 140:215-226.
- Pinares, C. S., Waghorn, G. C., Hegarty, R. S., & Hoskin, S. O. (2009). Effects of intensification of pastoral farming on greenhouse gas emissions in New Zealand. *New Zealand Veter. J.*, 57, 252-261.
- Quispe, C. (2015). Efecto del concentrado fibroso sobre el rendimiento productivo y las emisiones de metano entérico (CH₄) en alpacas (Vicugna pacos) en el Centro Experiemntal Quimsachata INIA-PUNO-2015 Proyecto de Tesis. *UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN-TACNA* , 117.
- Quispe, E. (2011). Adaptaciones Hematológicas De Los Camélidos Sudamericanos Que Viven En Zonas De Elevadas Altitudes. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 5(1), 1–26.
- Quispe, E., Rodríguez, T., Iñiguez, L., & Mueller, J. (2009). Producción de fibra de alpaca, llama, vicuña y guanaco en Sudamérica. *Animal Genetic Resources Information*, 45: 1–14.

- Ramírez, J. (2017). Efecto del nivel de consumo de alimento sobre la retención de energía en llamas y alpacas. *Tesis de Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad Nacional del altiplano Puno- Perú.*
- Ramírez, J. (2018). Efecto del tamaño de partícula del forraje en el consumo, ganancia de peso y producción de metano en llamas y alpacas. *Universidad Nacional del Altiplano de Puno.*
- Reiner, R., Bryant, F., Farfan, R., & Craddock, B. (1987). Forage intake of alpacas grazing Andean rangeland in Perú. *Journal of Animal Science*, 64:868-871.
- Rios, R. W. (2023). Diseño y validación de sistemas de seguimiento metabólico (Jaula metabólica y cámara dinámica) para alpacas. *UNSAAC.*
- Rodríguez, R., Sosa, A., & Rodríguez, Y. (2007). La síntesis de proteína microbiana en el rumen y su importancia para los rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 41 (4): 303-311.
- Rossi, C. (2004). *Camélidos sudamericanos (en línea)*. Obtenido de Buenos Aires-ARG.: www.tecnocampo.com
- Rübsamen, K., & Von Engelhardt, W. (1975). Metabolismo del agua en la llama. *Comp Biochem Physiol*, 595-598.
- Ruiz, J., Gutiérrez, G., & Velarde, R. (2004). Producción y comercialización de los productos de pequeños rumiantes y camélidos sudamericanos en el Perú. *PARRAGUEZ, V., SOLÍS, J. y DÍAZ, J. (Eds.). La comercialización de los productos de pequeños rumiantes y camélidos sudamericanos. México: Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED*, 119-126.
- Ruiz, M. D. (2013). Efecto del pienso sobre el comportamiento de cabras lecheras en el interior de una cámara dinámica.

- Russell, J. (1985). Factors influencing competition and composition of the rumen bacterial flora. In: E.M.C. Gilchrist and R.I. Mackie {Editors}, *Herbivore Nutrition in the Subtropics and Tropics*.pp. *The Science Press, Pretoria*, 222-243.
- San Martin, F. (1987a). Comparative forage selectivity and nutrition of South American camelids and sheep. *Texas Tech Univ., Lubbock, TX {Ph.D. Dissertation}*, 146.
- San Martín, F. (1987b). Comparative forage selectivity and nutrition of South American camelids and sheep. *Ph.D. Dissertation. Texas Tech University, Lubbock, Texas, EE.UU.*
- San Martín, F. (1991). Alimentación y nutrición. *Avances y Perspectivas de los Camélidos Sudamericanos. E. Saúl Fernández-Baca. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.*
- San Martín, F. (1999). Nutrición y alimentación de camélidos sudamericanos. *Seminario de Reproducción y Nutrición de camélidos sudamericanos* (págs. 10-15). En Cardozo, A., Zapata, A. La Paz, BO: Unepca.
- San Martín, F. (2015). Adaptación nutricional y metabólica de los camélidos sudamericanos. *VII Congreso Mundial de Camélidos Sudamericanos*. Puno, Perú.
- San Martín, F. A., & Bryant, F. C. (1991). Consumo voluntario de paja de cebada entera, picada y tratada con úrea en llamas, alpacas y ovinos. *Investigaciones sobre pastos y forrajes de Texas University*, 97-102.
- San Martin, F., & Bryant, F. (1989). Nutrition of domesticated South American llamas and alpacas. *Small Ruminant Research*, 2:191-216.

- San Martín, T., & Van Saun, R. J. (2014). Llama and alpaca care: Medicine, surgery, reproduction, nutrition, and herd health, chapter 8; *Applied Digestive Anatomy and Feeding Behavior . Elsevier Health Sciences*.
- San Martín., F. (1996). Nutrición en alpacas y llamas. *Fondo Contravalor Perú-Suiza, CISA/IVITA, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional de Mayor San Marcos. Pub. Cient. IVITA N° 27, 3-21*.
- Schneider, W., & al., e. (1974). Energy and Nitrogen Exchange in the Llama. *European Association of Animal Production, 127-130*.
- Seiler, W. (1974). The cycle of atmospheric CO. *Tellus, 26, 116-135*.
- Sponheimer M., R. T. (2003). Digestion and passage rates of grass hays by llamas, alpacas, goats, rabbits, and horses. *Small Rumin Res 48, 149-154*.
- Steinfeld, H. G., Wassenaar, T. C., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). . Livestock's long shadow: environmental issues. *Food & Agriculture Org*.
- Stevens, C., & Hume, I. (1998). Contributions of microbes in vertebrate gastrointestinal tract to production and conservation of nutrients. *Physiol Rev., 78: 393–427*.
- St-Pierre, B., & Wright, A. D. (2012). Molecular analysis of methanogenic archaea in the forestomach of the alpaca (*Vicugna pacos*). *BMC Microb., 12, 1-10*.
- Sumar, J. (1988). Present and potential role of South American camelids in the high Andes. *Outlook Agric., 17, 23–29*.
- Tajima, K., Nagamine, T., Matsui, H., Nakamura, M., & Aminov, R. I. (2001). Phylogenetic analysis of archaeal 16s rRNA libraries from the rumen suggests the existence of a novel group of archaeas not associated with known methanogens. *Fems microbiology letters, 200, 67-72*.

- Tapia, R. (2018). Emisión de gases de efecto invernadero y contribución del Perú en mitigación y adaptación al cambio climático. *Lima, Perú: Departamento de Investigación y Documentación Parlamentaria*.
- Tejada, E., M., E., Nielsen, M., & Icuña, S. (2015). Llamas y Cambio Climático; Intercambio de Oxígeno y Emisión de Gases de Efecto Invernadero Comparados con Ovinos y Caprinos, por Influencia de Índice de Consumo y Coeficientes Respiratorios . *Academia Nacional de Ciencias de Bolivia*, 465-468.
- Thauer, R., Kaster, A. K., Seedorf, H., Buckel, W., & Hedderich, R. (2008). Methanogenic archaea: ecologically relevant differences in energy conservation. *Nature Reviews in Microbiology*, 6, 579-591.
- Thornton, P. K., & Gerber, P. J. (2010). Climate change and the growth of the livestock sector in developing countries. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 15(2), 169-184.
- Trabalza, M., Stelletta, C., Beghelli, D., & Morgante, M. (2001). Feeding behavior and energy metabolism of alpaca in central Italy during late pregnancy and early lactation. . *Progress in South American Camelids research, EAAP publication N° 105*.
- Trotsenko, Y. A., & Murrell, J. C. (2008). Metabolic aspects of aerobic obligate methanotrophy. *Adv. Appl. Microb.*, 63, 183-229.
- Ttito, A. J. (2023). Efecto de la sobrealimentación en la producción de metano en alpaca (*Vicugna pacos*) machos de la raza Huacaya en el Centro Experimental CICAS-LA RAYA. *UNSAAC*.

- Turner A., J., Jacob D., J., & Wecht K., J. (2015). Estimating global and North American methane emissions with high spatial resolution using GOSAT satellite data *Atmos. Chem. Phys.*, 7049-7069.
- Turner, A. J., Jacob, D., & Wecht, K. J. (2015). Estimating global and North American methane emissions with high spatial resolution using GOSAT satellite data *Atmos. Chem. Phys.*, 15:7049-7069.
- Ulyatt, M. J., Lassey, K. R., Shelton, I. D., & Walker, C. F. (2002). Methane emission from dairy cows and wether sheep fed subtropical grass - dominant pastures in midsummer in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research* , 45(4): 227-34.
- Vallenas A., C. J. (1971). A gross study of the compartmentalized stomach of two new-world camelids, the llama and guanaco. *J Morphol* 134, 399-423.
- Vallenas, A., & Stevens, C. (1971a). Volatile fatty acid concentration and pH of llama and guanaco forestomach digesta. *Cornell Vet*, 61: 239-252.
- Vallenas, A., Esquerre, J., Valenzuela, A., Candela, E., & Chauca, D. (1973). Acidos grasos volatiles y pH en los dos primeros compartimientos del estomago de la alpaca y del ovino. *Rev. Inv. Pec. (IVITA), Univ. Nac. Mayor de San Marcos, Lima*, 2: 115-130.
- Vallenas, A., Llerena, L., Valenzuela, A., Chauca, D., Esquerre, J., & Candela, E. (1973a). Concentracion de acidos grasos volatiles a lo largo del tracto digestivo de alpacas y llamas. *Rev. Inv. Pec. (IVITA), Univ. Nac. Mayor de San Marcos, Lima*, 2: 3-14.
- Van Saun, R. (2006). Nutrient requirements of South American camelids: a factorial approach. *Small Ruminant Research*, 61:165–186.

- von Engelhardt, W., Haarmeyer, P., Kaske, M., & Lechner-Doll, M. (2006). Chewing activities and oesophageal motility during feed intake, rumination and eructation in camels. *J Comp Physiol B*, 176: 117–124.
- Wang, J. L., Lan, G., Wang, G. X., Li, H. Y., & Xie, Z. M. (2000). Anatomical subdivisions of the stomach of the Bactrian camel (*Camelus bactrianus*). *Journal of Morphology*, 161-167.
- Wheeler, J. C. (1991). Origen, evolución y status actual. En: Fernández-Baca, S. (ed) Avances y perspectivas del conocimiento de los Camélidos Sudamericanos Santiago de Chile. *FAO*, 429.
- Wheeler, J. C. (1995). Evolution and present situation of the South American Camelidae. *Biological Journal of the Linnean Society*, 54:271-295.
- Yaranga, R. (2009). Alimentación de camélidos sudamericanos y manejo de pastizales. *Universidad Nacional del Centro del Perú - Facultad de Zootecnia. Huancayo*, 36.

ANEXOS

Anexo 1. Panel fotográfico



Fotografía 7. CICAS-La Raya



Fotografía 8. Picado de heno de avena



Fotografía 9. Almacenado de avena picada



Fotografía 10. Jaula metabólica



Fotografía 11. Acostumbramiento a Jaula metabólica



Fotografía 12. Manejo



Fotografía 13. Suministro de avena



Fotografía 14. Acostumbramiento al alimento



Fotografía 15. Control de producción de orina



Fotografía 16. Control de consumo de agua



Fotografía 17. Control consumo de pellet



Fotografía 18. Bolsa colectora de heces



Fotografía 19. Consumo de agua



Fotografía 20. Animales en jaula metabólica



Fotografía 21. Colecta de muestras de heces



Fotografía 22. Ácido sulfúrico



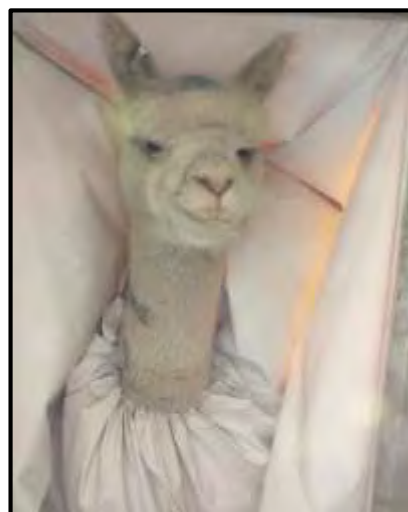
Fotografía 23. Pesaje



Fotografía 24. Capuchón



Fotografía 25. Alpaca fuera de cámara



Fotografía 26. Alpaca dentro de cámara



Fotografía 26. Alimento dentro de cámara



Fotografía 27. Monitoreo de datos



Fotografía 28. Rotulado de muestras



Fotografía 29. Refrigeración de muestras



Fotografía 30. Registro de datos en laboratorio



Fotografía 31. Análisis de muestras en laboratorio

Anexo 2. Consumo heno de avena de alpacas subalimentadas

N° Animal	ofre- cido (g)	Día 1 27/05/21	Día 2 28/05/21	Día 3 29/05/21	Día 4 30/05/21	Día 5 31/05/21	Día 6 01/06/21	Día 7 02/06/21	Día 8 03/06/21
1	446.9	440.8	439.8	442.1	441.5	445.7	435.9	441.9	443.3
2	463.7	461.4	461.2	460.8	462.2	462.7	447.3	453.6	462.1
3	445.4	441.2	442.5	441.5	442.9	444.5	434.4	442.3	401.7
4	454.6	452.2	450.5	450.3	451.6	453.0	443.1	447.5	452.0
5	509.8	503.5	503.1	507.3	509.4	508.2	402.7	503.8	501.5

Anexo 3. Consumo pellet de alfalfa de alpacas subalimentadas

N° Animal	ofre- cido (g)	día 01 27/05/21	día 02 28/05/21	día 03 29/06/21	día 04 30/06/21	día 05 31/06/21	día 06 01/06/21	día 07 02/06/21	día 08 03/06/21
1	191.5	191.5	190.2	191.5	191.5	191.5	191.5	191.0	191.5
2	198.7	198.7	198.7	198.7	198.7	198.7	198.7	198.7	198.7
3	190.9	190.9	190.9	190.9	190.9	190.9	190.9	190.9	189.8
4	194.8	194.8	194.8	194.8	194.8	194.8	194.8	194.2	194.8
5	218.5	218.5	218.5	218.5	218.5	218.5	218.5	218.0	218.5

Anexo 4. Consumo de agua (L) de alpacas subalimentadas

N° Animal	Consumo de Agua (L)															
	día 01 27/05/21		día 02 28/05/21		día 03 29/05/21		día 04 30/05/21		día 05 31/05/21		día 06 01/06/21		día 07 02/06/21		día 08 03/06/21	
	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C	O	C
1	2.5	1.29	3	1.38	2	0.476	3	1.36	2.7	1.16	2.5	1.00	4	1.72	3	1.27
2	2.5	0.990	2	0.940	2	1.97	2	1.38	2.3	1.32	2.0	0.180	4	2.09	3	1.33
3	2.5	1.45	3	1.26	3	1.40	2	1.06	2.7	1.29	2.5	1.26	2	0.670	3	1.28
4	2.5	1.20	3	1.28	3	1.17	3	0.976	2.9	1.21	2.5	0.900	4	1.61	3	1.42
5	3.0	2.67	3	1.88	2	1.35	2	1.04	2.4	1.61	2.5	2.28	4	2.35	2	1.10

Dónde: O: ofrecido, C: consumido

Anexo 5. Registro de heces excretadas (g/día) de alpacas subalimentadas

N° animal	Excreción de heces (g)							
	día 01 27/05/21	día 02 28/05/21	día 03 29/06/21	día 04 30/06/21	día 05 31/06/21	día 06 01/06/21	día 07 02/06/21	día 08 03/06/21
1	627.0	595.4	607.8	533.8	603.0	622.2	588.1	703.7
2	430.9	581.2	594.1	628.2	676.3	660.0	692.0	516.1
3	363.8	574.4	500.5	473.8	349.6	750.0	677.2	554.8
4	697.4	530.0	594.1	558.4	485.8	978.9	706.5	803.1
5	725.1	696.1	607.2	574.7	417.6	856.1	761.3	1,066.0

Anexo 6. Registro de Producción de orina (ml/día) en alpacas subalimentadas

N° animal	Producción de orina (ml)							
	día 01 27/05/21	día 02 28/05/21	día 03 29/06/21	día 04 30/06/21	día 05 31/06/21	día 06 01/06/21	día 07 02/06/21	día 08 03/06/21
1	220	220	210	170	155	180	210	250
2	260	230	220	17	205	180	370	220
3	130	200	140	195	135	170	140	250
4	410	590	400	335	225	390	370	280
5	260	280	230	185	175	280	380	440

Anexo 7. Excreción de nutrientes de alpacas subalimentadas

Excretado	Promedio (n:5)	SD	CV%	Max	Min
VARIABLES REGISTRADAS					
Peso vivo (kg)	46.08	3.24	0.070	52.2	43.6
Peso metabólico (kgPV0.75)	17.68	0.924	0.052	19.4	17.0
HECES					
Materia seca (g/ animal/día)	70.6	24.7	0.350	135.2	41.5
Energía bruta (kcal/animal/día)	307.7	110	0.357	595.8	179.9
Proteína cruda, (g/animal/día)	7.8	2.6	0.330	14.5	4.7
FDN (g/animal/día)	48.7	18.4	0.378	96.5	27.0
Carbono (g/animal/día)	32.5	11.7	0.360	63.1	19.0
Nitrógeno (g/animal/día)	1.2	0.411	0.330	2.3	0.745
ORINA					
Materia seca (g/animal/día)	13	6.2	0.476	32.8	0.957
Energía bruta (kcal/animal/día)	30.9	15	0.484	79.1	1.90
Proteína cruda (g/animal/día)	9.18	4.5	0.491	23.8	0.71
Carbono (g/animal/día)	3.65	1.5	0.404	8.09	1.92
Nitrógeno (g/animal/día)	1.47	0.720	0.491	3.80	0.114

Anexo 8. Retención de nutrientes de alpacas subalimentadas

Retenido	Promedio (n:5)	SD	CV%	Max	Min
Variables registradas					
Peso vivo (kg)	46.08	3.24	0.070	52.2	43.6
Peso metabólico (kgPV ^{0.75})	17.68	0.924	0.052	19.4	17.0
Materia seca (g/kg PV ^{0.75})	24.0	35.2	0.101	424.5	285.9
Materia orgánica (g/kg PV ^{0.75})	23.5	30.1	0.086	417.9	297.2
Energía bruta (kcal/kg PV ^{0.75})	106.8	150.6	0.096	1878.8	1276.8
Proteína cruda (g/kg PV ^{0.75})	1.6	6.49	0.332	29.8	5.49
FDN (g/kg PV ^{0.75})	13.2	25.5	0.145	223.9	119.1
Carbono (g/kg PV ^{0.75})	11.0	15.9	0.099	193	127.0
Nitrógeno (g/kg PV ^{0.75})	0.263	1.04	0.332	4.76	0.879

Anexo 9. Digestibilidad de nutrientes de alpacas subalimentadas

Digestibilidad %	Promedio (n:5)	SD	CV%	Max	Min
Variables registradas					
Peso vivo (kg)	46.08	3.24	0.070	52.2	43.6
Peso metabólico (kgPV ^{0.75})	17.68	0.924	0.052	19.4	17.0
Materia seca	83.7	4.3	0.051	89.4	73.0
Materia orgánica	87.0	3.9	0.045	92.4	76.8
Energía bruta	85.0	4.3	0.050	90.6	74.0
Proteína cruda	63.2	11.2	0.177	83.7	32.3
FDN	83.0	5.5	0.066	90.5	68.8
C	84.5	4.4	0.052	90.7	72.4
N	63.2	11.2	0.177	83.7	32.3