

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA Y ZOOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE ZOOTECNIA**



**“EFECTO DE LA SOBREALIMENTACION EN LA PRODUCCION DE
METANO EN ALPACAS (*Vicugna pacos*) MACHOS DE LA RAZA HUACAYA EN
EL CENTRO EXPERIMENTAL CICAS – LA RAYA.”**

Tesis presentada por:

Br: NILTON JHON TTITO AYTE

Para optar al título profesional de **INGENIERO
ZOOTECNISTA.**

ASESORES:

Ing. Zoot. PhD. WALTER ORESTES
ANTEZANA JULIÁN

Ing. Zoot. PhD. JUAN ELMER
MOSCOSO MUÑOZ

Financiada por el programa “YACHAYNINCHIS WIÑARINANPAQ”.

CUSCO - PERÚ

2023

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado de manera muy especial a mis queridos padres Venancio y Victoria quienes siempre me han apoyado en todo momento para el logro de mis objetivos.

A mis hermanos Margot, Nelson y Jhojan quienes han sido y serán parte importante de mi vida.

A toda mi familia quienes me han impulsado a mejorar cada momento.

A todas las personas que han sido parte de mi historia, gracias totales.

AGRADECIMIENTOS

A dios por permitirme la vida.

A mis asesores de tesis Ph.D. Walter Orestes Antezana Julián y Ph.D. Juan Elmer Moscoso Muñoz por su orientación y enseñanzas en el desarrollo del presente trabajo y sobre todo por su amistad a lo largo de mis estudios.

A los docentes y personal administrativo de la Escuela Profesional de Zootecnia quienes me brindaron sus conocimientos y su apoyo permanente durante mi estancia en la universidad.

Al proyecto “Desarrollo y validación de metodologías de evaluación de la actividad metabólica (utilización energética y proteica) y la emisión de gases de efecto invernadero en alpacas”, y muy en particular al Ph.D. Walter Orestes Antezana Julián por su apoyo y orientación en el desarrollo de la investigación.

Al laboratorio de Nutrición Animal de la Escuela Profesional de Zootecnia de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en particular al Ph.D. Juan Elmer Moscoso Muñoz y al M.Sc. Liz Beatriz Chino Velasquez por su apoyo en los análisis respectivos del presente estudio.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por haberme brindado todo el apoyo para la culminación de mis estudios.

A mis amigos con quienes compartí buenos e inolvidables momentos y quienes siempre me brindaron su apoyo, les estaré eternamente agradecido.

Finalmente, y no menos importante agradecerme, por creer en mí, esforzarme y pensar que todo es posible.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
GLOSARIO.....	x
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPITULO I.....	4
PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN	4
1.1. Identificación del problema objeto de investigación	4
1.2. Planteamiento del problema.....	5
1.2.1. Problema general	5
1.2.2. Problemas específicos.....	5
CAPITULO II.....	6
OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN	6
2.1. Objetivos	6
2.1.1. Objetivo general	6
2.1.2. Objetivos específicos.....	6
2.2. Justificación	7
CAPITULO III	8
MARCO TEÓRICO.....	8
3.1. Antecedentes.....	8

3.1.1. Antecedentes internacionales	8
3.1.2. Antecedentes nacionales	9
3.2. Marco teórico	11
3.2.1. Cambio climático en la ganadería alpaquera.....	11
3.2.2. Los camélidos sudamericanos (CSA)	12
3.2.3. La alpaca (Vicugna pacos)	13
3.2.3.1. Hábitat	13
3.2.3.2. Población.....	13
3.2.4. Anatomía y fisiología digestiva de los camélidos sudamericanos	14
3.2.4.1. Cavidad bucal.....	15
3.2.4.2. Dentición	15
3.2.4.3. Glándulas salivales.....	15
3.2.4.4. Estómago.....	16
3.2.4.4.1. Secreciones de las glándulas del estómago	17
3.2.4.4.2. Motilidad del estómago	18
3.2.4.5. Tasa de pasaje y eficiencia digestiva.....	19
3.2.4.6. Tiempo de retención del alimento en el tracto digestivo	20
3.2.5. Alimentación en alpacas	21
3.2.6. Energía y requerimientos nutricionales en la alpaca	22
3.2.7. Fermentación y metanogénesis ruminal	24
3.2.8. Metano entérico	26
3.2.9. Factores que afectan la emisión de metano	27
3.2.9.1. Factor dieta.....	27
3.2.9.2. Factor ambiente	28
3.2.9.3. Factor producción.....	28
3.2.9.4. Factor fisiológico.....	28
3.2.9.5. Factor genético	28
3.2.10. Métodos para determinar el gasto energético	28
3.2.10.1. Calorimetría directa (CD).....	29
3.2.10.2. Calorimetría indirecta (CI).....	29
3.2.10.3. Impedancia bioeléctrica (BIA)	29

3.2.10.4.	Técnica de sacrificio comparativo.....	30
3.2.10.5.	Registro de la frecuencia cardiaca.....	30
3.2.10.6.	Agua doblemente marcada.....	30
3.2.10.7.	Ecuaciones predictivas (EP).....	31
CAPITULO IV.....		32
MATERIALES Y MÉTODOS.....		32
4.1.	Ámbito de estudio.....	32
4.1.1.	Ubicación política.....	32
4.1.2.	Ubicación geográfica.....	33
4.1.3.	Límites.....	33
4.1.4.	Condiciones climáticas.....	33
4.2.	Duración de trabajo.....	33
4.3.	Materiales y equipos.....	34
4.3.1.	Material biológico.....	34
4.3.2.	Materiales y equipos de campo.....	34
4.3.3.	Materiales y equipos de laboratorio.....	35
4.3.4.	Materiales químicos.....	36
4.3.5.	Materiales y equipo de gabinete.....	37
4.4.	Metodología de estudio.....	37
4.4.1.	Instalaciones y materiales para la colecta de muestras.....	37
4.4.2.	Equipo de medición de gases.....	38
4.4.2.1.	Equipo móvil de calorimetría indirecta de circuito abierto para pequeños rumiantes.....	38
4.4.2.2.	Cámara dinámica.....	39
4.4.3.	Animales experimentales.....	39
4.4.4.	Etapa pre-experimental.....	40
4.4.5.	Etapa experimental.....	40
4.4.5.1.	Dietas experimentales.....	40
4.4.5.1.1.	Dieta de sobrealimentación (125% del requerimiento de mantenimiento).....	41

4.4.5.2.	Control del peso vivo de los animales experimentales	42
4.4.5.3.	Control de consumo de alimento.....	42
4.4.5.4.	Control de consumo de agua	42
4.4.5.5.	Control de producción de heces y orina	43
4.4.5.6.	Control de producción de gases	43
4.4.5.7.	Obtención de datos	44
4.4.6.	Cálculos de producción de gases	45
4.4.7.	Análisis químico del alimento, heces y orina	45
4.4.8.	Análisis estadístico	45
4.4.8.1.	Análisis estadístico	45
CAPITULO V	.....	46
RESULTADOS Y DISCUSIONES	.....	46
5.1.	Producción de metano entérico (CH ₄) en alpacas machos de la raza Huacaya sobrealimentados con heno de avena y pellet de alfalfa.	46
5.2.	Producción de dióxido de carbono en alpacas machos de la raza Huacaya sobrealimentados con heno de avena y pellet de alfalfa.	48
5.3.	Consumo de oxígeno en alpacas machos de la raza Huacaya sobrealimentados con heno de avena y pellet de alfalfa.	49
CAPITULO VI	.....	50
CONCLUSIONES	.....	50
RECOMENDACIONES	.....	51
CAPITULO VII	.....	52
BIBLIOGRAFÍA	.....	52
ANEXOS	65	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Requerimientos diarios de energía y proteína de alpacas machos en crecimiento de 40 kg de peso y una ganancia de peso de 100 g/día.....	24
Tabla 2.	Composición química del alimento empleado en el estudio.	40
Tabla 3.	Composición química de la dieta de sobrealimentación.	41
Tabla 4.	Control de peso vivo de las alpacas.....	42
Tabla 5.	Producción de metano en alpacas sobrealimentadas	46
Tabla 6.	Producción de dióxido de carbono en alpacas sobrealimentadas	48
Tabla 7.	Consumo de oxígeno en alpacas sobrealimentadas	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Centro de investigación en Camélidos Sudamericanos CICAS “La Raya-UNSAAC”. 32
------------------	-------------------------------------------------------------------------------

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.	Equipo analizador de gases (ABB Automation Products GmbH Alzenau, Easyflow 3020, Alemania).	35
Fotografía 2.	Estufa de convección forzada	36
Fotografía 3.	Frasco con ácido sulfúrico	36
Fotografía 4.	Alpacas machos de la raza Huacaya.....	71
Fotografía 5.	Heno de avena y pellet de alfalfa.....	71
Fotografía 6.	Recipientes de plástico y balanza digital (AND, EJ – 2000).....	72
Fotografía 7.	Balanza de tipo plataforma provista de jaula.....	72
Fotografía 8.	Jaulas metabólicas para alpacas.....	73
Fotografía 9.	Cámara dinámica.	73

Fotografía 10.	Vistas de alpaca en jaula metabólica con bolsas colectoras de heces.	74
Fotografía 11.	Equipo móvil de calorimetría indirecta de circuito abierto para pequeños rumiantes.	74
Fotografía 12.	Vistas de la cámara dinámica.	75
Fotografía 13.	Sujeción de la tela retráctil de la cámara dinámica en la base del cuello de la alpaca.	75
Fotografía 14.	Sujeción de la bolsa colectoras de heces	76
Fotografía 15.	Visualización de los datos en la PC integrada.....	76
Fotografía 16.	Colección de heces en las bolsas colectoras para alpacas.....	77
Fotografía 17.	Medición de la orina después de su colecta respectiva	77
Fotografía 18.	Almacenamiento de muestras.....	78

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Características de las alpacas en el presente estudio.	65
Anexo 2.	Registro del peso vivo (kg) de las alpacas al inicio de la fase pre experimental.65	
Anexo 3.	Control del consumo de alimento.....	66
Anexo 4.	Control de consumo de agua	67
Anexo 5.	Control de la producción de heces y orina.	68
Anexo 6.	Consumo de nutrientes en la dieta de sobrealimentación.....	68
Anexo 7.	Excreción de nutrientes en la dieta de sobrealimentación.....	69
Anexo 8.	Retenido de nutrientes en la dieta se sobrealimentación.	69
Anexo 9.	Digestibilidad de nutrientes en la dieta de sobrealimentación.	69
Anexo 10.	Variables registradas sobre el peso vivo, peso metabólico y consumo de nutrientes en alpacas machos de la raza Huacaya sobrealimentados con heno de avena y pellet de alfalfa.	70
Anexo 11.	Registro fotográfico.....	71

GLOSARIO

CSA:	Camélidos sudamericanos.
CENAGRO:	Censo Nacional Agropecuario.
MIDAGRI:	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.
INEI:	Instituto Nacional de Estadística e Informática.
MITECO:	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
NRC:	National Research Council; Consejo Nacional de Investigación.
CC:	Cambio Climático.
CMCC:	Convención Macro sobre el Cambio Climático.
CMNUCC:	Convención Macro de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
IPCC:	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
GEI:	Gases de efecto invernadero.
CFCs:	Clorofluorocarbonados.
PCG:	Potencial de Calentamiento Global.
Tg:	Teragramos.
EM:	Energía Metabolizable.
RE:	Retención de Energía.
PCa:	Producción de Calor.

RESUMEN

Los gases de efecto invernadero, son temas importantes de carácter ambiental, científico y económico. Por ello, el presente trabajo de investigación se desarrolló en el Centro de Investigación en Camélidos Sudamericanos (CICAS) “La Raya - UNSAAC” de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco ubicado a 4200 m.s.n.m. con el objetivo, de estudiar el efecto de la sobrealimentación en la producción de metano entérico en alpacas (*Vicugna pacos*) machos de la raza Huacaya en el CICAS- la Raya. Bajo esta finalidad, se utilizó 5 alpacas machos de la raza Huacaya, con una edad de 2 a 3 años, con un peso promedio de 47,480 kg seleccionados del plantel de machos tuis del mismo centro. La metodología consistió en dos etapas, la primera corresponde a la etapa pre experimental y la segunda a la etapa experimental. Para ello, se empleó 5 jaulas metabólicas para alpacas de acero inoxidable, además, de estas jaulas metabólicas fue necesario el uso de una cámara dinámica para la colección y consecuentemente para el análisis de los gases. Es importante mencionar que, se usó el equipo móvil de calorimetría indirecta de circuito abierto para pequeños rumiantes que estuvo dotado con el analizador de gases ABB (EL 3020) para la cuantificación de los gases en estudio. La etapa pre experimental comprende de 21 días, el cual, consistió en la adaptación de los animales a las jaulas metabólicas, bolsas colectoras y acostumbramiento de alimento. la etapa experimental comprende de 12 días, consistentemente, los primeros 5 días fueron adaptados a la dieta de sobrealimentación y posterior a ello, los tres últimos días se inició con el análisis de los gases y la colección de muestras. Para el procesamiento de datos se utilizó estadística descriptiva. Los resultados indican que las condiciones de sobrealimentación en las alpacas machos de la raza Huacaya, no tienen efecto directo sobre la producción de metano. De tal forma que, la producción de metano en alpacas en promedio fue de $15,88 \pm 2,797$ (g CH₄/día) o $22,24 \pm 3,916$ (L CH₄/día), y la producción de dióxido de carbono en promedio fue de $737,2 \pm 73,57$ (g CO₂/día) o $375,3 \pm 37,45$ (L CO₂/día), finalmente el consumo de oxígeno en promedio fue de $443,2 \pm 16,93$ (g O₂/día) o $310,3 \pm 11,85$ (L O₂/día).

Palabras clave: Sobrealimentación, Metano, Dióxido de carbono, Oxígeno, alpacas

INTRODUCCIÓN

En cuanto a la población de alpacas, MIDAGRI (2022), indicó, que el Perú cuenta con más de 4,3 millones de ejemplares de alpacas que representa más del 87 % de la población mundial, además, estimó que son 82 459 productores alpaqueros de los cuales un 76 % son pequeños productores y el 24 % son medianos y grandes. Así mismo, constituye un recurso genético de gran importancia social, económico, cultural y científica para el Perú, proveyendo de productos de alta calidad (fibra, carne) y a menudo, siendo el único medio de subsistencia para la población alto andina según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2005). De la misma forma, la producción alpaquera tiene como principal recurso, los pastos naturales altoandinos aprovechados en su mayoría por los CSA, utilizando con gran eficiencia los pastos pobres (FAO, 2005).

Según Samper *et al.* (2019), el cambio climático es una variación significativa y permanente de los patrones globales del clima. El cual, está afectando a todos los países de todos los continentes. Alterando las economías nacionales y afectando a las distintas formas de vida. Parte de ello, los sistemas meteorológicos están cambiando, los niveles del mar están subiendo y los fenómenos meteorológicos son cada vez más extremos según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2015).

Por consiguiente, la actividad ganadera en general tiene una participación en los impactos ambientales con la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) tales como: Metano (CH_4), Dióxido de carbono (CO_2) y el Óxido nítrico (N_2O) (Animut *et al.*, 2008), contribuyendo con el 18% de las emisiones antropogénicas de GEI mundiales (FAO, 2009). Al respecto, en las últimas décadas, la comunidad científica ha prestado mucha atención en la emisión del CH_4 que es un gas de efecto invernadero con 23 veces mayor potencial de calentamiento global (PCG) que el CO_2 y un tiempo de vida media de 10 años en la atmosfera (Solomon *et al.*, 2007). De igual forma, la producción de metano entérico, constituye a una pérdida energética para el rumiante que representa entre el 2 y el 12% de la energía bruta consumida (Johnson & Johnson , 1995).

Por lo tanto, los CSA podrían contribuir a la contaminación ambiental, debido a la producción de metano entérico. Al respecto, se han realizado estimaciones sobre la producción de metano de alpacas y llamas en función a su masa corporal, teniendo reportes que varían entre $0,32 \pm 0,11 \text{ L Kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ a $0,66 \pm 0,10 \text{ L Kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (Dittmann *et al.*, 2014).

Sin embargo, sigue siendo insuficiente la información en esta especie de gran importancia económica, social y ambiental en los andes del Perú.

CAPITULO I

PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema objeto de investigación

Como resultado de la actividad antropogénica y de la ganadería en particular, se han incrementado las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI), en estos últimos años. Por ende, es importante considerar la actividad ganadera, ya que aporta cantidades considerables de GEI tales como: el CH₄, CO₂ y N₂O, incidiendo de forma importante al cambio climático (Animut *et al.*, 2008). Siendo, el metano entérico el gas digestivo producido por la actividad ganadera, debido a la fermentación entérica en el rumen de los rumiantes (Janssen & Kirs., 2008).

Los estimados a nivel global, han mostrado que la producción mundial de CH₄ es de 590 – 1060 (terágramos) Tg/año de los cuales se le atribúan 100 – 120 Tg/año a los animales (principalmente al ganado) siendo la ganadería responsable de alrededor del 23% de las emisiones de CH₄ de origen antropogénico a nivel mundial (Khalil, 2000).

La concentración atmosférica del CH₄, es causada principalmente por emisiones del sector agrícola y la industria, sin embargo, se estima también que una proporción es emitida por los rumiantes como producto de la fermentación entérica y anaeróbica de la dieta (Cardona *et al.*, 2015). Así mismo, la producción de metano por parte de los rumiantes además de generar un impacto ambiental, representa una pérdida económica para la industria ganadera, toda vez que la energía es desgastada en el proceso de síntesis de metano, esta debería ser canalizada para mejorar la productividad de los animales (Johnson *et al.*, 2007).

Por una parte, el Perú contribuye con el 0,3% de las emisiones de GEI a nivel mundial, siendo una cifra baja que se califica como “particularmente vulnerable” (iNDC, 2015). Sin embargo, cuenta con la mayor población de alpacas a nivel mundial con más de 4,3 millones de ejemplares (Leòn, 2022).

En la actualidad, es insuficiente la información existente sobre la actividad metabólica y la producción de metano en condiciones de sobrealimentación, por esta razón, es importante determinar la producción de metano.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

Escasa información sobre la producción de metano entérico en alpacas, bajo condiciones de sobrealimentación.

1.2.2. Problemas específicos

- Limitada información sobre la producción de metano entérico (CH_4) en alpacas sobrealimentados.
- Ausencia de información sobre la producción de dióxido de carbono (CO_2) en alpacas sobrealimentados.
- Inexistente información sobre el consumo de oxígeno gaseoso u oxígeno (O_2) en alpacas sobrealimentados.

CAPITULO II

OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo general

Estudiar el efecto de la sobrealimentación en la producción de metano entérico en alpacas (*Vicugna pacos*) machos de la raza Huacaya en el CICAS- la Raya.

2.1.2. Objetivos específicos

- Determinar la producción de metano entérico (CH_4) en alpacas machos sobrealimentados con heno de avena y pellet de alfalfa.
- Determinar la producción de dióxido de carbono (CO_2) en alpacas machos sobrealimentados con heno de avena y pellet de alfalfa.
- Evaluar el consumo de oxígeno (O_2) en alpacas machos sobrealimentados con heno de avena y pellet de alfalfa.

2.2. Justificación

El Perú es el primer productor a nivel mundial de alpacas, con una población estimada de 4,3 millones de ejemplares, que representa el 87 % de la población mundial. El 80 % de alpacas son de raza Huacaya, el 12 % son de raza Suri y el restante 8% son híbridos obtenidos del cruce de las dos razas mencionadas (MIDAGRI, 2022). La población de camélidos domésticos se distribuye actualmente en 82 459 unidades agropecuarias, asentadas entre los 3800 y 4800 m.s.n.m. en donde son prácticamente el único recurso de sobrevivencia (Torres, 2020). De tal manera que, los CSA, constituyen un recurso genético de gran importancia económica, social, cultural y científica para el Perú y algunos países de la Región Andina, por su aporte de fibra, carne, productos derivados, subproductos y transporte (Fernández, 2005).

Dadas las similitudes en la anatomía y fisiología digestiva entre los rumiantes y los CSA, se ha asumido, que pueden producir cantidades similares de CH₄ como los rumiantes en comparación con el mismo rango de masa corporal, de tal forma que, son responsables de la liberación de cantidades significativas de GEI (Dittmann *et al.*, 2014).

Cabe señalar, que solo existen estimaciones de la producción de CH₄ en camélidos, por lo tanto, nos brindan únicamente información referencial.

Se requiere, conocer las emisiones potenciales de metano en condiciones de sobrealimentación, esto teniendo en cuenta que las alpacas en condiciones de manejo tradicional, tienen una época de abundancia de alimentos (época de lluvias), en la cual, es probable que se encuentren sobrealimentados. Además, contribuir con el conocimiento del balance energético de las alpacas en estas condiciones y de la producción de metano. En la actualidad no se cuenta con esta información.

Se espera, que esta información sea de utilidad para sustentar la sostenibilidad ambiental de la producción alpaquera en la generación de propuestas eficientes, dirigidas a minimizar los efectos negativos de los GEI, en pro del desarrollo de la ganadería alpaquera.

Por estas razones, se plantea estudiar la dinámica de la producción de CH₄ y CO₂ y el consumo de O₂, bajo condiciones de sobrealimentación en alpacas (*Vicugna pacos*) machos de la raza Huacaya, mediante el método de Calorimetría Indirecta de Circuito Abierto para pequeños rumiantes.

CAPITULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

3.1.1. Antecedentes internacionales

Brosh *et al.* (1986), en el estudio que realizaron en cabras beduinas con heno de alfalfa, reportaron un consumo de oxígeno de 24,8 g O₂/kg PV^{0,75}.

Sin embargo, Pinares (2003), realizó un estudio comparativo de la emisión de CH₄ entre ovejas y alpacas, reportando una emisión de 14,9 y 18,8 g de CH₄/por cabeza/día, en alpacas y ovejas alimentadas con heno de alfalfa, respectivamente. El mismo autor reporta producciones de 22,60 y 31,10 g de CH₄/por cabeza/día para alpacas y ovejas alimentadas con pastos perennes de Rye grass/Trébol blanco, y el experimento N°3 alimentadas con trébol de patas de pájaro (*Lotus corniculatus*), la emisión fue de 19,10 y 22.00 g de CH₄/por cabeza/día respectivamente.

De igual forma, en los últimos años se han utilizado las cámaras dinámicas para determinar la producción potencial de CH₄ en rumiantes menores. Ruiz (2012), estudio la emisión de CH₄ en cabras lecheras, reportando emisiones de 2,27 ± 0,48 L/Kg pm/día para el tratamiento rica en almidón (ALM), adicionalmente se determinó que la producción de CH₄ para el tratamiento rico en Fibra Detergente Neutro (FDN), fue de 1,16 ± 0,34 L/Kg pm/día.

Asimismo, Bhatta *et al.* (2013), reportaron 17,9 g CH₄/día y 595,2 g CO₂/día para animales que fueron alimentados con una dieta control, de la misma forma, 15,9 g CH₄/día y 585,4 g CO₂/día para animales que fueron alimentados con una dieta baja en taninos y finalmente 13,8 g CH₄/día y 569,6 g CO₂/día para animales que fueron alimentados con una dieta alta en taninos, es necesario resaltar, que los datos reportados corresponden a cabríos adultos.

Por otro lado, se han realizado estudios sobre la emisión de metano entérico en los camélidos en una cámara de respiración con tres especies (*Vicugna pacos*, *Lama glama*, y *Camelus bactrianus*), todos mantenidos con una dieta consistente en alimentos producidos solo a partir de alfalfa. De modo que, los camélidos produjeron menos metano

entérico expresado sobre la base de la masa corporal ($0.32 \pm 0.11 \text{ L kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$) en comparación con los datos de la literatura sobre rumiantes domésticos alimentados con dietas forrajeras ($0.58 \pm 0.16 \text{ L kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$). Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los dos subórdenes cuando la emisión de metano se expresó sobre la base de la ingesta de fibra detergente neutro digerible ($92.7 \pm 33.9 \text{ L kg}^{-1}$ en camélidos vs. $86.2 \pm 12.1 \text{ L kg}^{-1}$ en rumiantes) (Dittmann *et al.*, 2014).

3.1.2. Antecedentes nacionales

En nuestro país son escasos los estudios sobre la emisión de CH_4 en los CSA, por ello, se realizaron algunos estudios en llamas al pastoreo en un pastizal de pajonal de ladera, reportando $36,68 \pm 10,43 \text{ g/animal/día}$ o $30,57 \pm 8,69 \text{ l/animal/día}$, en función al peso vivo (PV) es $0,41 \pm 0,11 \text{ g/kg PV}$, en términos de peso metabólico ($\text{PV}^{0.75}$) es $1,25 \pm 0,35 \text{ g/kg PV}^{0.75}$, en función del consumo de materia seca es $20,32 \pm 5,74 \text{ g/Kg MS}$ y $62,62 \pm 17,63 \text{ g/Kg MS}$, del PV y $\text{PV}^{0.75}$ respectivamente (Jordan , 2017).

Del mismo modo, se ejecutó un estudio haciendo uso de taninos condensados de castaño (97% de pureza), en las emisiones de CH_4 en llamas al pastoreo en época seca en CICAS-LA RAYA, utilizando la técnica del gas trazador SF_6 , determinando así las emisiones de metano del T1 (pasto natural) que fue de $27,35 \pm 10,47\text{g/d}$ de CH_4 y para el T2 (pasto natural + tanino) fue de $19,32 \pm 6,84 \text{ g/d}$ de CH_4 (Ttito, 2017).

Por otra parte, Choquemamani (2017), estudió el consumo de materia seca y la producción de metano entérico en llamas alimentados al pastoreo en praderas naturales ubicadas sobre los 4200 metros de altitud sobre el nivel del mar, a través de espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), los resultados indican que las llamas al pastoreo aportan metano a la atmosfera con un promedio de $88,22 \pm 8,32 \text{ L}$ de $\text{CH}_4/\text{d/llama}$, donde los machos emiten en promedio $93,1 \pm 6,4 \text{ L CH}_4/\text{d}$ y en las hembras fueron en promedio $83,3 \pm 7,5 \text{ L CH}_4/\text{d}$.

De la misma forma, Piccalayco (2017), reporto $24,4 \pm 9,0 \text{ g/d/alpaca}$ de CH_4 para el T1 (pastura cultivada en época de lluvia) y $24,0 \pm 8,5 \text{ g/d/alpaca}$ de CH_4 para el T2 (pastura cultivada en época seca), donde no tuvo efecto la estación del año en la emisión de CH_4 .

Asimismo, Quispe (2019), en su estudio encontró que la cantidad de metano emitido fue de $22,40 \pm 4,64 \text{ g/12hrs}$ para el día (diurno) y la emisión de metano de noche (nocturno) fue de $20,26 \pm 5,32 \text{ g/12hrs}$; en función de kilo por peso vivo fue de $0,24 \pm 0,05 \text{ g/kg}$

PV/12 horas para el tratamiento del día y $0,22 \pm 0,005$ g/kg PV/12 horas para la noche, no encontrándose diferencias en las emisiones diurnas y nocturnas.

Por otra parte, Gualdrón *et al.*, (2022), en el estudio que realizaron sobre las emisiones de metano con la técnica del trazador SF₆, reportan lo siguiente: 1418 ± 402 g /día de consumo de materia seca (DMI), $32,0 \pm 7,26$ g CH₄/día, y referenciados en términos de consumo de materia seca, fue de $24,9 \pm 9,47$ g CH₄/kg DMI, cabe resaltar, que este estudio fue realizado en condiciones de pastoreo con pastos cultivados.

Asimismo, Rios (2023), en su estudio de diseño y validación de jaulas metabólicas para alpacas, reportó $16,4 \pm 2.89$ g CH₄/día, $692,7 \pm 67,3$ g CO₂/día y $472,8 \pm 40,8$ g O₂/día, cabe aclarar, que este estudio fue realizado en condiciones de mantenimiento.

3.2. Marco teórico

3.2.1. Cambio climático en la ganadería alpaquera

La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), define el “cambio climático” como un “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante periodos de tiempo comparables” (CMNUCC, 1992).

El calentamiento del planeta supone una grave amenaza para la población del futuro, ya que puede ocasionar una considerable elevación del nivel del mar, una mayor frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, e incluso la desaparición de determinadas especies de animales y plantas (Roca *et al.*, 2019).

El clima ha sufrido cambios importantes a lo largo de la historia, sin embargo, el actual cambio del clima es muy diferente de otros anteriores esencialmente por dos motivos. Una de ellas son las emisiones, como resultado de la actividad humana, de los denominados “Gases de efecto Invernadero”. Estos gases, incrementan la capacidad de la atmósfera terrestre para retener calor, dando lugar al fenómeno denominado Calentamiento Global. El actual cambio está ocurriendo muy rápidamente, lo que hace muy difícil, tanto para la naturaleza como para las sociedades humanas, adaptarse a las nuevas condiciones (MITECO, 2019).

El Perú, es un país de bajas emisiones per cápita y totales de GEI, con una participación mundial de 0,3 % sobre el total de las emisiones mundiales, de las cuales aproximadamente la mitad se originan en el sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura. Además, presenta hasta siete de las nueve características reconocidas por la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para calificar a un país como “particularmente vulnerable”; características que se ven fortalecidas por los procesos de origen antropogénico que causan la degradación de los ecosistemas y contaminación ambiental (República del Perú, 2015).

Entre los agentes de impacto directo del CC sobre la producción ganadera, se menciona a las sequías e inundaciones, eventos climáticos extremos, el aumento de la temperatura y la disminución de disponibilidad de agua. Entre los impactos indirectos se mencionan

la disminución de la cantidad y calidad de forraje, la aparición de enfermedades y los cambios en las interacciones Huésped – patógeno (Thornton & Gerber , 2010).

La acumulación de los GEI, conllevan a un aumento de temperatura global, la cual al final del presente siglo serán muy probablemente superiores en magnitud a los observados durante el siglo XX y que según el informe especial del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), estas podrían alcanzar aumentos de entre 1,1 °C hasta 6,4 °C, y consecuentemente a niveles sobre el nivel del mar de entre 18 y 59 cm superiores a los actuales, mayores precipitaciones en regiones altamente lluviosas y menores en regiones de menos precipitación (IPCC, 2007).

3.2.2. Los camélidos sudamericanos (CSA)

Los camélidos sudamericanos (la alpaca, el guanaco, la llama y la vicuña) representan en el Perú parte de la identidad cultural de los pueblos altoandinos, así como el principal medio de vida de unas 150 mil familias en todo el país. La vicuña aparece en el escudo nacional simbolizando parte de la riqueza nacional y la alpaca es actualmente considerada un producto bandera. Ambas generan divisas gracias a la exportación de su fibra, que compite con los pelos finos naturales del mundo, el cashmere, el mohair, la angora, entre otros (Torres, 2014).

El Perú, es el principal productor de CSA del mundo con poco más de 5 millones de cabezas entre las cuatro especies. Por ende, la ganadería de los camélidos sudamericanos constituye una de las actividades productivas y económicas más importante que se desarrolla en la zona altoandina. Debido a que, más de 150 mil familias pertenecientes mayormente a Comunidades Campesinas de departamentos considerados en situación de pobreza y extrema pobreza depende de dicha actividad pecuaria. Por esta razón, la crianza de los CSA representa el 70 al 80% del ingreso familiar anual (MIDAGRI, 2015).

Es importante señalar, las características de los camélidos sudamericanos (peso, la resistencia a las bajas temperaturas y la escasez de agua, la adaptación a la altura y los rigores del clima, la conformación de sus extremidades y su dentición), ya que, a diferencia de todos los herbívoros domésticos exóticos, son una ventaja clave para su crianza en la puna. Cabe destacar, el potencial excepcional de los criadores de CSA, dado que, poseen el conocimiento sobre los camélidos andinos (crianza y producción) y del ecosistema altoandino (suelos y recursos hídricos) (Torres, 2014).

3.2.3. La alpaca (*Vicugna pacos*)

3.2.3.1. Hábitat

La alpaca, es la especie más pequeña de los camélidos domésticos y comparte muchas características morfológicas con las vicuñas (Marìn *et al.*, 2007). Sin embargo, la evidencia que concuerda con la hipótesis de que la alpaca fue domesticada a partir de poblaciones de vicuñas locales (*V. v. mensalis*). Finalmente, el reciente hallazgo de momias en El Yaral, Moquegua-Perú, a 1.000 m de altitud sobre el nivel del mar, no solo confirmó que la crianza de llamas y alpacas se extendía a los valles costeros, sino, además, la alta selección de alpacas y llamas como productores de fibra fina (Wheeler, 1995).

Su distribución territorial es una franja que abraza, desde el norte del Perú hasta el sur de Bolivia, con muy pocos animales en el norte de Chile y en el Noroeste de Argentina (Wheeler, 1995). El Perú cuenta con más del 80 % de la población mundial de alpacas (más de tres millones y medio) que se encuentran principalmente en las zonas altoandinas de los departamentos de Puno, Cusco, Arequipa, Ayacucho, Huancavelica y Apurímac; Estando el 20 % restante en: Bolivia y Chile, aunque también existen en algunos países de la Unión Europea y los Estados Unidos (Brenes *et al.*, 2002).

Existen dos razas de alpacas, Huacaya y Suri; la primera raza se caracteriza por su vellón compacto, esponjoso, de fibras suaves y onduladas; por otro lado, está la Suri que posee un vellón más suelto, sedoso, y lacio.

La alpaca, como otros CSA que habita en el mismo piso ecológico, nace con un peso promedio de 7 kg, y a los 6-8 meses y 2 años pesa 28 y 48 kg en promedio, respectivamente; y su rendimiento de carcasa es de 56 % (García *et al.*, 2002).

3.2.3.2. Población

MIDAGRI (2022), indicó, que el Perú cuenta con más de 4,3 millones de ejemplares de alpacas que representa más del 87 % de la población mundial, además, estimó que son 82 459 productores alpaqueros de los cuales un 76 % son pequeños productores y el 24 % son medianos y grandes.

3.2.4. Anatomía y fisiología digestiva de los camélidos sudamericanos

Muchas son las características que diferencian a los camélidos sudamericanos de otras especies de mamíferos, entre ellas tenemos las más relevantes que son las que a continuación se detallan:

Las cuatro especies de CSA, tienen el labio superior hendido. La dentadura se caracteriza por presentar un incisivo y un canino permanente en el maxilar superior y caninos presentes en el maxilar inferior; los caninos están más desarrollados en los machos que en las hembras. Las vértebras cervicales son alargadas sin orificio para la arteria vertebral, mientras que los huesos del carpo y del tarso se encuentran separados. Las falanges son separadas y divergentes y la segunda falange termina en dos almohadillas, con una uña. La anatomía de las piernas traseras les permite descansar sobre el vientre con las rodillas dobladas y los garrones hacia atrás (Wheeler, 1991).

Los CSA son rumiantes (porque regurgitan y vuelven a masticar el alimento ingerido), estos pertenecen a la familia Camelidae del orden Artiodactyla (ya que son ungulados). Están separados de otros rumiantes en el infraorden Tylopoda (puesto que poseen una almohadilla de patas) porque se diferencian en la en la morfología del estómago (ya que poseen tres compartimentos), la ausencia de cuernos o astas y el reemplazo de las pezuñas por almohadillas callosas que terminan en garras (San Martin Howard & Bryant , 1989).

Entre las características de la anatomía y fisiología digestiva de los CSA se encuentran los labios, que son relativamente delgados y el labio superior está dividido por un surco medio (labio leporino); esta característica les brinda una gran movilidad el cual facilita la selección del recurso vegetal. Además, los dientes son de crecimiento continuo ya que constantemente están sometidos al continuo desgaste al que están sometidos al consumir pastos muy leñosos y lignificados. La lengua no es protruible por lo que no pueden lamer (Lechner *et al.*, 1995).

El estómago de los camélidos sudamericanos consta de tres compartimentos diferentes (C1, C2 y C3); que comprenden el 83% (rumen), 6 % (omaso) y 11% (abomaso), respectivamente, de su volumen total (San Martin & Olazabal, 2005). En los rumiantes diferenciamos el rumen, retículo, omaso seguido por el abomaso secretor de ácido clorhídrico (HCl). En los CSA, el estómago está compuesto por un gran compartimento 1 llamado (C1), que está dividido por una fuerte cresta muscular transversal en una

porción craneal y una porción caudal. El compartimento 2 (C2), es relativamente pequeño, y no está completamente separado de C1. El compartimento 3 (C3) que se origina en C2, está situado en el lado derecho de C1. El C3 es un órgano largo, en forma de tubo, parecido a un intestino. El HCl es producido solo en el estómago trasero comparativamente pequeño. las regiones ventrales de C1 y C2 están formadas por áreas de sacos glandulares, que son particularmente prominentes entre las fuertes crestas musculares desgarradas que está ubicada en la porción caudal de C1 (Lechner *et al.*, 1995).

3.2.4.1. Cavidad bucal

En la revisión de San Martín (1989), se indica que los labios de los CSA son estructuralmente delgados; el labio superior posee un surco medio (labio leporino) y el inferior es relativamente más grande; ambos móviles, características que les permiten tener una gran capacidad de selección de alimentos, bajo condiciones de pastoreo.

3.2.4.2. Dentición

De la Vega (1952), indica que los CSA 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. 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, 1996) y (Bustanza, 2001).

3.2.4.3. Glándulas salivales

Las glándulas salivales se encuentran en la cavidad bucal y a su vez son agrupadas en: glándulas parótidas, glándulas submaxilares y glándulas sublinguales; igualmente las glándulas bucales (dorsal y ventral), glándulas palatinas, glándulas labiales y las glándulas linguales (Yaranga, 2009), son similares a los rumiantes avanzados. En relación a la saliva de los camélidos, se ha visto que el pH y las concentraciones de iones son muy similares a otros rumiantes. Sin embargo, se señala que existe un mayor poder tampón debido al alto flujo de saliva en relación al tamaño del retículo rumen, aumentando la concentración de los diferentes compuestos tampones por unidad de volumen (San Martín

& Bryant, 1989). La función de estas glándulas es la secreción de la saliva que tiene tres funciones importantes: lubricación del alimento seco, agregar bicarbonato y fosfato para amortiguar los efectos de los ácidos durante la fermentación y el reciclado de los nutrientes como la urea y el fósforo (Yaranga, 2009).

Algunos estudios realizados indican que el pH y las concentraciones de iones en la saliva de la alpaca eran similares a las de las ovejas, pero el flujo salival de la alpaca era mayor. Por ende, posee un mayor poder amortiguador en las alpacas debido a la relación entre flujo salival y el tamaño de los dos primeros compartimentos del estómago, lo que permite una concentración amortiguadora más potente por unidad de volumen del contenido del estómago en las alpacas que en los ovinos (San Martín & Bryant, 1989).

3.2.4.4. Estómago

Los camélidos sudamericanos en general, al igual que los rumiantes domésticos más conocidos como el bovino, ovino y caprino, tienen un compartimento digestivo muy espacioso y sectorizado. Sin embargo, estructuralmente, su sistema digestivo se distingue considerablemente de otros rumiantes. Vallenas *et al.*, (1971), estudiaron la estructura macroscópica de los pre-estómagos y del estómago de la Llama y el Guanaco, semejante al de la Vicuña y alpaca, utilizando técnicas *in vivo* e *in vitro*.

Estos autores describen una división en tres compartimentos. El primero es el compartimento 1 (C1), frecuentemente comparado con el rumen, es el más voluminoso y abarca el (83% del volumen total pre gástrico y gástrico), ventralmente posee un prominente surco transversal que lo divide en un saco craneal y uno caudal, ambos poseen saculaciones ya que, muy aparte de proveer de una mayor superficie de contacto, poseen mucosa glandular que permite la secreción de tamponadores que contribuyen con la saliva en la mantención de un pH favorable para la acción de los microorganismos celulolíticos. El resto del epitelio es escamoso estratificado no glandular que al igual que otros rumiantes tiene una función dedicada a la absorción (Vallenas *et al.*, 1971).

En el compartimento 2 (C2), también se describen ambos tipos de epitelio y la mucosa superficial de las paredes de la curvatura mayor de este compartimento está dividida en forma reticular; en general el contenido de este compartimento es muy líquido y tanto su

forma como su función se equiparán frecuentemente con el retículo de otros rumiantes (Vallenas *et al.*, 1971).

El (C2) se conecta con el tercer compartimento (C3), a través de un pasaje estrecho recubierto por epitelio escamoso estratificado; si bien el (C3) está completamente recubierto de mucosa glandular, pero la capacidad de ella varía a lo largo de este compartimento de forma tubular. El quinto inicial tiene su mucosa dispuesta en forma reticular, en su curvatura menor y en la curvatura mayor se distribuye en forma de pliegues no permanentes y aunque anatómicamente no poseen una estructura similar al omaso de otros rumiantes, se compara este quinto como un omaso funcional (Vallenas *et al.*, 1971). En los siguientes tres quintos medios, la mucosa se dispone en forma de pliegues longitudinales permanentes, cubiertos de epitelio fúndico y el resto, hacia el píloro, de epitelio pilórico, mientras que en el quinto final del C3, la mucosa se engrosa sensiblemente correspondiendo esta área a la mucosa propiamente gástrica (Raggi & Crossley, 1990), y, además, se produce la secreción de ácido clorhídrico (HCL).

San Martín & Olazabal (2005), indican que el estómago de los camélidos sudamericanos está dividido en 3 compartimentos y un estómago temporal, que algunos lo consideran como un cuarto compartimiento. El volumen estomacal ocupa el 83 % (CI), 6% el (CII) y 11 % el (CIII) del volumen total del estómago respectivamente.

Según, Sato & Montoya (1989), el sistema digestivo de la alpaca se caracteriza porque el estómago verdadero o abomaso está precedido por tres compartimentos histológicamente diferentes, el primero corresponde al rumen y representa el 83% de la capacidad total, este compartimento está dividido en un saco dorsal y uno ventral. El segundo compartimento está representado por el retículo (4% de la capacidad total) y el último por el omaso que tiene una capacidad de un 8%, el cual se confunde macroscópicamente con el estómago verdadero o abomaso, ya que no existen estructuras anatómicas que los separen. Sin embargo, internamente se aprecian crestas dispuestas longitudinales formando pequeñas cavidades similares a las que se observan en el retículo.

3.2.4.4.1. Secreciones de las glándulas del estómago

La mucosa glandular mucinógena presente en todos los compartimentos del estómago (con la excepción de la mucosa de la quinta parte distal del C3, estómago trasero) tiene

una estructura similar a la de los rumiantes avanzados, a pesar de las diferencias en la disposición física (Cummings *et al.*, 1972).

Es importante resaltar que existen dos tipos de mucosa que cubren la pared interna del C1 y C2 de los camélidos sudamericanos, hecho que la diferencia de otros rumiantes. Los sacos glandulares están cubiertos por una mucosa glandular localizada en la parte ventral; y la superficie expuesta, cubierta por un epitelio estratificado no glandular localizado en la parte dorsal (San Martín & Bryant, 1989).

Rubsamen & Engelhardt (1978), informaron que la función principal de esta región glandular en el estómago del CSA es la rápida absorción de solutos y agua. Las tasas de absorción alcanzaron aproximadamente 2-3 veces más que en el rumen de ovejas y cabras. Con respecto al C3, la tasa de absorción fue significativamente mayor que los valores medidos en el omaso de ovejas y cabras, incluso considerando diferencias en el peso corporal.

Los sacos glandulares del C1 y C2 tienen varias funciones, una de las principales es la absorción rápida de solutos y agua; también aportan cantidades de bicarbonato en asociación con la ingesta del C1, que pueden contribuir a la capacidad buffering del contenido del C1 y C2 y la secreción de mucosidad, glicoproteínas y urea, para mantener un ambiente óptimo para los microorganismos (San Martín, 1996).

3.2.4.4.2. Motilidad del estómago

Esta cualidad del estómago, es una función crítica con respecto a la actividad de fermentación continua. Ya que, la motilidad del estómago asegura la exposición constante del alimento ingerido a la adhesión microbiana y la posterior degradación. Similar a los verdaderos rumiantes, la motilidad del estómago en los camélidos ocurre en dos fases distintas, A y Ondas B en comparación con las ondas α y β en rumiantes verdaderos (Heller *et al.*, 1984).

A pesar de ello, la motilidad del estómago es dramáticamente diferente. En los camélidos, C2 se contrae fuertemente seguido por la contracción de la parte distal de C1 (fase A). La fase B se inicia cuando la parte craneal de C1 se contrae, seguida por la contracción de C2 y la porción caudal de C1. Esta fase B puede repetirse de tres a seis veces durante un ciclo antes de un breve período de descanso y el comienzo de un nuevo ciclo (Van Saun, 2006).

El eructo puede ocurrir de tres a cuatro veces durante cada ciclo de motilidad. En comparación, los camélidos sudamericanos tienen mayor actividad del estómago en comparación con la contracción única bifásica o trifásica por minuto de verdaderos rumiantes (Heller *et al.*, 1984). Este patrón de mayor motilidad que se encuentran en los camélidos también pueden tener alguna relación con la observación de que estos animales son bastante resistentes a la acumulación de gas en el estómago o la hinchazón en lugar de a los verdaderos rumiantes (Van Saun, 2006).

El aumento de los patrones de motilidad también da cuenta de una mezcla homogénea, más a fondo, la naturaleza del contenido del estómago de los camélidos sudamericanos en comparación con el aire es más estratificado, alfombrada fibrosamente y capas líquidas encontradas en verdaderos rumiantes (Van Saun, 2006).

Más allá del sistema del estómago, la digestión intestinal de los camélidos sudamericanos es pequeño y los procesos de absorción parecen ser idénticos a los animales rumiantes y no rumiantes. El estómago trasero también tiene cierta capacidad de fermentación, pero en menor medida en comparación con el estómago. El propósito principal del intestino grueso es absorber agua junto con una cierta absorción de Ácidos Grasos Volátiles (AGV), vitaminas y minerales. Se dispone de muy pocos datos sobre el papel de la función de la función del intestino grueso en los camélidos (Van Saun, 2006).

3.2.4.5. Tasa de pasaje y eficiencia digestiva

Del mismo modo que los rumiantes, se demostró que las llamas tenían selectividad diferencial en la retención de agua y partículas dentro de C1 y C2, en función del tamaño (Heller *et al.*, 1984). El agua pasó a través de C1 y C2 rápidamente que las partículas pequeñas y las partículas más grandes (2,5-4 cm) que fueron retenidas ligeramente más tiempo que las partículas pequeñas (0,2-1 cm).

Estudios comparativos entre camélidos y los verdaderos rumiantes, muestran que la materia prima consumida pasan más lentamente a través del C1 que el rumen (Florez , 1973), (Clemens & Stevens, 1980) y (San Martín, 1989). Esta menor velocidad de paso, hace que las materias primas se mantengan en la cámara de fermentación durante un periodo de tiempo prolongado. Como consecuencia directa de un mayor tiempo de retención, los camélidos sudamericanos presentan una mayor degradación de la materia

prima de la alimentación ingerida en comparación con los rumiantes verdaderos, especialmente para la fracción de la pared celular (Van Saun, 2006).

3.2.4.6. Tiempo de retención del alimento en el tracto digestivo

Si bien se sabe que, en los rumiantes, las partículas son retenidas en los estómagos mucho más tiempo que el líquido. Esta retención selectiva de partículas más grandes permite una mejor digestión microbiana de una dieta fibrosa (Heller *et al.*, 1986). Los camélidos sudamericanos se adaptan a alimentos fibrosos de baja calidad muy bien (Heller *et al.*, 1986).

Estudios realizados en alpacas reportan un tiempo de retención del alimento de 50.3 h y 43.2 h en ovinos (Florez , 1973). Otro estudio realizado en llamas reporta un tiempo de retención del alimento de 63.2 h y 40.9 h en ovinos (San Martín, 1987). Las llamas retienen partículas grandes por mayor periodo de tiempo que en bovinos y caballos; se ha observado en partículas de 0.2-1.0 cm de largo su tiempo de retención de 52 h y partículas de 2.5-4.0 cm de 60 h (Heller *et al.*, 1986; San Martín, 1996).

El mayor tiempo de retención de partículas sólidas es un factor importante que determina la eficiencia de la digestibilidad en el estómago de los CSA a partir de dietas fibrosas. Cuando el tiempo de retención de la digesta se ve incrementado hay una aparente mejora en la digestibilidad de los alimentos de baja calidad y proteína, mientras que los alimentos de alta calidad son relativamente inafectados por el tiempo de retención (San Martín y Bryant, 1987). Con respecto al pasaje de líquidos de los compartimentos C1 y C2 en los CSA comparados con las ovejas, se encontró una tasa de pasaje más rápida en llamas de 10.4 %/h que en ovinos de 7.7 %/h (San Martín, 1987).

Estudios señalan un tiempo de retención de fluidos en C1 y C2 de 9.7 h y en todo el tracto digestivo de 36.2 h (Heller *et al.*, 1986). La rápida tasa de pasaje de la fase líquida en CSA comparada con la de rumiantes, puede ser producto de la alta relación entre el flujo salival y el volumen del C1 y C2. Estudios anteriores, señalan que el principal determinante de la tasa de pasaje de la fase líquida parecía ser la cantidad de saliva deglutida. El menor tiempo de retención del fluido ruminal, indicaría que las llamas pueden tener mayor crecimiento bacteriano en C1 y C2, garantizando una mínima cantidad de energía para mantener la población microbiana (San Martín y Bryant, 1987).

3.2.5. Alimentación en alpacas

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

El consumo de materia seca (MS) en promedio en alpacas y llamas es aproximadamente 1,8 % y 2 % de su peso vivo (PV) respectivamente, siendo menor en comparación con los ovinos (2,5%) (San Martín & Van Saun, 2014), y 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).

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.

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, 2004; Ghali, 2011). Con cierta frecuencia, 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).

El empleo de los pastos cultivados para complementar a las praderas naturales en altitudes de 4000 metros a más, tienen rendimientos excelentes (especies de gramíneas del genero *Lolium* y de leguminosas del genero *Trifolium* apetecibles por Las llamas y alpacas), evaluados por la Estación de Camélidos Sudamericanos de la Raya, así como también el departamento de Puno con el proyecto de cooperación de Nueva Zelanda en Perú, llevado a cabo en la década de los 70s. con buenos resultados de ganancia de peso de 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).

Por lo tanto, el consumo de alimento dependerá de su composición química, digestibilidad y disponibilidad (López *et al.*, 1998), como también de su contenido de proteína (San Martín & Bryant, 1989).

3.2.6. Energía y requerimientos nutricionales en la alpaca

La energía es muy importante, ya que con su disponibilidad se asegura la nutrición de los animales, para hacer posible la sostenibilidad de la vida y la generación de procesos productivos asociados a esta. La energía disponible en el alimento es considerada como el nutriente limitante en los sistemas de alimentación (NRC, 1985) y (Torres *et al.*, 2009)). La disponibilidad de la energía, por parte de los animales, supone procesos de su captura, utilización y pérdida en funciones propias del organismo (Keith, 2002). La conocida ecuación del balance de energía ($EM = RE + PC$); donde EM, es, la energía metabolizable aportada por el alimento; RE, la retención de energía en el cuerpo; y PC, la producción de calor; la misma que fue utilizada para la medición de la energía disponible del alimento y la producción de calor del animal, pero no para medir la retención de energía (Johnson *et al.*, 2003).

Es importante mencionar, que la energía neta es la porción de la energía del alimento que es retenida en el cuerpo del animal o en alguno de sus productos útiles (carne, fibra). Esta energía se obtiene al restar las pérdidas de calor del metabolismo de nutrientes de la EM. ($EN = EM - \text{calor producido}$); Generalmente el calor producido (CP) se mide por calorimetría directa o indirecta (Mendoza *et al.*, 2008).

Mediante la oxidación de los macro nutrientes, provenientes de los forrajes, se obtiene también energía química, que es muy útil para que el animal realice sus funciones vitales, apareciendo ésta en los productos animales como: carne, leche, fibra; o desapareciendo en forma de calor u orina. La energía restante es almacenada como ATP (adenosín trifosfato) (Labayen *et al.*, 1997). Además, los animales no solo conservan energía sino también agua (Reik *et al.*, 2019).

Por otro lado, una deficiente disponibilidad de energía se aprecia a través de la disminución de la producción, ausencia de crecimiento e incremento de pérdidas tisulares;

a veces el déficit energético pasa desapercibido y se expresa en la baja producción de carne y fibra (Hafez & Dyer, 1972). Las deficiencias de energía, proteínas, vitaminas y minerales, son críticos y afectan la vida productiva de las alpacas (destete y último tercio de gestación) (Van Saun, 2014). Un animal, a pesar de estar privado de sus alimentos, continúa demandando energía para mantener sus principales funciones vitales, la cual, obtiene del catabolismo de sus propias reservas corporales (glucógeno, lípidos y proteína) (McDonald *et al.*, 1988).

Por lo referido, el requerimiento energético de las alpacas incluye muchas demandas; que incluyen el crecimiento fetal, gestación, parto, producción de leche, reproducción, entre otros; dependiendo su capacidad de mantenimiento y producción de su estado nutricional (Skidmore, 2011).

De modo que, La alpaca para cubrir su demanda de un consumo de materia seca, requiere $60,5\text{g/kg PV}^{0.75}$ y de $53,7\text{g/kg PV}^{0.75}$, en estación seca y húmeda, respectivamente (Reiner *et al.*, 1987); que, representa en promedio 1,80 por ciento del peso corporal (San Martín Howard & Bryant, 1989); disponiendo 1,25 por ciento para su mantenimiento, y hasta 1,50 por ciento para su gestación; pudiendo llegar a 2,75 por ciento, cuando se incluye la lactación (Van Saun, 2006).

Tabla 1. Requerimientos diarios de energía y proteína de alpacas machos en crecimiento de 40 kg de peso y una ganancia de peso de 100 g/día.

Requerimiento	Modelo de Predicción de requerimiento	Valor calculado
Mantenimiento	EM (Kcal/d) = $71\text{Kcal/KgW}_{\text{kg}}^{0.75}$	EM = 1129,3 Kcal/d
	PC (g/d) = $3,5 \text{ g PC/kgW}_{\text{kg}}^{0.75}$	PC = 55,7 g/d
Ganancia de peso	EM (Kcal/d) = 5,5 Kcal/g de ganancia	EM = 275,0 Kcal/d
	PC (g/d) = 0,284 g PC/g de ganancia	PC = 14,2 g/d
Totales	Energía Metabolizable	EM = 1471,8 Kcal/d
	Proteína Cruda	PC = 69,9 g/d

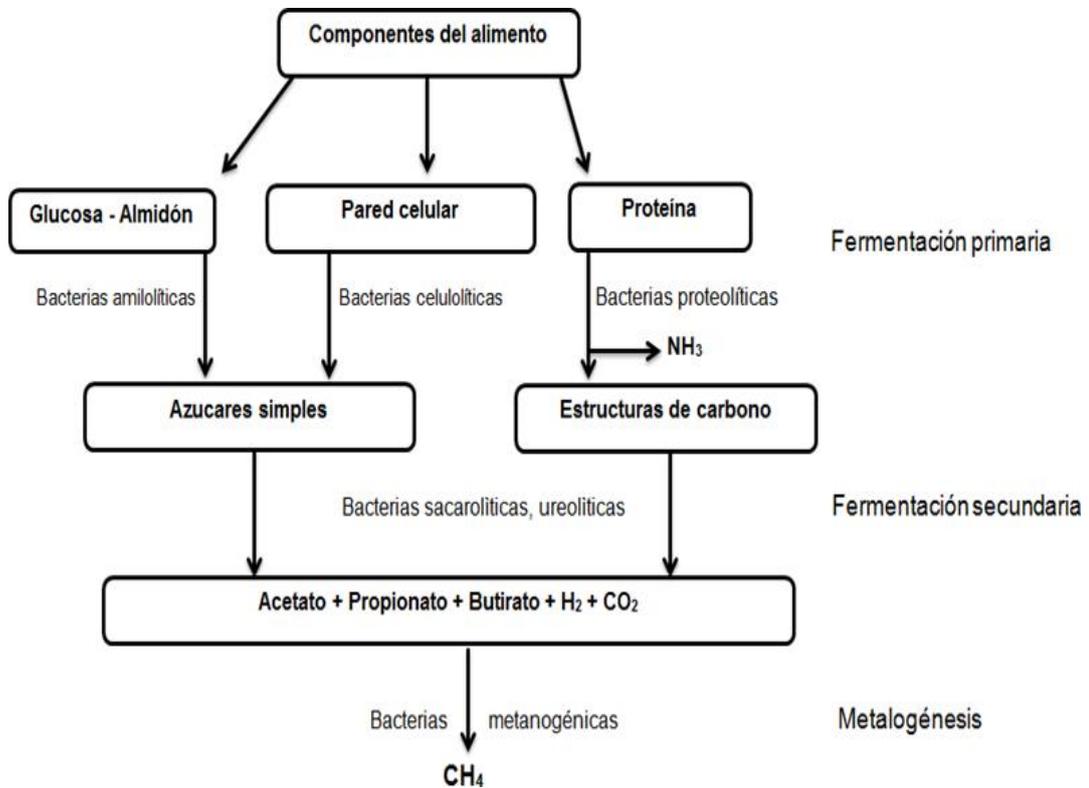
Fuente: (Van Saun, 2006).

3.2.7. Fermentación y metanogénesis ruminal

Un ejemplo clásico, es la biodegradación de materia orgánica en sedimentos anaeróbicos, donde: El primer grupo de poblaciones (aquellas que pueden utilizar directamente la materia orgánica disponible) hidrolizan ésta materia orgánica en azúcares y compuestos menos complejos. Los productos metabólicos de este grupo sirven como alimento a un segundo grupo de fermentadores que generan diferentes ácidos orgánicos (ej. butirato, acetato, lactato, etc.), dióxido de carbono (CO₂) e hidrógeno (H₂). Finalmente, el acetato, CO₂ y H₂ sirven como materia prima para que bacterias metanogénicas actúen, produciendo este último gas que es el metano (CH₄) (FAO, 2005).

Enseguida, se muestra la biodegradación de la materia orgánica.

Gráfico 1. Fermentación de la materia vegetal por microbios del rumen, que muestra algunas de las principales bacterias del rumen involucradas en la fermentación y los metanógenos que eliminan el gas de hidrogeno mediante la conversión en metano.



Fuente: (Vlaming, 2008).

Se reportan que el 87% de la producción de metano se da en el rumen y el 13% en el tracto digestivo posterior de este último aproximadamente el 89% es absorbido hacia la sangre y espirado a través de los pulmones esto indica que el 98% del total de metano producido por rumiantes puede ser espirado a través de la boca y los orificios nasales (Mc Caughey *et al.*, 1997).

La expulsión del metano vía eructo se inicia a las cuatro semanas de vida, cuando los alimentos sólidos empiezan a ser retenidos en el retículo- rumen y a medida que este se va desarrollando la fermentación y la producción de gases va en aumento (Carmona *et al.*, 2005).

La emisión de metano, producto de la fermentación ruminal, depende principalmente de la cantidad y calidad de alimento que afecta la tasa de digestión y la velocidad de paso en el proceso de fermentación (Van Soest, 1983).

La dependencia de pH de las bacterias metanógenas, aporta un factor importante para la predicción de la producción de metano. Dietas con forrajes (fibra) de baja calidad no causan una significativa disminución en el pH ruminal y están asociadas a una alta producción de metano. Mientras que dietas con altos contenidos de alimentos concentrados, generalmente disminuyen la producción de metano, pero sólo si el consumo es lo suficientemente alto para causar una reducción en el pH ruminal. (Moss *et al.*, 2000) indican que, en dietas basadas en forrajes, pero con bajo pH, si disminuye la metanogénesis, independientemente de la formación del Propionato.

3.2.8. Metano entérico

El metano entérico (por fermentación en el tubo digestivo) es el gas digestivo más abundante que eliminan los animales rumiantes, como producto del trabajo bioquímico de un grupo de microorganismos del dominio Archaea que viven en el rumen, con predominio del género *methanobrevibacter*, un grupo anaerobio estricto, capaz de crecer utilizando H₂ como fuente de energía y electrones que derivan del H₂ para reducir el CO₂ a CH₄ (Janssen & Kirs, 2008).

En el rumen, la formación de metano es la principal forma de eliminación de hidrógeno (Moss *et al.*, 2000).

La metanogénesis, es el paso final de la descomposición de la biomasa. Por lo tanto, los archaea son un grupo filogenético distinto a los eucariotas y bacterias, a pesar de vivir en estrecha asociación con bacterias anaeróbicas (Hook *et al.*, 2010). Las archaeas metanógenas no utilizan oxígeno para respirar (el oxígeno inhibe su crecimiento), por lo contrario, usan el carbono como aceptor final de electrones. El carbono puede derivar de un pequeño número de compuestos orgánicos, todos con bajo peso molecular. En términos fisiológicos, hay tres rutas de metanogénesis: El primero, es a partir de la reducción de dióxido de carbono (CO₂) con hidrógeno (H₂) (ruta hidrogenotrópica), el segundo, es a partir de compuestos metilados tales como el metanol y aminas metiladas (ruta metilotrópica), y el tercero, es a partir de la escisión del acetato (ruta acetoclástica) (Thauer *et al.*, 2008).

La metanogénesis se puede verse afectada por numerosos factores como el pH, la concentración de ácidos grasos volátiles en el rumen, el tipo de dieta, la forma de alimentación del animal, la especie animal o el estrés ambiental (Johnson & Johnson, 1995). El pH ruminal es uno de los principales factores que puede afectar la conformación de la población microbiana y los niveles de ácidos grasos producidos en el rumen. Es importante mencionar que, en el rumen hay dos grupos grandes de bacterias que actúan en diferentes niveles de pH. El de digestoras de fibra, las cuales son más activas a pH de 6,2 a 6,8. Las bacterias celulíticas y metanogénicas pueden verse reducidas cuando el pH comienza a caer por debajo de 6. Sin embargo, el grupo de las digestoras de almidón prefieren un ambiente más ácido a pH de 5,2 a 6 (Ishler *et al.*, 1996).

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

3.2.9. Factores que afectan la emisión de metano

3.2.9.1. Factor dieta

La cantidad y calidad del alimento consumido, el tipo de glúcidos en la dieta, el grado de procesamiento del alimento, la adición de lípidos o ionóforos a la dieta y las alteraciones en la microflora ruminal, estos son los factores que influyen la producción de metano. Los dos principales factores responsables de las variaciones en la producción de metano son la cantidad de glúcidos fermentados en el rumen, lo cual implica diversas interacciones dieta- animal, que afectan el balance entre las tasas de fermentación de estos glúcidos y la tasa de pasaje (Johnson & Johnson, 1995). Y la calidad del forraje que tiene un impacto directo sobre las emisiones entéricas de metano, así se ha comprobado tanto en modelos *in vitro* como en modelos *in vivo* (Boadi & Wittenberg, 2002) ; (Ominski *et al.*, 2006). Las dietas altas en granos (más de 90% de concentrado), en niveles de consumo próximos al *ad libitum* pueden reducir las pérdidas de metano en 2-3%. Según algunos autores, los rumiantes que consumen dietas ricas en almidón producen mayor cantidad de Propionato, menor relación de acetato - butirato y menor emisión de metano (Johnson & Johnson , 1995).

3.2.9.2. Factor ambiente

La emisión de metano por unidad de materia seca digerida es mayor para los rumiantes alimentados con pastos subtropicales (C4) que con pastos de climas templados (C3), lo cual se atribuye al mayor contenido de lignocelulosa de los pastos C4 (Ulyatt *et al.*, 2002). Por lo tanto, las emisiones de metano entérico son las más altas cuando los animales son sometidos a forrajes de baja calidad y con limitadas oportunidades para la selección, es decir, forraje escaso y de pobre calidad (Ominski *et al.*, 2006).

3.2.9.3. Factor producción

Algunos autores indican que el sistema de producción, así como la raza animal juegan un papel importante en las emisiones de metano entérico (Pedreira *et al.*, 2009).

3.2.9.4. Factor fisiológico

En general, los factores que se asocian con un aumento en la tasa de pasaje son los alimentos en el rumen asociados a su vez con una disminución en la cantidad de CH₄ formado por unidad de alimento digerido, también están asociados con un aumento en la proporción de Propionato de entre los productos de fermentación en el rumen. Hay una fuerte correlación negativa entre la importancia de la formación de Propionato en el rumen y la cantidad de CH₄ producido (Janssen *et al.*, 2010).

3.2.9.5. Factor genético

La selección genética de animales que consumen menos alimento o producen menos metano por unidad de alimento es otra estrategia de manejo que se puede emplear para reducir las emisiones de metano entérico (Boadi & Wittenberg, 2002). Dos aspectos que están siendo activamente investigados como medio para identificar los animales genéticamente superiores son la eficiencia alimenticia neta y el tiempo medio de retención de la ingesta en el rumen (Hegarty, 2002).

3.2.10. Métodos para determinar el gasto energético

Si bien existen varias técnicas y métodos para medir el gasto energético (GE), algunos de ellos son utilizados solo con fines de investigación por ser costosos; y, los demás, de

mayor accesibilidad, son poco precisos. Entre los de mayor uso se encuentran la calorimetría indirecta, el agua doblemente marcada, y las fórmulas de predicción.

3.2.10.1. Calorimetría directa (CD)

Se utiliza cámaras herméticas, con paredes aislantes, en las cuales se confina al individuo, y se registra tanto el calor almacenado como el perdido por radiación, convección y evaporación. La más conocida es la cámara de Atwater, en la cual, el calor producido, es absorbido por el agua que pasa a través de ésta, y cuantificado mediante termo sensores que registran su temperatura, de entrada y de salida, en un tiempo determinado. Es un método difícil, y complejo de realizar en la práctica, permitiendo estimar el (GETD) -gasto energético total diario-, en función de la cantidad de calor producida por el organismo (Mataix & Martínez, 2006).

3.2.10.2. Calorimetría indirecta (CI)

Es un método no invasivo, que estima la producción de energía equivalente a la (TMB) tasa metabólica basal (Lawrence & Ugrasbul, 2004) y la tasa de oxidación de los sustratos energéticos. La CI se basa en el principio del intercambio de gases, pues la respiración en un calorímetro produce disminución de oxígeno (O_2) y acumulación de anhídrido carbónico (CO_2) en la cámara de aire (sistema respiratorio de circuito abierto). La cantidad de O_2 consumido y de CO_2 producido, se determina multiplicando la frecuencia de ventilación típicamente es de 1L/seg, por el cambio en la concentración del O_2 . El cociente respiratorio es un componente importante en la determinación de la CI, el cual se entiende como la relación que existe entre la producción de CO_2 y el consumo de O_2 ; tiene un valor de 1,0 para la oxidación de carbohidratos, de 0,81 para la proteína, y de 0,71 para la grasa. El GE se calcula usando el consumo de O_2 y la producción de CO_2 (Patiño, 2006).

3.2.10.3. Impedancia bioeléctrica (BIA)

Considerada como una técnica no invasiva, de fácil y útil aplicación para calcular la composición corporal sobre todo en conejos. Se fundamenta en la aplicación de una corriente eléctrica a través del organismo animal, basada en la oposición que presenta cualquier cuerpo animal, en este caso un tejido biológico (la grasa), pasando la corriente eléctrica a través de él; donde se mide la reactancia y la resistencia que sufre la corriente eléctrica cuando pasa a través del cuerpo del animal mediante un aparato "Quantum II" además también para ello se utilizan ecuaciones de predicción (Pereda *et al.*, 2007).

3.2.10.4. Técnica de sacrificio comparativo

Calcula la retención de energía en el cuerpo de un animal después de un periodo de alimentación, utilizada en animales de producción para medir la composición corporal e importante para estudios de crecimiento y nutrición animal. Se basa en alimentar un lote de animales con una dieta estándar durante el periodo inicial, luego se sacrifica un grupo al inicio del experimento para determinar el calor de combustión corporal inicial; los animales restantes se distribuyen en grupos para ser alimentados individualmente por un periodo de tiempo a diferentes niveles de consumo de energía; al concluir el experimento se sacrifican todos los animales para medir el calor de combustión corporal final y la retención de energía que se determina por diferencia (Blaxter, 1967).

3.2.10.5. Registro de la frecuencia cardiaca

Está basado en la frecuencia cardíaca (FC), de hecho, este se incrementa con la actividad física; la misma que se relaciona estrechamente con el consumo de oxígeno, dentro de un intervalo razonable. La utilización de un sistema de registro continuo, de la FC, permite la estimación del gasto energético a partir del consumo de oxígeno; para esto, es indispensable establecer individualmente una línea de regresión entre la FC y el volumen de oxígeno (VO₂), mediante CI en reposo, y también durante la realización de movimientos de intensidad variable. La ventaja de este método es que es de bajo costo, sencillo y con posibilidad de determinar el GETD en condiciones reales, pero con dificultad en las calibraciones individuales (Brosh *et al.*, 1998).

3.2.10.6. Agua doblemente marcada

Consiste en la administración, vía oral, de una dosis de agua doblemente marcada con dos isótopos estables de Deuterio y Oxígeno; que posteriormente se cuantifican, por espectrometría de masas. El enriquecimiento isotópico de cualquier fluido orgánico (saliva, orina entre otros), recogido en un tiempo razonable. El Deuterio se distribuye exclusivamente por el agua, pero el O₂ por el agua y los bicarbonatos. La diferente eliminación de los dos isótopos permite hallar la cantidad de CO₂ y estimar el GETD. La precisión es superior a la de CI en cámara en un 4 por ciento (Ravussin & Rising, 1992). Sin embargo, su elevado costo, y dificultad de interpretación, relegan su uso, de momento, a la investigación.

3.2.10.7. Ecuaciones predictivas (EP)

Está basado en un análisis de regresión, que incluye el peso, sexo, edad y talla, como variables independientes, y el gasto energético en reposo (GER), medida por CI, como variable dependiente. Las principales EP que se han desarrollado, para la estimación de la TMB, son las de i) Harris y Benedict 1919, de Shofield y Oxford (FAO/WHO/UNU, 1985); y, ii) las de Cunningham (FAO/WHO/UNU, 2001).

Algunas de las técnicas de evaluación descritas quedan desplazadas, por su dificultad y coste, al ámbito de la investigación. Durante mucho tiempo la calorimetría indirecta, quedó también restringida a este campo; sin embargo, los avances tecnológicos han facilitado el desarrollo de equipos más precisos, ligeros y asequibles, que permiten que en la actualidad sea un método muy útil en el espacio clínico para la determinación del GER, en amplios grupos de la población (sana, con diferentes tipos de patología y también sometida a un intenso desgaste físico, como los atletas de diferentes modalidades deportivas) (Redondo, 2015).

CAPITULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ámbito de estudio

La investigación, se desarrolló en el Centro de Investigación en Camélidos Sudamericanos (CICAS) “La Raya - UNSAAC”, perteneciente a la Escuela profesional de Zootecnia, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, ubicado en el Distrito de Marangani, Provincia de Canchis y Departamento de Cusco a 178 km de la ciudad del Cusco.



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

4.1.1. Ubicación política

- **Región:** Cusco
- **Departamento:** Cusco
- **Provincia:** Canchis
- **Distrito:** Marangani

4.1.2. Ubicación geográfica

Asimismo, se halla situado en las siguientes coordenadas:

- **Latitud Sur:** 14° 00' – 15° 45'
- **Longitud Oeste:** 69° 45' – 75° 00'
- **Altitud:** 4200 m.s.n.m.

4.1.3. Límites

- **Norte:** Marangani
- **Sur:** Layo
- **Este:** La Raya-UNA-PUNO
- **Oeste:** Comunidad Campesina de Occobamba

4.1.4. Condiciones climáticas

Los aspectos geográficos del Centro Experimental CICAS La Raya – UNSAAC, determinan serias limitaciones térmicas, estas se traducen en presencia de heladas y sequías que limitan el desarrollo de actividad agrícola, sin embargo, posee un potencial para el desarrollo de una ganadería sostenible (producción de Camélidos Sudamericanos), considerando la precipitación pluvial y la temperatura, se establece, que el clima es del tipo húmedo frío con deficientes lluvias en invierno.

La precipitación pluvial es de 965 mm anual, la mayor precipitación ocurre entre los meses de diciembre a marzo. Las temperaturas máximas y mínimas varían desde los -7° C a 15° C, con un promedio anual de 7, 49° C.

La información climatológica indica, que la velocidad de los vientos está comprendida dentro de la clasificación de moderados. Además, la humedad relativa varía desde el 65 % a 85 %.

4.2. Duración de trabajo

Tuvo una duración de catorce meses, iniciándose el mes de mayo del 2021, finalizando el mes de Julio del 2022.

4.3. Materiales y equipos

4.3.1. Material biológico

- 05 alpacas machos de la raza Huacaya, con una edad de 2 a 3 años (tuis), con un peso promedio de 47,480 kg, seleccionados del plantel de machos tuis del Centro de Investigación en Camélidos Sudamericanos CICAS “La Raya – UNSAAC”.
- Heno de avena
- Pellet de alfalfa

4.3.2. Materiales y equipos de campo

- 02 embudos provistos de una malla para el filtrado de agua
- Guantes de látex (NIPRO)
- 01 Recipiente para pesado de alimento (Jarra Real GIGANTE)
- 01 Recipiente para el pesado de heces (Jarra Real GIGANTE)
- 05 Bolsas colectoras de heces, impermeabilizadas de 35 x 25 cm
- 04 Baldes para el abastecimiento de agua u otros líquidos
- 10 recipientes para la colección de muestras (Heces)
- 10 Frascos para la colección de muestras (Orina)
- Bolsas con cierre hermético
- 05 Jaulas metabólicas para alpacas equipadas con comederos, bebederos, provistas de plataformas para la colecta de heces y orina.
- 01 Cámara dinámica.
- 01 Equipo analizador de gases (ABB Automation Products GmbH Alzenau, Easyflow 3020, Alemania)
- 01 Balanza digital para la medición de los alimentos (AND, EJ-2000)
- 01 Balanza digital de tipo plataforma para la medición del peso vivo (PERUTRONIX)
- 01 congeladora para refrigerar y congelar muestras de heces y orina (COLDEX, CH 40)
- 01 equipo de protección personal
- 01 probeta de vidrio graduada
- Vaso de precipitado de 500 ml de capacidad (VITLAB)



Fotografía 1. Equipo analizador de gases (ABB Automation Products GmbH Alzenau, Easyflow 3020, Alemania).

4.3.3. Materiales y equipos de laboratorio

- Molino de cuchillas (Foss Knifotec, KN 295)
- Balanza analítica de precisión (Sartorius Quintix, 224-iS)
- Estufa de Convección Forzada (BINDER, FED 720)
- Estufa de Convección Forzada (POL EKO APARATURA, SLW 750)
- Mufla eléctrica (PROTHERM, ECO 110/9)
- Analizador elemental CHNO/S (PERKIN ELMER, 2400Series II)
- Prensa peletizadora (Parr)
- Bomba Calorimétrica (PARR INSTRUMENT COMPANY, 6400)



Fotografía 2. Estufa de convección forzada

4.3.4. Materiales químicos

- Ácido sulfúrico al 10 %
- Agua destilada



Fotografía 3. Frasco con ácido sulfúrico

4.3.5. Materiales y equipo de gabinete

- Computador portátil
- Papel boom tamaño A4
- Registros
- Bolígrafos
- Rotuladores indelebles
- Alcohol de 96°
- Algodón (500 g)
- Papel absorbente

4.4. Metodología de estudio

El estudio corresponde a una investigación de tipo cuantitativa. El cual, comprende de dos etapas, la primera corresponde a la etapa pre- experimental y la segunda es la etapa experimental.

4.4.1. Instalaciones y materiales para la colecta de muestras

En esta investigación, se emplearon 05 jaulas metabólicas para alpacas de acero inoxidable, las cuales contaron con: comederos, bebederos y plataformas con paneles metálicos que facilitaron la colección de muestras de heces y orina.

Es importante resaltar, que estas jaulas metabólicas individuales poseen las siguientes dimensiones: 0.75 metros de ancho, 1.60 metros de largo, 2.0 metros de altura y están suspendidas del suelo a una altura de 0.33 metros; medidas que se emplearon en función a las características morfológicas, etológicas, de confort y hábitos alimenticios de las alpacas. Cabe resaltar, que las jaulas metabólicas fueron diseñadas en base a una serie de plataformas metálicas galvanizadas con paneles, con la finalidad de separar las heces y orina. La plataforma para coleccionar la orina, estuvo conectado a un recipiente, dicho componente tuvo la forma de V, el cual nos permitió su fácil colección y las heces fueron coleccionadas mediante el uso de bolsas colectoras de 35 centímetros de largo por 25 centímetros de ancho, diseñadas específicamente para esta especie, sujetadas por arneses de tela a la región pélvica y torácica de las alpacas.

Estas características se ven reflejadas en la fotografía 10.

4.4.2. Equipo de medición de gases

4.4.2.1. Equipo móvil de calorimetría indirecta de circuito abierto para pequeños rumiantes

Para la medición de los gases, se usó de un equipo móvil de calorimetría indirecta de circuito abierto para pequeños rumiantes que permitió cuantificar de manera precisa y ordenada los datos de los gases, como el oxígeno (O₂), dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) en ensayos metabólicos con alpacas.

En el nivel inferior de esta unidad móvil, se encuentran los siguientes componentes, como el **Flujómetro** (Thermal Mass Flowmeter Sensyflow VT-S; ABB Automation Products GmbH, Alzenau, Alemania), **Enfriador de gases** (Sample Gas Cooler, SCC-C, ABB, Alzenau, Alemania) y un **Ventilador helicocentrífugo**.

De la misma forma, en el nivel superior de la unidad móvil, se encuentra un **Rotámetro** (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), **Analizador de gases** (Continuous Gas Analyzers, EasyLine EL 3020, ABB Automation Products GmbH, Alzenau, Alemania) de metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂), **Sistema de adquisición de datos** (CR800 Series Dataloggers, Campbell Scientific. Inc.) y una **PC integrada** (Pos-D).

Todos estos componentes analíticos, contaron con la posibilidad de salidas digitales para su conexión a la PC integrada. Además, el sistema de respirometría tuvo dos líneas de muestreo separadas pero paralelas. La línea principal para el aire aspirado será 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, esta línea está encargada de tomar una submuestra de gas de la línea principal por medio de la bomba de membrana mencionada anteriormente, unida al rotámetro y conectada a la unidad de análisis de gas. La muestra de gas fue filtrada y secada mediante el gas refrigerante para eliminar la humedad antes de cada análisis.

Cabe destacar, que la fotografía 11 muestra la unidad móvil de calorimetría indirecta de circuito abierto para pequeños rumiantes.

4.4.2.2. Cámara dinámica

Esta cámara dinámica fue situada sobre una jaula metabólica, el cual estuvo conectada hacia el sistema analizador de gases, cabe señalar que dicha cámara, tuvo las siguientes dimensiones; 1.50 metros de altura, 0.685 metros de largo y 0.50 metros de ancho (conforme a las medidas biométricas de la alpaca) de acero quirúrgico, además de ello, por la **parte anterior** conto con una ventana acrílica cerrada de las siguientes dimensiones; 0.80 metros de altura, 0.50 metros de ancho y una gaveta extraíble provista de un agujero de 1” de diámetro, dicho componente tuvo las siguientes medidas; 0.45 metros de ancho, 0.68 metros de largo, por la **parte posterior** estuvo provista de una manga de tela retráctil con marco metálico y una soguilla de sujeción y por la **parte superior** conto con un agujero de salida de 1” de diámetro, el cual estuvo conectado mediante una manguera hacia el sistema analizador de gases.

De la misma forma, estas características pueden ser observadas en la fotografía 12.

4.4.3. Animales experimentales

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron 05 alpacas machos de la raza Huacaya, con una edad de 2 a 3 años (tuis) y un peso promedio de 47,480 kg, para ello se pesó cada individuo.

Estos animales fueron seleccionados del plantel de machos jóvenes (tuis) del Centro de Investigación en Camélidos Sudamericanos CICAS “La Raya – UNSAAC”, además de ello, se tomó en cuenta los siguientes criterios como: El peso, edad, raza y sexo, para obtener la mayor homogeneidad posible y con ello conseguir un menor efecto del individuo.

Previamente al inicio de la etapa pre experimental del estudio, los animales fueron desparasitados.

En el anexo 1, se puede observar los criterios usados para el presente estudio.

4.4.4. Etapa pre-experimental

En esta etapa, se realizó la instalación de las jaulas metabólicas para alpacas, previamente se efectuó la limpieza del ambiente de trabajo y los materiales respectivos, además, se abasteció de alimento y la molienda del heno de avena en partículas de 3,5 a 4,5 cm de longitud.

Asimismo, se realizó el control del peso inicial de los animales e inmediatamente fueron sometidos a un periodo de adaptación a jaulas metabólicas, bolsas colectoras y acostumbramiento de alimento (heno de avena y pellet de alfalfa) por 21 días, para garantizar la adaptación de los mismos y las condiciones de trabajo.

4.4.5. Etapa experimental

4.4.5.1. Dietas experimentales

Para realizar la preparación de las dietas experimentales, fue necesario, realizar el análisis químico de la composición nutricional del alimento empleado en el estudio, para lo cual, se tomó 50 gramos de muestra del heno de avena y 50 gramos del pellet de alfalfa. Es importante, mencionar que las muestras de alimento fueron analizadas individualmente.

Cabe resaltar, que el valor nutricional del alimento, fue obtenido en las instalaciones de laboratorio de Nutrición Animal perteneciente a la Escuela Profesional de Zootecnia de Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

A continuación, se muestra la composición química del alimento.

Tabla 2. Composición química del alimento empleado en el estudio.

	Pellet de alfalfa	Heno de avena
Materia Seca (%)	89,06	81,94
Materia Orgánica (%)	91,08	95,99
Energía Bruta (K cal/g MS)	4,448	4,363
Proteína Cruda (%)	17,02	5,283
Fibra Detergente Neutra (%)	44,55	60,88
Carbono (%)	45,18	45,78
Nitrógeno (%)	2,723	0,845

A partir de esta composición Química, fue posible calcular la dieta experimental (sobrealimentación), en base al consumo estimado para mantenimiento en alpacas (40 g/MS/kg PV^{0.75}), según lo propuesto por (Pinares *et al.*, 2003).

De la misma forma, se presenta la composición química de la dieta de sobrealimentación.

Tabla 3. Composición química de la dieta de sobrealimentación.

	<i>Sobrealimentación</i>
Materia Seca (g MS/kg PV ^{0.75})	52,55
Materia Orgánica (g MO/kg PV ^{0.75})	49,62
Energía Bruta (Kcal/kg PV ^{0.75})	230,7
Proteína Cruda (g PC/kg PV ^{0.75})	4,736
Fibra Detergente Neutra (g FDN/kg PV ^{0.75})	29,26
Carbono (g C/kg PV ^{0.75})	23,95
Nitrógeno (g N/kg PV ^{0.75})	0,758

Dónde: kg PV^{0.75}: Kilógramo de peso metabólico

Es necesario aclarar, que ambos insumos fueron combinados para la estimación de la composición química de la dieta de sobrealimentación.

4.4.5.1.1. Dieta de sobrealimentación (125% del requerimiento de mantenimiento)

Una vez, finalizado la etapa pre-experimental se inició con el registro del peso de los animales e inmediatamente, estos, fueron sometidos a una etapa de adaptación a la nueva dieta (sobrealimentación), el cual, estuvo basado en un 70 % por heno de avena y un 30 % de pellet de alfalfa, este proceso tuvo una duración de 5 días.

Posterior a la adaptación de la dieta, se realizó la fase experimental por un periodo de 7 días, para ello, se pesó los animales. Los tres últimos días de la fase experimental se realizó el análisis de los gases de tres animales, el cual, consistió en analizar los gases para cada animal por 24 horas, además, los dos últimos días de la misma fase, se colecto muestras de heces y orina.

Durante toda esta etapa se realizó el control diario de consumo de alimento, agua, producción heces y orina.

4.4.5.2. Control del peso vivo de los animales experimentales

Este proceso de control de peso vivo fue realizado en cuatro ocasiones, la primera se dio al ingreso de los animales al lugar de estudio, el segundo fue al finalizar la etapa pre-experimental, el tercero se realizó al inicio de la fase experimental y finalmente al final de la etapa experimental. Para ello, se utilizó una balanza de tipo plataforma de la marca “PERUTRONIX”, el cual, conto un lector digital de peso, con una capacidad máxima de 2000 kg y un margen de error 300 g. Parte de este registro de peso vivo, se ve reflejada en la tabla 4.

Tabla 4. Control de peso vivo de las alpacas.

Nº	Arete	Peso inicial (kg)	Al final la E. Pre-exp. (kg)	Al inicio de la Et. Exp. (kg)	Al final de la Et. Exp. (kg)
1	H9596	45,200	43,200	43,200	42,600
2	H10139	51,200	49,200	49,000	49,200
3	H10442	42,000	43,000	44,400	43,400
4	H10387	44,800	45,000	46,400	46,000
5	H9591	54,200	52,400	53,000	52,800

4.4.5.3. Control de consumo de alimento

Una vez culminada la fase pre-experimental, se comenzó con el registro de consumo y rechazo de alimento hasta finalizar la etapa experimental del trabajo de investigación, cabe aclarar, que este control tuvo una duración de 32 días.

Durante este periodo, el alimento fue suministrado a la 8:00 am y al día siguiente a la misma hora se procedió a realizar su registro respectivo. Para ello, se utilizó una planilla, el cual, se ve reflejada en el anexo 3.

4.4.5.4. Control de consumo de agua

Para el control de consumo de agua, se realizó la siguiente acción: Primero, se brindó 2 L de agua a cada uno de los animales en horas de la mañana (8:30 a.m.) siendo verificado a las 11 a.m. y 3 p.m., en caso, de que uno de estos recipientes se encontrase vacío o con muy poca cantidad de agua, se procedió a medir y registrar el agua e inmediatamente sustituirla con 2 L para tener una libre disposición de agua, asimismo, este control, tuvo

una duración de 32 días. Para lo cual, se utilizó la siguiente estructura que se muestra en el anexo 4.

4.4.5.5. Control de producción de heces y orina

Una vez, ya adaptados y preparados a las bolsas colectoras, se dio paso a la etapa experimental de la dieta de sobrealimentación, donde se inició con el registro de la producción de heces y orina, para lo cual, se usó una balanza digital de laboratorio, de la marca AND de modelo EJ-2000 de una capacidad máxima de 2100 g. con un error de 0.1 g y en los 2 últimos días de la fase experimental se recogieron muestras de heces 100 (g) y orina 100 (ml), cabe resaltar que, este control de producción tuvo una duración de 32 días.

Este proceso se realizó de manera individual para cada animal, como también la obtención de muestras, cabe destacar, que se tomaron 100 g de heces como muestra, los cuales fueron congelados a -20°C en bolsas individuales debidamente rotulados.

Asimismo, un día antes de obtener las muestras de orina, se le añadió 15 ml de Ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 10%, evitando la volatilización del nitrógeno amoniacal; e inmediatamente, se inició con su registro de volumen producido, luego se tomó una muestra de 100 ml de cada alpaca en frascos y se llevó a congelar a -20°C (Anexo 5).

4.4.5.6. Control de producción de gases

Según Fernández *et al.* (2015), indica que, es necesario usar una unidad móvil de calorimetría indirecta de circuito abierto para pequeños rumiantes.

Esta unidad móvil, esta basado en la relacion entre la cantidad de calor producido por oxidación del alimento o componentes corporales y la cantidad de O_2 consumida, CO_2 producido y nitrógeno excretado en la orina (Raimundo, 2010).

En tal sentido, para realizar el control de la produccion de gases, se utilizaron 3 animales que mejor se adaptaron a las jaulas metabólicas, el cual, tuvo el siguiente criterio de medición, cada animal fue evaluado durante 24 horas, cabe resaltar, que esta actividad fue realizada los tres ultimaos días de la fase experimental.

Es importante, aclarar que para realizar este proceso fue necesario montar la cámara dinámica sobre la jaula metabólica, el cual estuvo conectada a la unidad móvil de calorimetría indirecta para pequeños rumiantes, es necesario resaltar, que la cámara dinámica conto con una gaveta extraíble en la parte inferior, que fue de gran utilidad, ya que, los alimentos y el agua fueron colocados sobre ello, además, conto con dos agujeros, el primero estuvo situado en el centro del cajón de la parte anterior, y el segundo en la parte superior de la cámara dinámica.

Para realizar, la medición de los gases propiamente dicha, fue necesario tener en funcionamiento constante el ventilador helicocentrífugo (CST60, Soler Palau S.A.), el cual tuvo la función de extraer el aire contenido de la cámara dinámica hacia la unidad móvil, y posterior a ello ser expulsado, en este trayecto también se ubica el caudalímetro que mide el flujo de aire. Entre el caudalímetro y el ventilador helicocentrífugo se sitúa una pequeña bomba de membrana que extrae una muestra de aire, e inmediatamente esta muestra es enviada al analizador de gases (ABB Automation Products GmbH Alzenau, Easyflow 3020, Alemania), y posterior a ello, los datos del análisis son enviados a un sistema de almacenamiento de datos (**Data Logger**) el cual, está conectada directamente con una PC integrada para su respectiva visualización de los datos.

Es importante, señalar que previo al análisis el equipo analizador será encendido entre media hora a una hora, de tal manera, que el equipo logre estabilizarse, para ello, es necesario verificar las concentraciones de los gases estén en estado basal. Posterior a ello, se subirá el animal hacia la cámara dinámica, toda esta actividad fue realizada en horas de la mañana. Cabe mencionar que cada operación fue registrada con fecha y hora correspondiente.

4.4.5.7. Obtención de datos

La obtención de los datos y la grabación fueron manejados por una PC integrada, de tal forma que, se empezó a ejecutar el sistema utilizando el software (National Instruments LabVIEW 7.1) (National Instruments, Austin, TX, EE.UU.), que se ejecuta en el Microsoft Windows multiplataforma.

Este sistema fue capaz de registrar los datos por cada minuto. También, es necesario mencionar que la unidad de análisis de gases y el medidor de flujo estuvieron conectados a la PC integrada utilizando un conector de bus serie universal (USB).

4.4.6. Cálculos de producción de gases

Para los cálculos sobre la producción de los gases inicialmente fue necesario realizar un test de recuperación, para luego corregir los datos obtenidos con el índice de recuperación.

Una vez, ya obtenidos los datos se inició con la conversión de las unidades en gramos a través de la Ley de los gases, en el cual, se inició con el cálculo de la Presión Parcial de Vapor de Agua (**PWP**), enseguida se procedió a calcular el Volumen de Aire Húmedo (**VMR**), luego, se calculó el Volumen de Aire Seco (**VR**) y finalmente fue calculado el Volumen de Aire Seco a Condiciones Normales de Presión y Temperatura (**VRCNPT**).

En tal sentido, los datos adquiridos sobre la medición de gases fueron corregidos con cada uno de los valores calculados anteriormente, para ello, fue necesario el uso de una laptop con el software instalado (EXCEL).

4.4.7. Análisis químico del alimento, heces y orina

El análisis químico del alimento, heces y orina, se llevó a cabo en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Escuela Profesional de Zootecnia de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, en la que se determinó la Composición Química (**NIR**), Materia Seca (**MS**), Materia Orgánica (**MO**), Energía Bruta (**EB**), Proteína Cruda (**PC**), Fibra Detergente Neutra (**FDN**), Carbono (**C**) y Nitrógeno (**N**), según corresponda.

Es importante resaltar, que todas las muestras fueron evaluadas por triplicado. Parte de estos análisis, se muestran las tablas 2 y 3 para el alimento respectivamente, y en el caso de las heces y orina se encuentran en los anexos 6, 7, 8 y 9.

4.4.8. Análisis estadístico

4.4.8.1. Análisis estadístico

Una vez, ya obtenidos los resultados, fueron procesados 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, así como también, del consumo de Oxígeno, alimento, agua.

CAPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Producción de metano entérico (CH₄) en alpacas machos de la raza Huacaya sobrealimentados con heno de avena y pellet de alfalfa.

Como se puede observar en la tabla 5, la producción de metano entérico en alpacas sobrealimentadas con heno de avena y pellet de alfalfa en promedio fue de **15,9 ± 2,80 (g CH₄/día)** y un coeficiente de variabilidad de **17,61 %**, habiéndose encontrado valores máximos de **18,42 (g CH₄/día)** y valores mínimos de **12,89 (g CH₄/día)** en condiciones de sobrealimentación.

De misma manera, se puede observar que la producción de metano entérico en condiciones de sobrealimentación referenciados en términos de kilogramo de peso metabólico fue en promedio **0,9 ± 0,12 (g CH₄/kg PM)**, obteniendo un coeficiente de variabilidad de **13,61 %** y habiéndose encontrado valores máximos de **0,99 (g CH₄/kg PM)** y valores mínimos de **0,76 (g CH₄/kg PM)**.

Tabla 5. Producción de metano entérico en alpacas sobrealimentadas

	Sobrealimentación (50 g MS/kg PV ^{0,75})							
	A1	A2	A3	Promedio	SD	CV (%)	Max	Min
Variables Registradas								
Producción de metano								
CH ₄ , g/día	18,4	12,9	16,3	15,9	2,80	17,61	18,42	12,89
CH ₄ , g/kg PM	1,0	0,8	0,8	0,9	0,12	13,61	0,99	0,76
CH ₄ , g/kg MS consumido	27,03	17,65	20,72	21,80	4,78	21,94	27,03	17,65
CH ₄ , g/kg MO consumido	28,8	18,8	22,0	23,2	5,1	22,08	28,80	18,75
CH ₄ , g/kg PC consumida	259,8	179,9	209,1	216,3	40,5	18,71	259,83	179,85
CH ₄ , g/kg FDN consumido	50,3	32,3	38,1	40,2	9,16	22,78	50,27	32,33

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

Los datos encontrados en el presente estudio (**$15,9 \pm 2,80$ g CH₄/día**), no son similares con los que reporta Ttito (2017), el cual fue de **$19,32 \pm 6,84$ (g CH₄/día)** para animales alimentados con pasto natural más taninos y **$27,35 \pm 10,47$ (g CH₄/día)** para animales alimentados exclusivamente con pasto natural, se puede observar que, el promedio fue menor, así como, la desviación estándar frente a los datos reportados por dicho autor, también, la variabilidad entre individuos fue menor con el método de la cámara dinámica frente a la técnica gas trazador hexafloruro de azufre (**SF₆**).

Piccalayco (2017), determinó la emisión de metano (CH₄), con pastos cultivados en dos épocas del año, reportando **$24,4 \pm 9,0$ (g CH₄/día/alpaca)** para la época de lluvias y **$24,0 \pm 8,5$ (g CH₄/día/alpaca)**, claramente se puede observar que no existe un efecto de la estación del año frente a la emisión del metano, comparando con el presente estudio (**$15,9$ (g CH₄/día)**), existe una diferencia significativa debido a los insumos utilizados en la alimentación y la técnica de análisis de gases.

Sin embargo, Pinares *et al.* (2003), mediante la técnica de gas trazador hexafloruro de azufre (**SF₆**), en un estudio comparativo entre ovejas y alpacas determinaron lo siguiente, los animales alimentados con heno de alfalfa emitieron **$14,90$ (g CH₄/día/alpaca)**, los animales alimentados con pastos perennes (Ryegrass y trébol blanco) reportaron **$22,60$ (g CH₄/día/alpaca)** y los animales alimentados con trébol de patas de pájaro (*Lotus corniculatus*) arrojaron **$19,10$ (g CH₄/día/alpaca)**, comparado con el presente estudio (**$15,9$ (g CH₄/día)**), no son similares, debido a los insumos utilizados en la alimentación y la metodología aplicada.

Por otra parte, Dittmann *et al.* (2014), en un estudio comparativo entre camelidos sudamericanos y rumiantes dieron a conocer, los siguientes valores, para los camelidos sudamericanos fueron de **$0,32 \pm 0,11$ (L CH₄/Kg PV/día)**, y referenciados en términos de consumo de Fibra Detergente Neutra (FDN) fue de **$92,70 \pm 33,9$ (L CH₄/Kg FDN consumida)**, comparado con el presente estudio (**$0,459$ (L CH₄/Kg PV/día)**) y (**$55,85$ (L CH₄/Kg FDN consumida)**) respectivamente, no son similares en términos de kilogramos de peso vivo y en términos de consumo de FDN, debido a los piensos ofrecidos en la alimentación de los animales.

5.2. Producción de dióxido de carbono en alpacas machos de la raza Huacaya sobrealimentados con heno de avena y pellet de alfalfa.

Tabla 6. Producción de dióxido de carbono en alpacas sobrealimentadas

Variables Registradas	Sobrealimentación (50 g MS/kg PV ^{0,75})							
	A1	A2	A3	Promedio	SD	CV (%)	Max	Min
Producción de dióxido de carbono								
CO ₂ , g/día	737,1	663,6	810,8	737,2	73,6	9,98	810,76	663,63
CO ₂ , g/kg PM	39,7	39,2	41,4	40,1	1,13	2,83	41,39	39,25

Dónde: kg PM o kg PV^{0,75}: Kilógramo de peso metabólico.

De la misma forma en la tabla 6, la producción de dióxido de carbono en alpacas en promedio fue de **737,2 ± 73,6 (g CO₂/día)** y obteniendo un coeficiente de variabilidad de **9,98 %**, habiéndose encontrado valores máximos de **810,76 (g CO₂/día)** y valores mínimos de **663,63 (g CO₂/día)** en condiciones de sobrealimentación.

Asimismo, es necesario mencionar que en términos de kilogramo de peso metabólico en promedio fue de **40,1 ± 1,13 (g CO₂/kg PM)**, obteniendo un coeficiente de variabilidad de **2,83 %**, habiéndose encontrado valores máximos de **41,39 (g CO₂/kg PM)** y valores mínimos de **39,25 (g CO₂/kg PM)**.

Sin embargo, Rios (2023), en su estudio de diseño y validación de jaulas metabólicas obtuvo **692,7 ± 67,3 g CO₂/día**, comparado con el presente estudio (**737,2 ± 73,6 g CO₂/día**), existe una diferencia debido a la condición de alimentación que fueron sometidos los animales.

De la misma forma, Bhatta *et al.* (2013), reportaron **595,2 g CO₂/día** para animales que fueron alimentados con una dieta control, **585,4 g CO₂/día** para animales que fueron alimentados con una dieta baja en taninos y **569,6 g CO₂/día** para animales que fueron alimentados con una dieta alta en taninos, comparado con el estudio (**737,2 ± 73,6 g CO₂/día**), existe una diferencia significativa debido a los insumos utilizados en la alimentación de los mismos, es necesario resaltar, que los datos reportados corresponden a cabríos adultos.

5.3. Consumo de oxígeno en alpacas machos de la raza Huacaya sobrealimentados con heno de avena y pellet de alfalfa.

Tabla 7. Consumo de oxígeno en alpacas sobrealimentadas

Variables Registradas	Sobrealimentación (50 g MS/kg PV ^{0,75})							
	A1	A2	A3	Promedio	SD	CV (%)	Max	Min
Consumo de oxígeno								
O ₂ , g/día	437,4	430,0	462,3	443,2	16,9	3,82	462,30	430,00
O ₂ , g/kg PM	23,5	25,4	23,6	24,2	1,07	4,44	25,43	23,54

Dónde: kg PM o kg PV^{0,75}: Kilógramo de peso metabólico.

Por consiguiente, en la tabla 7 se puede observar el consumo de oxígeno en alpacas sobrealimentados que fue en promedio **443,2 ± 16,9 (g O₂/día)**, obteniendo un coeficiente de variabilidad de **3,82 %**, habiéndose encontrado valores máximos de **462,3 (g O₂/día)** y valores mínimos de **430,0 (g O₂/día)**.

De la misma forma, se puede visualizar el consumo de oxígeno en términos de kilogramo de peso metabólico, que fue en promedio **24,2 ± 1,07 (g O₂/kg PM)**, obteniendo un coeficiente de variabilidad de **4,44 %**, encontrándose valores máximos de **25,43 (g O₂/kg PM)** y valores mínimos de **23,54 (g O₂/kg PM)**.

Asimismo, Rios (2023), reportó **472,8 ± 40,8 g O₂/día**, comparado con el estudio realizado (**443,2 ± 16,9 g O₂/día**), existe una diferencia debido a la condición de alimentación que tuvieron los animales.

Sin embargo, Brosh *et al.* (1986), en el estudio que realizaron con heno de alfalfa, reportó **24,8 g O₂/kg PV^{0,75}** comparado con el presente estudio (**24,2 g O₂/kg PV^{0,75}**), existe una ligera diferencia entre ambos estudios debido a la respuesta metabólica de los animales.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- La producción de metano entérico (CH_4) en alpacas machos Huacaya sobrealimentadas con una dieta de pellet de alfalfa y heno de avena fue de **15,9 ± 2,80 (g CH_4 /día)**.
- La producción de dióxido de carbono (CO_2) en alpacas machos Huacaya sobrealimentadas con una dieta de pellet de alfalfa y heno de avena fue de **737,2 ± 73,6 (g CO_2 /día)**.
- El consumo de oxígeno gaseoso u oxígeno (O_2) en alpacas machos Huacaya sobrealimentadas con una dieta de pellet de alfalfa y heno de avena fue de **443,2 ± 16,9 (g O_2 /día)**.

RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos similares con pastos naturales para obtener información precisa del aporte de metano entérico mediante la técnica de calorimetría indirecta.
- Efectuar trabajos similares con dispositivos electrónicos (cámara termografías) para poder correlacionar el gasto energético.
- Llevar a cabo trabajos sobre la mitigación de los gases de efecto invernadero en base a la metodología propuesta para aún más optimizar el sistema de producción alpaquera.
- Efectuar estudios similares por categorías en alpacas para lograr obtener información más precisa y completa de esta especie.

CAPITULO VII

BIBLIOGRAFÍA

- (NRC), N. R. (2007). Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids and New World camelids. *Washington DC, USA: National Academy of Science Press.*
- A.O.A.C. (2000). Official Methods of Analysis of the AOAC International. *Association of Official Analytical Chemist*(17).
- Amon, B., Amon, T., & Boxberger, J. (Julio de 2001). Emissions of NH₃, N₂O and CH₄ from dairy cows housed in a farmyard manure tying stall (Housing, Manure Storage, Manure Spreading). *Nutrient Cycling in Agroecosystems. SpringerLink*(60), 103-113. Recuperado el 13 de Agosto de 2021, de <https://doi.org/10.1023/A:1012649028772>
- Animut, G., Puchala, R., Goetsch, A. L., A.K. Patra, A. K., Sahl, 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.
- Arrieta Palacios , W. (2016). *DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DOMÉSTICO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL ESTIÉRCOL DE GANADO.* UNIVERSIDAD DE PIURA , Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica . Piura: Repositorio institucional PIRHUA - Universidad de Piura. Recuperado el 13 de Julio de 2022, de <https://hdl.handle.net/11042/2575>
- Bhatta, R., Enishi, O., Yabumoto, Y., Nonaka , I., Takusari, N., Higuchi, K., . . . Kurihara, M. (Febrero de 2013). Methane reduction and energy partitioning in goats fed two concentrations of tannin from Mimosa spp. *CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS*, 151(1), 119-128. doi:<https://doi.org/10.1017/S0021859612000299>
- Blaxter, K. L. (Marzo de 1967). NUTRITION BALANCE TECHNIQUES AND THEIR LIMITATIONS. *CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS*, 26(1), 86-96. doi:<https://doi.org/10.1079/PNS19670016>
- Boadi, D. A., & Wittenberg, K. M. (Junio de 2002). Methane production from dairy and beef heifers fed forages differing in nutrient density using the sulphur hexafluoride (SF₆) tracer gas technique. *Publicaciones científicas canadienses*, 82(2). doi:<https://doi.org/10.4141/A01-017>
- Brenes , E. R., Madrigal, K., Pèrez, F., & Valladares , K. (2002). *El Cluster de los Camélidos en Perú.* Instituto Centroamericano de Administración de Empresas INCAE. Recuperado el 01 de Junio de 2021, de

- https://www.academia.edu/2530676/El_cluster_de_los_cam%C3%A9lidos_en_el_Per%C3%BA_Diagn%C3%B3stico_competitivo_y_recomendaciones_estrat%C3%A9gicas_Proyecto_Andino_de_Competitividad
- Brosh, A., Aharoni, Y., Degen, A., Wright, D., & Joven, B. (12 de Diciembre de 1998). *Journal of ANIMAL SCIENCE*, 76(12), 3054-3064. doi:<https://doi.org/10.2527/1998.76123054x>
- Brosh, A., Shkolnik, A., & Choshniak, I. (01 de Agosto de 1986). METABOLIC EFFECTS OF INFREQUENT DRINKING AND LOW-QUALITY FEED ON BEDOUIN GOATS. *ECOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA*, 67(4), 1086-1090. doi:<https://doi.org/10.2307/1939831>
- Bustinza, V. (2001). “La alpaca: Conocimiento del gran potencial andino”. *Ira. Edic., Publicaciones UNA-Puno. Perú*, 57-91.
- Cardona Iglesias, J. L., Mahecha Ledesma, L., & Angulo Arizala, J. (Junio-septiembre de 2015). Arbustivas forrajeras y ácidos grasos: estrategias para disminuir la producción de metano entérico en bovinos. *Agronomía Mesoamericana*, 28 (1), 274. doi:<http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.21466>
- Carmona, J. C., Bolívar, D. M., & Giraldo, L. A. (8 de Febrero de 2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18:1, 51. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v18n1/v18n1a06.pdf>
- Carrillo, L. (2004). *Energía de Biomasa* (Primera ed.). Jujuy: Edición del autor, S.S. Jujuy, 2004. Recuperado el 12 de Julio de 2022, de <http://www.bionica.info/biblioteca/Carillo2004.pdf>
- CENAGRO. (2012). IV Censo Nacional Agropecuario. *Resultados finales. INELI Lima Perú*.
- Choquemamani Mamani, M. B. (2017). *Emisión entérico en llamas al pastoreo en pradera en praderas nativas a 4200 m.s.n.m.* Universidad Nacional del Atiplano, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Puno: Repositorio Institucional UNA-PUNO. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4971/Choquemamani_Mamani_Max_Br%C3%A1ndon.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Clemens, E. T., & Stevens, C. E. (1980). *Una comparación de gastrointestinales, tiempo de tránsito en diez especies de mamíferos.* Cambridge: Journal Agriculture Science. Recuperado el 04 de Julio de 2021
- CMNUCC. (1992). *CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO.* Naciones Unidas. FCCC/INFORMAL/84*. Recuperado el 16 de Junio de 2021, de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

- Cummings, J. F., Munnell, J. F., & Vallenias , A. (Mayo de 1972). *NIH National Library of Medicine*, 137 (1): 71-109. Recuperado el 03 de Julio de 2021, de NIH National Library of Medicine: 10.1002 / jmor.1051370106
- 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.
- Diaz de Basurto Burgos , A. (2013). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN BIODIGESTOR ANAEROBICO CON RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN E MERCADO DE TIQUIPAYA (BOLIVIA)*. Universitat Politècnica de Catalunya, Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental. Universitat Politècnica de Catalunya. Centre de Cooperació per al Desenvolupament. Recuperado el 13 de Julio de 2022, de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/20647?show=full>
- Dittmann , M. T., Runge, U., Lang, R. A., Moser, D., Galeffi, C., Kreuzer, M., & Clauss, M. (9 de Abril de 2014). Methane Emission by Camelids. (A. J. Munn, Ed.) *PLOS ONE*, 1. Recuperado el 22 de Junio de 2021, de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094363>
- Dittmann, M., Runge, U., Lang, R. M., Galeffi, C., Kreuzer, M., & Clauss, M. (2014). Methane Emission by Camelids. *PLoS One*, 9 (4), e94363.
- FAO. (2005). Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los Camélidos Sudamericanos en la Región Andina. *Situación actual de los camélidos sudamericanos en Perú*. Perú: FAO.
- FAO. (2009). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. (FAO, Ed.) *FAO*, 17- 19. Recuperado el 12 de 01 de 2023, de <https://www.fao.org/publications/card/es/c/6d720d78-984e-5190-93a9-cf7b66a07001/>
- Fernández Baca, S. (2005). *Situación actual de los camélidos sudamericanos en Perú*. Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los Camélidos Sudamericanos en la Región Andina TCP/RLA/2914. Recuperado el 22 de Junio de 2021
- 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.
- Florez , J. A. (1973). *Tasa de pasaje y digestibilidad en alpacas y ovejas*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos , Programacion Academica de Medicina Veterinaria . Lima: UNMSM. Recuperado el 04 de Julio de 2021
- Florez , J. A. (1973). *Velocidad de pasaje de la ingesta y digestibilidad en alpacas y ovinos*. Prog. Acad. Med. Vet. Lima - Peru: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Recuperado el 06 de Agosto de 2021
- García, W. V., San Martí , F. H., Novoa, C. M., & Franco, E. L. (Julio-Diciembre de 2002). Engorde de llamas bajo diferentes regímenes alimenticios. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, v.13(3), 1-9. Recuperado el 02 de Junio de 2021, de

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1609-91172002000200001&script=sci_arttext

- Grainger, C., Clarke, T., McGinn, S. M., Auld, M. J., Beauchemin, K. A., Hannah, M. C., . . . Eckard, R. J. (Junio de 2007). Methane Emissions from Dairy Cows Measured Using the Sulfur Hexafluoride (SF6) Tracer and Chamber Techniques. *Journal of Dairy Science*, 90(6), 2755-2766. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2006-697>
- Gualdrón Duarte, L., Franco, F., Vélez Marroquín, V. M., Cabezas García, E. H., Loza, C., Huanca Marca, N., . . . Diaz Cespedes, M. A. (Junio de 2022). Emisiones de metano de alpacas en condiciones de pastoreo durante la estación seca en los Andes peruanos. *Conferencia: 8.ª Conferencia Internacional sobre Gases de Efecto Invernadero y Agricultura Animal (GGAA, 2022)*. Orlando, Florida, Estados Unidos: ResearchGate. Recuperado el 28 de Julio de 2022, de https://www.researchgate.net/publication/361200800_Methane_Emissions_from_Alpacas_under_Grazing_Conditions_during_the_Dry_Season_in_the_Peruvian_Andes
- Hafez, E., & Dyer, I. (1972). *Desarrollo y nutrición animal*. Zaragoza - España: Acribia. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=zamocat.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=001941>
- Hegarty, R. S. (2002). Strategies For Mitigating Methane Emissions From Livestock – Australian Options And Opportunities. *Elsevier*. Recuperado el 15 de Agosto de 2021
- Heller, R., Cercasov, V., & Engelhardt, W. V. (1986). Retention of fluid and particles in the digestive tract of the llama (*Lama guanaco* f. *glama*). *ScienceDirect, Volume 83, Issue 4*, 687-691. doi:[https://doi.org/10.1016/0300-9629\(86\)90710-3](https://doi.org/10.1016/0300-9629(86)90710-3)
- Heller, R., Gregory, P. C., & Engelhardt, V. (Septiembre de 1984). *SpringerLink*, 154. doi:<https://doi.org/10.1007/BF02515158>
- Hook, S. E., Wright, A.-D. G., & McBride, B. W. (30 de Diciembre de 2010). Methanogens: Methane Producers of the Rumen and Mitigation Strategies. (R. Hensel, Ed.) *Hindawi*, 2010(945785), 1-11. doi:10.1155/2010/945785
- Huwasquiche, A. (1974). Balance del nitrógeno y digestibilidad en alpacas y ovinos. (*BS thesis*). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
- iNDC. (2015). *Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional (iNDC) de la República del Perú*. Obtenido de [http://www4.unfccc.int/ndcregistry/PublishedDocuments/Peru First/iNDC Perú castellano.pdf](http://www4.unfccc.int/ndcregistry/PublishedDocuments/Peru%20First/iNDC%20Peru%20castellano.pdf)
- INEI. (2012). *RESULTADOS DEFINITIVOS IV Censo Nacional Agropecuario 2012*. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática. Recuperado el 10 de Junio de 2021, de <http://proyectos.inei.gob.pe/web/documentospublicos/resultadosfinalesivcenagro.pdf>

- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007*. Ginebra: Publicado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Recuperado el 11 de Junio de 2021, de <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/IO-UN-IPCC-2007-004.pdf>
- Ishler, V., Heinrichs, J., & Varga, G. (1996). *FROM FEED TO MILK: UNDERSTANDING RUMEN FUNCTION Extension circular No. 422*. Pennsylvania State University, Pennsylvania. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de <https://www.topsoils.co.nz/wp-content/uploads/2014/09/From-Feed-to-Milk-Understanding-Rumen-function-Penn-State-University.pdf>
- Janssen, P. H. (27 de Agosto de 2010). "Influence Of Hydrogen On Rumen Methane Formation And Fermentation Balances Through Microbial Growth Kinetics And Fermentation Thermodynamics.". *ScienceDirect*, 160(1-2), 1-22. doi:<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.07.002>
- Janssen, P. H., & Kirs, M. (15 de Junio de 2008). Structure of the Archaeal Community of the Rumen. *ASM journals*, 74(12), 3619-3625. doi:<https://doi.org/10.1128/AEM.02812-07>
- Janssen, P. H., & Kirs., M. (2008). Structure of the archaeal community of the rumen. *Appl. Environ. Microbiology*, 74:3619-3625.
- Johnson , K. A., & Johnson , D. E. (01 de AGOSTO de 1995). *Journal of ANIMAL SCIENCE*, Volume 73, Issue 8. doi:<https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>
- Johnson, D. E., Ferrell, C., & Jenkins, T. (2003). *SEMANTICSCHOLAR*. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de *SEMANTICSCHOLAR*: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-history-of-energetic-efficiency-research%3A-Where-Johnson-Ferrell/bf2eafedf7b11d1c869f315b413db916ae0ceb33>
- Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.*, 73:2483-2492.
- Johnson, K. A., Westbeg , H. H., Michal , J. J., & Cossalman, M. W. (2007). *Measuring methane emission of ruminants by in vitro and in vivo techniques*. Measuring Methane Production from Ruminants. Vienna: edited by Harinder P.S. Recuperado el 11 de Junio de 2021
- Jordan , L. A. (2017). *Evaluación de la emisión de metano en la crianza de llamas al pastoreo en el centro experimental La Raya - UNSAAC - Cusco*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco . Cusco: Repositorio Institucional - UNSAAC. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de <http://hdl.handle.net/20.500.12918/1818>
- Kebreab, E., Clark, K., Wagner Riddle, C., & France, J. (2006). *Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture: A review*. University of Guelph, Department of Animal and Poultry Science. Guelph, Ontario, Canada: Land Resource Science,. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.4141/A05-010>

- Keith McNab, B. (2002). *The Physiological Ecology of Vertebrates: A View from Energetics*. University of Florida. Florida: Cornell University Press, 2002. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de https://books.google.com.pe/books/about/The_Physiological_Ecology_of_Vertebrates.html?id=C31HhT7phT0C&redir_esc=y
- Khalil, M. A. (2000). *Atmospheric Methane, its Role in the Global Environment*. Berlín: Springer-Verlag.
- Kiely, G., & Veza, J. M. (1999). *Ingeniería ambiental* (Vol. Vol. 2). Madrid, España: McGraw-Hill Interamericana de España. Recuperado el 12 de Julio de 2022, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=235126>
- Kleiber, M. (1961). *Fire of Life. An introduction to Animal energetics*. Wiley, 454.
- Labayen, I., Lopez - Marquez , I., & Martinez, J. A. (1997). *Dialnet*. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2894262>
- Lawrence, C., & Ugrasbul, F. (2004). Prediction of daily energy expenditure during a feeding trial using measurements of resting energy expenditure, fat-free mass, or Harris - Benedict equations. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 80(4), 876-80. Recuperado el 15 de Agosto de 2021
- Lechner Doll, M., Engelhardt W., V., Abbas A., M., Mousa H., M., Luciano , L., & Reale, E. (1995). Particularities in forestomach anatomy, physiology and biochemistry of camelids compared to ruminants. (L. Tisserand J., Ed.) *CIHEAM*. Recuperado el 23 de Junio de 2021, de <http://om.ciheam.org/om/pdf/b13/95605338.pdf>
- Leòn Carrasco, J. C. (1 de Agosto de 2022). *agraria.pe*. Recuperado el 16 de Enero de 2023, de [agraria.pe: https://agraria.pe/noticias/peru-concentra-mas-del-87-de-la-poblacion-de-alpacas-en-el-m-28803](https://agraria.pe/noticias/peru-concentra-mas-del-87-de-la-poblacion-de-alpacas-en-el-m-28803)
- López Cabanes , J. M. (1989). *Digestión anaerobia de lodos de depuradora, etapas controlantes y cinética del proceso*. Universidad de Alicante, Departamento de Química Inorgánica e Ingeniería Química. Alicante: Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante. Recuperado el 13 de Julio de 2022, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=71300>
- López, S., Carro, M. D., González, J. S., & Ovejero, F. J. (01 de Julio de 1998). Comparison of different in vitro and in situ methods to estimate the extent and rate of degradation of hays in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, Vol. 73, 99-113. doi:[https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(98\)00129-1](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(98)00129-1)
- Marìn , J. C., Zapata , B., Gonzàles , B. A., Bonacic , C., Wheeler, J. C., Casey , C., . . . Spotorno, À. E. (Junio de 2007). Sistemática, taxonomía y domesticación de alpacas y llamas: nueva evidencia cromosómica y molecular. *Revista chilena de historia natural*, 20. doi:80: 121-140, 2007

- Mataix, J., & Martínez, J. A. (2006). Balance de energía corporal. Nutrición y alimentación humana. Recuperado el 15 de Agosto de 2021
- Mc Caughey, W., Wittenberg, K., & Corrigan, D. (1997). *Methane production by steers on pasture*. Artículo de revista , University of Manitoba, Department of Animal Science, Winnipeg-Manitoba. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de <https://cdnscepub.com/doi/pdf/10.4141/A96-137>
- McDonald, P., Edwards, R. A., & Greenhalgh, J. F. (1988). *Animal Nutrition*. New York-USA: Longman Scientific and Technical. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de <https://www.amazon.com/-/es/P-McDonald/dp/1408204231>
- McInerney, M. J., Bryant, M. P., & Stafford, D. A. (1980). Etapas metabólicas y energéticas de la digestión anaeróbica microbiana. *Primer Simposio Internacional sobre Digestión Anaeróbica* (págs. 91-98). Reino Unido: Londres, Applied Science Publishers, [1980]. Recuperado el 12 de Julio de 2022, de <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301314193>
- Mendoza Martínez, G. D., Plata Pérez, F. X., Espinosa Cervantes , R., & Lara Bueno, A. (24 de Marzo de 2008). Manejo nutricional para mejorar la eficiencia de utilización de la energía en bovinos. *Universidad y Ciencia*, 24(1), 75-87. Recuperado el 21 de Febrero de 2023, de <https://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v24n1/v24n1a9.pdf>
- Mertens, D. R. (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fibre in feeds with refluxing beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists International*, 85, 1217-1240.
- Meyer K., H. J. (2010). The relationship between forage cell wall content and voluntary food intake in mammalian herbivores. *Mamm Rev* 40, 221-245.
- MIDAGRI. (2015). *Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego*. (M. d. Riego., Editor) Recuperado el 07 de Julio de 2022, de Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.: <https://www.midagri.gob.pe/portal/datero/40-sector-agrario/situacion-de-las-actividades-de-crianza-y-producci/298-camelidos-sudamericanos?start=2>
- MIDAGRI. (2015). *Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego*. Recuperado el 07 de Julio de 2022, de Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.: <https://www.midagri.gob.pe/portal/datero/40-sector-agrario/situacion-de-las-actividades-de-crianza-y-producci/298-camelidos-sudamericanos?start=1>
- MIDAGRI. (1 de Agosto de 2022). *Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego*. Recuperado el 17 de Enero de 2023, de Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/636546-midagri-el-87-de-la-poblacion-mundial-de-alpacas-se-encuentra-en-el-peru>
- MITECO. (2019). *GOBIERNO DE ESPAÑA - MINISTERIO PARA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO* . Obtenido de GOBIERNO DE ESPAÑA - MINISTERIO

PARA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO:
<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/>

- Moncayo Romero , G. (2008). *Dimensionamiento, diseño y construcción de biodigestores y plantas de biogas*. Aqualimpia Beratende Ingenieure. Recuperado el 12 de Julio de 2022, de https://www.academia.edu/25534273/DIMENSIONAMIENTO_DISEÑO_Y_CONSTRUCCIÓN_DE_BIODIGESTORES_Y_PLANTAS_DE_BIOGÁS_MANUAL_PRÁCTICO_DE_DISEÑO
- Moss, A., Jouany, J.-P., & Newbold, J. (1 de Enero de 2000). Methane production by ruminants: its contribution to. *HAL archives-ouvertes.fr*, 49(3), 236-246. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00889894/document>
- Murray, R. M., Bryant, S., & Leng, R. A. (1976). Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *Cambridge Core*, 36(1), 1-14. doi:<https://doi.org/10.1079/BJN19760053>
- NRC. (1985). *National Research Council Nutrient Requirements of Sheep*. Informe , National Academy Press, Subcomité de Nutrición de Ovejas, Comité de Nutrición Animal, Junta de agricultura, Consejo Nacional de Investigación, Washington. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de <https://cpb-us-e1.wpmucdn.com/blogs.cornell.edu/dist/f/6685/files/2015/09/NRC-Sheep-1985-1m52js8.pdf>
- Ominski, K. H., Boadi, D. A., & Wittenberg, K. M. (24 de Abril de 2006). Enteric methane emissions from backgrounded cattle consuming all-forage diets. 86(3), 393-400. Recuperado el 15 de Agosto de 2021, de <https://cdnsiencepub.com/doi/pdf/10.4141/A05-051>
- ONU. (2015). *NACIONES UNIDAS*. Recuperado el 13 de Agosto de 2021, de *NACIONES UNIDAS*: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
- Patiño Restrepo, J. F. (2006). *Determinación del gasto energético en el paciente quirúrgico*. En: *Metabolismo, Nutrición y Shock*. Editorial Medica PANAMERICANA. Recuperado el 15 de Agosto de 2021, de <https://www.medicapanamericana.com/es/libro/Metabolismo-Nutricion-y-Shock>
- Pedreira , M., Primavesi, O., Lima, M. A., Frighetto , R., de Oliveira, S. G., & Berchielli, T. T. (6 de Agosto de 2009). Ruminant methane emission by dairy cattle in Southeast Brazil. *SciELO - Brazil*, 66(6), 742-750. Recuperado el 15 de Agosto de 2021, de <https://www.scielo.br/j/sa/a/Y5NLRjvPVVDLHbSD5YJFm9h/?lang=en&format=pdf>
- Pereda, N., Rebollar, P. G., Schwarz, B. F., Arias Alvarez, M., Revuelta, L., Lorenzo, P. L., & Nicodemus, N. (1 de Enero de 2007). Estudio de la composición corporal de conejas

reproductoras mediante la técnica de Impedancia Bioeléctrica (BIA). Parte II: Ecuaciones de predicción. *Researchgate*, 17-20. Recuperado el 15 de Agosto de 2021, de https://www.researchgate.net/publication/28265745_Estudio_de_la_composicion_corporal_de_conejas_reproductoras_mediante_la_tecnica_de_impdancia_bioelectrica_BIA_Parte_II_Ecuaciones_de_prediccion

- Piccalayco F., N. (2017). *Emisiones de metano de alpacas al pastoreo en un pastizal de ryegrass/trèbol blanco en cicas la raya*. Tesis de pre grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco. Recuperado el 13 de Agosto de 2021
- 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., Ulyatt, M. J., Waghorn, G. C., Lassey, K. R., Barry, T. N., Holmes, C. W., & Johnson, D. E. (2003). Methane emission by alpaca and sheep fed on lucerne hay or grazed on pastures of perennial ryegrass/white clover or birds foot trefoil. *Journal Agriculture Science*(140), 215-226.
- Quispe Huaihua, M. A. (2019). *INFLUENCIA DEL DÍA Y LA NOCHE EN LA EMISIÓN DE METANO EN LLAMAS AL PASTOREO EN ÈPOCA DE LLUVIAS EN EL CENTRO EXPERIMENTAL LA RAYA*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Cusco: Repositorio Institucional - UNSAAC. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5514>
- Raggi Saini, L. A., & Crossley Cabezòn , J. E. (Julio de 1990). *Monografías de Medicina Veterinaria- Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias - Universidad de Chile*, Vol.12(1). Recuperado el 30 de Junio de 2021, de Monografías de Medicina Veterinaria- Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias - Universidad de Chile: https://web.uchile.cl/vignette/monografiasveterinaria/monografiasveterinaria.uchile.cl/CD/mon_vet_seccion/0,1419,SCID%253D14011%2526ISID%253D420,00.html
- Raimundo Giménez, A. (2010). *DETERMINACIÓN DE LAS NECESIDADES DE MANTENIMIENTO EN DOS RAZAS DE OVEJAS AUTÓCTONAS ESPAÑOLAS; MANCHEGA Y GUIRRA*. Valencia: Repositorio Institucional de la Universidad Politecnica de Valencia. Recuperado el 18 de Julio de 2022
- Ravussin, E., & Rising, R. (1992). Daily Energy expenditure in humans: Measurements in a respiratory chamber and by doubly labelled water. *Energy Metabolism: Tissue determinants and cellular corollaries*. *NY Raven Press*, 81-96. Recuperado el 15 de Agosto de 2021, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5486561/>

- Redondo, R. B. (2015). Gasto energético en reposo. Métodos de evaluación y aplicaciones. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 21(1), 243-251. doi: 10.14642/RENC.2015.21.sup1.5071
- Reik, A., Stözl, A., Marquina Bernedo, R., Ruf, T., Arnold, W., Hambly, C., . . . Gerken, M. (11 de Marzo de 2019). Energy expenditure and body temperature variations in llamas living in the High Andes of Perú. *SCIENTIFIC REPORTS*(9), 1-11. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-019-40576-9>
- 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.
- República del Perú. (2015). *CONTRIBUCIÓN PREVISTA Y DETERMINADA A NIVEL NACIONAL (INDC) DE LA REPÚBLICA DEL PERÙ*. Intended Nationally Determined Contributions. Recuperado el 16 de JUNIO de 2021, de <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Peru%20First/iNDC%20Per%C3%BA%20castellano.pdf>
- Richter, M., Křížová, L., & Třináctý, J. (15 de Febrero de 2010). The effect of individuality of animal on diurnal pattern of pH and redox potential in the rumen of dry cows. *Agriculture Journals*, 10, 401- 407. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de <https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/29178.pdf>
- Rios Rado, W. M. (2023). *DISEÑO Y VALIDACIÓN DE SISTEMA DE SEGUIMIENTO METABÓLICO (JAULA METABÓLICA Y CÁMARA DINÁMICA) PARA ALPACAS*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, CUSCO. Recuperado el 22 de Febrero de 2023
- Roca V., B., Beltran S., M., & Gómez H., R. (JUNIO-JULIO de 2019). *SCIENCEDIRECT*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rce.2019.01.004>
- Rossi, C. (2004). *Camélidos sudamericanos (en línea)*. Obtenido de Buenos Aires-ARG.: www.tecnocampo.com
- Rubsamen, K., & Engelhardt, W. V. (Julio de 1978). *NIH National Library of Medicine*, 235 (1): E1-6. doi:<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/677305/>
- Ruiz, D. (2012). *Efecto del pienso sobre el comportamiento de cabras lecheras en el interior de una Cámara Dinámica*. Universidad Politécnica de Valencia, Producción Animal, Valencia. Recuperado el 13 de Agosto de 2021
- Salamanca Tamayo, J. A. (2009). *Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Biodigestor a Escala Piloto para la Generación de Biogás y Fertilizante Orgánico*. Tesis de pre-grado , UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO, Quito. Recuperado el 2022 de Julio de 12
- Samper Villareal, J., Vincent, A., Álvarez, C., & Gutiérrez Espeleta, G. (2019). *I Simposio sobre Cambio Climático y Biodiversidad: Hacia el fortalecimiento de la resiliencia y acciones*

- requeridas ante el Cambio Climático en Latinoamérica*. Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica. Costa Rica : Cuadernos de Investigación UNED. Recuperado el 19 de Enero de 2022, de <https://www.redalyc.org/journal/5156/515661223001/html/>
- San Martín , F., & Olazabal, J. (2005). *Nutrición y alimentación en camélidos sudamericanos domesticos*. Sicuani. Recuperado el 20 de Junio de 2021
- San Martín Howard , F. A., & Bryant, F. C. (Septiembre de 1989). *ScienceDirect*. doi:[https://doi.org/10.1016/0921-4488\(89\)90001-1](https://doi.org/10.1016/0921-4488(89)90001-1)
- San Martín Howard, F. (1989). *NUTRITION OF DOMESTICATED SOUTH AMERICAN LLAMAS AND ALPACAS*. Texas Tech University, Department of Range and Wildlife Management, Texas Tech University, Lubbock, TX 79409 . U.S.A.: Small Rumin. Res. Recuperado el 26 de JUNIO de 2021, de [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(89\)90001-1](https://doi.org/10.1016/0921-4488(89)90001-1)
- San Martín Howard, F. A. (1996). *Nutrición en alpacas y llamas*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos , Facultad de Medicina Veterinaria . Lima: UNMSM. Recuperado el 03 de Julio de 2021, de Google Académico.
- San Martín Howard, F. A., & Bryant , F. C. (Septiembre de 1989). *ScienceDirect*. doi:[https://doi.org/10.1016/0921-4488\(89\)90001-1](https://doi.org/10.1016/0921-4488(89)90001-1)
- 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.*
- Sato Sato, A., & Montoya Ortega , L. (1989). *Anatomía macroscópica del aparato digestivo de la alpaca (Lama pacos)*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima (Perú); Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura-IVITA, Lima (Perú); Centro de Información Científica de Camélidos Sudamericanos-CICCS, Lima (Perú). Lima: C.I. Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de altura (IVITA). Recuperado el 30 de Junio de 2021, de <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=IICACR.xis&B1=Buscar&formato=1&cantidad=50&expresion=SISTEMA%20DIGESTIVO>
- Skidmore, J. A. (Abril de 2011). Reproductive physiology in female old world camelids. *Animal Reproduction Science. ScienceDirect, 124, 148-154.* doi:<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.08.023>
- Solomon , S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M. M., . . . Chen, Z. (2007). *Climate Change 2007; The Physical Science Basis*. Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE. UU: Cambridge University Press. Recuperado el 21 de Junio de 2021, de <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-frontmatter-1.pdf>

- Thauer, R. K., Kaster, A. K., Seedorf, H., Buckel, W., & Hedderich, R. (30 de Junio de 2008). Methanogenic archaea: ecologically relevant differences in energy conservation. *nature reviews microbiology*, 6, 1-13. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de <https://www.nature.com/articles/nrmicro1931>
- Thornton , P. K., & Gerber , P. J. (2010). *Climate change and the growth of the livestock sector in developing countries*. Springer Science+Business Media B.V. 2010. doi:10.1007/s11027-009-9210-9
- Torres G., G., Arbaiza F., T., Carcelen C., F., & Lucas A., O. (2009). Comparación de las técnicas in situ, in vitro y enzimática (celulasa) para estimar la digestibilidad de forrajes en ovinos. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*(20(1)), 5-9. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172009000100002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Torres Z., D. (2020). *Cambio climático y desarrollo sostenible en alta montaña: potencialidades de los alpaqueros de Puno*. PUNO-PERÙ: DESCOSUR AREQUIPA. Recuperado el 22 de Junio de 2021, de http://www.descosur.org.pe/wp-content/uploads/2014/12/11-Torres_PHdic14.pdf
- Torres, D. (11 de 12 de 2014). Cambio climático y desarrollo sostenible. *DESCOSUR*, 122-123. Recuperado el 08 de Junio de 2021, de <http://www.descosur.org.pe/cambio-climatico-y-desarrollo-sostenible-en-alta-montana-potencialidades-de-los-alpaqueros-de-puno/>
- Ttito, M. (2017). *Efecto del uso de taninos de castaño en las emisiones de metano en llamas al pastoreo en época de seca. En el centro experimental la raya*. Tesis de pre grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco. Recuperado el 14 de Agosto de 2021
- 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.". *45(4)*, 227. Recuperado el 15 de Agosto de 2021
- Vallenas, A., Cummings, J. F., & Munnell, J. F. (Agosto de 1971). *PubMed.gov*. doi:10.1002 / jmor.1051340403
- Van Saun , R. (2014). *Nutritional Requirements: Llama and alpaca Care*. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de Google libros: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=8sU0AwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA59&dq=Nutritional+Requirements:+Llama+and+alpaca+Care&ots=P3m6CzsxfM&sig=KQrlKF1ga-mC4aZR5mF1DZFQnEA>
- Van Saun, R. (2006). Nutrient requirements of South American camelids: a factorial approach. *Small Ruminant Research*, 61:165–186.
- Van Saun, R. J. (Febrero de 2006). *ScienceDirect*, Volumen 61, números 2 a 3 . doi:<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.006>

- Van Soest, P. J. (1983). *Nutritional ecology of the ruminant : ruminant metabolism, nutritional strategies, the cellulolytic fermentation and the chemistry of forages and plant fibers*. O & B Books Inc., EE. UU. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de https://www.abebooks.com/products/isbn/9780960158607?cm_sp=bdp-_-ISBN10-_-PLP
- Vlaming, J. B. (2008). *Quantifying variation in estimated methane emission from ruminants using the SF6 tracer technique*. Tesis doctoral, At Massey University, Palmerston North - New Zealand. Recuperado el 14 de Agosto de 2021, de <https://mro.massey.ac.nz/bitstream/handle/10179/730/02whole.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wheeler, J. C. (1991). *"Origen, evolución y status actual". Avances y perspectivas en el conocimiento de los camélidos sudamericanos*.
- Wheeler, J. C. (Marzo de 1995). *Biological Journal of the Linnean Society* . doi:<https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1995.tb01037.x>
- Yaranga Cano , R. M. (2009). *ALIMENTACIÓN DE CAMELIDOS SUDAMERICANOS Y MANEJO DE PASTIZALES*. Universidad Nacional del Centro del Perú., Departamento Académico de Ciencia Animal y Gestión Ambiental. Huancayo: UNCP- FACULTAD DE ZOOTECNIA . Recuperado el 28 de Junio de 2021, de <https://dokumen.tips/technology/alimentacion-de-camelidos-y-manejo-de-pastizales.html>

ANEXOS

Anexo 1. Características de las alpacas en el presente estudio.

Nº	Arete	Fecha de nacimiento	Edad (años)	Peso (kg)	Sexo	Raza	Categoría
1	H9596	feb-18	3	45,200	Macho entero	Huacaya	Tuis mayor
2	H10139	ene-19	2	51,200	Macho entero	Huacaya	Tuis mayor
3	H10442	feb-19	2	42,000	Macho entero	Huacaya	Tuis mayor
4	H10387	feb-19	2	44,800	Macho entero	Huacaya	Tuis mayor
5	H9591	feb-18	3	54,200	Macho entero	Huacaya	Tuis mayor

Anexo 2. Registro del peso vivo (kg) de las alpacas al inicio de la fase pre experimental.

Nº	Arete	Peso inicial (kg)
1	H9596	45,200
2	H10139	51,200
3	H10442	42,000
4	H10387	44,800
5	H9591	54,200
Promedio		47,480

Anexo 3. Control del consumo de alimento

Adaptación a la dieta de sobrealimentación.

	DIA 01 17/06/2021		DIA 02 18/06/2021		DIA 03 19/06/2021		DIA 04 20/06/2021		DIA 05 21/06/2021			
	ALIMENTO- OFRECIDO		ALIMENTO RECHAZADO (g)		ALIMENTO RECHAZADO (g)		ALIMENTO RECHAZADO (g)		ALIMENTO RECHAZADO (g)			
Nº ALPACA/	HENO DE PELLE AVENA	DE ALFA	HENO DE PELLE AVENA	DE ALFA	HENO DE PELLE AVENA	DE ALFA	HENO DE PELLE AVENA	DE ALFA	HENO DE PELLE AVENA	DE ALFA		
1	737.21	315.9	225.0	-	213.3	51.4	262.5	-	200.6	120.1	181.4	175.3
2	810.3	347.3	117.3	-	107.6	-	165.8	-	146.8	-	165.9	-
3	752.5	322.5	12.0	-	27.9	-	117.7	-	70.3	-	91.3	-
4	777.8	333.3	10.2	-	30.5	-	144.5	-	58.8	-	133.3	-
5	859.4	368.3	9.5	-	60	-	116.1	-	245.4	26.9	325.3	-

Fase experimental de la dieta de sobrealimentación.

	DIA 06 22/06/2021		DIA 07 23/06/2021		DIA 08 24/06/2021	
	ALIMENTO- OFRECIDO		ALIMENTO RECHAZADO (g)		ALIMENTO RECHAZADO (g)	
Nº ALPACA/	HENO DE PELLE AVENA	DE ALFA	HENO DE PELLE AVENA	DE ALFA	HENO DE PELLE AVENA	DE ALFA
1	729.5	312.7	125.6	161.8	206.1	29.8
2	812.7	348.3	116.0	-	147.9	-
3	739.8	317.0	34.8	-	192.5	0.6
4	772.8	331.2	37.1	-	53.6	-
5	856.9	367.3	273.4	18.3	159.4	-

	DIA 09 25/06/2021		DIA 10 26/06/2021		DIA 11 27/06/2021		DIA 12 28/06/2021	
	ALIMENTO RECHAZADO (g)		ALIMENTO RECHAZADO (g)		ALIMENTO RECHAZADO (g)		ALIMENTO RECHAZADO (g)	
Nº ALPACA/	HENO DE PELLE AVENA	DE ALFA	HENO DE PELLE AVENA	DE ALFA	HENO DE PELLE AVENA	DE ALFA	HENO DE PELLE AVENA	DE ALFA
	70.9	-	124.5	-	105.8	-	194.0	-
	203.2	2.1	206.3	-	205.6	-	182.0	-
	73.8	-	123.3	-	68.7	-	98.2	-
	99.3	-	49.7	-	68.0	-	115.0	-
	114.0	-	117.1	4.0	194.8	-	96.7	-

Anexo 4. Control de consumo de agua

DIA: 01 17/06/2021			
N°	AGUA OFRECIDO (l)	SOBRA AGUA	CONSUMO TOTAL DE AGUA
1	2,500	1,540	0,960
2	2,500	0,740	1,760
3	3,500	1,505	1,995
4	3,500	1,310	2,190
5	3,500	1,160	2,340

DIA: 02 18/06/2021			
N°	AGUA OFRECIDO (l)	SOBRA AGUA	CONSUMO TOTAL DE AGUA
1	2,500	0,630	1,870
2	2,500	0,360	2,140
3	2,500	0,546	1,954
4	2,500	0,940	1,560
5	2,500	0,370	2,130

DIA: 03 19/06/2021			
N°	AGUA OFRECIDO (l)	SOBRA AGUA	CONSUMO TOTAL DE AGUA
1	2,500	1,800	0,700
2	2,500	0,780	1,720
3	2,500	0,680	1,820
4	3,000	0,700	2,300
5	2,500	0,535	1,965

DIA: 04 20/06/2021			
N°	AGUA OFRECIDO (l)	SOBRA AGUA	CONSUMO TOTAL DE AGUA
1	2,500	0,440	2,060
2	2,500	0,084	2,416
3	2,500	0,610	1,890
4	2,500	0,536	1,964
5	2,500	0,900	1,600

DIA: 05 21/06/2021			
N°	AGUA OFRECIDO (l)	SOBRA AGUA	CONSUMO TOTAL DE AGUA
1	2,500	1,800	0,700
2	2,500	0,909	1,591
3	2,500	1,220	1,280
4	2,500	0,572	1,928
5	3,500	1,750	1,750

DIA: 06 22/06/2021			
N°	AGUA OFRECIDO (l)	SOBRA AGUA	CONSUMO TOTAL DE AGUA
1	2,500	1,470	1,030
2	3,500	1,130	2,370
3	3,500	1,390	2,110
4	3,500	1,410	2,090
5	2,500	1,860	0,640

DIA: 07 23/06/2021			
N°	AGUA OFRECIDO (l)	SOBRA AGUA	CONSUMO TOTAL DE AGUA
1	2,500	0,740	1,760
2	2,500	0,730	1,770
3	2,500	0,680	1,820
4	2,500	0,430	2,070
5	4,500	0,755	3,745

DIA: 08 24/06/2021			
N°	AGUA OFRECIDO (l)	SOBRA AGUA	CONSUMO TOTAL DE AGUA
1	2,500	1,360	1,140
2	2,500	1,910	0,590
3	2,500	1,355	1,145
4	2,500	0,560	1,940
5	2,500	0,592	1,908

DIA: 09 25/06/2021			
N°	AGUA OFRECIDO (l)	SOBRA AGUA	CONSUMO TOTAL DE AGUA
1	2,500	0,048	2,452
2	2,500	0,034	2,466
3	2,500	1,082	1,418
4	2,500	0,670	1,830
5	2,500	0,528	1,972

DIA: 10 26/06/2021			
N°	AGUA OFRECIDO (l)	SOBRA AGUA	CONSUMO TOTAL DE AGUA
1	2,500	0,538	1,962
2	3,500	0,980	2,520
3	2,500	0,820	1,680
4	2,500	0,552	1,948
5	3,500	1,630	1,870

DIA: 11 27/06/2021			
N°	AGUA OFRECIDO (l)	SOBRA AGUA	CONSUMO TOTAL DE AGUA
1	2,500	0,920	1,580
2	2,500	0,950	1,550
3	2,500	0,760	1,740
4	2,500	0,710	1,790
5	2,500	1,009	1,491

DIA: 12 28/06/2021			
N°	AGUA OFRECIDO (l)	SOBRA AGUA	CONSUMO TOTAL DE AGUA
1	2,500	1,370	1,130
2	2,500	0,920	1,580
3	2,500	0,740	1,760
4	3,500	1,455	2,045
5	3,500	1,098	2,402

Anexo 5. Control de la producción de heces y orina.

Adaptación a la dieta de sobrealimentación.

Nº	DIA 1 (17/06/2021)		DIA 2 (18/06/2021)		DIA 3 (19/06/2021)		DIA 4 (20/06/2021)		DIA 5 (21/06/2021)	
	Prod. de heces (gr)	Prod. de orina (ml)	Prod. de heces (gr)	Prod. de orina (ml)	Prod. de heces (gr)	Prod. de orina (ml)	Prod. de heces (gr)	Prod. de orina (ml)	Prod. de heces (gr)	Prod. de orina (ml)
1	500,70	220,00	524,80	160,00	570,90	240,00	575,90	210,00	547,80	210,00
2	986,00	320,00	878,80	680,00	1.295,20	190,00	1.068,20	190,00	1.400,70	470,00
3	625,30	130,00	715,60	30,00	971,30	44,00	1.273,40	74,00	1.049,70	130,00
4	856,20	280,00	898,80	210,00	1.054,20	190,00	1.216,60	340,00	980,30	230,00
5	757,30	238,00	914,90	305,00	845,80	295,00	851,20	310,00	917,30	280,00

Fase experimental de la dieta de sobrealimentación.

Nº	DIA 6 (22/06/2021)		DIA 7 (23/06/2021)		DIA 8 (24/06/2021)		DIA 9 (25/06/2021)		DIA 10 (26/06/2021)		DIA 11 (27/06/2021)		DIA 12 (28/06/2021)	
	Prod. de heces (gr)	Prod. de orina (ml)	Prod. de heces (gr)	Prod. de orina (ml)	Prod. de heces (gr)	Prod. de orina (ml)	Prod. de heces (gr)	Prod. de orina (ml)	Prod. de heces (gr)	Prod. de orina (ml)	Prod. de heces (gr)	Prod. de orina (ml)	Prod. de heces (gr)	Prod. de orina (ml)
1	540,50	190,00	561,80	220,00	637,40	320,00	749,90	238,00	812,20	228,00	916,60	240,00	872,20	220,00
2	1.161,20	220,00	905,10	270,00	1.551,70	523,00	569,50	0,00	866,70	520,00	1.203,30	190,00	1.052,30	262,00
3	945,30	56,00	1.067,90	300,00	383,50	9,00	507,00	6,00	899,10	46,00	802,10	20,00	926,50	82,00
4	1.062,80	230,00	1.030,20	210,00	905,90	240,00	1.039,40	68,00	794,70	210,00	1.204,30	210,00	969,40	200,00
5	897,70	430,00	620,90	370,00	764,30	315,00	1.066,10	370,00	854,70	270,00	1.019,90	260,00	667,60	240,00

Anexo 6. Consumo de nutrientes en la dieta de sobrealimentación.

Variables registradas	Sobrealimentación (50 g MS KP ^{0,75})				
	Promedio (n:5)	DS	CV (%)	V.Max	V.Min
Peso vivo (Kg)	46,80	3,862	8,253	52,80	42,60
Peso metabólico (Kg PV ^{0,75})	17,88	1,103	6,170	19,59	16,67
Consumo					
Materia seca (g /animal/día)	808,9	101,431	12,539	949,99	450,07
Materia seca (g /Kg PV ^{0,75} /día)	45,22	4,951	10,948	50,24	26,62
Materia orgánica(g /animal/día)	761,9	96,809	12,706	895,85	418,19
Materia orgánica(g /Kg PV ^{0,75} /día)	42,59	4,748	11,147	47,41	24,73
Energía bruta (Kcal/animal/día)	3554,6	443,543	12,478	4172,71	1987,54
Energía bruta (Kcal/Kg PV ^{0,75} /día)	198,7	21,609	10,874	220,63	117,54
Proteína cruda (g /animal/día)	77,60	6,940	8,943	88,58	56,83
Proteína cruda (g /Kg PV ^{0,75} /día)	4,339	0,274	6,319	4,61	3,36
FDN (g /Kg PV ^{0,75} /día)	24,82	2,999	12,083	27,86	13,48
Carbono (g /Kg PV ^{0,75} /día)	20,60	2,266	10,998	22,90	12,08
Nitrógeno (g /Kg PV ^{0,75} /día)	0,694	0,044	6,319	0,74	0,54
Agua (ml/Kg PV ^{0,75} /día)	98,21	24,929	25,383	147,05	31,76

Anexo 7. Excreción de nutrientes en la dieta de sobrealimentación.

Excretado	Promedio (n:5)	DS	CV (%)	V.Max	V.Min
VARIABLES REGISTRADAS					
Peso vivo (Kg)	46,80	3,862	8,253	52,80	42,60
Peso metabolico (Kg PV0,75)	17,88	1,103	6,170	19,59	16,67
HECES					
Materia seca (g /animal/día)	259,3	63,753	24,585	393,60	117,33
Energía bruta (Kcal/animal/día)	1104,0	271,021	24,548	1679,91	499,45
Proteína cruda (g /animal/día)	25,21	7,084	28,102	37,16	9,60
FDN (g /animal/día)	177,3	43,784	24,701	280,57	79,27
Carbono (g /animal/día)	116,8	28,597	24,478	179,49	53,25
Nitrógeno (g /animal/día)	4,033	1,133	28,102	5,95	1,54
ORINA					
Materia seca (g /animal/día)	29,16	18,017	61,792	69,03	0,67
Energía bruta (Kcal/animal/día)	72,26	46,301	64,074	178,53	1,39
Proteína cruda (g /animal/día)	16,91	10,342	61,175	38,09	0,43
Carbono (g /animal/día)	7,734	5,038	65,144	19,48	0,14
Nitrógeno (g /animal/día)	2,705	1,655	61,175	6,10	0,07

Anexo 8. Retenido de nutrientes en la dieta se sobrealimentación.

Retenido	Promedio (n:5)	DS	CV (%)	V.Max	V.Min
VARIABLES REGISTRADAS					
Peso vivo (Kg)	46,80	3,862	8,253	52,80	42,60
Peso metabolico (Kg PV0,75)	17,88	1,103	6,170	19,59	16,67
Materia seca (g /kg PV ^{0,75})	29,12	5,358	18,398	39,75	12,69
Materia organica (g /kg PV ^{0,75})	29,30	4,945	16,877	37,74	14,82
Energía bruta (Kcal/kg PV ^{0,75})	133,0	22,913	17,221	175,93	63,74
Proteína cruda (g / kg PV ^{0,75})	2,003	0,741	37,003	3,77	0,39
FDN (g /kg PV ^{0,75})	14,91	3,361	22,545	20,89	4,62
Carbono (g /kg PV ^{0,75})	13,65	2,427	17,782	18,14	6,24
Nitrógeno (g /kg PV ^{0,75})	0,320	0,119	37,003	0,60	0,06

Anexo 9. Digestibilidad de nutrientes en la dieta de sobrealimentación.

Digestibilidad (%)	Promedio (n:5)	DS	CV (%)	V.Max	V.Min
VARIABLES REGISTRADAS					
Peso vivo (Kg)	46,80	3,862	8,253	52,80	42,60
Peso metabolico (Kg PV0,75)	17,88	1,103	6,170	19,59	16,67
Materia seca	67,81	7,914	11,670	82,12	42,26
Materia orgánica	68,63	7,779	11,335	82,40	43,02
Energía bruta	68,82	7,674	11,151	82,63	44,00
Proteína cruda	67,66	8,443	12,479	83,80	50,91
FDN	59,76	10,478	17,534	77,12	23,44
C	68,15	7,892	11,580	82,09	42,15
N	67,66	8,443	12,479	83,80	50,91

Anexo 10. Variables registradas sobre el peso vivo, peso metabólico y consumo de nutrientes en alpacas machos de la raza Huacaya sobrealimentados con heno de avena y pellet de alfalfa.

Emisiones y consumo de gases en alpacas alimentadas a condiciones de sobrealimentación

Variables Registradas	Sobrealimentación (50 g MS/kg PV ^{0,75})							
	A1	A2	A3	Promedio	SD	CV (%)	V.Max	V.Min
Peso Vivo, kg	49,2	43,4	52,8	48,5	4,74	9,79	52,80	43,40
Peso Metabólico, kg PM	18,6	16,9	19,6	18,4	1,35	7,37	19,59	16,91
Consumo								
Materia seca, kg/día	0,682	0,730	0,789	0,734	0,054	7,317	0,789	0,682
Materia orgánica, kg/día	0,640	0,687	0,742	0,690	0,051	7,419	0,742	0,640
Proteína cruda, kg/día	0,071	0,072	0,078	0,074	0,004	5,423	0,078	0,071
FDN, kg/día	0,366	0,399	0,430	0,398	0,032	7,917	0,430	0,366

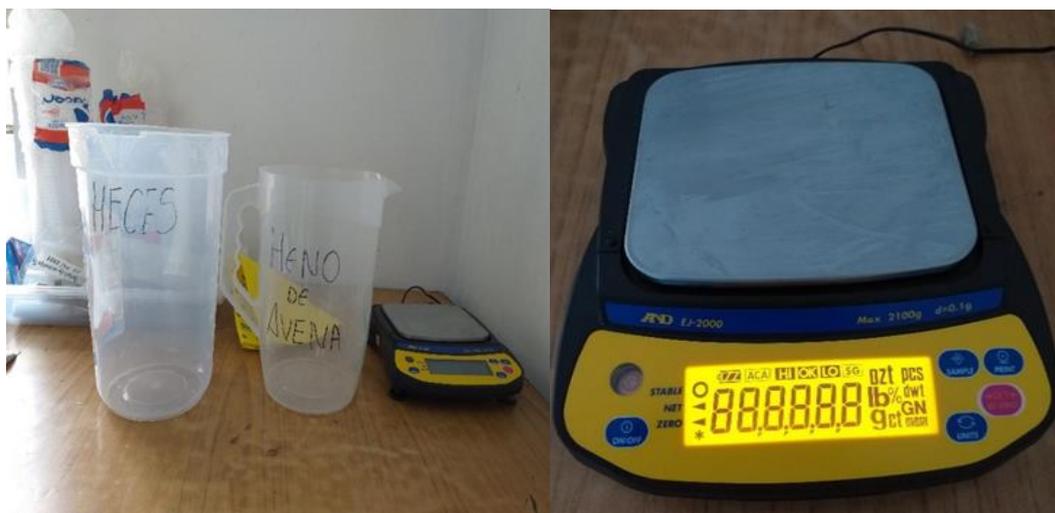
Anexo 11. Registro fotográfico



Fotografía 4. Alpacas machos de la raza Huacaya.



Fotografía 5. Heno de avena y pellet de alfalfa.



Fotografía 6. Recipientes de plástico y balanza digital (AND, EJ – 2000).



Fotografía 7. Balanza de tipo plataforma provista de jaula.



Fotografía 8. Jaulas metabólicas para alpacas.



Fotografía 9. Cámara dinámica.



Fotografía 10. Vistas de alpaca en jaula metabólica con bolsas colectoras de heces.



Fotografía 11. Equipo móvil de calorimetría indirecta de circuito abierto para pequeños rumiantes.



Fotografía 12. Vistas de la cámara dinámica.



Fotografía 13. Sujeción de la tela retráctil de la cámara dinámica en la base del cuello de la alpaca.



Fotografía 14. Sujeción de la bolsa colectora de heces



Fotografía 15. Visualización de los datos en la PC integrada



Fotografía 16. Colección de heces en las bolsas colectoras para alpacas



Fotografía 17. Medición de la orina después de su colecta respectiva



Fotografía 18. Almacenamiento de muestras