



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Medicina Veterinaria**

**Escuela Profesional de Medicina Veterinaria**

**Calidad nutricional y parámetros fermentativos *in vitro* de la dieta de alpacas en pastoreo durante la época de seca**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de Médico Veterinaria

**AUTOR**

Elizabeth Raquel MENDOZA ROLDAN

**ASESOR**

Mg. Juan Pavel OLAZÁBAL LOAIZA

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Mendoza E. Calidad nutricional y parámetros fermentativos in vitro de la dieta de alpacas en pastoreo durante la época de seca [Tesis de pregrado]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Medicina Veterinaria, Escuela Profesional de Medicina Veterinaria; 2022.

---

## Metadatos complementarios

<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Elizabeth Raquel Mendoza Roldan
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	47579507
URL de ORCID	-
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	Juan Pavel Olazábal Loayza
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	20050845
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0003-2389-3967">https://orcid.org/0000-0003-2389-3967</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Felipe Antonio San Martín Howard
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09300356
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Orlando Alberto Lucas Aguirre
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09529500
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	Víctor Manuel Vélez Marroquín
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	29633416
<b>Datos de investigación</b>	

Línea de investigación	A1. Producción y sanidad de camélidos sudamericanos
Grupo de investigación	Grupo de investigación en ganadería altoandina sustentable
Agencia de financiamiento	“Este trabajo fue financiado por el CONCYTEC-PROCIENCIA en el marco de la convocatoria Proyecto Investigación Básica 2019-01 [número de contrato 391-2019-FONDECYT.]”
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Facultad de medicina veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: San Borja Latitud: -12.0964515 Longitud: -76.995689
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2021 - 2022
URL de disciplinas OCDE	Ciencia Veterinaria <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#4.03.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#4.03.01</a>



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE MÉDICO VETERINARIA

En el Auditorio Principal de la Facultad de Medicina Veterinaria, el día **lunes 26 de setiembre de 2022**, a las **09:00** horas, se constituyó el Jurado Examinador designado mediante Resolución Directoral N° **0157-EPMV/FMV-2022**, integrado por los siguientes profesores:

<b>MV. PhD. San Martín Howard, Felipe Antonio</b>	<b>Presidente del Jurado</b>
<b>Ing. Mg. Olazábal Loaiza, Juan Pavel</b>	<b>Asesor de la Tesis</b>
<b>MV. Mg. Vélez Marroquín, Víctor Manuel</b>	<b>Miembro del Jurado</b>
<b>QF. Mg. Lucas Aguirre, Orlando Alberto</b>	<b>Miembro del Jurado</b>

Luego de la instalación del Jurado, a cargo del Presidente del Jurado y bajo la dirección del mismo, la Bachiller Doña: **MENDOZA ROLDAN, ELIZABETH RAQUEL** para optar el Título Profesional de Médico Veterinaria, procedió a sustentar públicamente la Tesis:

### “CALIDAD NUTRICIONAL Y PARÁMETROS FERMENTATIVOS *in vitro* DE LA DIETA DE ALPACAS EN PASTOREO DURANTE LA ÉPOCA DE SECA”,

Luego de absolver las preguntas del Jurado y del público asistente, el Jurado deliberó con la abstención reglamentaria del Asesor de la Tesis y acordó su **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD**, otorgándole la nota de **DIECISIETE (17)**.

Habiéndose aprobado la sustentación pública de la Tesis, el Presidente en representación del Jurado recomienda que la Escuela Profesional de Medicina Veterinaria proponga la aprobación del **TÍTULO PROFESIONAL DE MÉDICO VETERINARIA** a la Facultad de Medicina Veterinaria y que ésta proponga al Rectorado el otorgamiento respectivo.

Siendo las **10:30 horas**, concluyó el acto académico de sustentación pública de Tesis en fe de lo cual suscriben la presente acta por cuadruplicado los integrantes del Jurado:

.....  
San Martín Howard, Felipe Antonio : MV. PhD. Prof. Principal DE

.....  
Olazábal Loaiza, Juan Pavel: Ing. Mg. Prof. Asociado TC

.....  
Vélez Marroquín, Víctor Manuel: MV. Mg. Prof. Auxiliar TC

.....  
Lucas Aguirre, Orlando Alberto, QF. Mg. Prof. Auxiliar TC



## **INFORME DE EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD**

Tesis para optar el título profesional de Médico Veterinario

1. Facultad: Medicina Veterinaria
2. Escuela: Medicina Veterinaria
3. Autoridad académica que emite el informe de originalidad: Escuela Profesional de Medicina Veterinaria.
4. Apellidos y Nombres de la Autoridad Académica: Santiani Acosta, Alexei Vicent
5. Operador del Programa Informático de similitudes: Sandoval Monzón Rocío Silvia.
6. Documento evaluado: "Calidad nutricional y parámetros fermentativos *in vitro* de la dieta de alpacas en pastoreo durante la época de seca"
7. Autor del documento: Elizabeth Raquel Mendoza Roldan
8. Fecha de recepción del documento: 23 de diciembre del 2022
9. Fecha de aplicación del programa informático: 06 de enero del 2023
10. Software utilizado
  - Turnitin
11. Configuración del programa detector de similitudes:
  - Excluye textos entrecorridos
  - Excluye bibliografía
  - Excluye cadenas menores de 40 palabras
  - Exclusión de fuentes para buscar similitud
12. Porcentaje de similitudes según programa detector de similitudes: 10%
13. Fuentes originales de similitudes encontradas:
  - hdl.handle.net 3%
  - revistas.ucc.edu.co 2%
  - repositorio.unap.edu.pe 1%
  - repositorio.lamolina.edu.pe 1%
  - documentop.com 1%
  - cybertesis.unmsm.edu.pe 1%
  - repositorio.unas.edu.pe <1%
  - 1library.co <1%
  - www.bdigital.unal.edu.co <1%
14. Observaciones: el mayor porcentaje de las similitudes halladas en la tesis evaluada se encuentra en la sección revisión bibliográfica.
15. Calificación de originalidad:  
DOCUMENTO CUMPLE CRITERIOS DE ORIGINALIDAD, SIN OBSERVACIONES.  
Fecha del informe: 6 de Enero de 2023



**Dedicatoria:**

Le dedico este trabajo a mis padres y seres queridos que estuvieron conmigo a lo largo de mi carrera brindándome el apoyo necesario para lograr las metas que me propuse, les doy las gracias por haber creído incondicionalmente en mí y ayudarme a construir esta hermosa carrera para mi futuro.



Dios, te agradezco por iluminar mi camino y darme la sabiduría y perseverancia  
para lograr mis metas.

Agradezco a mis padres por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi  
carrera.

A mi casa de estudios la UNMSM y a los maestros que ahí tuve, especialmente al  
Ingeniero Juan Olazabal por su paciencia y la ayuda brindada en este proyecto.

## ÍNDICE

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAC</b>	<b>ii</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE ANEXOS</b>	<b>v</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2.1. LA ALPACA</b>	<b>3</b>
<b>2.2. GENERALIDADES DE LA ANATOMÍA Y FISIOLÓGÍA DIGESTIVA DE LA ALPACA</b>	<b>4</b>
2.2.1. Estómago	4
2.2.2. Tracto intestinal	5
<b>2.3. GENERALIDADES SOBRE LA SELECCIÓN, DIGESTIÓN Y CONSUMO DE LAS ALPACAS</b>	<b>6</b>
2.3.1. Selectividad	6
2.3.2. Digestión	7
2.3.3. Digestibilidad	8
2.3.4. Consumo	9
<b>2.4. PASTURAS ALTOANDINAS</b>	<b>9</b>
<b>2.5. ÉPOCAS DEL AÑO</b>	<b>11</b>
<b>2.6. DIGESTIÓN DE LOS ALIMENTOS EN RUMIANTES Y CSA</b>	<b>12</b>
2.6.1. Productos de la digestión	12
2.6.1.1. Metano	14
2.6.1.2. Ácidos grasos volátiles	17
2.6.1.3. Amoníaco	18
<b>2.7. CAMBIO CLIMÁTICO</b>	<b>19</b>
2.7.1. Efecto invernadero	19
2.7.2. Calentamiento global	20
2.7.3. Marco Internacional	20
2.7.4. Situación del Perú en el contexto internacional	21
<b>2.8. TÉCNICAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD DE LOS ALIMENTOS PARA RUMIANTES</b>	<b>23</b>
2.8.1. Digestibilidad <i>in situ</i>	23
2.8.2. Digestibilidad <i>in vivo</i>	25
2.8.3. Digestibilidad <i>in vitro</i>	25
2.8.3.1. Cultivos de microorganismos ruminales de corta duración	26
2.8.3.2. Cultivos de microorganismos ruminales de larga duración (CMRLD) Rusitec	27
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>29</b>
<b>3.1. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL EXPERIMENTAL</b>	<b>29</b>
3.1.1. Lugar de ejecución	29
3.1.2. Animales	29
<b>3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL U OBSERVACIONAL</b>	<b>29</b>
3.2.1. Recolección de muestras	29
3.2.2. Procesamiento de muestras	30
<b>3.3. ANÁLISIS</b>	<b>31</b>

3.3.1. Análisis de los pastos	31
3.3.1.1. Determinación de proteína	31
3.3.1.2. Determinación de ceniza	31
3.3.1.3. Determinación de fibra detergente neutra	31
3.3.1.4. Determinación de fibra detergente ácida	32
3.3.1.5. Determinación de lignina	32
3.3.2. Medición de metano	32
3.3.3. Medición de amoníaco	33
3.3.4. Medición de AGV	35
3.3.5. Estimación de digestibilidad de materia orgánica	35
3.3.5. Determinación de energía metabolizable	36
<b>3.4. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN</b>	<b>36</b>
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>37</b>
<b>4.1. COMPOSICIÓN DE LA DIETA EN ÉPOCA DE SECA</b>	<b>37</b>
<b>4.2. PARÁMETROS DIGESTIVOS DE LA DIETA EN ÉPOCA DE SECA</b>	<b>39</b>
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>44</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>45</b>

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo estimar los parámetros fermentativos *in vitro* de la dieta de alpacas durante la época de seca: El estudio se realizó en el IVITA Maranganí, Cusco. Se seleccionaron 12 alpacas macho, de 3 a 5 años. Se colectó la dieta que consumen las alpacas a través de la observación y simulación manual, observándose los pastos consumidos y las partes de estos. Se tomó 50 estaciones de consumo. Las muestras colectadas fueron deshidratadas y almacenadas hasta su procesamiento. Las muestras fueron analizadas a través de la técnica *in vitro* de producción de gases, se evaluó la digestibilidad *in vitro* (DIV), producción de gases, producción de metano, amoníaco, ácido acético, ácido propiónico y la relación de estos y se estimó la energía metabolizable. Los resultados obtenidos se expresan como promedio y desviación estándar: La DIV fue de  $58.13 \pm 5.4$  %, la producción de gases  $93.87 \pm 13.63$  ml/g MS, metano  $3.15 \pm 1.56$  ml/g MS, amoníaco  $150.08 \pm 34.67$  mg/L, ácido acético  $782.19 \pm 322.66$   $\mu$  mol, ácido propiónico  $288.52 \pm 94.62$   $\mu$  mol, relación acético/propiónico  $2.65 \pm 0.50$ , EM  $4.10 \pm 0.42$  MJ/kg. Según los resultados obtenidos podemos concluir que la dieta seleccionada por las alpacas al pastoreo en época de seca fue de mediana calidad nutricional y es coherente con los parámetros fermentativos obtenidos en el presente estudio.

**Palabras clave:** alpaca, época seca, parámetros fermentativos, calidad nutricional

## ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the in vitro fermentation parameters of the alpaca diet during the dry season. The place where the study was carried out was the IVITA Maranganí Experimental Station, where 12 male alpacas were selected in the age range of 3 to 5 years, which were evaluated under natural grazing conditions, for the sampling of the forage consumed by the animals, the manual simulation method was used, which consists of observing the animals at the time of forage intake and taking a sample as like what he ingested, these samples were later sent to the Laboratory of Zootechnics and Animal Production of the Faculty of Veterinary Medicine, to be processed. Once in the laboratory, the samples were taken to the stove for 48 hours, then they were placed in bottles with ruminal liquor and taken to the stove again to measure the parameters, starting with the in vitro digestibility (IVD) and also evaluating the production of gases. The gas technique was chosen for the determination of methane. The results obtained are expressed as average and standard deviation in which we have: DIV  $58.13 \pm 5.4\%$ , gas production  $93.87 \pm 13.63$  ml/g MS, acetic acid  $782.19 \pm 322.66$   $\mu$  mol, propionic acid  $288.52 \pm 94.62$   $\mu$  mol, acetic ratio /propionic  $2.65 \pm 0.50$ , methane  $3.15 \pm 1.56$  ml/g MS, metabolizable energy (ME)  $4.10 \pm 0.42$  MJ/kg, ammonia  $150.08 \pm 34.67$  mg/L. According to the results obtained, we can conclude that the diet selected by the alpacas grazing in the dry season was of medium nutritional quality and is consistent with the fermentation parameters obtained in the present study.

**Keywords:** alpaca, dry season, fermentative parameters, nutritional quality

## **LISTA DE CUADROS**

Cuadro 1. Selectividad en la dieta de alpacas al pastoreo

Cuadro 2. Tipos de pastizales altoandinos

Cuadro 3. Composición química de la ingesta de alpacas al pastoreo en bofedales en época de seca y lluvia

Cuadro 4. Patrones para la determinación de metano

Cuadro 5. Patrones para la determinación de amoníaco.

Cuadro 6. Composición de la dieta en época de seca

Cuadro 7. Parámetros digestivos de la dieta seca

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estómago de Alpaca

Figura 2. Metabolismo de carbohidratos en rumiantes.

Figura 3. Metabolismo de los AGV

Figura 4. Procesos fermentativos en la producción de metano.

Figura 5. Metabolismo de las proteínas en rumiantes

Figura 6. Distribución de las emisiones de GEI por categorías.

## I. INTRODUCCIÓN

Las alpacas son consideradas una fuente de carne y fibra, indispensable para una gran parte de la población altoandina, debido a que son animales que se adecúan y se desarrollan en condiciones adversas, como es el caso de las praderas de los páramos andinos de Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador y Perú, donde se concentra la mayor población de esta especie (FAO 2005). Estos animales son eficientes al convertir los pastos pobres (de baja proteína) en productos de alta calidad. Para poder desarrollarse en este medio ecológico han adquirido características fisiológicas digestivas peculiares que se pueden resumir en: a) Gran capacidad de digerir forraje de mediana y baja calidad, b) Mayor tiempo de retención del alimento en el tracto digestivo; c) Baja ingestión de materia seca siendo inferior en un 30% a los otros rumiantes (San Martín y Bryant 1989).

En nuestro país, las alpacas tienen total dependencia alimenticia de la pradera altoandina y el conocimiento del valor nutricional del alimento que consumen ofrece información que permite orientar los recursos de forraje para satisfacer mejor las necesidades de los animales, determina la necesidad de suplementos adicionales y evalúa qué suplementos se adaptan mejor al forraje, sin embargo, son pocos los trabajos disponibles sobre el contenido nutricional de la dieta que consumen las alpacas.

Otro aspecto que tomar en cuenta es que, durante la época seca, el contenido nutricional de las pasturas disminuye dramáticamente, frente a esta situación las alpacas presentan estrategias alimenticias como mayor consumo de alimento y mayor selectividad, que les permite tratar de cubrir sus requerimientos nutricionales.



Por estas consideraciones se plantea el presente estudio con el objetivo de estimar los parámetros fermentativos *in vitro* de la dieta de alpacas al pastoreo durante la época de seca, con la finalidad de poder aportar información de la calidad de la dieta consumida por las alpacas tratando de hacer una aproximación a la dieta que consumen a través de la simulación manual.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. LA ALPACA

Es un mamífero doméstico que pertenece al grupo de los camélidos. Durante muchos años la clasificación taxonómica de la alpaca fue discutida, inicialmente se le dio el nombre científico de *Camelus pacos*, lo que la colocaba en la misma clasificación de los camellos, más adelante en el año de 1956 la Comisión Internacional de Nomenclatura Zoológica la incluye dentro del género *Lama*, esta clasificación significa que la alpaca, la llama y el guanaco se encuentran en el mismo grupo con el guanaco como especie ancestral y dejando a la vicuña como una especie diferente (MINAGRI, 2019).

La información que se conoce en la actualidad menciona que los camélidos sudamericanos tienen dos géneros: *Lama* y *Vicugna*. El género *Vicugna*, comprende a las vicuñas y las alpacas, mencionando que la alpaca es la forma domestica de la vicuña. El género *Lama* comprende a los guanacos y las llamas siendo el guanaco (*Lama guanicoe*) el ancestro silvestre de la llama (*Lama glama*) (Kadwell *et al.*, 2001).

A nivel mundial, el Perú posee la población más grande de alpacas con una población de aproximadamente 3.7 millones de ejemplares. La región Puno concentra la mayor cantidad de alpacas a nivel nacional, con alrededor de 1 millón 460 mil ejemplares, seguido de la región Cusco con 546 mil y Arequipa con una población de más de 468 mil ejemplares (MINAGRI, 2018)

La raza predominante es la Huacaya, con alrededor del 80% de alpacas, le sigue la raza Suri con 12% y un 8% de razas híbridas. La crianza de alpacas en la región andina es una de las principales actividades ganaderas, donde tenemos alrededor de 82 mil unidades agropecuarias, integradas en mayor parte por comunidades campesinas de las

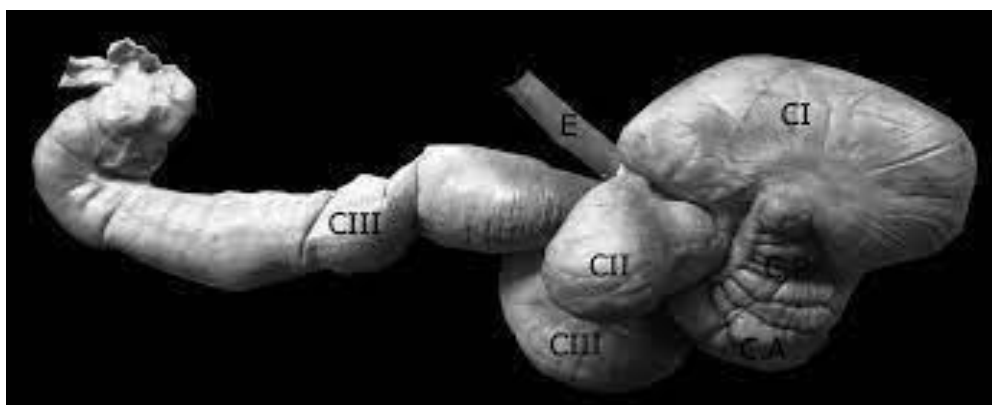
regiones con situación de pobreza y pobreza extrema en el país, que tienen como actividades principales el manejo, selección de animales, empadre, parición, nutrición, control sanitario y la más importante la cosecha de fibra o esquila (MINAGRI, 2018).

## 2.2. GENERALIDADES DE LA ANATOMÍA DIGESTIVA DE LA ALPACA

Las alpacas presentan características anatómicas y fisiológicas digestivas particulares que las diferencian de los rumiantes, lo que les permite un mejor aprovechamiento de los forrajes de baja calidad. A continuación, se describe algunas características de importancia.

### 2.2.1. Estómago

A diferencia de los rumiantes, las alpacas presentan un estómago dividido en tres compartimientos (Figura 1) (Vallenas *et al.*, 1971). El primer compartimiento (C1) es el más extenso de los tres, comprende el 83% del volumen total del estómago y se divide en dos zonas, una craneal y una caudal dividido a través de un pliegue muscular transversal que va desde el cardias hasta el tercio posterior del C1. En este compartimiento se produce la fermentación del alimento debido a que posee un ecosistema compuesto por bacterias, arqueas, protozoos y hongos.



**Figura 1.** Estómago de Alpaca (Lab. Anatomía Animal y Fauna Silvestre FMV. UNMSM) Ref. Nomenclatura Galotta D. R. *et al.*

El segundo compartimiento (C2), es el más pequeño, comprende un 6% del volumen total del estómago, se encuentra en la zona media del lado derecho de la cavidad abdominal (Sato y Montoya, 1989), se encuentra en posición craneal y dorsal al C1, está compuesto casi en su totalidad por mucosa glandular, excepto por una

porción que corresponde al surco ventricular o esofágico (Fowler, 1999), al igual que el C1 participa en el proceso fermentativo y está equipado con la microbiota necesaria para ello (Cerón, 2016).

El tercer compartimiento (C3) se encuentra al lado derecho del C1 y comprende el 11% del volumen total del estómago, en el abdomen medio ventral derecho (Fowler, 1999), produciéndose en esta zona el ácido clorhídrico en su sección final.

Los sáculos glandulares, se encuentran revestidos por mucosa glandular mucígena, que se extiende por todos los compartimientos del estómago, con excepción del quinto distal del C3, que posee las glándulas gástricas y pilóricas propias. Las zonas no glandulares se encuentran revestidas por epitelio escamoso estratificado (Cummings *et al.*, 1972).

Los sáculos glandulares que se encuentran en el C1 y C2 funcionan como glándulas salivales accesorias (Hansen y Schmidt-Nielsen, 1957), éstos secretan cantidades significativas de bicarbonato, que funciona como sustancia amortiguadora en la digestión (Eckerlin y Stevens, 1973). Su función principal es la absorción de agua y solutos, siendo la tasa de absorción 2-3 veces superior a la del rumen de ovejas y cabras, mientras que la tasa de absorción del C3 es significativamente mayor a la obtenida en el omaso de éstos (Engelhardt y Rubsamen, 1979).

### **2.2.2. Tracto intestinal**

El intestino de la alpaca puede llegar a medir 22,9 m con un diámetro aproximado de 2 a 3 cm en toda su trayectoria (Sato y Montoya, 1989). El intestino delgado inicia en el píloro y termina en el ciego y mide 13,4 m, se divide en tres secciones: el duodeno, que mide unos 50 cm, posee una dilatación en su inicio conocida como ampolla duodenal, la cual tiene unos 6cm de ancho y 4 a 5 cm de longitud, continúa con el yeyuno, que es la porción más extensa del intestino y llega a medir unos 12,4m (De la Vega, 1950). La última porción corresponde al íleon y registra una longitud de 10cm aproximadamente en alpacas adultas (Sato y Montoya, 1989).

El intestino grueso, mide unos 9,5m y 5cm de diámetro en promedio, inicia en el orificio ileocecal y termina en el ano consta de 3 porciones: el ciego, que mide aproximadamente 14,8 cm y 7 cm (Sato y Montoya, 1989, Sato *et al.*, 1968), el colon es la segunda porción del intestino grueso y esta compuesto de tres porciones el colon ascendente, colon transverso y colon descendente, la última porción del tracto

intestinal es el recto es que termina en una abertura externa (ano) (Sato y Montoya, 1989).

## **2.3. GENERALIDADES SOBRE LA SELECCIÓN, DIGESTIÓN Y CONSUMO DE LAS ALPACAS**

### **2.3.1. Selectividad**

Las alpacas son altamente selectivas cuando se encuentran al pastoreo, se ha observado que prefieren alimentarse en zonas húmedas y la ración que consumen está compuesta en mayor parte por gramíneas altas en época de lluvia y gramíneas bajas en época de seca, sin embargo, se adaptan a la disponibilidad de forraje nativo, siendo así que cuando la disponibilidad de herbáceas es mayor constituyen la mayor parte de la ración consumida (Tapia y Lazcano, 1970; Raggi, 1989; San Martín, 1987).

Entre las especies más consumidas por las alpacas se ha observado dietas a base de *Eleocharis albibracteata*, *Calamagrostis heterophylla*, *Calamagrostis vicunarium*, *Muhlenbergia fastigiata*, *Alchemilla pinnata*, *Poa spp* y *Carex spp*. Otras especies con alto índice de preferencia, pero de baja disponibilidad son: *Poa gymnantha*, *Stipa brachiphylla*, *Muhlenbergia peruviana*, *Ranunculus limoselloides* y *Trifolium amabile*; por otro lado, la *Festuca dolichophylla* ha registrado un bajo índice de preferencia (Bryant y Farfán, 1984).

En el cuadro 1, se presentan los resultados de un estudio realizado para evaluar la selectividad de la dieta de alpacas al pastoreo, observándose que los machos presentan mayor selectividad que las hembras para algunos pastos y las hembras para otros (Quispe, 2017). Otro aspecto importante en la alimentación de alpacas al pastoreo es la palatabilidad de los pastos, ya que, aunque un pasto sea altamente nutritivo puede ser que las alpacas no lo consuman debido a la baja palatabilidad (Flores, 1980). A comparación de los ovinos, no son tan selectivas en cuanto a partes de la planta se refiere, en general consumen una mayor proporción de hojas, pero también prefieren los tallos, los cuales son retenidos por más tiempo en el tracto digestivo, lo que lleva a un menor consumo (Bryant y Farfán, 1984).

**Cuadro 1.** Selectividad en la dieta de alpacas al pastoreo (%)

Es pecie	Macho	Hembra	Promedio General
<i>Festuca dolichophylla</i>	31.0	19.7	25.3
<i>Calamagrostis spp</i>	30.3	19.7	25.0
<i>Bromus unioloides</i>	16.3	21.7	19.0
<i>Hipochoeris taraxacoides</i>	13.7	18.0	15.8
<i>Eleocharis albibracteata</i>	6.0	14.7	10.3
<i>Alchemilla pinnata</i>	1.3	3.7	2.5
Otros	1.3	2.7	2.0
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	

Fuente: Quispe, 2017

### 2.3.2. Digestión

El proceso digestivo inicia en la boca, posterior a la ingestión, la alpaca mastica el alimento en 8 movimientos, después lo traga, pasa por el esófago y llega a los compartimentos del estómago para continuar la digestión.

Los CSA se diferencian de los llamados rumiantes verdaderos en varios aspectos de la fisiología digestiva, como en el caso de las contracciones del C1, que en el caso de los CSA se dan de caudal a craneal (Fowler, 1999), también realizan ciclos cortos de rumia, ya que la duración de un ciclo depende de las contracciones adicionales del saco craneal del C1 que anteceden a la regurgitación. En un ciclo de motilidad se pueden dar de 3 a 4 regurgitaciones seguidas de 3 a 4 ciclos rumia, con una frecuencia de 1,4 ciclos por minuto (Fernández Baca, 1991).

El ciclo comienza con una contracción rápida del C2, la cual actúa en el pilar transversal del C1, lo que produce de manera simultánea contracciones en los sacos caudodorsal y caudoventral del C1, inmediatamente se inician las contracciones del saco craneal, a las que le seguirán unas 6 a 8 contracciones adicionales antes de una nueva contracción del C2 para iniciar un nuevo ciclo. Un ciclo durará aproximadamente de 1,8 minutos cuando el animal se encuentra en reposo (Vallenas, 1965).

El proceso digestivo en estos animales ha demostrado ser más eficiente y aprovechar de mejor manera los forrajes de baja calidad, esto debido a diversos mecanismos como el mayor tiempo de retención de partículas en el tracto gastrointestinal que es de unas 50,3 h en alpacas, comparado con 43,2 h para ovinos (Flórez, 1973).

Las alpacas también presentan mecanismos tamponantes más eficientes que el ovino; existen estudios que sugieren que son los sacos glandulares, presentes en los compartimientos del estómago de los CSA, los que aportan cantidades significativas de bicarbonato, las cuales contribuyen a la acción tamponante durante el proceso digestivo (Eckerlin y Stevens, 1973).

También debemos mencionar estudios comparativos que reportan que el pH de los ovinos a concentraciones similares de AGV es más bajo que el de las alpacas, lo que genera un ambiente ácido en el que los requerimientos energéticos de los microorganismos son mayores, en cambio esto permite a las alpacas tener una mayor producción de los microorganismos presentes en el estómago (San Martín, 1999).

### **2.3.3. Digestibilidad**

Para evaluar el aprovechamiento del alimento se han realizado pruebas comparativas de digestibilidad *in vivo* en alpacas y ovinos, en las que el alimento ofrecido contenía menos de 7.5% de proteína cruda, cuyos resultados arrojaron una mayor digestibilidad en alpacas, sin embargo, en pruebas realizadas con alimento con un contenido proteico mayor a los 10.5% no se obtuvieron diferencias significativas (San Martín, 1996). De la misma manera se realizaron pruebas comparativas entre llamas y ovinos, que arrojaron una tasa de digestibilidad superior en las llamas sobre los ovinos para dietas de baja y mediana calidad (San Martín y Bryant, 1988).

Una mayor digestibilidad en los CSA puede atribuirse a una mayor tasa de retención del alimento en los compartimientos del estómago, así como, a un mayor número de contracciones de los sacos glandulares. Un mejor aprovechamiento de los forrajes de baja calidad por los CSA también se relaciona con que éstos mantienen una mayor concentración de amoníaco en el primer y segundo compartimiento del estómago, a comparación de los ovinos, lo cual permite que los microorganismos tengan a disposición suficiente nitrógeno para la síntesis proteica, aumentando así la digestibilidad (San Martín y Bryant, 1988).

#### **2.3.4. Consumo**

La mayoría de los datos sobre el consumo de alimento en alpacas vienen de estudios comparativos con ovinos, en los que se ha demostrado que el consumo diario de alimento en alpacas es menor que el de los ovinos. (San Martín y Bryant, 1988). En las alpacas el consumo de materia seca es de aproximadamente 1.83% del peso vivo, lo que representa un 20% menos de la materia seca que puede consumir el ovino (San Martín y Bryant, 1989).

Como ya se ha mencionado antes las alpacas son altamente selectivas con el alimento, lo cual va a influir en su consumo, de tal manera que este se verá afectado por diversos factores como la disponibilidad, digestibilidad y composición del forraje (López et al., 1998; Trabalza et al.; 2001), siendo el porcentaje de proteína y fibra detergente neutra uno de los que más influyen en éste (San Martín y Bryant, 1989).

La disponibilidad y calidad del forraje también estará ligada a la estación del año en la que los animales se encuentren pastoreando, en la época de seca, los animales que se encuentran pastoreando en bofedales tienen una dieta que se compone en su mayoría de juncáceas y ciperáceas (78%), mientras que en las dietas del altiplano predominan mayormente las gramíneas (68%) (Mayta, 2005).

#### **2.4. PASTURAS ALTOANDINAS**

En nuestro país el sustento alimenticio de las alpacas se basa en las pasturas naturales de la región Sierra, la cual está conformada por diferentes zonas ecológicas que poseen características propias al verse influenciadas por diferentes factores como lo son: el clima, la altitud, las condiciones socioeconómicas y culturales, entre otras.

La superficie agropecuaria de la sierra comprende unos 22'694,100 ha, de las cuales 15'956,900 ha (70.2 %) comprende pastos naturales, 2'833,800 ha. (MINAG, 1994 III CENAGRO). Es en los pastos altoandinos donde se realiza la mayor actividad agropecuaria y la de mayor aporte económico a los productores del país, siendo aquí donde se lleva a cabo casi el 100% de la crianza de CSA. (MINAG, 1996).

Los pastos que se desarrollan en la región altoandina son alrededor de 22 228 000 hectáreas (INRENA, 2004), los cuales son conformados en su mayoría por gramíneas, pseudogramíneas, hierbas y arbustos que se distinguen por su morfología. Según el tipo de pastura predominante en un área determinada se pueden reconocer seis tipos de pastizales como se muestra en el cuadro 2:



**Cuadro 2.** Tipos de pastizales altoandinos

Tipo de pastizal	Descripción / Especies
<b>Pajonal</b>	<p>Se trata de gramíneas perenne, de porte alto que incluye a los géneros: <i>Festuca</i>, <i>Calamagrostis</i> y <i>Stipa</i>. Entre ellas tenemos: <i>Festuca dolichophylla</i> o "chilligua", <i>Festuca weberbaueri</i>, <i>Calamagrostis antoniana</i>, <i>Calamagrostis recta</i>, <i>Stipa ichu</i> "ichu", <i>Stipa obtusa</i> o "tisña"</p>
<b>Bofedales</b>	<p>Son plantas que se desarrollan mayormente en suelos de drenaje, que permanecen húmedos. Entre ellas tenemos: <i>Distichia muscoides</i> "kunkuna", <i>Plantago rigida</i> "champa estrella", <i>Alchemilla pinnata</i> "sillu sillu", <i>Hipochaeris taraxacoides</i> "pilli"</p>
<b>Tolares</b>	<p>Se trata en su mayoría de especies arbustivas Entre las cuales se encuentran: <i>Parastrephia lepidophylla</i> "tola", <i>Baccharis microphylla</i>, <i>Festuca orthophylla</i> "iro ichu", <i>Stipa brachyphylla</i>, <i>Festuca dolichophylla</i> "chilligua", <i>Diplostegium tacurense</i></p>
<b>Césped de puna</b>	<p>Se trata de especies cespitosas de menor tamaño que los pajonales, plantas arrosetadas y plantas de porte almohadillado. Incluye las siguientes especies: <i>Pycnophyllum molle</i>, <i>Azorella diapiensoides</i> "pasto estrella" <i>Calamagrostis vicunaru</i> "crespillo"</p>
<b>Canllares</b>	<p>Incluye especies arbustivas del género <i>Margiricarpus</i>. Tenemos de ejemplo las siguientes especies: <i>Margiricarpus pinnatus</i> "china kanlli", <i>Margiricarpus strictus</i> "orq'ó kanlli", <i>Festuca orthophylla</i> "iro ichu", <i>Senecio spinosus</i> "canlla quichca", <i>Ephedra americana</i> "pinco pinco"</p>
<b>Vegetación de rocas y pedregales</b>	<p>Incluye algunas plantas leñosas, arbustivas y gramíneas. Podemos mencionar las siguientes: <i>Baccharis tricuneata</i> "papataya", <i>Chuquiraga rotundifolia</i> "jarisirvij", <i>Senecio graveolens</i> "huiscataya", los géneros <i>Festuca</i>, <i>Calamagrostis</i>, <i>Dissanthelium</i>, y <i>Bromus</i></p>

Fuente: INRENA, 2004

## 2.5. ÉPOCAS DEL AÑO

En la región altoandina de nuestro país se observa dos estaciones: la estación lluviosa y la seca. La estación lluviosa comprende los meses de noviembre hasta abril, se caracteriza, como su nombre lo indica, por períodos de lluvias generalmente por la tarde, aunque puede presentar mañanas soleadas y noches menos frías. La estación seca o época de seca, comprende los meses de mayo a octubre, que se caracteriza por presentar días más calurosos y noches frías.

Esta variación climática influye en forma directa en la disponibilidad de forraje, de tal manera que la biomasa es mayor en el período de lluvias y durante el período de seca se observa escasez y una baja en la calidad de forraje (López *et al.*, 1998; Trabalza *et al.*, 2001).

En el cuadro 3, se observa la composición química de la ingesta de alpacas mantenidas en un bofedal, no se encontró diferencia significativa en el consumo de materia seca en época de lluvia vs época de seca, sin embargo, otro estudio realizado en La Raya, Perú a 4200 msnm con alpacas fistuladas y alimentadas con una combinación de *Festuca dolichophylla* y *Muhlebergia fastigiata* arrojó que el consumo de materia seca en época de lluvia fue de 53.7 g/Wkg<sup>0.75</sup>, mientras que en época seca fue de 60.5 g/Wkg<sup>0.75</sup> (Reiner, 1987).

**Cuadro 3.** Composición química de la ingesta de alpacas al pastoreo en bofedales en época de seca y lluvia

Composición	n	Lluvia	Seca
Materia seca	6	9.04 ± 0.27	10.65 ± 0.63
Materia orgánica	6	89.34 ± 1.67	88.25 ± 1.45
Proteína	6	17.51 ± 2.55	12.75 ± 1.93
Extracto etéreo	6	7.29 ± 0.76	7.47 ± 1.09
Fibra cruda	6	25.16 ± 5.34	29.86 ± 5.48
ELN	6	39.46 ± 8.85	38.16 ± 8.67
FDN	6	60.57 ± 7.22	62.66 ± 4.52

Fuente: Mayta, 2005

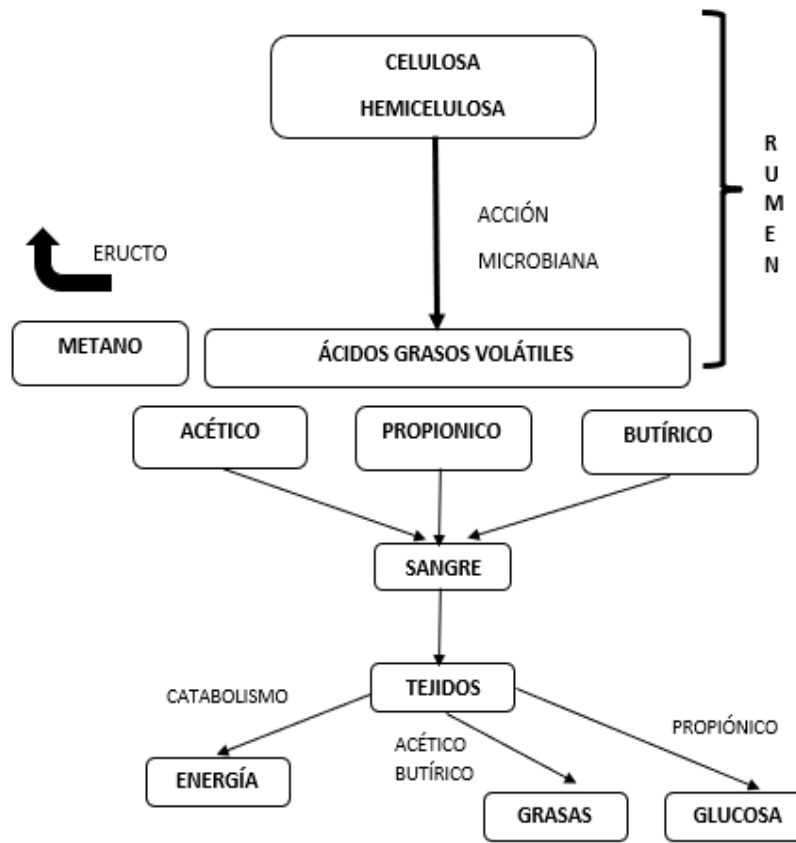
Esta diferencia en el consumo podría ser explicada por diversos factores como el alto contenido de agua en el forraje durante la época de lluvias (San Martín, 1987), la deficiente disponibilidad de energía metabolizable (noviembre y diciembre), la insuficiencia de proteína cruda (mayo y julio) y la limitación proteína cruda (agosto y octubre) que se dan durante la época de seca (San Martín y Van Saun, 2014).

## **2.6. DIGESTIÓN DE LOS ALIMENTOS EN RUMIANTES Y CSA**

Los alimentos ingeridos por los rumiantes y los CSA son digeridos básicamente a la acción de las enzimas de los microorganismos presentes en las cámaras de fermentación.

### **2.6.1. Productos de la digestión**

Los carbohidratos constituyen el mayor porcentaje del alimento ingerido por los rumiantes, pueden ser del tipo estructurales como la celulosa, hemicelulosa y pectina o no estructurales como el almidón. El metabolismo de los carbohidratos (figura 2), tiene lugar en el rumen, donde son atacados por las enzimas microbianas que digieren los polisacáridos y fermentan los azúcares liberados para producir AGV, de los cuales tenemos principalmente al propiónico, acético y butírico, y otros gases como el CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub>. Este proceso se lleva a cabo en condiciones de anaerobiosis, por lo tanto, los microorganismos residentes solo poseen una vía para la generación de energía, la vía glucolítica (Nava y Díaz, 2001).

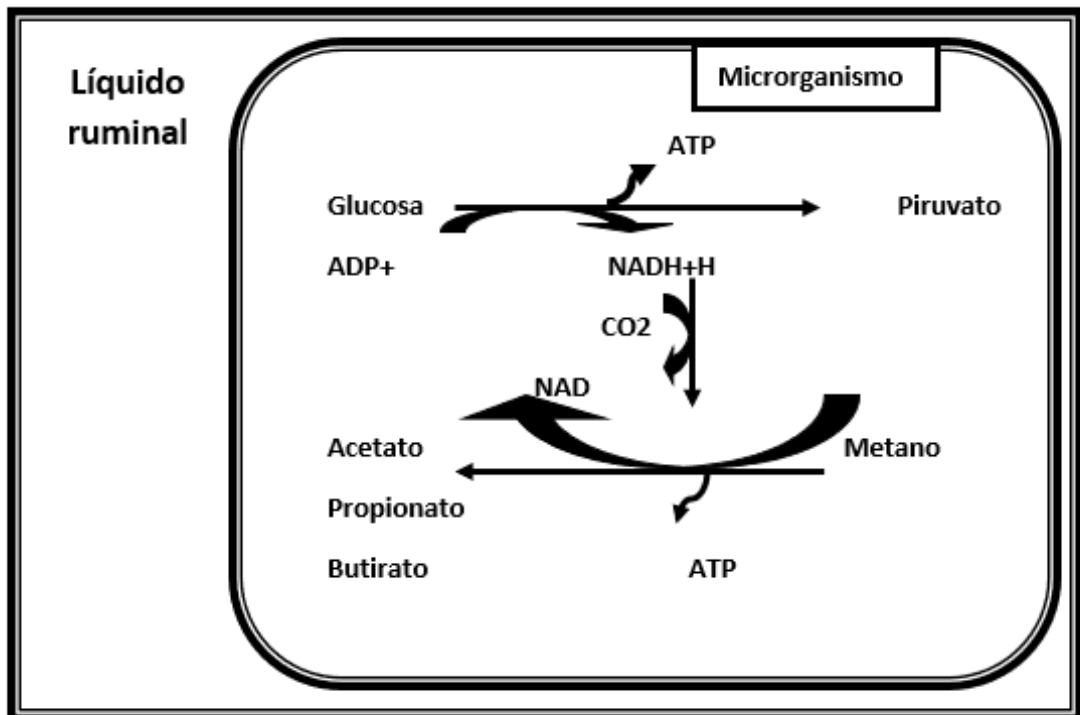


**Figura 2.** Metabolismo de carbohidratos en rumiantes. Fuente: Departamento de Producción animal. Universidad de Córdoba. 2001.

Los microorganismos absorben la glucosa y otros azúcares y una vez en el citosol son incorporados a la vía de la glucólisis de la cual obtendremos ATP, piruvato y se llevará a cabo la formación de NADH + H (reducido). Para llevar a cabo la degradación de una segunda molécula de glucosa se necesita que el cofactor reducido vuelva a ser oxidado a NAD<sup>+</sup> (Relling y Mattioli 2003), al no poseer una cadena respiratoria que acepte los iones H<sup>+</sup>, los microorganismos los transportan a distintos aceptores de hidrógeno, siendo uno de los principales el carbono, dando lugar así a la formación de CH<sub>4</sub>.

El piruvato puede servir también como aceptor de hidrogeniones, de tal forma que se reduce aún más dando lugar a la formación de los ácidos grasos volátiles (AGV)

(Figura 3). Posteriormente los AGV son absorbidos por la pared del rumen y son incorporados al ciclo de Krebs, donde servirán como sustrato (Nava y Díaz, 2001).



**Figura 3.** Metabolismo de los AGV. Fuente: Departamento de Producción animal. Universidad de Córdoba. 2001.

### 2.6.1.1. Metano

Los animales producen CH<sub>4</sub> naturalmente durante el proceso digestivo, producto de la fermentación del alimento consumido por los microorganismos presentes en el tracto digestivo, el cual será finalmente exhalado o eructado por el animal. Las principales especies productoras de metano en el sector ganadero son los rumiantes y CSA (bovinos, ovinos, caprinos, búfalos, alpacas, llamas), esto debido a que en el rumen la principal forma de eliminación de hidrógeno es la formación de CH<sub>4</sub> (Moss *et al.*, 2000).

El proceso de producción de CH<sub>4</sub> está a cargo de los microorganismos denominados metanógenos, los cuales pertenecen al dominio *Archaea* y son comúnmente llamados arqueas. Las arqueas metanógenas se encuentran en los cavidades digestivas de los rumiantes y CSA, de los cuales se ha identificado a *Methanobrevibacter millerae* como

el microorganismo más abundante en los compartimientos digestivos de los CSA (St-Pierre y Wright, 2012).

Estos microorganismos tienen como aceptor final de electrones al carbono y su crecimiento se ve inhibido por el oxígeno, por lo cual no necesitan oxígeno para respirar, éstos aprovechan el H<sub>2</sub> producto durante la degradación de los alimentos, como fuente de energía para reducir CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> como último paso de la fermentación entérica (Janssen y Kirs, 2008).

Los factores que influyen en la metanogénesis son diversos, desde los que dependen del animal hasta otros externos. Los aspectos externos son el tipo de alimento utilizado, la especie animal, la cantidad de alimento consumido, la digestión de este. Los aspectos internos están relacionados con el tipo de AGVs producidos, el pH del rumen, etc. (Johnson y Johnson, 1995).

Existen tres rutas fisiológicas para la producción de CH<sub>4</sub>:

- **Ruta hidrogenotrófica:** En la que se reduce dióxido de carbono con hidrógeno
- **Ruta metilotrófica:** Tomando como base compuestos de metilados como el metanol y aminas metiladas
- **Ruta acetoclástica:** Producto de la división del acetato (Thauer *et al.*, 2008; Liu y Whitman, 2008; Ferry, 2011).

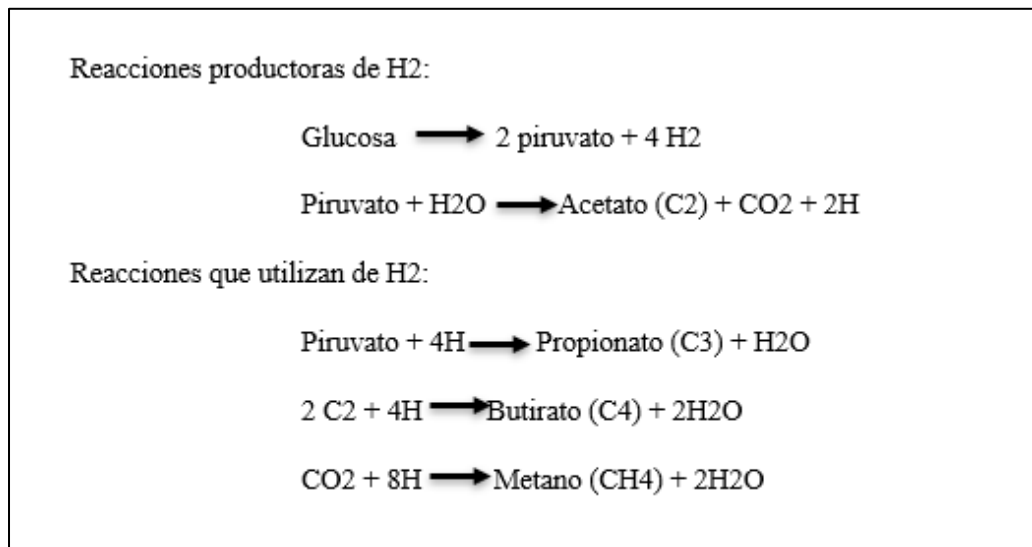
## ❖ Factores que afectan la producción de metano

### a) Fisiología digestiva

Los estudios realizados en rumiantes indican que el 87% de la producción de CH<sub>4</sub> ocurre en el rumen, mientras que de lo producido en el tracto posterior un 89% es absorbido hacia la sangre para ser expirado por los pulmones, de tal manera se podría decir que aproximadamente un 98% del CH<sub>4</sub> que producen será eliminado a través de los orificios nasales y la boca. (McCaughey *et al.*, 1997)

Uno de los factores que afecta la producción de CH<sub>4</sub> es la cantidad de carbohidratos que se fermentan en el rumen-retículo, la cual está directamente relacionada con la interacción dieta-animal y la tasa de pasaje del alimento. La

producción de AGV es el otro factor que afecta la producción de hidrógeno y a su vez la de CH<sub>4</sub> (Jhonson y Jhonson, 1995).



**Figura 4.** Procesos fermentativos en la producción de metano. Fuente: Moss *et al*, 2000

En la figura 4, se resume la estequiometría de los procesos fermentativos que tienen lugar en el rumen, puede observar que el acetato y el butirato promueven la producción de metano, mientras que el propionato puede ser considerado un competidor en la producción de metano (Moss *et al*, 2000). De tal manera que si la dieta contiene almidón en mayor proporción se produce una mayor cantidad de propionato y una menor cantidad de acetato y butirato, lo que conlleva a una menor emisión de CH<sub>4</sub> (Demeyer y Hendrickx, 1967).

## b) Ambiente

Las pasturas de menor calidad con un mayor contenido lignocelulósico y de baja digestibilidad generan una mayor producción de CH<sub>4</sub>, es así como los animales que son sometidos a condiciones en las que el forraje es escaso y de mala calidad generan mayor cantidad de CH<sub>4</sub>, lo cual ha sido comprobado en modelos *in vivo* e *in vitro*. (Boadi *et al.*, 2002; Ominski y Wittenberg, 2004).

El ambiente en el que se desarrollan los vegetales va a influir en la composición química de estos, por ejemplo, los rumiantes alimentados con pastos subtropicales (C<sub>4</sub>) producen una mayor cantidad de metano por unidad de materia seca digerida que

los que se alimentan con pastos de climas templados (C3), esto debido a que los primeros poseen una mayor cantidad de lignocelulosa (Ulyatt *et al.*, 2002).

### **c) Producción y genética**

El sistema de producción, la raza (Pedreira *et al.*, 2009) y la selección de animales que consumen una menor cantidad de alimento o producen menos metano son parte de las estrategias empleadas por los productores para mitigar las emisiones de CH<sub>4</sub> (Boadi *et al.*, 2002).

#### **2.6.1.2. Ácidos grasos volátiles**

La mayor parte de carbohidratos presentes en la dieta se fermentan en el rumen para formar AGV, debido a la acción de enzimas microbianas. La descomposición de los carbohidratos en AGV en el rumen se puede dividir en dos etapas:

- I) La hidrólisis extracelular de carbohidratos a monosacáridos, incluido el piruvato.
- II) La conversión intracelular de los monosacáridos en piruvato y su metabolismo intracelular para formar AGV.

La concentración de AGV en el rumen del equilibrio entre sus tasas de producción y absorción en las células epiteliales del rumen. Las proporciones relativas de AGV se ven afectadas por la proporción de carbohidratos solubles y fibras insolubles en la dieta, de manera que los forrajes maduros fibrosos que contiene una alta proporción (~70 %) de acetato, 20 % de propionato y 10 % de butirato, pero los forrajes menos maduros tienden a producir una menor proporción de acetato y una mayor cantidad de proporción de propionato (Wu, 2017).

La mayoría de los datos acerca de la producción de AGV proviene de estudios realizados en rumiantes, sin embargo, se han llevado a cabo algunos estudios en CSA. Un estudio realizado en llamas y guanacos reveló que el pico de concentración de AGV se da entre las 1.5 y 2 horas post alimentación (Vallenas & Stevens 1971). Otro estudio llevado a cabo en ovejas y alpacas con el mismo régimen alimenticio, pero a diferentes altitudes (3320 msnm y al nivel del mar), en el cual se pudo observar que

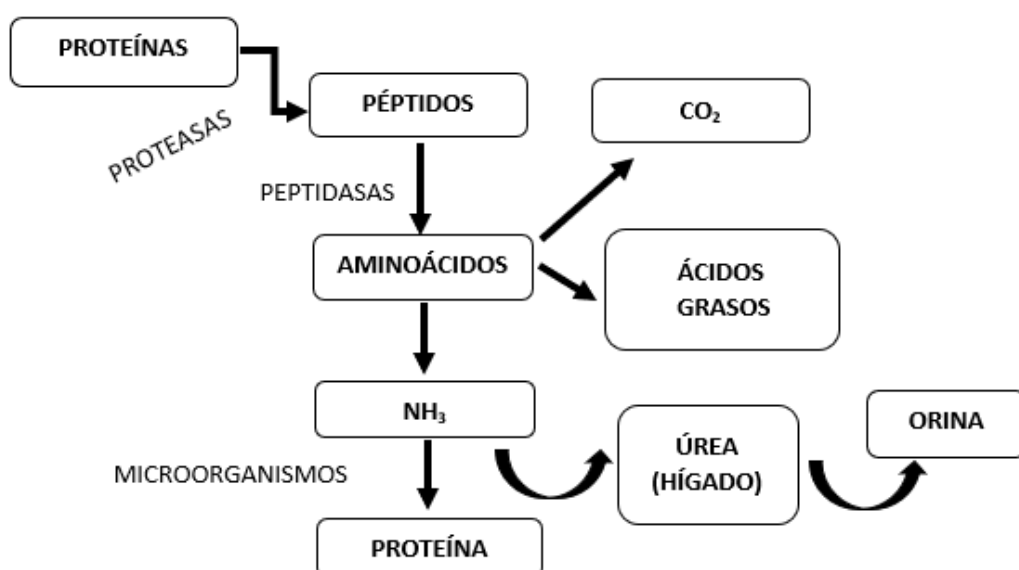


las ovejas tuvieron una tasa de fermentación más rápida que lo observado en alpacas, empero, no encontraron diferencias a nivel del mar. (Vallenas et al. 1973a).

En cuanto a las alpacas, estas registraron una mayor concentración de AGV a las 6 horas post alimentación, también se observó que los niveles de pH ruminal en ovejas fueron más ácidos que en alpacas aún en concentraciones similares de AGV, lo cual sugiere que las alpacas poseen mecanismos tamponantes que aseguran el óptimo desarrollo de los microorganismos anaerobios existentes en el estómago y éstas puedan aprovechar al máximo los alimentos ingeridos.

### 2.6.1.3. Amoníaco

Los rumiantes son los únicos con la fisiología digestiva para convertir fibras, forrajes y nitrógeno de origen no proteico en sustrato para la síntesis proteica de bacterias y protozoarios. El metabolismo del nitrógeno tiene como producto final al amoníaco, en la figura 5, podemos observar que las proteínas provenientes de la dieta son degradadas por los microorganismos en el rumen para formar amoníaco y ácidos orgánicos, otra fuente de amoníaco viene de la ingesta nitrógeno no proteico y de la urea reciclada de la saliva y absorbida a través de la paredes del rumen (Wu, 2017).



**Figura 5.** Metabolismo de las proteínas en rumiantes. Fuente: Departamento de Producción animal. Universidad de Córdoba. 2001.

El amoníaco producido sigue varias rutas metabólicas y está directamente relacionado con la cantidad de carbohidratos ingeridos, podemos señalar que el amoníaco sirve como base para la síntesis de proteína de los microorganismos, si la cantidad de carbohidratos ingeridos es altamente digestible el exceso de amoníaco será absorbido por las paredes ruminales y llegará al hígado donde se incorpora al ciclo de la citrulina/ornitina y se transforma en urea, de no ser así una deficiencia en la producción de éste puede repercutir en una escasez de proteína para los microorganismos y afectar la digestibilidad de los alimentos (Arias y Nesti de Alonso, 1999; Relling y Mattioli, 2003; Van Saun, 2006).

## **2.7. CAMBIO CLIMÁTICO**

El cambio climático (CC) se puede definir como la variación no natural del clima, originado directa e indirectamente por todas las actividades humanas. Este cambio altera la composición química de la atmosfera a nivel mundial y altera la variabilidad natural del clima que fue observada durante periodos de tiempo similares. Estos conceptos reciben críticas de ciertos sectores, sin embargo, de acuerdo con la Convención Marco sobre Cambio Climático se vienen aceptando. El CC se ve influenciado por otros factores como los parámetros orbitales de la tierra, la actividad volcánica, la radiación solar y los movimientos de la corteza terrestre (Benavides y León, 2007).

### **2.7.1. Efecto invernadero**

La atmósfera terrestre está compuesta en su mayoría por gases diatómicos y monoatómicos, como el nitrógeno, oxígeno y argón, los cuales permiten la entrada y salida de la energía proveniente del sol, sin embargo los otros gases poliatómicos tales como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el ozono (O<sub>3</sub>) y el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), denominados también gases de efecto invernadero (GEI), pueden absorber y reemitir la radiación infrarroja, reteniendo una parte de la energía proveniente del sol en la atmósfera, provocando así el efecto invernadero (Power, 2009). Dentro de

este grupo de gases el CO<sub>2</sub> es el GEI más abundante, sin embargo, los últimos estudios reportan que el impacto del CH<sub>4</sub> es 23 veces mayor que el del CO<sub>2</sub> (IPCC, 2007).

El efecto invernadero natural permite que una parte de la radiación solar sea retenida en la superficie de la atmósfera, lo cual permite aumentar la temperatura terrestre, de no ser así el planeta experimentaría temperaturas de -18° bajo cero, haciendo imposible el desarrollo de vida en la tierra, sin embargo, en los últimos años la concentración de GEI producto de la actividad humana ha ido en aumento, de tal manera que la temperatura terrestre está en constante aumento, afectando a los ecosistemas (Benavides, 2007).

### **2.7.2. Calentamiento global**

Por definición el calentamiento global es el incremento paulatino de la temperatura del planeta. Este incremento se debe directamente a un incremento en la emisión de GEI que impide que la radiación solar salga con normalidad de la atmósfera, reteniendo más rayos infrarrojos que hacen elevar la temperatura (Benavides y León, 2007), de tal manera que se verá afectado el normal desarrollo de la vida en los distintos ecosistemas existentes en el planeta.

### **2.7.3. Marco internacional**

En el año 1992, se llevó a cabo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD, Río de Janeiro), en la que se discutió sobre desarrollo sostenible y otros factores que colaboren con la vida saludable del ser humano, entre ellos el medio ambiente, por lo cual los países participantes firmaron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), para regular las emisiones de GEI y de esa manera mitigar el cambio climático y el daño a los ecosistemas que éste produce (Tubiello *et al.*, 2015).

Como respuesta a los efectos del calentamiento global y el cambio climático, los países miembros de la CMNUCC firmaron el protocolo de Kyoto en 1997, en el cual se comprometen a buscar estrategias para reducir la emisión de GEI, así como también presentar un inventario de la emisión de los GEI (INGEI), para lograrlo los países cuentan con el apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). El primer período del protocolo de Kyoto comprende desde 2008 y

finalizó en 2012. El segundo periodo comenzó el 1 de enero de 2013 y finalizó en 2020 (FAO, 2015).

Los INGEI se elaboran en función a lo establecido en los artículos 4 y 12 de la CMNUCC y en las Directrices del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), donde se describen los siguientes sectores:

- ✓ Uso de suelo, cambio de suelo y silvicultura
- ✓ Energía
- ✓ Agricultura
- ✓ Desechos
- ✓ Procesos industriales

En el año 2019, la FAO determinó que el 19% de los GEI proviene de la ganadería. La ganadería contribuye al CC de forma directa, por los gases que se producen durante la fermentación entérica y de los productos desecho que generan los animales. De forma indirecta la ganadería emite GEI a través de las actividades desarrolladas durante la producción de alimentos y la conversión de bosques en pastizales (FAO, 2019).

#### **2.7.4. Situación del Perú en el contexto internacional**

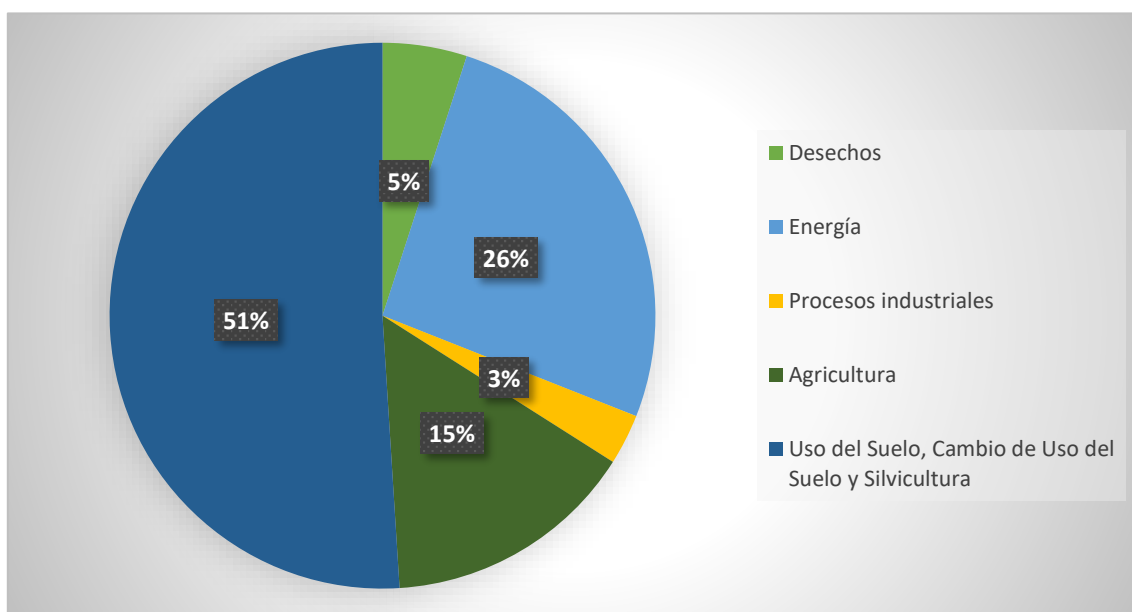
El Perú es considerado un país biodiverso, ya que alberga más del 70% de la biodiversidad del planeta (ONU, 1992), esta biodiversidad se debe a varios factores como la ubicación del Perú en la parte central de América del Sur, y por el territorio que abarca, teniendo un área de 1 285 216.5 km<sup>2</sup>, además un aspecto importante que influye en la biodiversidad es que el Perú es atravesado longitudinalmente por la cordillera de Los Andes, la cual divide nuestro país en tres regiones naturales: Costa, sierra y selva.

La región costera comprende un 11.7% de territorio nacional, donde se concentra la mayor parte de la población, siendo aproximadamente un 54.6% de la población. La sierra comprende el 28% del territorio nacional, en esta zona está asentada el 32% de la población. La zona selvática es la zona más amplia, esta abarca el 58.9% del territorio nacional y solo alberga al 13.7% de la población (MINAM, 2014).

Dentro de las actividades que se desarrollan en el país la actividad agropecuaria es una de las principales y es la mayor fuente de ingreso para la población andina que representa al 63.9% de los agricultores del país, siendo así que el 30.1% del territorio nacional es utilizado para dicha actividad, siendo la región donde se desarrolla el mayor porcentaje de ésta la Sierra (MINAGRI, 2013<sup>a</sup>).

En el año 1992, Perú firmó como miembro de la CMNUCC y ratificó en 1993, comprometiéndose a “estabilizar la concentración de GEI en la atmósfera y evitar llegar a un nivel de interferencia antropogénica peligrosa”. En el año 2002 se ratifica el compromiso al firmar el protocolo de Kyoto. El Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), se encarga de la elaboración de los programas para disminuir las emisiones en el sector agrícola, las cuales provienen en su mayoría de los cultivos de arroz, cultivos agroindustriales, ganado doméstico, camélidos sudamericanos, pastos y forrajes, agroforestería, y ecosistemas degradados.

En la figura 6, se puede apreciar las categorías definidas por el IPCC en la elaboración del INGEI del año 2012, que comprende el cálculo de las emisiones de origen antropogénico y de absorción por sumideros de los GEI. Producto de estas estimaciones se obtuvo como resultado que el total de emisiones/remociones de GEI son de 171,31 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Mt CO<sub>2</sub>eq) (MINAM, 2012).



**Figura 6.** Distribución de las emisiones de GEI por categorías. Fuente: MINAM, 2012

Las emisiones de GEI derivadas de las prácticas agrícolas tienen su origen principalmente en las siguientes fuentes:

- ✓ Fermentación en las cavidades digestivas
- ✓ Gestión de estiércol
- ✓ Quema de biomasa
- ✓ Suelos gestionados
- ✓ La alcalinización

## **2.8. TÉCNICAS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD DE LOS ALIMENTOS EN RUMIANTES**

Se ha vuelto de suma importancia para la producción y bienestar animal, el conocer el aporte nutritivo de los alimentos que le son proporcionados, para ello podemos emplear criterios como el de la digestibilidad, que viene a ser un indicador de la facilidad del alimento para ser convertido en sustancias útiles al organismo en el tracto digestivo, de tal manera que deberíamos obtener valores bastante variables dependiendo de la especie de estudio, sean carnívoros, herbívoros u omnívoros (FAO, 1994).

En el caso de los rumiantes y CSA consumen mayormente forrajes y para determinar la digestibilidad de éstos se han implementado diferentes métodos desde la antigüedad, por ejemplo, los sistema de digestibilidad *in situ*, *in vivo* o *in vitro*, éstos son usados para estimar la digestibilidad del alimento pero también aportan información sobre la composición del mismo como la cantidad de materia seca (MS), cantidad de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), lignina y cenizas, así como la producción de gases como el CH<sub>4</sub> y los AGV que son producidos durante la digestión.

### **2.8.1. Digestibilidad *in situ***

La primera prueba de digestibilidad *in situ* fue ejecutada por Ørskov y su equipo, que determinaron que el material más adecuado para soportar las condiciones de digestión en el rumen es el nylon, debido a porosidad y resistencia específicas. El

método consiste en introducir la muestra de alimento en bolsas nylon con tamaño del poro conocido, las cuales serán colocadas en el rumen por una cantidad determinada de horas. De esta manera el sustrato digerido será la diferencia de peso seco de las bolsas antes y después de ser introducidas en el rumen y proporciona información útil para estimar la fermentación de los componentes del alimento, así como el consumo voluntario (Bailey e Hironacka, 1970; Mehrez y Ørskov, 1977; Ørskov y McDonald, 1979; Ørskov, 2000). Este método no puede ser considerado *in vitro* debido a que se realiza dentro del rumen del animal, por lo que se le conoce como método *in situ* o *in sacco*.

Basándose en esta técnica Nocek logró determinar la digestión de la materia orgánica (MO), tomando en cuenta que está formada por la pared celular, además determinó los requisitos y condiciones para llevar a cabo un adecuado ensayo entre las cuales se encuentran:

- Porosidad de las bolsas de nylon (40 a 60  $\mu\text{m}$ ).
- El tamaño adecuado de las partículas de la muestra
- El tamaño de la muestra en relación a la superficie de la bolsa (10 a 20  $\text{mg}/\text{cm}^2$ )
- Animal o unidad experimental
- Incubación pre ruminal
- Inserción de las bolsas (ingresar las bolsas con intervalos y tiempos específicos lo mismo que en el momento de retirarlas).
- Lavado post ruminal
- Tiempos de incubación (de 0 a 6 horas: de 3 a 6 puntos de tiempo, de 6 a 24 horas: de 3 a 6 veces, >25 horas: 6 a 12 intervalos).

Este método fue ampliamente utilizado para predecir la digestibilidad de los alimentos, sin embargo, presenta algunas desventajas como el tener que contar forzosamente con animales fistulados, la pérdida de partículas muy pequeñas por la porosidad de las bolsas de nylon y el tener que trasladar muestras a un laboratorio especializado para el análisis, lo cual eleva los costos.

### **2.8.2. Digestibilidad *in vivo***

El método de digestibilidad *in vivo* es más tedioso de realizar debido a que implica tener a animales sometidos a condiciones específicas o las denominadas “*jaulas metabólicas*”, que consisten en que los animales de estudio tengan acceso solo a un tipo de alimento y agua, y permitir recoger las heces y orina post consumo de éste, sin embargo, antes de iniciar este tipo de ensayo se debe acostumbrar a los animales a la dieta que le será suministrada para que desarrollen también una flora intestinal adecuada para su digestión, por un periodo mínimo de 7 días. (Crampton, 1956 & Raymond *et al*, 1953)

La estimación de la digestibilidad del alimento se hace calculando la diferencia de los nutrientes presentes en el alimento consumido con los que aparecen en las heces, de esta manera se pueden obtener valores de MS, ceniza, proteína, extracto etéreo, fibra cruda y fibra total. Para ello es necesario tomar las muestras de heces y orina directamente de la jaula metabólica, esto parece sencillo, pero puede ser un proceso tedioso, ya que si llegan a mezclarse pueden invalidar todo el estudio (Galina *et al*, 2009). Debido a estas desventajas la propuesta de sistemas de digestibilidad *in vitro* se ha convertido en la alternativa más rentables.

### **2.8.3. Digestibilidad *in vitro***

Tilley y Terry en el año 1963, desarrollaron una técnica sencilla para la determinación de la digestibilidad *in vitro* de la MS y la MO de los alimentos, utilizando cantidades pequeñas de sustrato que son llevadas a incubación en tubos o botellas de vidrio, a los que se le añade un inóculo ruminal, pepsina y diversas cantidades de solución amortiguadora, minerales y una solución reductora. La fermentación se estimaba por desaparición gravimétrica del sustrato.

Sin embargo, a pesar de ser un método sencillo y ampliamente usado debido a su precisión para estimar y predecir la DIV de algunos alimentos y especialmente de los forrajes presenta la desventaja de no proporcionar ninguna información acerca de la cinética de degradación en el rumen, vale decir que podríamos obtener resultados similares o iguales para dos muestras con períodos de incubación distintos (Beever y Mould, 2000)



### 2.8.3.1. Cultivos de microorganismos ruminales de corta duración

#### a) Técnica de gases

Según los ensayos e investigaciones que se han llevado a cabo a lo largo de los años, esta técnica permite evaluar las características de los alimentos midiendo la desaparición de la FDN o el gas liberado durante la fermentación. Para ello es necesario tener en cuenta que existen factores que pueden afectar la digestibilidad *in vitro*, como la especie, el manejo alimentario y el tiempo de incubación, por lo que este método se encuentra aún en constante revisión.

Actualmente se utilizan sistemas automatizados como las jeringas graduadas, que cuentan con sensores electrónicos que miden la presión del gas liberado en la parte superior de los frascos (Menke y Steingas, 1998), las mediciones se hacen a tiempos específicos (2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 24, 30, 36, 48, 72 y 96 horas), lo que permite estimar y predecir la digestibilidad de los forrajes.

Para la determinación de la digestibilidad *in vitro* es necesario contar con las siguientes especificaciones:

- Los forrajes o “sustratos” deben ser deshidratados y pasar por un molino de partículas de 1mm, de tal manera que permite una mejor actividad microbiana al momento de la digestión.
- Una sustancia buffer con un pH mayor a 6, que contenga una mezcla de bicarbonato y fósforo para una óptima producción de gases.
- Gasear el inóculo con CO<sub>2</sub> para que la sustancia buffer permanezca en anaerobiosis y se desarrolle una adecuada actividad microbiana. Algunos autores como Grant y Mertens reportan que el gaseo continuo con CO<sub>2</sub> permite una más rápida colonización del sustrato y, por lo tanto, una mayor digestión de la FDN (Grant y Mertens, 1992).
- Incubar a 39°C, similar a la temperatura de los animales donantes de licor ruminal, de modo que factores como la actividad microbiana, presión y volumen del gas no se vean afectados.
- Agitación periódica de los frascos durante la incubación, para evitar el incremento de presión, ya que el CO<sub>2</sub> suele formar soluciones sobresaturadas en medios acuosos, afectando las lecturas de volumen presión y; a su vez el hará que se disparen los tapones perdiendo así la lectura

Es importante resaltar que la energía necesaria para la actividad microbiana es producto de la fermentación de los carbohidratos como la celulosa y hemicelulosa, que al ser digeridos en anaerobiosis producen gases como AGV, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, succinato, lactato e hidrógeno, además de aportar el carbono necesarios para la formación de biomasa microbiana (Makkar, 2001).

## **b) Método de Daysi II**

El sistema estadounidense ANKOM (Daisy II, Ankom Corp.), consiste en calcular la digestibilidad de los alimentos colocados en pequeñas bolsas y a su vez en frascos de vidrio que giran de manera permanente en una cámara a 39°C, se utilizan cuatro frascos de vidrio en los que se coloca dos litros de licor ruminal al 20%, posteriormente se realiza la determinación de FDN y FDA en otros equipos. Según las pruebas realizadas con este sistema se puede decir que este sistema arroja predicciones casi exactas de digestibilidad aparente y verdadera (Julier *et al.*, 1999; Vogel *et al.*, 1999).

Algunas adaptaciones de esta técnica se desarrollaron retirando las bolsas a diferentes tiempos de incubación para lograr estimar la digestibilidad de la materia seca y otras fracciones del alimento. Sin embargo, se observó que algunos de los problemas que presenta esta técnica son similares a los que ocurren con el método de bolsa nylon, como puede ser la pérdida de partículas muy pequeñas o solubles, lo cual limita la cantidad y el tipo de alimento a analizar. Además, esta técnica no aporta valores para la medición de gases (Mould y Nordheim, 1998)

### **2.8.3.2. Cultivos de microorganismos ruminales de larga duración (CMRLD) Rusitec**

Otra variante de las técnicas para medir la digestibilidad de los alimento es el uso de fermentadores de flujo semicontinuo, de los cuales el más usado es el Rusitec (Rumen simulation technique), o técnica de simulación del rumen fue creado en 1977 por Czerkawski y Breckenridge, el cual consiste en utilizar cuatro recipientes colocados en una base con agua temperada a 39°C, para simular la temperatura del animal, “*un Rusitec es un rumen sin pared ruminal y sin dientes*” (Czerkawski, 1986), cada recipiente cuanta con contenido ruminal y el sustrato a analizar en bolsas de nylon, además cuenta con válvulas de entrada que permiten añadir saliva artificial simulando

un flujo constante como ocurre en la rumia, y válvulas de salida que recolectan el efluente producido por el proceso de digestión y fermentación. Para el análisis de gases, éstos serán recolectados en bolsas en las cuales se puede medir la presión con un manómetro y posteriormente llevados analizados por cromatografía de gases (Czerkawski y Breckenridge, 1977).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL EXPERIMENTAL**

##### **3.1.1. Lugar de ejecución**

El estudio se desarrolló en la Estación Experimental IVITA Maranganí, ubicado en el distrito de Langui, provincia de Canas, región Cusco. El trabajo de laboratorio se realizó en el Laboratorio de Zootecnia y Producción Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú y en el laboratorio de Nutrición Animal de la facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad de León, España.

##### **3.1.2. Animales**

Se utilizaron doce alpacas macho, en rango de edad de 3 a 5 años (adultos) y un peso promedio de 60 kg aproximadamente, en condiciones de pastoreo natural con una dieta compuesta por *Festuca dolichophylla* y *Muhlenbergia fastigiata*, *Alchemilla pinnata*, *Carex sp* y *Plantago sp*.

#### **3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL U OBSERVACIONAL**

##### **3.2.1. Recolección de muestras**

Se lleva a cabo mediante la técnica de simulación manual (Austin *et al.*, 1983), en la cual una sola persona es designada como el “observador”, cuya función es

acercarse e identificar la dieta seleccionada por los animales y luego efectuar el corte de las pasturas de la manera más similar posible.

Las muestras se tomaron de 50 estaciones alimentarias, que son el área del semicírculo frente al animal donde se detiene a ingerir las pasturas (Flores, 1993), colocadas en bolsas de papel, rotuladas y enviadas al laboratorio.

### **3.2.2. Procesamiento de muestras**

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron llevadas a la estufa a una temperatura de secar a 60°C durante 48 h para ser posteriormente molidas con un tamiz de 1 mm.

Para determinar la digestibilidad se pesaron muestras de 0.5 g de cada animal, las cuales fueron colocadas en botellas de digestibilidad de 120 ml, se agregaron 40 ml de solución tampón fosfato – bicarbonato (saliva artificial) y 10 ml de licor ruminal, posteriormente los tubos fueron gaseados con CO<sub>2</sub> por 15 segundos para desplazar el aire (condiciones de anaerobiosis), fueron sellados y llevados a la estufa a una temperatura de 38 – 39°C revolviéndose periódicamente (Tilley y Terry, 1963).

Transcurridas las primeras 24 horas del proceso de digestibilidad se procedió a medir la cantidad de gas producido por cada muestra, con una jeringa de vidrio y una aguja, de la cantidad total de gas producido se tomaron 15 ml del gas producido y fueron almacenados en tubos Vacutainer, para la determinación de CH<sub>4</sub>.

Para la determinación de amoníaco y ácidos grasos volátiles se tomaron 2 ml de fluido digestivo, los cuáles se colocaron en tubos eppendorff con ácido sulfúrico y fueron almacenados a -20°C.

### **3.3 ANÁLISIS**

#### **3.3.1. Análisis de los pastos**

##### **3.3.1.1 Determinación de Proteína**

Para determinar el contenido de proteína en los pastos se utilizó el método de Kjeldahl (AOAC, 2005), la muestra se descompone en un medio sulfúrico caliente en presencia de un agente reductor catalizador (mercurio, cobre o selenio), en el que se puede añadir una sal neutra que aumenta el punto de ebullición de la disolución de ácido sulfúrico, así aumenta la temperatura de trabajo y se favorece la descomposición.

El nitrógeno de la muestra se transforma en  $\text{NH}_4^+$ , se le adiciona una base y se libera el  $\text{NH}_3$ , que es arrastrado a un frasco colector por destilación del vapor, que contiene una solución estándar de ácido que será en parte neutralizada por el  $\text{NH}_3$ .

Al término de la destilación se procede a valorar el ácido no consumido con una disolución de base patrón hasta llegar al punto de equivalencia que permite conocer la cantidad de  $\text{NH}_3$ , y de esta forma, la cantidad de nitrógeno en la muestra, que puede transformarse en contenido proteico.

##### **3.3.1.2. Determinación de ceniza**

Para medir la cantidad de cenizas presentes en el forraje las muestras fueron llevadas a un horno de cocción o mufla a una temperatura de  $550^\circ\text{C}$  por 3 h (AOAC, 2005).

##### **3.3.1.3. Determinación de Fibra detergente neutra (FDN)**

Se realizó de acuerdo con los protocolos ANKOM, para lo cual las muestras fueron tratadas en el aparato de digestión - ANKOM Technology, Fiber Analyzer: A200/220 donde se les añade una solución detergente neutra por 75 minutos a  $100^\circ\text{C}$ , posteriormente se enjuagan y son llevadas a la estufa para secado a  $105^\circ\text{C}$  por 2 horas.

#### **3.3.1.4. Determinación de Fibra detergente ácida (FDA)**

Fue estimada siguiendo el protocolo ANKOM, en el que las muestras fueron tratadas para su digestión con una solución detergente ácida durante 75 minutos a 100 °C, luego se realizó el enjuague y fueron secadas en una estufa a 105 °C por 2 horas, ANKOM (2005c).

#### **3.3.1.5. Determinación de Lignina**

Se utilizaron las muestras tratadas previamente para la determinación de FDA, las cuales fueron llevadas a la incubadora DAISY<sup>II</sup> para su digestión, para ello se añadió ácido sulfúrico durante 3 horas, luego se enjuagaron y secaron por 2 horas en una estufa a 105 °C.

En el caso de la lignina detergente ácida en base a materia orgánica, las muestras fueron tratadas posteriormente al enjuague en una mufla por 3 horas a 525°C, ANKOM (2005a). Method N° 9 Acid Detergent Lignin in DAYSI. Filter bags technique.

#### **3.3.2. Medición de Metano**

Para la determinación de CH<sub>4</sub> se procedió a generar una curva con diferentes concentraciones de CH<sub>4</sub> (Cuadro 4), se prepararon los diferentes patrones con la solución madre para la determinación de CH<sub>4</sub>. Para ello fue necesario inyectar volúmenes diferenciados de CH<sub>4</sub> al cromatógrafo y relacionar con el área determinada, utilizando la curva de regresión lineal.

El metano se analizó inyectando 0,5mL de gas en un cromatógrafo de gases (Shimadzu GC 14B; Shimadzu Europa GmbH, Duisburg, Alemania), calentado a 200 °C y equipado con un detector de ionización de llama y una columna llena de Carboxen 1000 (Supelco, Madrid), España). Se usó helio como gas portador y los picos se identificaron por comparación con un estándar de concentración de metano conocida.

### Análisis de muestras:

- ✓ Inyectar 0.5 ml de gas al cromatógrafo de gas (Shimadzu GC 14B; Shimadzu Europa GmbH, Duisburg, Germany).
- ✓ Registrar el área de la muestra
- ✓ Determinar la concentración de la muestra a través de la curva de regresión determinada.

**Cuadro 4.** Patrones para la determinación de metano

PATRÓN	Metano (ml)	ESTÁNDAR	ÁREA
1	0.05	500 µl	
2	0.04	400 µl	
3	0.03	300 µl	
4	0.02	200 µl	
5	0.01	100 µl	

### 3.3.3. Medición de Amoníaco

Para la determinación de amoníaco se procesaron las muestras siguiendo los pasos detallados a continuación:

- 1) Agitar las muestras de fluido digestivo con el vórtex.
- 2) Recolectar 2 ml de las muestras y colocar en eppendorffs.
- 3) Llevar a la centrifuga a 4°C durante 15 minutos a 16000 g.
- 4) Separar del sobrenadante 0.8 ml para el análisis de AGV y otros 0.8 ml para el análisis del amoníaco y colocar en eppendorffs nuevos.

**Preparación de los patrones:** Se emplean para hacer la curva de calibración.

- 1) Se prepara una solución madre 150 mM utilizando como soluto  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Para ello se pesa 1 g de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (corregido al 99% de pureza) y se disuelve en un volumen final de 50 ml.
- 2) En el cuadro 5, se muestra cómo se preparan los diferentes patrones para la medición de amoníaco.



**Cuadro 5.** Patrones para la determinación de amoníaco.

Patrón	Volumen		Volumen total	Concentración de N	Concentración (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Concentración de N en 20 µl
	solución madre (150 mM)	H <sub>2</sub> O				
A	4.77 ml	45.33	50 ml	400 mg N/L	1.89 g/L	8 µg N/20 µL
B	3.58 ml	46.42	50 ml	300 mg N/L	1.41 g/L	6 µg N/20 µL
C	2.39 ml	47.61	50 ml	200 mg N/L	0.94 g/L	4 µg N/20 µL
D	1.19 ml	48.81	50 ml	100 mg N/L	0.47 g/L	2 µg N/20 µL
E	0.6 ml	49.20	50 ml	50 mg N/L	0.24 g/L	1 µg N/20 µL

**Preparación de las soluciones:**

- 1) Se preparan 2 L de la solución A Fenol nitroprusiato (Fenilnitroprusside). Para ello se pesan:
  - 20 g de fenol
  - 100 mg de nitroprusiato sódico
- 2) Se preparan 2 L de la solución B Hipoclorito de sodio (sodium hypochloride). Para ello se pesan:
  - 10 g de Na<sub>2</sub>O
  - 16.8 ml de hipoclorito de sodio

Estas soluciones deben conservarse en refrigeración, un mes como máximo.

**Análisis de las muestras:**

1. Se preparan tubos de 10 ml. Se utilizan tantos como muestras haya y para cada uno de los patrones. Además, por cada tanda de incubación se debe preparar un blanco.

2. Se añaden 20 uL de cada una de las muestras y de los patrones. En el caso del blanco se añaden 20 uL de H<sub>2</sub>O destilada.
3. Se añaden 5 ml de la solución A y otros 5 ml de la solución B en cada uno de los tubos.
4. Se ponen a incubar a 37°C durante 20 minutos. Observamos que el color en el interior de los tubos cambia a azul.

Se lee la absorbancia en el espectrofotómetro a 625 nm. Por cada tanda de incubación que vayamos a leer utilizamos primero el blanco para poner el espectrofotómetro a cero. En el caso de los patrones mejor empezar a leer por el más bajo para poder utilizar la misma cubeta.

#### **3.3.4. Medición de Ácidos grasos volátiles**

La concentración de ácidos grasos volátiles (AGV) se determinó mediante cromatografía de gases en un cromatógrafo Shimadzu GC 2010 equipado con un inyector automático, un detector de ionización de llama y una columna semicapilar TR-FFAP de 30 m x 0,53 mm x 1 bm (Supelco, Barcelona, España).

Para llevar a cabo la medición, primero se descongelaron las muestras a 4°C y se colocaron en la centrifuga a 16 000 x g por un intervalo 10 min a 4°C, luego se tomaron 0,8 ml del sobrenadante que fueron mezclados con 0,5 ml de una solución acidificante y desproteinizante (ácido metafosfórico (1%) y ácido crotonico (0,2%) en ácido clorhídrico 0,5 M), se dejan reposar durante 12 horas a 4°C para posteriormente centrifugar la mezcla nuevamente en condiciones ya descritas, y transvasarla a nuevos viales para su análisis en el cromatógrafo.

#### **3.3.5. Estimación de la digestibilidad de materia orgánica (DMO)**

Se utilizó la fórmula de Close y Menke (1986), que permite estimar la DMO con los valores obtenidos en la técnica de gases y análisis de los pastos.

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

Donde:

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

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

PC: Proteína cruda

Cz: Contenido de ceniza (g/kg)

### 3.3.6. Determinación de energía metabolizable (EM)

Con los datos obtenidos en la técnica de producción de gases y los valores de proteína cruda se pudo estimar la energía metabolizable (MJ/kg) utilizando la fórmula sugerida por Close y Menke (1986).

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

Donde:

EM: Energía metabolizable (MJ/kg)

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

PC: Proteína cruda

G: Grasa cruda

### 3.4. ANALISIS DE LA INFORMACIÓN

La información obtenida fue organizada y se presentan los resultados como promedio y la desviación estándar.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. COMPOSICIÓN DE LA DIETA EN ÉPOCA DE SECA

A partir de las muestras colectadas por el método de simulación manual se presenta la composición en el cuadro 6. Se determinó proteína, materia orgánica, FDN, FDA y lignina del alimento que consumieron las alpacas seleccionadas durante la época de seca.

Los valores obtenidos son similares a los que se han obtenido en estudios anteriores (Chino, 2020), sin embargo, nuestro estudio muestra algunas variaciones en algunos componentes de la dieta como es el caso de lignina, cuyo valor fue menor que el que se obtuvo en dicho estudio, esto puede atribuirse a que las muestras que colectamos fueron solo de las partes de la planta que consumían las alpacas, mientras que en el estudio mencionado colectan todo el pasto deseable para las alpacas.

**Cuadro 6.** Composición de la dieta en época de seca

	% (Promedio $\pm$ DE)
Proteína	11.37 $\pm$ 1.75
Ceniza	9.30 $\pm$ 2.23
FDN	67.10 $\pm$ 5.29
FDA	37.85 $\pm$ 1.89
Lignina	5.04 $\pm$ 0.49

Los valores de proteína encontrados fueron altos para la época seca, la razón para estos resultados puede ser que las alpacas suelen consumir mayor cantidad de gramíneas bajas en la estación seca (Tapia y Lascano, 1970), así como también seleccionan partes de la planta, siendo las hojas las que ocupan la mayor proporción de la dieta (Bryant y Farfan, 1984), estas estrategias alimenticias sirven a los animales para cubrir sus requerimientos durante etapas de baja calidad de la pastura. Un tema de importancia es que el trabajo fue realizado en una zona húmeda y permitió a las alpacas disponer de alimento de buena calidad.

Los valores de FDN y FDA encontrado, de la misma forma que la proteína, puede estar relacionado con los hábitos de consumo de las alpacas, el factor fibra guarda estrecha relación con el consumo voluntario de las alpacas, cuando el contenido de FDN de los alimentos es mayor, la capacidad del consumo de alimento se reduce (Meissner y Paulsmeier 1995). Esto es atribuido a que los animales necesitan un mayor tiempo de rumia para digerir el alimento fibroso, lo cual disminuye su consumo (Meyer *et al.* 2010), sin embargo, se ha observado que las alpacas durante la época de seca tienen un mayor consumo voluntario debido a una distensión de su tracto digestivo que le permite consumir más alimento (San Martín y Van Saun, 2014).

La determinación de la composición de la dieta en alpacas es un tema de mucha importancia, ya que permite conocer la calidad del alimento consumido y a partir de esta información tomar decisiones, sin embargo, la composición de la verdadera ración ingerida por las alpacas aún no se ha podido determinar con exactitud debido a la variabilidad de pasturas altoandinas y la selectividad de estas (San Martín, 1989). Este estudio utiliza el método de simulación como una alternativa para determinar la ración y el consumo de pasturas por alpacas en pastoreo en época de seca.

Para llevar a cabo el método de simulación manual se designó a una persona como “observador” y fue sometida a un entrenamiento previo a la realización del experimento, esto consiste en designar áreas específicas para los animales al pastoreo en las para ayudar al observador a categorizar las mordeduras de éstos con respecto al forraje (Agreil y Meuret, 2004).

El entrenamiento consiste en poder reconocer y clasificar las mordidas, en este caso de las alpacas, y una vez cómodos se entrenan registrando y simulando las mismos en tiempo real, a su vez los animales tienen que atravesar un período de acondicionamiento previo junto al observador, de modo que su rutina de alimentación no se vea perturbada (Agreil y Meuret, 2004). Esto nos permitió recolectar muestras más exactas no sólo del

tipo de forraje que consumen las alpacas, sino también replicar la mordida y así observar las partes del forraje que son más consumidas.

#### 4.2. PARÁMETROS DIGESTIVOS DE LA DIETA EN ÉPOCA DE SECA

Para la determinación de los parámetros digestivos se utilizó la técnica de producción de gases *in vitro*, los resultados de los parámetros fermentativos del forraje recolectado a través de la simulación manual se muestran en el cuadro 7. Se debe tomar en cuenta que la técnica utilizada se caracteriza por ser más económica y menos tediosa al lograr predecir la fermentación de los alimentos evaluando la cantidad de gas producido (Rymer *et al.*,2005).

**Cuadro 7.** Parámetros digestivos de la dieta seca

Parámetro	Promedio ± DE
Digestibilidad <i>in vitro</i> (%) (MS)	58.13 ± 5.4
Producción de gases (ml/g MS)	93.87 ± 13.63
Acético (μ mol)	782.19 ± 322.66
Propiónico (μ mol)	288.52 ± 94.62
Relación acético/propiónico (μ mol/μ mol)	2.65 ± 0.50
Metano (ml/g MS)	3.15 ± 1.56
Amoníaco (mg/L)	150.08 ± 34.67
Digestibilidad de la materia orgánica (DMO) (%)	42.73 ± 1.45
Energía metabolizable (EM)(MJ/kg)	4.10 ± 0.42

Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden en el rango de los valores reportados para la digestibilidad *in vitro* para los pastos consumidos por alpacas (San Martín, 1989), sin embargo, al analizar y comparar nuestros resultados con estudios anteriores para pastos en época de seca podemos observar que el porcentaje de **digestibilidad obtenido es mayor** que otros realizados previamente que indican que la calidad del forraje es de alrededor del 42.9% en época seca y un 55.3% en época lluviosa (San Martín, 1987) pero también son menores en el porcentaje de digestibilidad

promedio para laderas y bofedales que son del 63% y 64% a pesar de que éstos decrecen en época de seca (Reiner y Bryant, 1984).

La digestibilidad esta influenciada por composición química del forraje, existiendo un relación inversa con la contenido de fibra presente en el forraje, pudiendo estos factores ser la causa para los resultados que encontramos. Sin embargo, tanto por la selectividad de las alpacas y la zona húmeda en que se realizó el estudio la calidad del alimento consumido no fue baja y por ello la digestibilidad fue mayor a otros estudios que reportan que la digestibilidad de los pastos en época seca es menor lo mismo que la calidad.

La selectividad, el consumo de alimento y la época del año también son un factor de importancia para tener en cuenta para determinar la digestibilidad de la ración consumida por los animales al pastoreo, la alpaca es un animal altamente adaptable que puede variar su selectividad al pastoreo según la disponibilidad del forraje (Bryant y Farfán, 1984; Huisa, 1985; Bryant, 1986), también observamos que en época seca las alpacas dedican menos tiempo al descanso y pasan más tiempo pastoreando (Pfister *et al*, 1989).

En nuestro caso el método de simulación manual nos permite una aproximación hacia la ración verdadera del alimento consumido por la alpaca, ya que por las características mencionadas se le categoriza dentro del grupo de animales intermediarios en selección de forraje (Van Soest, 1982), lo que quiere decir que se adapta y utiliza una amplia variedad de vegetación, sin embargo, este método nos permite que es lo que realmente está consumiendo para cubrir sus requerimientos nutricionales y la verdadera calidad del forraje consumido.

Al evaluar los datos correspondientes a la **producción de gases y CH<sub>4</sub> podemos observar que fueron menores** a los que se obtuvieron analizando de manera individual cada especie de forraje consumido (Chino, 2020), la diferencia es que en nuestro caso se analizó la totalidad del forraje consumido por la alpaca, de tal manera que puede que en el proceso fermentativo de las pasturas los componentes en conjunto hayan evitado que se libere mayor cantidad de gas. Además, debemos tener en cuenta que los factores que determinan la producción de CH<sub>4</sub> son: la materia orgánica fermentada, la eficiencia del crecimiento bacteriano y tipos de ácidos grasos volátiles (Bannink, 2010).

A mayor digestibilidad habrá una mayor producción de gases, producto de la fermentación de los carbohidratos que da como productos gases (CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> principalmente) y ácidos grasos de cadena corta, así se podría decir que el origen del

gas es producto de la fermentación de los carbohidratos a acetato, propionato y butirato (Getachew *et al.*, 1998).

También se evaluó la producción de AGV, principalmente ácido acético y propiónico, obteniendo un mayor proporción del primero, y una mayor relación ácido acético: ácido propiónico, acerca de esto se sabe que en dietas con altos niveles de fibra y bajos niveles de concentrado favorece a una mayor relación ácido acético: ácido propiónico (McAlliester *et al.*, 1996).

Cabe resaltar también que, en relación con la producción de CH<sub>4</sub>, se considera a los ácidos acético y butírico como precursores de la producción de CH<sub>4</sub>, mientras que el ácido propiónico actúa como competidor en el uso de H<sub>2</sub> en el rumen (Moss *et al.*, 2000).

La relación ácido acético: ácido propiónico juega un papel fundamental en la metanogénesis, donde se ha determinado que si esta relación llegase a ser de 0.5 las pérdidas energéticas serían de 0% pero de no producirse ácido propiónico la pérdida energética podría alcanzar el 33%, sin embargo, la variación de la relación acético: propiónico puede variar entre 0.9 a 4, por lo tanto, las pérdidas energéticas por CH<sub>4</sub> tienen un amplio margen de variación (Jhonson y Jhonson, 1995).

El CH<sub>4</sub>, es un potente gas invernadero, en la ganadería este se produce a partir de la fermentación, existiendo una fuerte relación con la calidad del alimento, si el alimento contiene un mayor nivel de fibra cruda generara una mayor producción de CH<sub>4</sub>, ya que esta fibra orientara a una mayor producción de ácido graso acético y con ello producción de hidrógenos que son la materia prima para la producción de CH<sub>4</sub> (Moss *et al.*, 2000).

En la época de seca la calidad y disponibilidad del forraje también influirán en una mayor producción de CH<sub>4</sub> debido a que los forrajes se encuentran más secos y con un mayor contenido lignocelulósico, lo que los hace menos digestibles (Boadi *et al.*, 2002; Ominski y Wittenberg, 2004).

Otro dato de interés en el análisis *in vitro* es la producción de nitrógeno, que se da en forma de amoníaco y es afectado directamente por varios factores como lo son la disponibilidad de nitrógeno en la dieta, las tasas de digestión y pasaje de las proteínas y la energía metabolizable (Van Saun, 2006).

El amoníaco producido se relaciona directamente con la cantidad de carbohidratos ingeridos y con el porcentaje de digestibilidad del alimento consumido, en los rumiantes la urea se hidroliza en el rumen por acción de la enzima ureasa dando como productos



CO<sub>2</sub> y amoníaco, el cual actúa debilitando las paredes lignificadas del alimento ingerido, permitiendo actuar a los microorganismos del rumen y llevando a cabo una fermentación y liberación de nutrientes más efectiva, dando como resultado una mayor digestibilidad (Emmanuel *et al.*, 2015).

Se ha determinado también que la enzima ureasa en los CSA, actúa en mayor medida en C1 a comparación del C2 (Patra y Aschenbach, 2018), debido a esto pueden hidrolizar mayor cantidad de urea por unidad de tiempo (mmol/h/kg) en el C1, el reciclaje de urea se da a través de la saliva por reabsorción pasiva en los túbulos colectores para que ésta reingrese al sistema fermentativo, de tal manera se obtiene mayor cantidad de nitrógeno para la síntesis de proteína de los microorganismos (Rúa *et al.*, 2017).

La energía metabolizable (EM) representa la energía que queda disponible para los procedimientos metabólicos que realizan los animales, ésta se puede ver afectada por un mayor consumo de alimento que puede acelerar el paso del alimento por el tracto digestivo, generando pérdidas energéticas en las heces. Este efecto genera una reducción de la EM, el cual es mayor en los alimentos de baja calidad (época seca), llegando la reducción hasta el 10% en los rumiantes al duplicar el consumo (Bondi, 1989).

La EM fue de  $4.10 \pm 0.42$  MJ/kg, este valor es menor al encontrado en estudios previos en época de seca que fue de  $5.94 \pm 1.65$  MJ/kg (Chino, 2020) a pesar de que el porcentaje de digestibilidad en nuestro estudio fue mayor, por ello, se debe revisar la fórmula dada por Close y Menke (1986) utilizada en este estudio para determinar la EM de la dieta. Es necesario recordar que la EM también puede calcularse como la diferencia entre la energía digestible (ED) y la energía contenida en los gases (CH<sub>4</sub>) y orina, debido a esto debemos considerar que la época del año y la calidad del forraje también afectan este parámetro.

De igual se estimó la DMO con la fórmula dada por Close y Menke (1986) donde se obtuvo un resultado de  $42.73 \pm 1.45\%$ , el cuál es menor al valor obtenido en el estudio antes mencionado que fue de  $47.17 \pm 12.06\%$  (Chino, 2020), sin embargo, hay que tener en cuenta que nuestro estudio evalúa la ración en conjunto y no cada pasto de manera individual como lo hace el otro estudio, por lo que los valores de desviación estándar son menores en el nuestro.

Los valores de DMO se ajustan más a lo mencionado anteriormente que son de un 42.9% en época de seca (San Martín, 1987) pero es bastante menor a comparación con la DIV de materia seca que hallamos a partir del método de Tilley y Terry (1963), por lo que podemos reiterar la necesidad de la revisión de los fórmulas propuestas para su estimación.

## **V. CONCLUSIONES**

Según los resultados y las condiciones en las que se realizó el presente estudio podemos concluir lo siguiente:

- La técnica de simulación manual usada para la recolección de la dieta seleccionada por las alpacas es de fácil aplicación y útil para la estimación de la calidad nutritiva y los parámetros digestivos.
- La calidad nutricional de la dieta seleccionada por las alpacas en época de seca es de mediana calidad en base a los resultados obtenidos en digestibilidad y contenido proteico.
- Los parámetros fermentativos obtenidos fueron coherentes con calidad nutricional de la dieta seleccionada.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- 1) Agreil C, Meuret M. 2004. An improved method for quantifying intake rate and ingestive behaviour of ruminants in diverse and variable habitats using direct observation. *Small Ruminant Research* 54:99–113.
- 2) Arias J, Nesti de Alonso A. 1999. Importancia de los niveles de nitrógeno ureico en leche y sangre en el ganado lechero. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 16: 553-561.
- 3) Austin D, Urness P, Fierro L. 1983. Spring livestock grazing affect crested wheatgrass regrowth and winter use by mule deer. *J Range Manage* 36: 589-593.
- 4) Bannink A, Smits M, Kebreab E, Mills J, Klop A, Dijkstra J. 2010. Simulating the effects of grassland management and grass ensiling on methane emission from lactating cows. *The Journal of Agricultural Science*, 148(1): 55-72.
- 5) Bailey CB, Hironaka R. 1970. Maximum loss of feed from nylon bags in the rumens of steers as related to apparent digestibility. *Canadian Journal of Science*. 50(2): 325 – 330.
- 6) Blaxter KL. 1964. The efficiency of feed conversion by livestock. *Journal of the Royal Agricultural Society of England* 125: 87 – 99.
- 7) Boadi, DA., et al. 2002. Effects of grain supplementation on methane production of grazing steers using the sulphur (SF<sub>6</sub>) tracer gas technique. *Canadian Journal of Animal Science* 82(2):151-57.

- 8) Berra, G, Finster, L. 2002 Emisión de gases de efecto invernadero; la influencia de la ganadería argentina. Cadena de la Carne Vacuna, Tecnologías para nuevos escenarios, IDIA 21 (2). p. 212-215.
- 9) Bonilla J, Lemus C. emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión. Rev Mex Cienc Pecu 2012; G3(2): 2015- 246
- 10) Bryant FC, Farfan RD. 1984. Dry season forage selection by alpaca (*Lama pacos*) in Southern Peru. J Range Manag 37: 330-333.
- 11) Carmona J, Bolívar et al 2005.El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar sus impactos a nivel ambiental y productivo. Rev. Col Cienc Pec Vol. 18;1.
- 12) Carro M. 2019. Fermentación ruminal y digestibilidad: Medida *in vitro*. NutriForum 2019. Departamento de Producción Agraria. ETSIAAB. Universidad Politécnica de Madrid.
- 13) CEPISA. 2015. El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en Cepsa. España. 14p.
- 14) Chino L. 2020. Relación entre composición química y la producción de metano in vitro de pastizales altoandinos consumidos por alpacas. Tesis para optar el grado de magister. Lima: Univ. Nac. Agraria La Molina. 84p.
- 15) Choquemamani, M. 2017. Emisión de metano entérico en llamas al pastoreo en praderas andinas. Puno: Univ. Nac. Del Altiplano.113p
- 16) Close W, Menke KH.1986. Selected topics in animal nutrition. Feldafing, Germany: Deutsche Stiftung fur internationale Entwicklung.
- 17) Cone JW, Beuvink JM, Rodrigues M. 1994.Use and applications of an automated time related gas production test for *in vitro* study of fermentation kinetics in the rumen. Rev Port Zootec. 1: 25-37.

- 18) Crampton EW.1962. Nutrición Animal Aplicada. Zaragoza – España. 415p
- 19) Cummings JF, Munnell JL, Vallenas A. 1972. The mucigenous glandular mucosa in the complex stomach of two new-world camelids, the llama and guanaco. J Morphol 137: 71–110.
- 20) Czerkawski JW, Breckenridge G. 1977. Design and development of a long-term rumen simulation technique (Rusitec). British Journal of Nutrition Vol N° 38: 371-384.
- 21) Demeyer, DL, Henderickx HK. 1967. The effect of C18 unsaturated fatty acids on methane production *in vitro* by mixed rumen bacteria. Biochimica et biophysica acta – Lipids and lipid metabolism Vol. 137. Issue 3: 484 – 497.
- 22) Doreau M, Van der Werf HM, Micol D, Dubroeuqcg H, Agabriel J, Rochette Y, Martin C. 2011. Enteric methane production and greenhouse gases balance of diets differing in concentrate in the fattening phase of a beef production system. Journal of Animal Science 89(8):2518-2528.
- 23) Eckerlin RH, Stevens CE. 1973. Bicarbonate secretion by the glandular sacculles of the Llama stomach. Cornell Vet. 63: 436-445.
- 24) Emmanuel N, Patil NV, Bhagwat S, Lateef A, Xu K, Liu H. 2015. Effects of different levels of urea supplementation on nutrient intake and growth performance in growing camels fed roughage based complete pellet diets. Animal Nutrition (1): 356-361
- 25) Engelhardt WV, Rubsamen K. 1979. Digestive physiology of camelids. The workshop of Camels, Khartourn, Sudan. 307-346
- 26) FAO. 1996. Manuel de manejo de llamas y alpacas, Italia 108 pp.
- 27) FAO.2009. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Roma, Italia 200 pp.

- 28) Fernández-Baca, S. 1991. Avances y perspectivas del conocimiento de los camélidos sudamericanos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Oficina regional de la FAO para América Latina y El Caribe. Santiago de Chile.
- 29) Ferry, J. 2011. Fundamentals of methanogenic pathways that are key to the biomethanation of complex biomass. *Current Opinion in Biotechnology*, Vol. 22, Issue 3: 351 – 357
- 30) Flores, E. 1993. Naturaleza y usos de los pastos Naturales. en: manual de Producción de Alpacas y Tecnología de sus Productos TTA. Perú. 23-37 p.
- 31) Flores, A y Malpartida, E. 1998. Manejo de Praderas Nativas y Pasturas en la Región Andina del Perú. Banco Agrario. Fondo del Libro. Tomo II. Lima Perú.
- 32) Garriz M, López A. 2002. Suplementación con nitrógeno no proteico en rumiantes. Facultad de Veterinaria de la Universidad de Buenos Aires. 24 p.
- 33) Getachew G, Blümmel M, Makkar HP, Becker K. 1998. In vitro measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. *Animal Feed Science and Technology*. 72: 261-281.
- 34) Gonzales V, Tarragó JR. 1971. La digestibilidad in vitro como método para determinar el valor nutritivo de los forrajes. Instituto de Alimentación y Productividad Animal C. S. I. C. Madrid. Pastos: Revista de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, ISSN 0210-1270, Vol. 1, N<sup>o</sup>. 1: 110-119.
- 35) Grant RJ, Mertens DR. 1992. Development of buffer systems for pH control and evaluation of Ph effects on fiber digestion in vitro. *Journal of Dairy Science*. Vol 75: 1581 – 1587.
- 36) Huisa T. 1985. Composición botánica y valor nutricional de la dieta de la alpaca (*Lama pacos*) en la época seca. Tesis Univ. San Antonio Abad. Cuzco, Perú.
- 37) INTAGRI. 2018. Variaciones estacionales y su efecto en la calidad de la pradera. [Internet] Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/variaciones-estacionales-y-su-efecto-en-la-calidad-de-la-pradera>.

- 38) Janssen PH, Kirs M. 2008. Structure of the archaeal community of the rumen. *Appl. Environ. Microbiol.* Vol. 74, 3619 – 3625.
- 39) Jaurena G, Juliarena P, Erracart P. 2019. Causas y determinantes de las emisiones de gases de efecto invernadero en la ganadería. Revisión. *Revista argentina de producción animal.* Vol 39 N°2:43 -60.
- 40) Johnson KA, Johnson DE. 1995. Methane Emissions. *J. Anim. Sci.* 73: 2483-2492.
- 41) Julier B, Lila M, Furstoss V, Travers V, Huyghe C. 1999. Measurement of cell-wall digestibility in lucerne using the filter bag technique. *Anim. Feed Sci. Tech* 79: 239-245.
- 42) López A, Cabrera R. 1998. Voluntary intake and digestibility of forages with different nutritional quality in alpacas (*Lama pacos*). *Small Ruminant Research* 29(3): 295-301
- 43) Liu Y, Wittman WB. 2008. Metabolic, phylogenetic, and ecological diversity of the methanogenic Archaea. *Ann NY Acad Sci* 1125: 171 – 189.
- 44) Machaca M. 2015. Efecto de dos dietas fibrosas en la producción de metano en alpacas. *Rev Inv Altoandin.*; Vol 17 N° 3: 441-444.
- 45) McAllister TA, Okine EK, Mathison GW, Cheng K-J. 1996. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science* 76: 231 – 243.
- 46) Makkar, H. 2001. Recent advances in In vitro gas method for evaluation of nutritional quality of feed resources. [Internet] Disponible en: [http://www.fao.org/DOCREP/ARTICLE/AGRIPPA/570\\_EN\\_toc.htm](http://www.fao.org/DOCREP/ARTICLE/AGRIPPA/570_EN_toc.htm)
- 47) Marca U. 2018. Producción de metano en camélidos sudamericanos domésticos y su efecto en la salud pública. Puno: Univ. Nac. Del Altiplano. 141p



- 48) Marca U, Roque B. 2019. Producción de metano en camélidos sudamericanos domésticos y su efecto en la salud pública. Rev Inv Univ. Puno (2):1016 -27.
- 49) Mayta, MJC. 2005, Selectividad, consumo y composición química de dieta de Alpacas pastoreadas en bofedales de las comunidades de Nuñoa. Tesis, Fac. de Med. Vet. y Zootecnia, Univ. Nac. Del Altiplano. Puno-Perú.
- 50) McCaughey W, Wittenberg K, Corrigan D. Methane production by steers on pasture. Can J An Sc, 1997; 76 (3): 519-524.
- 51) Medrano, J. 2019. Emisión de metano entérico de vacas en lactación en pastizales altoandinos en la estación lluviosa y seca. Tesis para optar el grado de magister. Lima: Univ. Nac. Agraria La Molina.
- 52) Mehrez, AZ, Ørskov ER. 1977. The use of a dacron bag technique to determine rate of degradation of protein and energy in the rumen. J. Agric. Sci., Camb. 88:645-650.
- 53) Meissner, H; Paulsmeier, D. 1995. Plant compositional constituents affecting between plant and animal species prediction of forage intake. Journal of Animal Science 73(1): 2447-2457.
- 54) Menke KH, Steingas, H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analyses and *in vitro* gas production using rumen fluid. Animal research and development Vol 28: 7 -55.
- 55) MINAGRI. 2013a. Resultados definitivos IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego.
- 56) MINAGRI. 2018. situación de la alpaca en el Perú. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego. 3p
- 57) MINAGRI. 2019. Potencial productivo y comercial de la alpaca. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego. 57p

- 58) Moscoso J. Producción de metano en vacunos al pastoreo suplementado con ensilado, concentrado y taninos en el altiplano peruano en época seca. *Rev Inv Vet Perú* 2017; 28(4): 822-833
- 59) Mould FL, Nordheim H. 1998. Dry matter and neutral-detergent fiber degradation profiles of roughages Obtained using the ANKOM *in vitro* system. *Brit. Soc. Anim. Sci. Reading.* 22: 329-331.
- 60) Moss A, Jouany JP, Newbold J. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Ann. Zootech.* 49:231. 200.
- 61) Nava C, Díaz A. 2001. Introducción a la digestión ruminal. Departamento de Nutrición Animal. Fac. de Med. Vet. y Zootecnia UNAM. [Internet]. Disponible en: [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)
- 62) Nocek JE. *In situ* and other methods to estimate Ruminant Protein and Energy Digestibility: a review. *J Dairy Sci.* 1988; 71(8): 2051-69.
- 63) Ocas P, 2019. Emisión de metano en dos razas de vacunos lecheros (Holstein y Brown swiss) con dos tipos de alimento (pasturas y pasturas más concentrado). Tesis de Ingeniero Ambiental. Cajamarca: Univ. Nac. De Cajamarca. 79p
- 64) Olazabal J. 2017. Primer reporte de la emisión de metano entérico de alpacas en condiciones de pastoreo en praderas naturales altoandinas usando el trazador hexafluoruro de azufre. 3ra Conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios en Latinoamérica.
- 65) Ominski KH, Wittenberg KM. 2004. Strategies for reducing enteric methane emissions in forage-based beef production systems. University of Alberta, Edmonton, Alberta Canadian Society of Agronomy, Animal Science, and Soil Science.
- 66) ONU. 1992. Convenio sobre la Diversidad Biológica. Organización de las Naciones Unidas.

- 67) Ørskov ER, McDonald I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J Agr Sci-Cambridge* 92: 499-503.
- 68) Ørskov ER, Hovell D, Mould F. 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Trop Anim Health Prod.*5: 195-213.
- 69) Ørskov ER. 2000. The *in situ* technique for the estimation of forage degradability in ruminants. In: Givens DI, Owen E, Axford RFE (eds.). *Forage evaluation in ruminant nutrition*. Cabi Publishing, pp. 175-188.
- 70) Patra AK, Aschenbach JR. 2018. Ureases in the gastrointestinal tracts of ruminant and monogastric animals and their implication in urea-N/ammonia metabolism. *Journal of Advanced Research*. Review. [Internet], [23 February 2018]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2018.02.005>
- 71) Pasha MA, Newman JH. 2010. Trastornos de gran altitud: hipertensión pulmonar: enfermedad vascular pulmonar: la perspectiva global. *Pecho*. 137 (6 Supl.): 13S-19S.
- 72) Pfister JA, San Martín F, Rosales L, Sisson DV, Flores E, Bryant FC. 1989. Grazing behaviour of llamas, alpacas, and sheep in the Andes of Peru. *Appl. Anim. Behav. Sci* 23: 237 – 246.
- 73) Quispe M. 2019. Influencia del día y la noche en la emisión de metano en llamas al pastoreo en la época de lluvia en el centro experimental la Raya. Cusco. *Uni. Nac. De san Antonio abad del cusco*.
- 74) Quispe N. 2017. Emisión de metano entérico en alpacas al pastoreo en praderas andinas. Tesis para optar el grado de Médico veterinario zootecnista. Puno. *Univ. Nac. Del altiplano Puno*. 96p.
- 75) Ramírez J. 2018. Efecto del tamaño de partícula del forraje en el consumo, ganancia de peso y producción de metano en llamas y alpacas. Puno: *Univ. Nac. Del Altiplano*. 136p.

- 76) Raymond WF, Harris C, Haurker VG. 1953. Studies on the digestibility of herbage. Technique of measurement of digestibility and some observations on factors affecting the accuracy of digestibility data. *Grass and Forage Science*, 8(4): 301 – 314.
- 77) Relling A, Mattioli G. 2003. Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Facultad de Ciencias Veterinarias. UNLP. Argentina. 72p.
- 78) Rymer C, Huntington JA, Williams BA, Givens DI. 2005. *In vitro* cumulative gas production techniques: History, methodological considerations and challenges. *J. Anim. Feed Sci. Technol* 123-124: 9-30.
- 79) San Martín. 1987. Comparative forage selectivity and nutrition of South American Camelids and Sheep. Ph. D. Diss., Texas Tech Univ., Lubbock.
- 80) San Martín F, Bryant F. 1987. Nutrición de los CSA, estado actual de nuestro conocimiento. Art. Téc. T-9-505. College of Agricultura Sciences Texas Tech University. 67 p.
- 81) San Martín F. 1994. Avances y alternativas de alimentación para los camélidos sudamericanos. *Rev Inv Pec Perú* Vol. 7 N° 2.
- 82) San Martín F, Van Saun RJ. 2014. Applied digestive anatomy and feeding behavior. In: Cebra C, Anderson D, Tibary A, Van Saun R, Johnson LR (eds). *Llama and alpaca care: medicine, surgery, reproduction, nutrition, and herd health*. Canada: Elsevier pp 51-58.
- 83) Sato A, Guzmán J, Nuñez Q. 1968. Estudio preliminar sobre las medidas de algunos órganos de la alpaca (*Lama pacos*). *Rev. Fac. Med. Vet. UNMSM*. Lima 22: 61-69
- 84) Sato A, Montoya L. 1989. Anatomía macroscópica del aparato digestivo De la alpaca (*Lama pacos*). *Boletín Técnico* N° 6. Lima. 20 p.

- 85) St-Pierre B, Wright ADG. 2012. Molecular analysis of methanogenic archaea in the forestomach of the alpaca (*Vicugna pacos*). *BMC Microb.*, 12:1
- 86) Tapia M, Lascano J. 1970. Contribución al conocimiento de la dieta de alpacas pastoreando. I Convención Internacional sobre camélidos sudamericanos. Univ. Nac. Tecnológica del Altiplano. Puno, Perú.
- 87) Thauer RK, Kaster AK, Seedorf H, Buckel W, Hedderich R. 2008. Methanogenic archaea: ecologically relevant differences in energy conservation. *Nat Rev Microbiol.* Vol 6: 579 – 591.
- 88) Theodorou MK, Williams BA, Dhanoa MS, Mcallan AB, France JA. 1994. Simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim Feed Sci Technol.* 48(3-4): 185-97.
- 89) Tilley JMA, Terry RA. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass and Forage Science*, 18: 104-111.
- 90) Trabalza M, Stelletta C, Beghelli D, Morgante V. 2001. Feeding behavior and energy metabolism of alpaca in central Italy during late pregnancy and early lactation. *Progress in South American Camelids research*, EAAP publication No 105.
- 91) Vallenias, A. 1965. Some physiological aspects of digestion in the alpaca. In: Dougherty RW(Editor), *Physiology of digestion in the ruminant*, Butterworth, Washington, D.C, pp. 147-158.
- 92) Vallenias A. 1973. Ácidos grasos volátiles y pH en los dos primeros compartimentos del estómago de la alpaca y del ovino. *Rev. Inv. Pec Ivita UNMSM Lim-Perú*.
- 93) Van Saun RJ. 2006. Nutrient requirements of South American camelids: a factorial approach. *Small Ruminant Research.* 61:165–186.

- 94) Van Soest PJ. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. Second edition. Cornell University Press. 476 p.
- 95) Vargas, J. 2012. Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo. Zootech. 61: 51 – 66.
- 96) Vogel KP, Pedersen JF, Masterson SD, Toy JJ. 1999. Evaluation of a filter bag system for NDF, ADF, and IVDMD Forage Analysis. Crop Sci 39: 276-279.
- 97) Wu G. 2017. Principles of animal nutrition 1<sup>st</sup> ed. CRC Press. 800p.
- 98) Zamora N. 2006. Determinación de la energía metabolizable verdadera de varias fuentes de carbohidratos utilizadas para la alimentación de aves. Tesis para optar el grado de licenciado en zootecnia. Guatemala: Univ. De San Carlos de Guatemala. 35p.