

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**



**“CONSUMO Y DIGESTIBILIDAD DE CUATRO RACIONES CON  
DIFERENTE CONTENIDO DE FIBRA EN ALPACAS  
(*Vicugna pacos*)”**

**Presentada por:**

**ANA BELÉN OBREGÓN CRUZ**

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

**Lima - Perú**

**2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN NUTRICIÓN**

**“CONSUMO Y DIGESTIBILIDAD DE CUATRO RACIONES CON  
DIFERENTE CONTENIDO DE FIBRA EN ALPACAS  
(*Vicugna pacos*)”**

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

**Presentada por:**

**ANA BELÉN OBREGÓN CRUZ**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

---

PhD. Víctor Guevara Carrasco  
**PRESIDENTE**

---

Ph.D. Carlos Gómez Bravo  
**ASESOR**

---

Mg.Sc. Víctor Hidalgo Lozano  
**MIEMBRO**

---

Ph.D. Javier Ñaupari Vázquez  
**MIEMBRO**

## DEDICATORIA

*A mi esposo Eduardo, por ser mi eterno acompañante en cada proyecto que emprendo, y sobre todo, por la pasión y el compromiso incondicional que le pone a nuestro proyecto más importante: nuestra hermosa familia.*

*A mi hija Miranda, por ser la mejor maestra de vida que alguien pueda tener; por transformar mi mundo y sacudir mi alma, y demostrarme que soy capaz de alcanzar todo aquello que me proponga.*

*Eduardo y Miranda, esta tesis va dedicada a ustedes. Porque su sola presencia convierte una pequeña casa en un bello hogar, en donde todos los esfuerzos cobran sentido, y por el cual vale la pena luchar día tras día.*

## **AGRADECIMIENTOS**

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

Al proyecto de investigación PNIA “Cuantificación de la emisión de metano entérico en alpacas y ovinos alimentados con pastos naturales alto andinos”, por el financiamiento de la investigación.

Al Ph. D. Carlos Gómez, mi asesor de tesis, por su estricta guía y apoyo constante durante el desarrollo de la presente investigación.

Al Ph. D. Víctor Guevara, Mg. Sc. Víctor Hidalgo, Ph. D. Javier Ñaupari, miembros del jurado de tesis, por los conocimientos brindados durante la maestría y por sus preciadas contribuciones para la mejora del presente estudio.

Al Mg. Sc. Juan Olazabal, por sus valiosos aportes científicos en este estudio.

Al Centro de Investigación y Producción Quimsachata – Puno, por las facilidades brindadas para el uso de sus instalaciones y por la calidez de los profesionales que ahí laboran.

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

A la Ing. Cristina Silva, por su apoyo incondicional y compañerismo durante el desarrollo de esta tesis.

A la Universidad Nacional Agraria La Molina, mi segunda casa de estudios, por permitirme conocer a grandes profesionales y brindarme lecciones que me serán útiles para toda la vida.

# ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Producción de camélidos en el Perú.....	3
2.2 Anatomía y fisiología digestiva de los camélidos sudamericanos.....	4
2.2.1 Anatomía digestiva de los CSA.....	5
2.2.2 Fisiología digestiva de los CSA.....	8
2.3 Consumo voluntario de alimento.....	15
2.3.1 Métodos de estimación.....	15
2.3.2 Consumo voluntario de alimentos en CSA.....	17
2.4 Consumo voluntario de agua.....	23
2.5 Digestibilidad.....	24
2.5.1 Métodos de estimación.....	24
2.5.2 Digestibilidad de alimentos en CSA.....	33
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
3.1. Lugar del estudio y periodo de ejecución.....	35
3.2. Animales experimentales.....	35
3.3. Raciones experimentales.....	35
3.4. Descripción de la metodología.....	36
3.4.1. Etapa pre-experimental.....	37
3.4.2. Etapa experimental.....	37

3.5. Manejo de las muestras.....	38
3.6. Análisis de laboratorio de las muestras.....	38
3.7 Análisis estadístico.....	39
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>41</b>
4.1. Consumo voluntario de alimento y agua.....	41
4.2. Digestibilidad aparente.....	45
4.3. Propuesta de Ecuación.....	48
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>52</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tasa comparativa de pasaje de partículas en el tracto digestivo de llamas y ovinos.....	10
Tabla 2. Volumen en tracto digestivo y estimación de tasa de pasaje líquido en llamas y ovinos.....	11
Tabla 3. Consumo diario comparado entre alpacas, llamas y ovinos en estabulación y pastoreo.....	18
Tabla 4. Diferencias en la digestión de materia orgánica entre llamas y ovinos en relación a la calidad de la dieta.....	34
Tabla 5. Composición química y clasificación de las raciones experimentales.....	36
Tabla 6. Consumo de materia seca (MS) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de fibra detergente neutra (FDN).....	41
Tabla 7. Consumo de fibra detergente neutra (FDN) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de fibra detergente neutra (FDN).....	43
Tabla 8. Consumo de agua (CA) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de fibra detergente neutra (FDN).....	44
Tabla 9. Coeficientes de digestibilidad aparente para los parámetros de MS, MO, PC y FDN en alpacas alimentadas con diferentes niveles de FDN.....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de la población mundial de camélidos sudamericanos.....	3
Figura 2. Distribución de la población mundial de alpacas.....	4
Figura 3. Diagrama del estómago de alpaca.....	6
Figura 4. Comparación del estómago de los rumiantes y los camélidos.....	8
Figura 5. Etapas básicas en la contracción cíclica del CI y CII del estómago de la llama y el guanaco (movimiento de mezclado).....	12
Figura 6. Comparación entre los CMS esperados en alpacas y llamas en mantenimiento.....	19
Figura 7. Comparación entre los CMS esperados y observados en alpacas y llamas en mantenimiento.....	19
Figura 8. Relación entre el contenido de FDN dietario y el consumo de FDN.....	21
Figura 9. Relación entre el contenido de FDN dietario y el consumo de FDN.....	22
Figura 10: Esquema de un periodo experimental del estudio.....	37
Figura 11: Diseño de cambio doble para cuatros tratamientos.....	40

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 01. Base de datos de Peso Vivo de las alpacas (Kg), Consumo de Materia Seca (%PV), Consumo de Materia Seca (g/kg PV <sup>0.75</sup> ), Consumo de Fibra Detergente Neutra (%PV) y Consumo de Fibra Detergente Neutra (g/kg PV <sup>0.75</sup> ) .....	65
Anexo 02. Base de datos de Proteína en heces (g/kg MO), Digestibilidad de la Materia Seca (%), Digestibilidad de la Materia Orgánica (%), Digestibilidad de la Proteína Cruda (%) y Digestibilidad de la Fibra Detergente Neutra (%). ....	67
Anexo 03. Análisis de Varianza para el Consumo de Materia Seca (%PV) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra .....	69
Anexo 04. Análisis de Varianza para el Consumo de Materia Seca (g/kg PV <sup>0.75</sup> ) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra .....	70
Anexo 05. Análisis de Varianza para el Consumo de Fibra detergente Neutra (%PV) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra .....	71
Anexo 06. Análisis de Varianza para el Consumo de Fibra Detergente Neutra (g/kg PV <sup>0.75</sup> ) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra .....	72
Anexo 07. Análisis de Varianza para el Consumo de agua (L) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra. ....	73
Anexo 08. Análisis de Varianza para la Digestibilidad de la Materia Seca (%) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra. ....	74
Anexo 09. Análisis de Varianza para la Digestibilidad de la Materia Orgánica (%) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra. ....	75
Anexo 10. Análisis de Varianza para la Digestibilidad de la Proteína Cruda (%) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra .....	76

Anexo 11. Análisis de Varianza para la Digestibilidad de la Fibra Detergente Neutra (%)  
en alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra .....77

Anexo 12. Ecuación propuesta para estimar la Digestibilidad de la Materia Orgánica de  
la dieta a partir del contenido de proteína cruda en la Materia Orgánica fecal, para su  
aplicación en alpacas .....78

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de diferentes niveles de fibrosidad del alimento sobre su consumo y la digestibilidad aparente en alpacas. Además, se generó una ecuación de regresión para estimar la digestibilidad de la materia orgánica a partir del contenido de proteína cruda en las heces. El estudio se condujo bajo el diseño de cambio doble para 4 tratamientos, con raciones experimentales con rangos de fibra detergente neutra (FDN) de 40.3% (T1), 62.1% (T2), 67.8% (T3) y 71.6% (T4). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). El consumo de materia seca (MS) en base a peso vivo (PV) y peso metabólico fue mayor ( $p < 0.05$ ) en T1 en comparación con los otros tratamientos, con valores que van desde 2.0% PV y 48.3 g/ kg PV<sup>0.75</sup> (T1) a 1.3% PV y 31.9 g/ kg PV<sup>0.75</sup> (T4). El consumo de FDN en base a peso vivo (PV) y peso metabólico fue mayor en T1 en comparación con los otros tratamientos, con valores que van desde 1.0% PV y 24.8 g/ kg PV<sup>0.75</sup> (T1) a 0.8% PV y 20.4 g/ kg PV<sup>0.75</sup> (T4), sin embargo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ) entre las raciones experimentales. El consumo de agua en L/día fue mayor en T1 en comparación con los otros tratamientos, con valores que van desde 1.8 L/día (T1) a 1.4 L/día (T4). La digestibilidad aparente de la MS, materia orgánica (MO), proteína cruda (PC) y FDN fue mayor ( $p < 0.05$ ) en T1 en comparación con los otros tratamientos, con valores que van de 66.4% (T1) a 50.3% (T4) para MS, 68.5% (T4) a 53.4% (T1) para MO, 61.1% (T4) a 41.5% (T1) para PC, y 60.7% (T4) a 50.4% (T1) para FDN. La ecuación de regresión generada fue la siguiente:  $y = 0.07635 - (-0.33866 * \exp(-(-0.4484) * PC \text{ fecal (g/kg MO)/100}))$ , RMSE = 0.09. Los resultados indican que tanto el consumo de MS y FDN, así como la digestibilidad de la MS, MO, PC y FDN están directamente relacionados con la fibrosidad del alimento.

**Palabras clave:** *Camélidos sudamericanos, alpacas, consumo, digestibilidad*

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the impact of different feed fibrosity levels in alpacas intake and apparent digestibility. In addition, a regression equation was generated to estimate the organic matter digestibility (OMD) from the crude protein (CP) content in faeces. The study was conducted under the Swich Back design for 4 treatments, with experimental rations with neutral detergent fiber (NDF) ranges of 40.3% (T1), 62.1% (T2), 67.8% (T3) and 71.6% (T4). An analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test ( $p < 0.05$ ) were performed. Dry matter intake (DMI) based on body weight (BW) and metabolic weight (MW) was higher ( $p < 0.05$ ) in T1 compared to the other treatments, with values ranging from 2.0% BW and 48.3 g/ kg BW<sup>0.75</sup> (T1), and 1.3% BW and 31.9 g/ kg BW<sup>0.75</sup> (T4). The NDF intake based on BW and MW was higher in T1 compared to the other treatments, with values ranging from 1.0% BW (24.8 g/ kg BW<sup>0.75</sup>) (T1), and 0.8% BW (20.4 g/ kg BW<sup>0.75</sup>) (T4). However, no statistically significant differences ( $p > 0.05$ ) were observed between the experimental rations. Water intake (L/day) was higher in T1 compared to the other treatments, with values ranging from 1.8 L/day (T1) to 1.4 L/day (T4). Dry matter (DM), organic matter (OM), CP and FDN digestibility was higher ( $p < 0.05$ ) in T1 compared to the other treatments, with values ranging from 66.4% (T1) to 50.3% (T4) for DM, 68.5% (T4) to 53.4% (T1) for OM, 61.1% (T4) to 41.5% (T1) for CP, and 60.7% (T4) to 50.4% (T1) for FDN. The regression equation generated was as follows:  $y = 0.07635 - (-0.33866 * \exp(-(-0.4484) * \text{Fecal PC}(\text{g/kg OM})/100))$ , RMSE = 0.09. The results indicate that DM and NDF intake, as well as the DM, OM, CP and NDF digestibility are negatively related to feed fibrosity level.

**Key Words:** *South American camelids, alpacas, intake, digestibility*

## I. INTRODUCCIÓN

El Perú alberga alrededor del 56% de la población mundial de camélidos sudamericanos (CSA), con un total aproximado de 4'313,381 de animales (INEI 2012). La crianza de CSA se concentra mayormente en comunidades campesinas localizadas entre los 3 000 a 5 000 msnm, y constituye una de las actividades productivas y económicas más importantes en la zona altoandina. Se caracteriza por realizarse de manera extensiva, donde la alimentación se basa casi exclusivamente en el pastoreo de la vegetación natural (López *et al.* 2000). Las condiciones extremas propias de la zona altoandina hacen que la pradera sea escasa y de alta fibrosidad (Cordero *et al.* 2018); sin embargo, los CSA poseen características digestivas que les permiten ser más eficientes en la utilización de este tipo de alimento (Prud'hon *et al.* 1993).

Gomide (2004) menciona que la productividad animal está directamente relacionada con la calidad de su alimentación. Asimismo, la calidad de los alimentos está dada por su valor nutritivo, representado por su composición química, digestibilidad de sus nutrientes, consumo de materia seca (CMS), así como por la eficiencia en que estos pueden ser metabolizados y utilizados por los animales.

El CMS está mediado por diversos factores que provienen tanto del alimento como del animal (Allen 1996). Debido a que el alimento de los CSA es mayormente forraje de baja calidad, la concentración de la fibra detergente neutra (FDN) es el factor que regula predominantemente el consumo de alimento (Mertens 2002). Al respecto, San Martín y Van Saun (2014) a partir del contraste de diversos estudios, reportaron que el consumo de FDN como porcentaje del PV en alpacas y llamas fue de  $0.9 \pm 0.3\%$  PV. Estos datos sugieren que el contenido de FDN en la dieta podría usarse para predecir la capacidad potencial de consumo; sin embargo, la relación entre la concentración de FDN y los parámetros de consumo y digestibilidad de los alimentos no ha sido suficientemente estudiada en estas especies (Paredes *et al.* 2014).

El consumo de forraje de los CSA, según el NRC (2007), se encuentra entre 1.4 a 2.8% del peso vivo (PV), en tanto que San Martín (1987) refiere rangos que van de 1.08 a 2.3% con un promedio de 1.8% del PV. El bajo consumo de alimento observado en CSA manejados bajo las condiciones de su hábitat natural, con escasa disponibilidad de forraje de baja calidad durante la mayor parte del año, es una adaptación importante que, junto con una mayor capacidad digestiva, proporciona una ventaja competitiva (San Martín y Van Saun 2014). Asimismo, diversos estudios sobre digestibilidad en llamas con dietas de mediana o baja calidad, según su aporte de energía y proteína (San Martín y Bryant 1989), así como estudios considerando diversas proporciones de heno de alfalfa (*Medicago sativa*) y paja de trigo (*Triticum aestivum*) (López *et al.* 2000), indican que los coeficientes de digestibilidad aparente para materia orgánica (MO) y proteína cruda (PC) tienden a disminuir a medida que disminuye el aporte energético - proteico y aumenta el contenido de paredes celulares, mientras que la digestibilidad de la FDN tiende a mantenerse o a incrementarse a medida que el nivel de fibrosidad de la dieta aumenta. Sin embargo, la relación entre un amplio rango de fibrosidades en el alimento, y la ingesta y digestibilidad de los mismos no ha sido suficientemente estudiada.

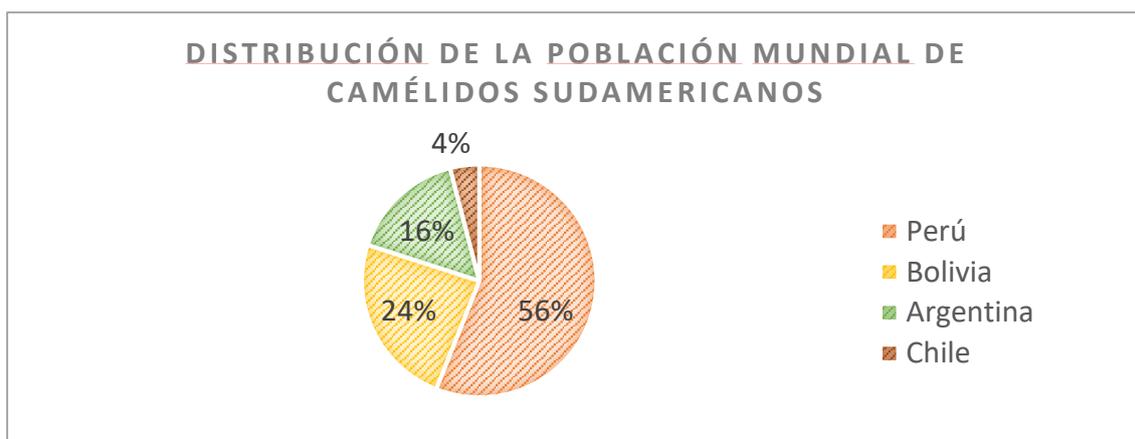
Se han desarrollado diversos métodos para estimar la digestibilidad de los alimentos. Uno de los más destacados es el método de la PC fecal, el cual permite estimar la digestibilidad de la MO de las dietas seleccionadas por animales de pastoreo sin necesidad de recolectar muestras representativas del forraje ingerido (Wang *et al.* 2019). Considerando la capacidad digestiva de las diferentes especies animales, se han establecido ecuaciones de regresión que estiman la digestibilidad de la MO de dietas basadas en forraje (Leite y Stuth 1990; Schmidt 1993; Schmidt y Jentsch 1994; Boval *et al.* 2003; Lukas *et al.* 2005; Wang *et al.* 2009). Sin embargo, a la fecha no se cuenta con una ecuación que permita estimar la digestibilidad de la MO en alpacas.

Por lo expuesto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el impacto de diferentes niveles de fibrosidad en el alimento sobre el consumo y digestibilidad en alpacas. Adicionalmente, usando los datos del ensayo se elaboró una propuesta de ecuación que permita estimar la digestibilidad de la materia orgánica de las dietas basadas en forraje a partir del contenido de proteína cruda en las heces, para su aplicación en alpacas.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 PRODUCCIÓN DE CSA EN EL PERÚ

Nuestro país alberga alrededor del 56% de la población mundial de CSA (Figura 1), con un total aproximado de 4'313,381 animales (INEI 2012). Asimismo, concentra alrededor del 87% de la población mundial de alpacas, seguido de Bolivia con 8% y otros países con 5% (Figura 2). De las más de 3.8 millones de cabezas de alpacas en el Perú, las regiones Puno (58%), Cusco (11.9%), Huancavelica (11.4%) y Arequipa (8%) son las que poseen la mayor población a nivel nacional (MINAGRI 2015).

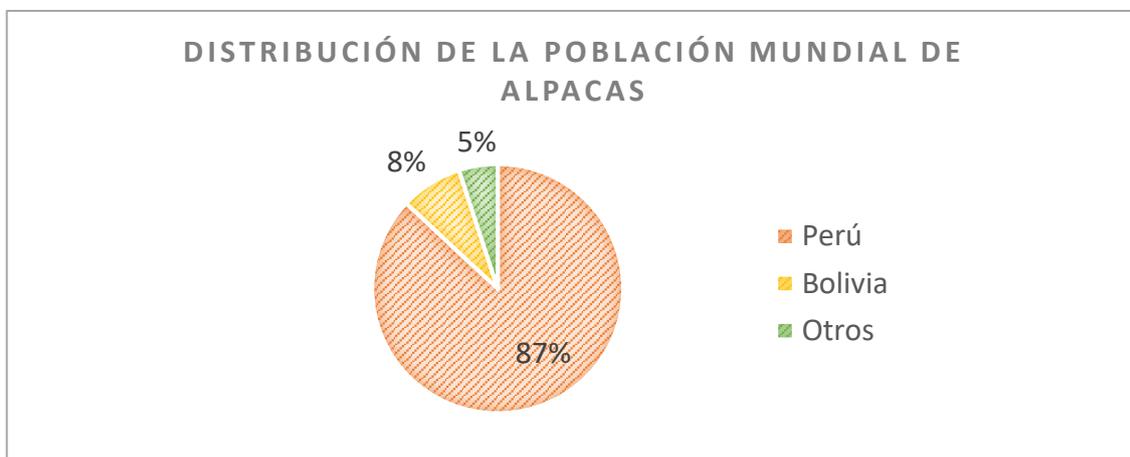


**Figura 1. Distribución de la población mundial de camélidos sudamericanos**

Fuente: Adaptado de MINAGRI (2015)

La crianza de CSA constituye una de las actividades productivas y económicas más importantes en la zona alto andina. Esto no solo se debe a la gran capacidad de adaptación de las llamas y alpacas a las condiciones medioambientales, sino también a que dichos animales sirven como fuente de proteína animal, medio de transporte y, particularmente, en el caso de las alpacas, en la producción de fibra (San Martín 1989).

Su crianza se concentra mayormente en comunidades campesinas establecidas entre los 3 000 y 5 000 msnm, realizándose de manera extensiva, donde la alimentación se basa casi exclusivamente en el pastoreo de la vegetación natural (López *et al.* 2000).



**Figura 2. Distribución de la población mundial de alpacas**

Fuente: Adaptado de MINAGRI (2015)

## 2.2 ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DIGESTIVA DE LOS CSA

Gomide (2004) menciona que la productividad animal está directamente relacionada con la calidad de la alimentación suministrada. Asimismo, la calidad de los alimentos está dada por su valor nutritivo, representado por su composición química, digestibilidad de sus nutrientes, el CMS así como por la eficiencia en que estos pueden ser metabolizados y utilizados por los animales.

Las condiciones extremas propias de la zona altoandina hacen que la pradera sea escasa y de baja calidad nutricional, lo que perjudica la explotación ganadera de los rumiantes tradicionales (Cordero *et al.* 2018). Sin embargo, los CSA poseen características distintivas en cuanto a anatomía y fisiología del tracto digestivo, que evidencian su adaptación al consumo y la digestión del alimento disponible (Raggi *et al.* 1994), y que les permiten ser más eficientes en la utilización del mismo, especialmente de aquél de menor calidad (Prud'hon *et al.* 1993).

## **2.2.1 Anatomía digestiva de los CSA**

### **a. Cavidad oral**

Los labios de los CSA son estructuras de paredes delgadas. El labio superior se encuentra dividido por un surco medio que permite que cada lado del labio se mueva independientemente. Esta característica le otorga a los CSA una gran capacidad para la selección de alimentos bajo condiciones de pastoreo (Bustinza 2001).

Los CSA se caracterizan por poseer incisivos y caninos superiores e inferiores, a diferencia de otros rumiantes (ovinos y bovinos) que no los presentan en el maxilar (Bustinza 2001). Los premolares y molares juegan un rol importante en la eficiencia de corte y molido del alimento. Durante la masticación, los movimientos mandibulares verticales y horizontales permiten un eficiente corte y molido del alimento contribuyendo a una reducción sustancial del tamaño de la partícula (Raggi *et al.* 1996). Los dientes de los CSA presentan un crecimiento continuo, lo que protege del desgaste al que están sometidos por consumir pastos muy leñosos y lignificados. Además, la lengua no es protruible, por lo que no pueden lamer (Fernandez-Baca 1975).

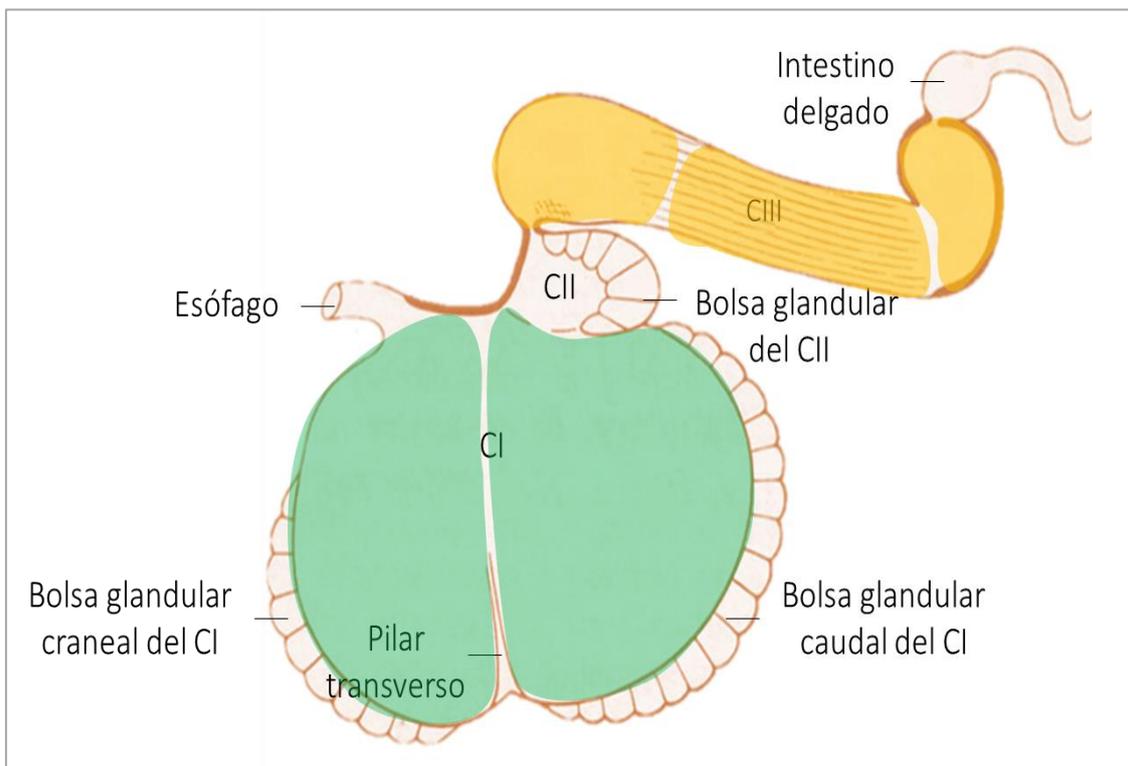
En la cavidad oral se encuentran las glándulas salivales serosas, mucosas y mixtas (San Martín y Bryant 1989; San Martín 1996) cuya principal función es la secreción de la saliva. Los primeros en describir las glándulas salivales en los CSA fueron De la Vega (1950) y Montalvo *et al.* (1967), quienes sugirieron que las glándulas de los CSA presentan una estructura similar a la de los rumiantes tradicionales.

### **b. Estómago**

Los CSA poseen un estómago dividido en 3 compartimentos: Compartimento 1 (C1) comparable con el rumen, retículo o panza; compartimento 2 (C2) comparable con el omaso o librillo, y el compartimento 3 (C3) comparable con el abomaso o verdadero estómago, los cuales comprenden el 83, 6 y 11% del volumen total del estómago, respectivamente (Vallenas *et al.* 1971; Bustinza 2001).

El primer compartimento (C1) es el más grande de los tres compartimentos y, a diferencia de otros rumiantes como el ovino o vacuno, no posee papilas internas. Está dividido en dos segmentos (craneal y caudal) por un pilar o pliegue muscular transverso. El segundo compartimento (C2) es el más pequeño y es la continuación de C1. Está situado en el lado derecho conectado con C1 por una amplia apertura, por lo que las partículas de minerales no permanecen en C1 por un tiempo significativo (San Martín 1996). El tercer compartimento (C3) está conectado a C2 por un canal estrecho, tiene forma tubular y alargada, ligeramente dilatado en su porción final denominada estómago terminal; además presenta un pH de 2 - 3 (Figura 3) (Dittmann *et al.* 2015).

El volumen de C1 y C2 por unidad de PM en las llamas, es menor que el volumen del retículo-rumen en los ovinos. En la llama adulta, el contenido de C1 y C2 representa el 15% del PV, mientras que en el C3 es de 1 al 2%. En las alpacas el C1, C2 y C3 representan 2/3, 1/2 y 1/4 del peso total del estómago, respectivamente (San Martín 1996).



**Figura 3. Diagrama del estómago de alpaca**

Fuente: Adaptado de Vallenas *et al.* (1971)

## ▪ Glándulas estomacales

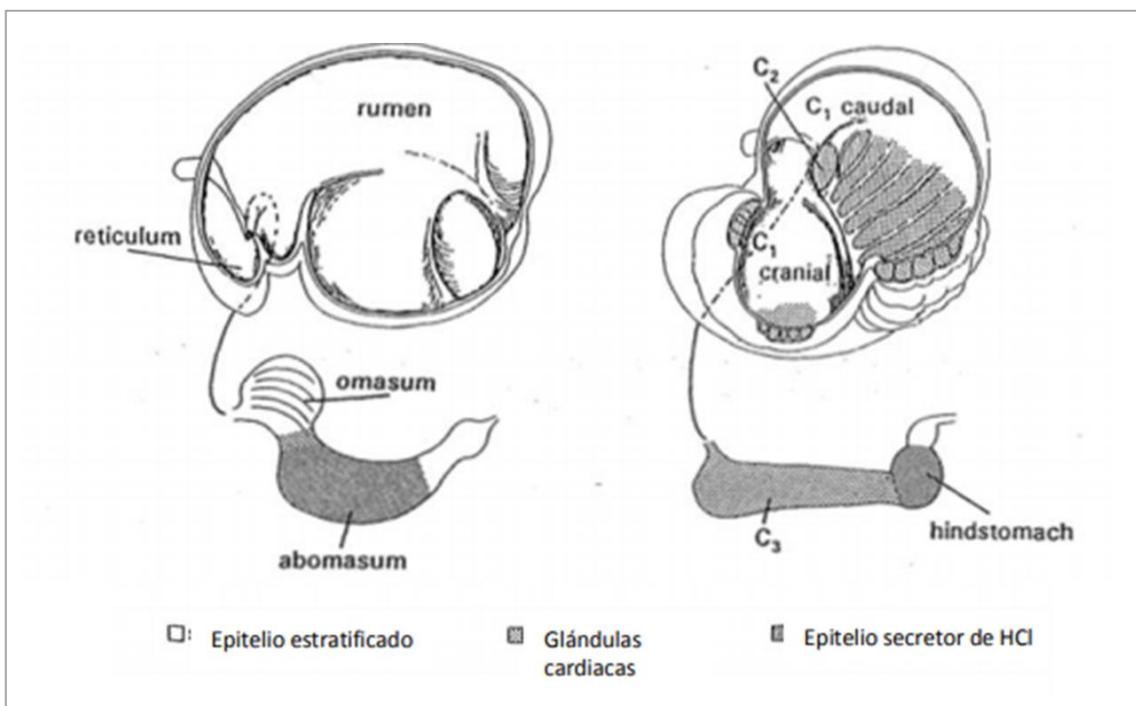
Los CSA presentan dos tipos de mucosa que cubren la pared interna de C1 y C2, los sacos glandulares, cubiertos por una mucosa glandular mucígena localizada en la parte ventral; y la superficie expuesta, cubierta por un epitelio escamoso estratificado no queratinizado localizado en la parte dorsal. Estas características los diferencian de los rumiantes tradicionales (San Martín y Bryant 1989).

La mucosa glandular mucinógena está presente en todos los compartimentos del estómago, con excepción de la quinta parte distal de C3 y tiene una estructura similar a la de los rumiantes, con diferencias en la disposición física (Cummings *et al.* 1972). Los compartimentos C1 y C2 de los CSA están cubiertos por áreas de sacos glandulares (Bowen 2003), con células epiteliales equipadas con microvellosidades (Lechner-Doll *et al.* 1995); mientras que el estómago del ovino, caprino y vacuno está formado por cuatro compartimentos (rumen, retículo, omaso y abomaso) de los cuales los tres primeros están cubiertos por papilas con epitelio estratificado y queratinizado (Figura 4) (Lechner-Doll *et al.* 1995). Sin embargo, ambos tipos de estómagos sirven de cámaras de fermentación, con un pH de 6 – 7, y responden a los mismos mecanismos de rumia (Irlbeck 2002).

Los sacos glandulares de C1 y C2 poseen diversas funciones. Al respecto, Rubsamen y Engelhardt (1978) informaron que la función principal de la región glandular en el estómago de los CSA es la rápida absorción de solutos y agua. En su estudio, las tasas de absorción alcanzaron aproximadamente 2 – 3 veces más que en el rumen de ovejas y cabras, aun considerando las diferencias de PV. Por otro lado, Eckerlin y Stevens (1973) indicaron que los sacos glandulares aportan cantidades significativas de bicarbonato, contribuyendo a la capacidad buffering de la ingesta en C1 y C2 y la secreción de mucosidad, glicoproteínas y urea, para mantener un ambiente óptimo para los microorganismos.

A nivel del último quinto de C3 se encuentran las verdaderas glándulas gástricas, solo aquí se produce la secreción de ácido clorhídrico (Dittmann *et al.* 2015). Otra de las funciones realizadas a este nivel es la de absorción de solutos y agua. Al respecto, Rubsamen y Engelhardt (1978) informaron que la tasa de absorción de solutos y agua a

nivel de C3 en alpacas fue significativamente mayor que los valores medidos en el omaso de ovejas y cabras, incluso considerando las diferencias en el PV.



**Figura 4. Comparación del estómago de los rumiantes y los camélidos**

Fuente: Adaptado de Dittmann *et al.* (2015)

## 2.2.2 Fisiología digestiva de los CSA

El proceso digestivo transforma las partículas grotescas del pasto natural, en productos de composición más simple denominados nutrientes, los cuales serán absorbidos por las mucosas digestivas. Esta simplificación o degradación es realizada mediante procesos mecánicos, biológicos y químicos (Yaranga 2009).

### a. Degradación mecánica de la ingesta

#### ▪ Insalivación

Este proceso se realiza a nivel de la cavidad oral y comprende la mezcla del alimento con la saliva. La saliva es un componente importante dentro del proceso digestivo de los CSA debido a que contribuye a la lubricación del alimento seco, el agregado de bicarbonato y

fosfato para amortiguar los efectos de los ácidos durante la fermentación y el reciclado de los nutrientes como la urea y el fósforo (Yaranga 2009).

Cavero (1970) señaló que la secreción de la glándula parótida en alpacas y ovejas presenta elementos amortiguadores de similar composición. Al respecto, Engelhardt y Sallmann (1972) y Eckerlin y Stevens (1973) indicaron similitudes entre las tasas secretoras y composición salival de los camélidos y los rumiantes. Sin embargo, Ortiz (1971) mostró que el pH y las concentraciones de iones en la saliva de alpaca son similares a los de los ovinos, pero que el flujo salival de la alpaca era mayor. Este hecho, considerando el tamaño relativamente pequeño de los dos primeros compartimentos del estómago, determina que la concentración de los elementos y compuestos tampones por unidad de volumen del contenido estomacal en la alpaca sea mayor que en ovinos.

#### ▪ **Masticación**

Este proceso ocurre en dos etapas. La primera etapa comprende la masticación rápida de los pastos, los cuales son embebidos con abundante saliva y agua de bebida para su posterior ingestión y almacenamiento en C1. La segunda etapa comprende la rumia del pienso, que ocurre cuando la ingesta almacenada en C1 es regurgitada hacia la cavidad oral, para ser sometida a una segunda masticación y una segunda insalivación, antes de su retorno hacia el estómago para su fermentación (Vivar 2018).

La rumia cumple un rol muy importante en la vida de los CSA; esta actividad dura entre 7 a 12 horas por día y es realizada en docenas de periodos. Facilita mucho más la acción de la fermentación microbiana y la destrucción de la membrana celular de los pastos ingeridos, provocando una secreción intensa de saliva (Yaranga 2009).

La rumia inicia con la regurgitación del bolo alimenticio; una vez que éste se encuentra nuevamente en la boca del animal, la parte líquida es deglutida y el gas de la fermentación es expulsado. Después se lleva a cabo el proceso de remasticación, que en el caso de los CSA tiene una duración de 1 minuto, con un promedio de 60 movimientos masticatorios por minuto, para que después el bolo alimenticio sea deglutido nuevamente y retorne al estómago (C1 y C2). La regurgitación es provocada por los movimientos del estómago y

el esófago, los cuales son accionados por el músculo liso localizado en sus paredes, que recibe una sensación combinada de “reflejo y voluntad”, en coordinación con los movimientos respiratorios. La estructura grosera de los pastos ingeridos excita a los músculos abdominales para que se inicie un proceso de rumia (Vivar 2018).

▪ **Retención de la ingesta**

Este proceso se lleva a cabo a nivel de los compartimentos estomacales y está mediado por la motilidad estomacal propia de los CSA (Yaranga 2009). Luego de la masticación, el C1 recibe todos los alimentos deglutidos por los CSA. Algunos pastos ingeridos (los de estructura más dura y seca) pueden ser rumiados varias veces, por lo cual podemos decir que el tiempo de pasaje a los compartimentos siguientes depende de la estructura celular del alimento (Yaranga 2009). Los CSA retienen el alimento en el tracto digestivo por un mayor tiempo que otros rumiantes (Heller *et al.* 1986). Un estudio realizado por Flórez (1973) reportó un mayor tiempo de retención de la ingesta en alpacas (50.3 h) en comparación con ovinos (43.2 h). De igual manera, San Martín (1987) informó que el tiempo de retención de la ingesta en llamas (63.2 h) era mayor comparado al de las ovejas (40.9 h) (Tabla 1).

**Tabla 1. Tasa comparativa de pasaje de partículas en el tracto digestivo de llamas y ovinos**

<i>Parámetro</i>	<i>Llamas</i>	<i>Ovinos</i>
<i>Rumen-retículo (%/h)</i>	3.5	4.6
<i>Ciego-colon (%/h)</i>	9.3	17.3
<i>Tiempo de tránsito</i>	18.9	12.0
<i>Tiempo total de retención promedio (h)</i>	62.3	40.9

Fuente: Adaptado de San Martín (1987) y Florez (1973)

En un estudio sobre el tiempo de tránsito gastrointestinal en diez especies de mamíferos, Clemens y Stevens (1980) indicaron que las llamas retuvieron partículas más grandes durante mayor tiempo en comparación con el ganado y los caballos. Con respecto a la

tasa de pasaje de líquidos de C1 a C2 en CSA en comparación con las ovejas, San Martín (1987) encontró una tasa de pasaje más rápida en llamas (10.4% / h) que en ovejas (7.7% / h) (Tabla 2), apoyando a Clemens y Stevens (1980), Heller *et al.* (1984) y Maloy (1972). La tasa de pasaje de líquidos más rápida en llamas podría deberse a la mayor proporción del flujo salival respecto al tamaño del estómago (Ortiz 1971; Owens e Isaacson 1977).

**Tabla 2. Volumen en tracto digestivo y estimación de tasa de pasaje líquido en llamas y ovinos**

<i>Parámetro</i>	<i>Llamas</i>	<i>Ovinos</i>
<i>Tasa de dilución (%/h)</i>	10.4	7.7
<i>Volumen ruminal (L)</i>	7.1	7.2
<i>Vol. Ruminal/kg PM</i>	0.17	0.29
<i>Tasa de flujo líquido (L/h)</i>	0.72	0.54

Fuente: Adaptado de San Martín (1987)

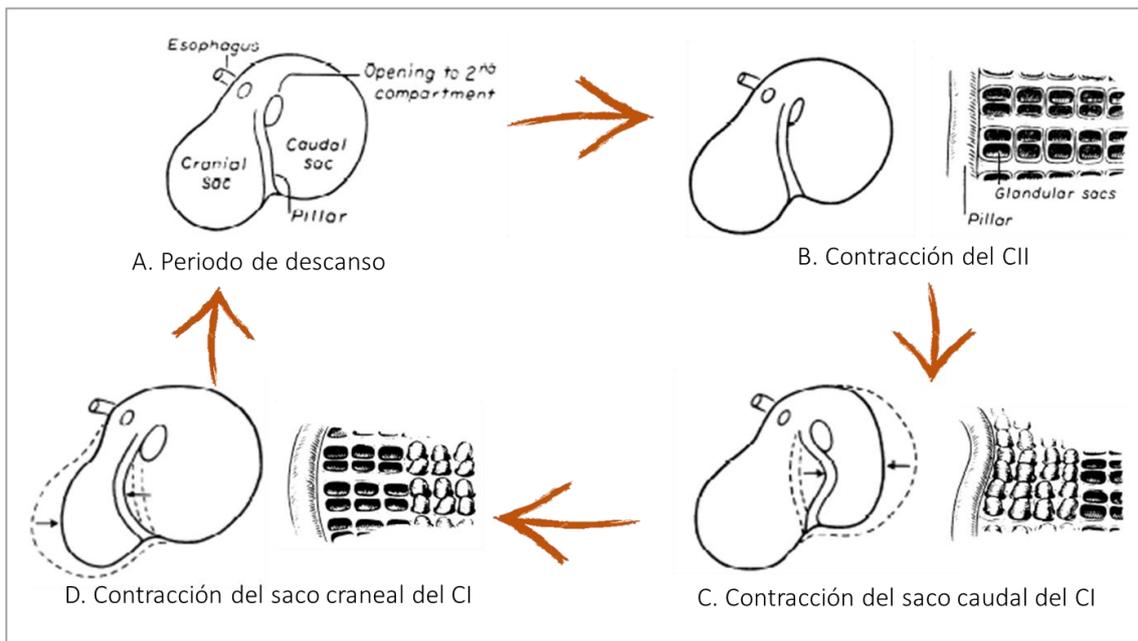
Harrison (1975) informó sobre una síntesis mejorada de proteínas microbianas de hasta un 25% como resultado del aumento de la tasa de dilución líquida por la aplicación de saliva artificial en alpacas. Por otro lado, la retención relativamente más corta de líquido ruminal en llamas en comparación con las ovejas indica que las llamas pueden haber mejorado el crecimiento microbiano en C1 y C2, asegurando una cantidad mínima de energía para mantener las poblaciones microbianas (Hespel y Bryant 1979).

#### ▪ **Motilidad estomacal**

La motilidad del estómago es una función crítica con respecto a la actividad de fermentación continua. Una motilidad constante asegura la exposición de los alimentos ingeridos a la unión microbiana con su posterior degradación, además asegura la mezcla de las fases líquidas y sólidas de la digesta y favorece el vaciamiento de los reservorios digestivos (Van Saun 2006). La motilidad estomacal en los CSA ha sido descrita por varios investigadores (Valenas y Stevens 1971a; Engelhardt y Rubsamen 1979; Heller *et al.* 1984). Al igual que en los rumiantes verdaderos, la motilidad del estómago de los CSA se produce en dos fases distintas: fase A y fase B. En comparación con los verdaderos

rumiantes, los CSA presentan patrones básicos de motilidad de los compartimentos dramáticamente diferentes. La motilidad de los camélidos es más continua y regular que la del rumiante (Heller *et al.* 1984; Van Saun 2006).

En los CSA, el ciclo de motilidad comienza con una secuencia única de contracciones A, seguida de una serie de contracciones B y una pausa hasta el inicio del siguiente ciclo de motilidad (Heller *et al.* 1984). La fase A es la contracción del C2 que sigue fuertemente la contracción del aspecto distal de C1. La fase B se inicia cuando la parte craneal de C1 se contrae seguido de la contracción de C2 y la porción caudal de C1. Esta fase B puede repetirse de tres a seis veces durante un ciclo antes de un breve período de descanso y el comienzo de un nuevo ciclo (Figura 5) (Van Saun 2006).



**Figura 5. Etapas básicas en la contracción cíclica del CI y CII del estómago de la llama y el guanaco (movimiento de mezclado)**

Fuente: Adaptado de Vallenas y Stevens (1971a)

Las contracciones de estómago se suceden cada 1-2 minutos. Cuando los animales están en descanso se contrae 3-4 veces por minuto, dichos intervalos se acortan durante la

ingestión de alimento de 4-5 veces por minuto. El eructo puede ocurrir de tres a cuatro veces durante cada ciclo de motilidad (Heller *et al.* 1984; San Martín 1996).

Los CSA tienen una mayor actividad del estómago en comparación con la contracción trifásica única por minuto de los verdaderos rumiantes. Este patrón de motilidad incrementado también puede influir en la observación de que estos animales son bastante resistentes a la acumulación o hinchazón de gases del estómago en comparación con los verdaderos rumiantes, favoreciendo el eructo frecuente, lo cual compensa el mayor tiempo de estadía de los alimentos en los C1 y C2. (Heller *et al.* 1984; Van Saun 2006).

## **b. Degradación biológica de la ingesta**

### **▪ Fermentación microbiana**

En los CSA, estos procesos se llevan a cabo a nivel de C1 y C2, los cuales funcionan como cámaras de fermentación anaeróbica. La población microbiana se mantiene al ingerir y masticar alimentos con regularidad, añadiendo tampones y eliminando los ácidos producidos, arrastrando los residuos alimenticios no digeribles y los productos microbianos, y manteniendo unas condiciones apropiadas de pH, temperatura y humedad para el crecimiento microbiano. Estos microorganismos dependen del rumiante para disponer de las condiciones óptimas para su crecimiento y el rumiante depende de los productos de la fermentación anaeróbica del alimento fibroso que ingiere y de la actividad biosintética microbiana, para cubrir sus propias necesidades nutritivas (Yokohama y Johnson 1988). El metabolismo de los CSA está enfocado a aprovechar los productos de la fermentación microbiana como los ácidos grasos volátiles (AGV) (Yaranga 2009).

La producción de AGV a partir de la fermentación bacteriana en C1 y C2 ha sido estudiada en la llama y el guanaco (Vallenas y Stevens 1971b). Se encontró que la concentración de AGV alcanzó los niveles más altos entre 1.5 y 2.0 h después de la alimentación. Vallenas *et al.* (1973a) estudiaron la producción de AGV y el pH en alpacas y ovejas bajo dos altitudes diferentes (al nivel del mar y a 3 320 msnm) con el mismo régimen de alimentación. Para las alpacas al nivel del mar, encontraron la misma respuesta reportada por Vallenas y Stevens (1971b) para llama y guanaco. Sin embargo,

para las alpacas a 3 320 m, la concentración máxima de AGV alcanzó los niveles más altos mucho más tarde, a las 6 h después de la alimentación. A grandes altitudes, las ovejas mostraron una tasa de fermentación inicial significativamente más rápida que la alpaca; sin embargo, no se encontraron diferencias a nivel del mar. En ambas especies, la magnitud de la fermentación del alimento siempre fue mayor a gran altitud que a nivel del mar.

Vallenas *et al.* (1973a) sugirieron que las alpacas recibían un mecanismo de amortiguación más eficiente que las ovejas porque las concentraciones de AGV eran similares, pero los valores de pH eran diferentes. El valor de pH obtenido en las ovejas fue más ácido que el obtenido en las alpacas. Esto permitiría a los CSA acercarse a mayores rendimientos bacterianos porque las condiciones ácidas aumentan los requerimientos de energía de mantenimiento de las bacterias del estómago. Además, las bacterias celulolíticas aparentemente obtienen rendimientos más bajos a valores de pH más bajos (Russell 1985).

Al determinar los AGV totales en la digestión gastrointestinal de 36 CSA adultos (25 alpacas y 11 llamas), Vallenas *et al.* (1973b), encontraron una gran actividad fermentativa a nivel de C1 y C2. También se produjeron concentraciones importantes de AGV en los dos tercios proximales de C3, en el ciego y el colon proximal. Las mayores concentraciones en alpacas y llamas, en comparación con los datos disponibles para ovejas, vacas y venados, sugieren una absorción más eficiente (casi completa) de AGV a nivel del estómago de los CSA. Con respecto a las concentraciones de diferentes AGV, Dougherty y Vallenas (1968) indicaron que la cantidad de gas que eructaban las alpacas era similar al ganado por unidad de PV.

### **c. Degradación química de la ingesta**

Durante los procesos de degradación mecánica (molienda y embebido por saliva y agua de bebida) y biológica (maceración y degradado por la fermentación microbiana), el alimento ingerido por los CSA es sometido a toda la serie de diastasas que son secretadas por las glándulas digestivas (Yaranga 2009).

La degradación química se lleva a cabo bajo dos medios de pH diferentes. La digestión gástrica, se efectúa en un medio ácido ocasionado por el ácido clorhídrico y la pepsina, que degradan la proteína en polipéptidos. Por otro lado, la digestión intestinal se efectúa en medio básico que es accionado por la bilis y el jugo pancreático, el cual comprende las diastasas del jugo pancreático (amilasa, maltasa, lipasa y tripsina) y las diastasas del jugo intestinal (sacarasa, lactasa, amilasa, maltasa, lipasa y erepsina) (Soltner 2008).

## **2.3 CONSUMO VOLUNTARIO DE ALIMENTO**

El consumo voluntario de alimento es entendido como la cantidad de MS de un forraje que el animal puede ingerir en condiciones normales y bajo un suministro *ad libitum* (Flores y Bryant 1989). Existen diversos factores que influyen en el consumo voluntario de los rumiantes (NRC, 2007), como la temporada (Newman y Paterson 1994), la morfología y anatomía del sistema digestivo (Vallenas *et al.* 1971), el tiempo de retención de la ingesta, la selectividad del animal (San Martin 1987), el tamaño del cuerpo (Demment y Van Soest 1985) y la digestibilidad y calidad del forraje (Meissner y Paulsmeier 1995).

El consumo de MS (CMS) es uno de los aspectos de mayor importancia en la producción, puesto que define la cantidad de nutrientes con que el animal dispone para el desarrollo óptimo de sus parámetros productivos. Su medición requiere un exceso de alimento y libre acceso al mismo. Su importancia práctica radica en la prevención de la subalimentación o la sobrealimentación (NRC 2007).

### **2.3.1 Métodos de estimación**

#### **a. Métodos directos**

Los métodos directos hacen referencia a la estimación del consumo bajo condiciones controladas en jaulas individuales y a la estimación por el método telemétrico basado en transmisiones de presión mediante unas “botas” especiales, que detectan los cambios de peso del animal (Minson 1981).

La estimación del consumo voluntario de alimento bajo condiciones controladas es relativamente sencilla. La mayoría de los trabajos experimentales se han basado en la medición del consumo en pesajes individuales de alimentos a intervalos de 24 h, considerando en algunos casos periodos más cortos y en otros, más largos (Camargo 2019). Estas mediciones se expresan bajo la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo de alimento} = \text{Cantidad de alimento ingerido} - \text{Cantidad de alimento rechazado}$$

Este método no es aplicable bajo condiciones de pastoreo, ni es apropiado para la estimación del consumo de forraje individual de animales mantenidos en grupo, lo cual aún representa una incógnita para los investigadores (Forbes 2007; Cottle 2013).

#### **b. Métodos indirectos**

En situaciones en las que no es posible medir el consumo de forraje directamente, como al pastoreo o en alojamiento en grupo; los métodos desarrollados y empleados hasta la fecha toman tiempo, trabajo y costo (Forbes 2007; Decruyenaere *et al.* 2009). Debido a ello, no es posible referirse a una estimación exacta del consumo, sino que es más correcto hablar de un índice estimativo de la cantidad de forraje consumido en condiciones de pastoreo, existiendo sin embargo técnicas más exactas que otras (Haro 2002). Los métodos indirectos incluyen estimaciones de consumo utilizando medidas agronómicas, parámetros del comportamiento animal y estimación de la porción no digerible del forraje y producción fecal total (Haro 2002; Forbes 2007).

La estimación del consumo utilizando medidas agronómicas consiste en la realización de cortes del forraje antes y después del pastoreo; el diferencial representa la cantidad consumida por el animal (Minson 1981). La principal desventaja de este método es que no considera los efectos asociados con el pisoteo, la selectividad del animal y el crecimiento del forraje, por lo que los resultados obtenidos mediante esta metodología son dudosos (Haro 2002).

La estimación del consumo mediante la utilización de ciertos parámetros de comportamiento animal, como el tiempo de pastoreo, número de bocados por unidad de tiempo y el tamaño del bocado ha sido descrita y empleada por Minson, (1981) y Forbes (2007); sin embargo, los datos obtenidos por este método presentan coeficientes de variación hasta de un 50%, lo que indica la baja precisión del mismo (Haro 2002).

La estimación del consumo mediante la obtención de la porción no digerible del forraje y producción fecal total ha sido considerada como método estándar por ser la más adecuada en términos de precisión. Contempla la relación entre la cantidad total de heces producida por unidad de tiempo y la porción no digerible de la ingesta. El grado de exactitud del método dependerá de la precisión con que se determine la producción diaria de heces y la digestibilidad de la dieta seleccionada por el ganado (Haro 2002). Este método se realiza a través del uso de bolsas colectoras y de animales fistulados esofágicamente, a pesar de sus desventajas relacionadas con el tiempo y costo. Actualmente, este método puede realizarse mediante el uso de marcadores, sustancias indigestibles que están presente en los alimentos o que pueden ser agregados a ellos (Haro 2002 y Forbes 2007). El conocimiento de la concentración del marcador en el alimento y la medición de su concentración en las heces permiten medir la producción total de heces y digestibilidad. Alternativamente, agregar un peso conocido de un marcador a la dieta diaria, seguido de la medición de su concentración en las heces, permite calcular el consumo de forraje, siempre que se conozca la digestibilidad (Forbes 2007).

### **2.3.2 Consumo voluntario de alimentos en CSA**

San Martin y Bryan (1989) reportaron un CMS promedio de 1.8% y 2.0% del PV en alpacas y llamas, respectivamente (Tabla 3). López y Raggi (1992) sugirieron un CMS de 1.7% y 1.5% del PV en alpacas y llamas, respectivamente. Estos últimos son valores superiores que los esperados por el NRC (2007), que sugiere el CMS de 1.0% y 1.5% del PV en alpacas y llamas, respectivamente (Figura 6). Bajo condiciones de pastoreo, Dumont *et al.* (2003) encontraron un CMS de 0.8 a 1.3% del PV en llamas. De igual forma, Ordoñez (1994) encontró un CMS de 1.7 kg por día, equivalente al 1.6% del PV en llamas, teniendo en cuenta que el estudio se realizó con animales de 110 kg de PV. San Martin (1987) reportó que, en base al PM, las llamas y alpacas tenían el mismo nivel

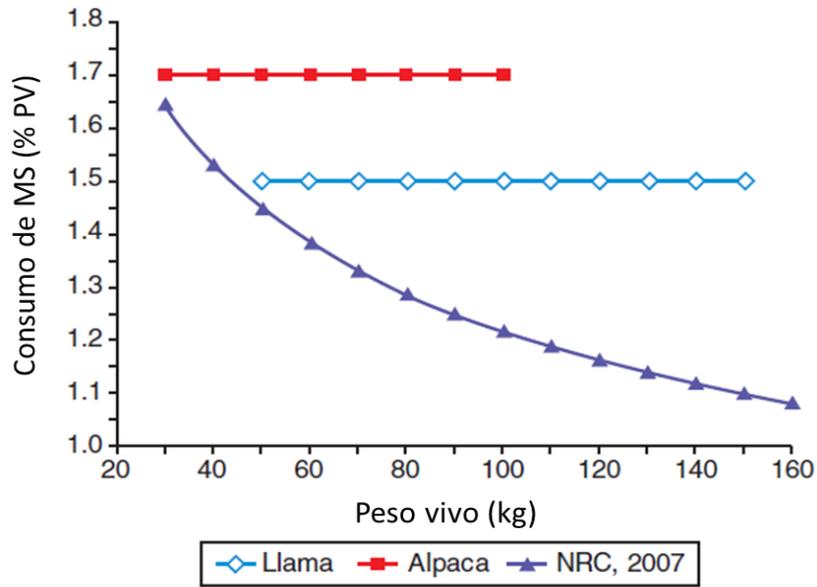
de ingesta con pasto mejorado y pastos nativos, pero los valores de ingesta fueron 36% menos comparados a los ovinos en pastos mejorados y un 26% menos en los pastos nativos, respectivamente (Tabla 3).

**Tabla 3. Consumo diario comparado entre alpacas, llamas y ovinos en estabulación y pastoreo**

<i>Consumo</i>		<i>Consumo diario</i>			<i>Diferencia, %</i>	
		Alpacas	Llamas	Ovinos	Alpacas	Llamas
<i>Estabulado</i>	MS, % PV	1.83	-	2.3	20	-
		-	2.0	3.3	-	39
<i>Pastoreo (cultivado)</i>	OM, g/kg PM	-	52.8	83.2	-	36
<i>Pastoreo (nativos)</i>	MS, g/kg PM	50.0	46.8	68.1	26	31

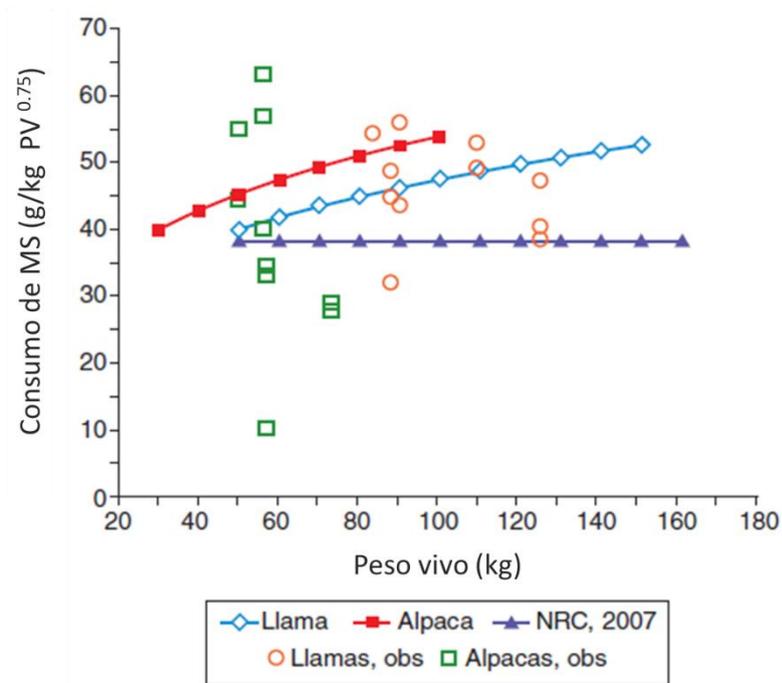
Fuente: Adaptado de San Martín (1987); Florez (1973)

En un esfuerzo por crear un mejor modelo para las expectativas de CMS, San Martín y Van Saun (2014) contrastaron datos obtenidos a partir de siete estudios publicados, en los que se determinaron los CMS individuales en mantenimiento y se describieron los contenidos de nutrientes del forraje, con la finalidad de utilizarlos para caracterizar la capacidad de ingesta de los animales estudiados. Los datos medios (n = 4 a 16 animales) de estos estudios representaron un total de 22 comparaciones alimenticias de forraje. Los CMS generales para llamas y alpacas no fueron diferentes (1.5% PV), pero en comparación con las expectativas actuales de CMS, se observaron variaciones individuales significativas, especialmente en las alpacas. Sobre una base de PM (g/kg PV<sup>0.75</sup>), las llamas tuvieron una ingesta ligeramente mayor (46.1 versus 39.4) en comparación con las alpacas (Figura 7).



**Figura 6. Comparación entre los CMS esperados en alpacas y llamas en mantenimiento**

Fuente: Adaptado de NRC (2007) y López y Raggi (1992)



**Figura 7. Comparación entre el CMS esperado y observado en alpacas y llamas en mantenimiento**

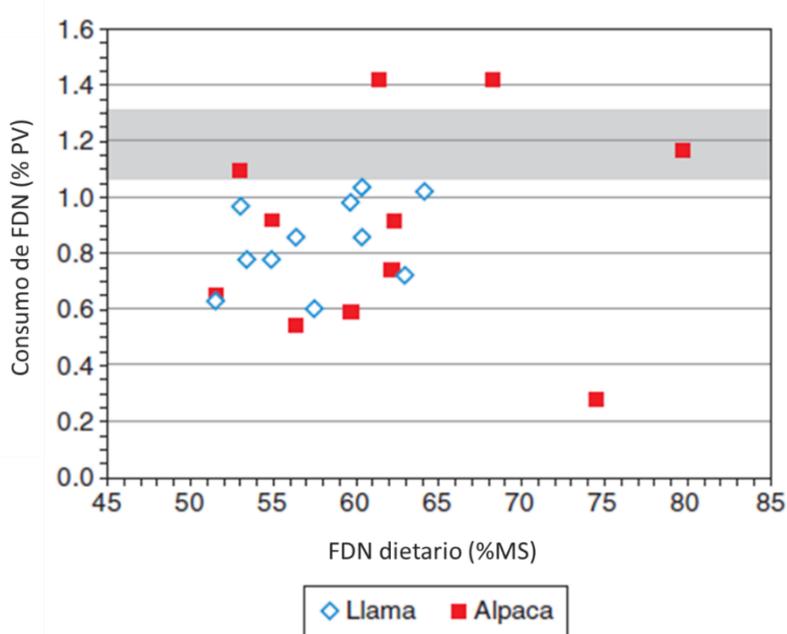
Fuente: Adaptado de NRC (2007) y López y Raggi (1992)

La información disponible respecto a CMS en CSA proviene, en gran medida, de estudios comparativos entre CSA y ovinos realizados bajo condiciones de estabulación (San Martín 1987; San Martín y Bryant 1989); sin embargo, no existe un acuerdo completo entre los hallazgos de los diversos estudios. Algunos muestran CMS similares entre especies (en base al porcentaje del PV) (Warmington 1989), mientras que otros muestran CMS ligeramente diferentes (San Martín y Bryant 1989; López *et al.* 1998; Van Saun 2006). La gran mayoría de los trabajos confirman que los CSA presentan un CMS inferior en comparación con los ovinos (San Martín y Bryant 1989; Van Saun 2006).

Cebra *et al.* (2014) mencionaron que la gran diferencia en la calidad del forraje utilizado también puede conducir a una amplia gama de resultados respecto a CMS. Tanto la fibra detergente neutra (FDN) (López *et al.* 1998) como la proteína (San Martín y Bryant 1989; San Martín 1991) tienen influencia en la capacidad de consumo en CSA y rumiantes tradicionales. Cuando el contenido de FDN de los alimentos sube, la capacidad del consumo de alimento se reduce (Meissner y Paulsmeier 1995). Esto se debe a que es necesario rumiar durante más tiempo el alimento fibroso antes de que se pueda despejar el estómago, lo que causa una disminución en el consumo (Meyer *et al.* 2010). Además, Meyer *et al.* (2010) mencionan que con el aumento de la calidad de la dieta, los animales tienden a ingerir menos alimento porque sus necesidades se satisfacen con cantidades más pequeñas.

La ingesta recomendada de FDN para optimizar el rendimiento productivo en rumiantes tradicionales es 1.2% PV (Mertens 1994). A partir del contraste de diversos estudios, San Martín y Van Saun (2014), obtuvieron que el consumo de FDN como porcentaje del PV ( $0.9\%PV \pm 0.3\% PV$ ) fue menor en llamas y alpacas en comparación con los rumiantes tradicionales (Figura 8). La menor capacidad de consumo de FDN es consistente con el mayor tiempo de retención de la ingesta en C1 para facilitar la fermentación de la fibra en los SAC. Estos datos sugieren que el contenido de FDN en la dieta podría usarse para predecir la capacidad potencial de consumo. El CMS de mantenimiento esperado se basaría en una ingesta de FDN de 0.6% PV y 1.2% PV, con los valores más bajos y más altos representando forrajes de baja y alta calidad, respectivamente. La variabilidad observada en el consumo de FDN podría atribuirse a diferencias en la digestibilidad de FDN del forraje. Cabe resaltar la marcada diferencia (0.28% PV versus 1.16% PV) en el

consumo de FDN para los dos tratamientos con FDN más altos; ambos forrajes fueron descritos como paja. En un modelo de simulación para predecir la producción de alpaca en la Puna Seca de los Andes, el CMS máximo se modeló como  $90 \text{ g/kg PV}^{0.75}$ , con factores de corrección que explican la digestibilidad y disponibilidad del forraje (Arce 1994). El factor de disponibilidad no sería aplicable en sistemas donde se proporciona forraje *ad libitum* y, por lo tanto, solo el factor de digestibilidad alteraría la capacidad de consumo. San Martín y Van Saun (2014), a partir del contraste de los siete estudios publicados antes mencionados, obtuvieron que el consumo observado fue de  $42.7 \text{ g/kg PV}^{0.75}$  (Figura 9), consistente con las expectativas de ingesta publicadas (López y Raggi 1992; NRC 2007). Utilizando este modelo de ingesta, se pronosticaría un 47,4% de digestibilidad del forraje cuando el FDN del forraje oscilara entre 51,5% y 79,9% de MS.

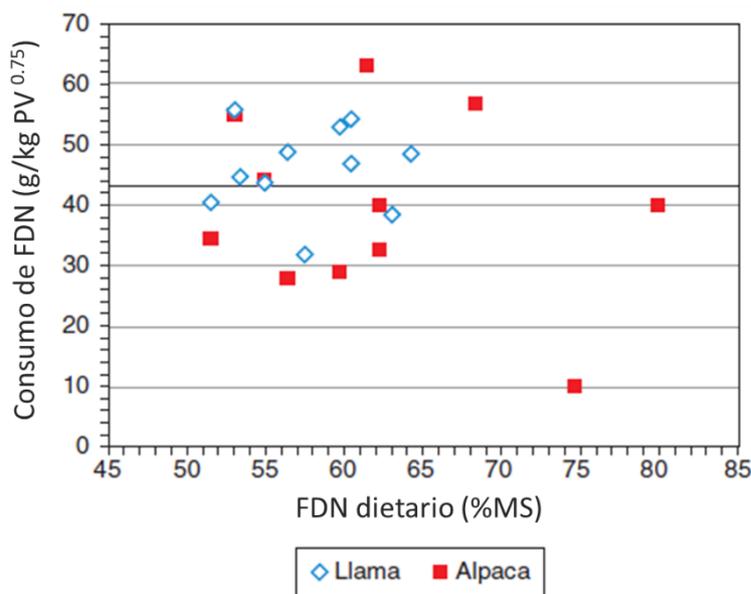


**Figura 8. Relación entre el contenido de FDN dietario y el consumo de FDN**

Fuente: Adaptado de NRC (2007) y López y Raggi (1992)

Los valores más bajos de consumo en CSA también podrían ser consecuencia del mayor tamaño corporal y los requerimientos de energía relativamente más bajos (Schneider *et al.* 1974; Engelhardt y Schneider 1977). Esto permite a los CSA ser menos selectivos que los animales más pequeños (Meyer *et al.* 1957; Jarman 1974). Los tallos, que son consumidos más por los CSA que por los ovinos, se conservan durante un mayor tiempo

en el estómago que las fracciones de las hojas. Además, los CSA tienen menor volumen en el C1 y tasas de pasaje de partículas más bajas que los ovinos (San Martín 1987), los cuales son alta y negativamente correlacionados con el consumo (Thornton y Minson 1972; Allison 1985).



**Figura 9. Relación entre el contenido de FDN dietario y el CMS observado**

Fuente: Adaptado de NRC (2007) y López y Raggi (1992)

Es complicado comparar los resultados de los estudios realizados bajo condiciones de pastoreo con los realizados bajo estabulación (Stölzl *et al.* 2014). Asimismo, Van Saun (2006) afirma que el CMS exacto solo se puede detectar bajo condiciones estrictas de estabulación. Sin embargo, los resultados encontrados bajo ambas condiciones de manejo no difieren en gran medida. San Martín y Bryant (1989) resumen una gran cantidad de datos de consumo de llamas y alpacas en zonas altiplánicas. Ellos reportaron que, al igual que en estudios bajo condiciones de estabulación, el consumo en condiciones de pastoreo es menor en los CSA en comparación a los ovinos.

El consumo de alimento en CSA reportado en la estación seca, con algunas excepciones, es similar o mayor que en la temporada de lluvias. Esto podría deberse a que durante esta última la calidad de la dieta es más alta, mientras que los animales aumentan la capacidad

del intestino en respuesta a la baja calidad de la dieta durante la estación seca (Chesson y Orskov 1984; Kahn y Spedding 1984; Mc Collum y Galyean 1985). Otro factor podría ser el alto contenido de agua de las plantas durante la temporada de lluvias. Sin embargo, la adición de agua al rumen tiene poco efecto sobre la ingesta ya que en gran parte es absorbido y expulsado (Holmes y Lang 1963). La retención de agua por el "efecto esponja" de componentes estructurales gruesos del forraje ingerido puede tener un efecto inhibitorio sobre la ingesta (Van Soest 1982), y podría explicar por qué el consumo no es más alto en la temporada de lluvias en comparación con la estación seca.

En producción animal, un bajo consumo de alimento suele estar asociado a un bajo nivel de producción debido a que un gran porcentaje de la energía proveniente del alimento es empleado para cumplir con los requisitos de mantenimiento, lo que resulta en una conversión alimenticia deficiente. En contraste, el bajo consumo de alimento observado en CSA manejados bajo su hostil ambiente nativo, con escasa disponibilidad de forraje de baja calidad durante la mayor parte del año, es una adaptación importante que, junto con una mayor capacidad digestiva, proporciona una ventaja competitiva (San Martín y Van Saun 2014).

## **2.4 CONSUMO VOLUNTARIO DE AGUA**

Estudios sobre consumo y tolerancia a la restricción de agua (Fernández 1989; Mendoza 1989) señalan que el consumo de agua es menor en alpacas y llamas en comparación con el ovino, lo que, a su vez, se debe al menor consumo de MS observado en CSA.

Mendoza (1989) estableció una relación de 1.5 litros de agua por kg de MS consumido. Sin embargo, al realizar comparaciones entre la relación consumo de agua y consumo de materia seca, se observa que la alpaca y el ovino tienen una relación similar (2:2), mientras que la llama presenta una relación más estrecha y significativamente inferior (1:6) a la del ovino y alpaca.

Mendoza (1989) estableció que al relacionar el CMS en porcentaje de PV con el consumo de agua (ml/CMS en gramos), se obtiene que a medida que se disminuye el CMS, aumenta la cantidad de agua ingerida por gramo de alimento consumido, lo cual podría estar dado

por un efecto de llenado ruminal. Fernandez (1989) señala que ante un privación de agua en alpacas y ovinos, los primeros redujeron menos el consumo de alimentos, perdieron menos peso y tuvieron mayor capacidad de recuperación del stress hídrico en comparación con los ovinos. Estos resultados preliminares muestran que los CSA tienen capacidad a resistir penurias hídricas, situaciones a las que no son ajenos en las condiciones naturales de crianza.

## **2.5 DIGESTIBILIDAD**

La digestibilidad puede definirse como la cantidad consumida de alimentos que no se excreta en la heces y que, por lo tanto, se considera absorbida por el animal (Mc Donald 1986). Constituye el segundo factor dietario de interés debido a que define el aporte de nutrientes para el organismo animal (NRC 2007). La digestibilidad implica cuantificar los nutrientes consumidos y las cantidades que se eliminan en las heces; por ello, es importante que las heces recolectadas representen en forma cuantitativa el residuo no digerido del alimento consumido previamente medido (Cerdea *et al.* 1986).

### **2.5.1 Métodos de estimación**

#### **a. Métodos *in vivo***

##### **▪ Método de colección total de heces**

El método de digestibilidad por colección total de heces (CTH) es el que da la mejor estimación de la digestibilidad de los alimentos, ya que involucra directamente factores tanto del alimento como del animal (Basurto y Tejada 1992). Este método implica el conocimiento de la cantidad del alimento consumido y peso de las heces húmedas excretadas. Estos datos, complementados con el correspondiente análisis químico del alimento y las heces, permiten calcular la diferencia entre la cantidad de un determinado nutriente consumido y la cantidad excretada por el animal (Cebra *et al.* 2014).

Para la estimación de la digestibilidad de los alimentos mediante este método, se considera necesario el empleo de 4 a 6 animales como mínimo, a fin de obtener una

información con buen grado de confiabilidad (Burns *et al.* 1991). Cabe mencionar que lo más apropiado es el empleo de animales machos, ya que esto facilita la recolección de heces y orina por separado (Mc Donald 1986). Lascano (1990) señalan que se pueden utilizar jaulas individuales de madera o metálicas que permitan la recolección de heces. Las jaulas usadas, llamadas jaulas de digestibilidad, tienen como objetivo disminuir el movimiento del animal; además, deben tener piso ranurado, para evitar el exceso de humedad y facilitar el recojo de las heces (Cañas 1995). Las heces en este tipo de jaula caen en el recipiente de atrás y la orina es conducida al recipiente de adelante (Tobal 1999). La recolección de heces se puede realizar con la ayuda de sacos atados al animal llamados bolsas colectoras. Éstas contienen bolsas de polietileno en su interior, las cuales reciben las heces y pueden ser retiradas de los arneses en cada ocasión, para que el material fecal pueda ser posteriormente pesado, rotulado y conservado a -20 °C, hasta su correspondiente análisis en el laboratorio (Tobal 1999).

El número de días necesarios para la estimación de la digestibilidad mediante este método varía de acuerdo a las condiciones del estudio. Diversos autores (Church 1974; Mc Donald 1986; Church 1993; Cañas 1995) concuerdan en que debe existir un período de adaptación previo en el cual se alimente a los animales con la ración que queremos estudiar. El establecimiento de dicho periodo permite la adaptación de los microorganismos ruminales al nuevo alimento, la eliminación del tracto gastrointestinal de cualquier residuo de alimentos precedentes, y el ajuste del consumo de alimentos hasta un nivel estable, algo por debajo del consumo máximo. Este ajuste se realiza con la finalidad de asegurar la totalidad de su consumo y reducir la variación en la medición de la digestibilidad en la etapa de recolección de heces, por un efecto de arrastre del consumo *ad libitum* (Lascano 1990). Además, durante el periodo de adaptación se evalúa la funcionalidad de los arneses y bolsas colectoras; esta última acción permite que se realicen los ajustes necesarios para asegurarnos de que no haya pérdida de material fecal durante el periodo de recolección de heces (Greenhalgh 1982). Durante dicha recolección, los animales son sometidos a un determinado nivel de alimentación. Lascano (1990) señala que lo más común es medir la digestibilidad y el consumo en condiciones de alimentación *ad libitum*, tomando como nivel un 15% más de alimento sobre el consumo máximo observado. Por su parte, López *et al.* (2000) sugieren considerar como nivel un 10% menos de lo registrado como consumo voluntario, para evitar la selección. Cañas

(1995) recomienda que la recolección de heces se lleve a cabo dos veces al día; sin embargo, una vez al día podría ser suficiente cuando el consumo de los animales es bajo.

Camargo (2019) recomienda un período de adaptación de 7 a 10 días y un período de recolección de heces de 5 a 7 días como mínimo. Este tiempo sería el mínimo necesario para obtener una medición razonable de la producción de heces y reflejar cambios que podrían ocurrir en la digestibilidad y composición del forraje consumido. Lascano 1990 indica que los animales deberán pesarse al inicio y al final de la prueba, desparasitarse antes de iniciar el período de acostumbramiento, controlar que se encuentren en buen estado de salud y no variar el régimen alimenticio previamente escogido durante el período de colección de heces.

La digestibilidad determinada por el método *in vivo* se expresa como digestibilidad aparente o real según las siguientes ecuaciones:

$$\text{Digestibilidad } in\ vivo\ aparente\ de\ MS = \frac{\text{Cantidad de MS ingerida} - \text{Cantidad de MS excretada}}{\text{Cantidad de MS ingerida}} \times 100$$

$$\text{Digestibilidad } in\ vivo\ real\ de\ MS = \frac{\text{Material ingerido} - \text{Material excretado} - \text{Excreción endógena}}{\text{Cantidad de alimento ingerido}} \times 100$$

Esta última ecuación requiere la separación de la excreción endógena (descamación, secreción del jugo digestivo y cuerpos bacteriales) de la exógena (Tobal 1999). Se puede obtener el coeficiente de digestibilidad de cualquier componente de la dieta a partir de la fórmula anteriormente planteada, mediante la siguiente ecuación:

$$DI = \frac{(y - x) + xD}{y} \times 100$$

Donde:

DI = Coeficiente de digestibilidad del componente de interés.

y = Porcentaje del componente en el alimento en base seca.

x = Porcentaje del componente en heces en base seca.

D = Porcentaje de digestibilidad de la M.S.

#### ▪ **Método del marcador**

Existen ocasiones en que, por falta de material apropiado, personal o por la naturaleza del ensayo de digestibilidad, es imposible medir el consumo total de alimento o coleccionar la excreción total de heces (Van Keulen y Young 1977; Bondi 1989; Merchen 1993; Church y Pond 1994; Tobal 1999). Bajo estas condiciones es deseable el uso de marcadores (Cochran *et al.* 1986) siendo necesario conocer la concentración de la sustancia de referencia en el alimento y en las heces (Van Soest, 1994) siempre que se identifique el marcador apropiado (Fahey y Jung 1983). La relación que exista entre estas concentraciones nos otorga una estimación de la digestibilidad (Tobal 1999; Rodríguez *et al.* 2007).

Los marcadores, también denominados indicadores o trazadores, son compuestos de referencia usados para monitorear aspectos físicos, como la tasa de pasaje, y químicos, como hidrólisis y síntesis, haciendo estimaciones cuantitativas o cualitativas de la fisiología nutricional (Kobt y Luckey 1972). El uso de marcadores minimiza la interferencia con los patrones de comportamiento animal y simplifica los procedimientos (González 2016).

Un marcador debe ser inerte y carecer de efectos tóxicos, no debe tener función fisiológica, no debe ser absorbido ni metabolizados en el tracto digestivo, debe mezclarse bien con el alimento y mantenerse uniformemente distribuido en la digesta, no debe influir sobre las secreciones gastrointestinales, digestión, absorción o motilidad normal, no debe influir sobre la microbiota del tracto digestivo, debe poseer propiedades físico químicas, fácilmente discernibles en la totalidad del tracto digestivo, que permitan su determinación cuantitativa de forma simple y exacta, y debe ser barato (Kobt y Luckey 1972). Es difícil que exista algún marcador que reúna todas estas características, pero

varias de estas sustancias reúnen la mayoría de los requerimientos para proporcionar datos significativos (Owens y Hanson 1992; González 2016).

El uso de marcadores ofrece una serie de ventajas en relación con el método de CTH, es menos laborioso y no requiere de la medición del consumo del alimento a evaluar y su excreción fecal, ya que las determinaciones pueden ser realizadas directamente sobre muestras del alimento y de las heces (Van Keulen y Young 1977; Bondi 1989; Van Soest 1994). Algunos de los problemas principales asociados a estudios que utilizan indicadores para la determinación de la digestibilidad son la recuperación incompleta en las heces, la variación en la tasa del pasaje por el rumen, los muestreos poco representativos y los delineamientos estadísticos (Titgemeyer 2001).

Los marcadores han sido clasificados bajo diversos criterios, siendo su naturaleza el más común (Kotb y Luckey 1972). Regularmente han sido divididos en internos y externos (Mc Donald 1986; Pond *et al.* 1987; Lascano 1990; Basurto y Tejada, 1992; Merchen 1993; Church y Pond 1994; Cañas 1995). Adicionalmente, Van Soest (1994) incluye una tercera categoría, los modelos de estimación de la digestibilidad generados matemáticamente.

#### – **Marcadores internos**

Los marcadores internos son aquellos constituyentes naturales del alimento no digeridos ni absorbidos por el animal (Pond *et al.* 1987; Van Soest 1994) o que se digieren en muy poca cantidad (Church y Pond 1994). Su utilización es ventajosa gracias a que, por ser componentes indigeribles de los alimentos, no es necesaria la preparación del marcador (Huhtanen *et al.* 1994). Actualmente, el marcador interno más empleado es la lignina (Lachmann *et al.* 2009).

La lignina ha sido ampliamente utilizada como marcador interno, considerando que parece no ser digerida por animales y presentar una recuperación cuantificable en las heces (Muntifering 1982; Reeves 1997). Sin embargo, diversos autores demuestran que este polímero fenólico puede ser degradado o modificado después de pasar por el tracto gastrointestinal (Rodríguez *et al.* 2007); consecuentemente, las cantidades recuperadas en

las heces son bajas. Fahey y Jung (1983) indicaron que la digestibilidad de la lignina observada en varias dietas varió de 27.9 a 53.3% demostrando que su utilización como marcador es cuestionable. Van Soest (1994) señala que en gramíneas jóvenes y especies vegetales con bajas concentraciones de lignina, su menor grado de polimerización puede ocasionar una digestibilidad del orden de 20 a 40%. Recomienda el uso de la lignina como indicador en raciones con concentraciones superiores a 5% de la MS.

El método analítico utilizado es otro punto importante a ser considerado (Rodríguez *et al.* 2007). Giger (1985) observó variaciones en los resultados de hasta 50% dependiendo de las técnicas analíticas empleadas, destacando que el desconocimiento detallado de la estructura de la lignina dificulta la especificidad de los métodos de determinación. Al respecto, Fahey y Jung (1983) señalaron que la elección del método analítico puede alterar drásticamente la interpretación de las medidas de flujo de digesta y producción fecal (Lachmann *et al.* 2009).

Teniendo en consideración las limitaciones mencionadas, el uso de la lignina como marcador interno debe ser visto con cautela, debido a que su recuperación fecal incompleta puede llevar a subestimar la digestibilidad de los nutrientes (Lachmann *et al.* 2009).

#### – **Marcadores externos**

Los marcadores externos son sustancias químicas que se suministran al animal, ya sea directamente con la ración, en cápsulas o en soluciones (Church y Pond 1994) y que, al igual que los internos, no son digeridos ni absorbidos (Pond *et al.* 1987; Van Soest 1994). Actualmente, el marcador externo más empleado es el óxido crómico (Pond *et al.* 1987; Basurto y Tejada 1992; Merchen 1993; Van Soest 1994; Tobal 1999; Lachmann *et al.* 2009).

El óxido crómico fue propuesto como indicador en 1918 en estudios con vacas lecheras y desde entonces, ha sido ampliamente utilizado como indicador externo en ensayos de digestibilidad (Rodríguez *et al.* 2007).

Este compuesto es un polvo denso de coloración verde oscura, insoluble en agua, alcohol y acetona, y ligeramente soluble en ácidos y álcalis (Tobal 1999). En estudios con rumiantes, el óxido crómico puede ser administrado a través de cápsulas de gelatina, impregnado en papel de filtro o en forma de pellets (Elam *et al.* 1962), con una frecuencia de 1 o 2 veces al día, de 1 a 10 g (Rodríguez *et al.* 2007).

Kotb y Luckey (1972) indicaron que el óxido crómico posee una tasa de pasaje más rápida por el rumen que el material fibroso, es por esta razón que su uso como marcador no resulta apropiado en estudios para determinar los tiempos de retención de la digesta. Además, existe la posibilidad de su acumulación en alguna parte del tubo digestivo, lo que afecta directamente el patrón de excreción del marcador (Merchen 1993).

El óxido crómico ofrece ciertas ventajas como marcador, ya que no es tan caro, se incorpora fácilmente en la dieta y es analizado con relativa facilidad (Tobal 1999). Sin embargo, presenta algunas limitaciones, como baja recuperación fecal, principalmente en función de la variabilidad de los resultados obtenidos debido a la metodología de análisis (Curran *et al.* 1967) y variación diurna de su excreción en las heces, lo cual puede ser evitado dando el indicador dos veces al día (Owens y Hanson 1992).

#### – Modelos de estimación

En los últimos años se han desarrollado modelos de estimación de la digestibilidad generados matemáticamente. Dentro de ellos, destacan las ecuaciones de regresión que permiten estimar la digestibilidad de los alimentos a partir de componentes fecales (Minson 1981). Una de las ecuaciones más estudiadas es la del nitrógeno (N) o de la PC fecal ( $PC = N \times 6.25$ ), la cual permite estimar la digestibilidad de la MO de las dietas seleccionadas por animales de pastoreo sin necesidad de recolectar muestras representativas del forraje ingerido. Se basa en la relación positiva entre la concentración de PC en la MO fecal y la digestibilidad de la MO (DMO) de la dieta, causada por el aumento de la excreción de nitrógeno no dietético (NND) y la disminución de la MO fecal no digerida a medida que aumenta la DMO (Wang *et al.* 2009).

Considerando la diferente capacidad digestiva de las especies animales y los efectos específicos del tipo de dieta, algunos investigadores recomendaron establecer ecuaciones de regresión individuales para especies y tipos de dietas, para estimar la digestibilidad en condiciones de pastoreo (Le Du y Penning 1982; Bartiaux-Thill y Oger 1986). En contraste, otros declararon que establecer ecuaciones de regresión individuales para dietas específicas limitaría el uso general de este método y demostraron que una ecuación general puede predecir con precisión la DMO para diferentes dietas basadas en forraje (Leite y Stuth 1990; Schmidt 1993; Schmidt y Jentsch 1994; Boval *et al.* 2003; Lukas *et al.* 2005; Wang *et al.* 2009).

Se sugirió que la inclusión de PC dietética no digerible en la excreción total de PC fecal podría afectar negativamente la precisión de la relación entre la concentración de PC en la MO fecal y la DMO, por lo tanto, se propuso a la PC soluble en detergente ácido (PCSDA) como una variable más sensible para la estimación de la DMO (Guerin *et al.* 1989). Sin embargo, Lukas *et al.* (2005), Schlecht y Susenbeth (2006) y Wang *et al.* (2009) encontraron que reemplazar la PC fecal por PCSDA no mejoró la relación con la DMO.

Se han desarrollado algunas ecuaciones de regresión específicas para cada especie animal, haciendo uso del procedimiento de modelo mixto no lineal. Lukas *et al.* (2005) desarrolló una ecuación de regresión para estimar la DMO a partir del contenido de PC en la MO fecal, en bovinos:  $DMO (g/kg MS) = 728.6 - 1077 * \exp(-0.01515 * PC fecal (g/kg MO))$ ; mientras que Wang *et al.* (2009) desarrollo la siguiente ecuación de regresión para su aplicación en ovinos:  $DMO (g/kg MS) = 0.899 - 0.644 * \exp(-0.5774 * PC fecal (g/kg MO)/100)$ . A la fecha, no se cuenta con una ecuación de regresión que permita estimar la digestibilidad de la MO a partir del contenido de PC en la MO fecal en alpacas.

## **b. Método *in situ***

El método de digestibilidad *in situ* (DIS), también denominado de la bolsa de nylon (Orskov *et al.* 1983), permite estimar la digestibilidad mediante el estudio de la cinética de degradación del alimento en el rumen de animales fistulados (Reyes 2012). Se encuentra clasificado dentro de los métodos para la estimación de la digestibilidad

realizadas bajo condiciones *in vivo*, y es considerado uno de los más exactos para la estimación de la digestibilidad en rumiantes (Giraldo *et al.* 2007).

Para el desarrollo de este método, el alimento se coloca dentro de bolsas de nylon cerradas y luego en el rumen de los animales. Posteriormente, las distintas bolsas son retiradas a lo largo del tiempo, lo cual permite medir la cantidad de material que ha desaparecido. Se asume que la fracción del alimento que no se recupera dentro de las bolsas ha sido degradada, de este modo se construye la curva de desaparición (Tobal 1999).

El desarrollo del método de DIS representó un gran avance dentro del campo de la nutrición de rumiantes, debido a que permite el estudio de la cinética de degradación (Reyes 2012). Además, ha demostrado un buen grado de asociación con el consumo y la digestibilidad para alimentos como forrajes frescos y henos (Orskov 1983). La DIS de la MS se estima mediante la siguiente ecuación (García *et al.* 2008):

$$\text{Digestibilidad in situ (\%)} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Este método ha ganado gran aceptación cuando se requiere estimar la digestibilidad aparente de la MS, fibra, y N, debido principalmente a la rapidez con que se puede obtener resultados y porque no demanda la gran cantidad de equipos y materiales que requieren las otras técnicas (Mehrez y Orskov 1977). Sin embargo, la utilidad y confiabilidad de esta técnica depende de factores tales como la cantidad de la muestra, el tamaño de la bolsa, y partícula de la muestra (Tobal 1999).

### 2.5.2 Digestibilidad de alimentos en CSA

Se han desarrollado diversos estudios comparativos que abordan la DIV en CSA y rumiantes tradicionales (Fernandez-Baca y Novoa 1996; Oyanguren 1969; Camargo y Cardozo 1971; Florez 1973; Huasasquiche 1974; Hintz *et al.* 1976; San Martin 1987). Fernandez-Baca y Novoa (1996) reportaron mayores coeficientes de digestibilidad

en alpacas en comparación con ovinos. Camargo y Cardozo (1971) y San Martín (1987) reportaron mayores coeficientes de digestibilidad en llamas en comparación con ovinos, mientras que Hintz *et al.* (1976) no reportó diferencias en los coeficientes de digestibilidad de ambas especies.

La elevada eficiencia digestiva de los CSA podría estar relacionada con el mayor tiempo de retención de los alimentos en el tracto digestivo (San Martín y Van Saun 2014). Esto se debe a que la degradación microbiana de los componentes de la pared celular es un proceso relativamente lento; por lo tanto, cuando aumenta el tiempo de retención de la digesta, se produce una mejora aparente en la digestibilidad de los alimentos de baja calidad (Clemens y Stevens 1980; Heller *et al.* 1984 y Maloy 1972), mientras que la digestibilidad de los alimentos de alta calidad no se ve afectada por el tiempo de retención.

San Martín *et al.* (1985) realizaron un estudio comparativo para estimar la DIS en CSA y rumiantes tradicionales. Observaron una mayor digestibilidad en los CSA en comparación con los rumiantes no tradicionales, incluso con el mismo tiempo de retención de la ingesta en ambas especies. Estos resultados sugieren la existencia de otros factores implicados en la superioridad digestiva de los CSA (San Martín y Van Saun 2014; Cebra *et al.* 2014). Estos incluyen una mayor frecuencia de contracciones y ciclos ruminales, una alta relación del flujo salival con respecto al tamaño del estómago y la presencia de sacos glandulares en C1 y C2. Además, una mayor digestibilidad de los alimentos de baja calidad se ve facilitada por la capacidad de los CSA de mantener una mayor concentración de amoníaco en C1 y C2 en comparación con los rumiantes tradicionales, lo cual proporciona más nitrógeno disponible para la síntesis microbiana, mejorando la digestibilidad (Hinderer y Engelhardt 1975).

Uno de los factores más importantes a tener en cuenta en ensayos comparativos de digestibilidad entre especies es la selectividad (San Martín y Bryant 1989). San Martín (1987) menciona que aunque las pruebas de digestibilidad realizadas bajo condiciones de estabulación limitan la selectividad, los ovinos son capaces de ejercer un mayor proceso selectivo en comparación con las alpacas. Van Soest (1982) señala que el alimento rechazado por un animal selectivo usualmente contiene un mayor nivel de partes lignificadas. Si el factor de selectividad no es cuantificado y corregido, se podrían obtener

erróneamente coeficientes de digestibilidad más altos en los animales que practican una mayor selección.

Otro factor importante a tener en cuenta en ensayos comparativos de digestibilidad entre especies es la calidad de los alimentos administrados. San Martín y Bryant (1987) revisaron varios estudios comparativos de digestibilidad *in vivo* en alpacas y ovinos. En estos ensayos los animales fueron separados en grupos sobre la base de que el contenido de PC en la dieta era inferior al 7.5% o superior al 10.5%. Se encontró que para el grupo cuya dieta contenía menos del 7.5% de PC, la digestibilidad era más alta y más favorable en alpacas en comparación con los ovinos, mientras que no se observó diferencias entre especies en las dietas con niveles superiores al 10.5% de PC. Estudios adicionales sobre digestibilidad comparativa entre especies han confirmado estos hallazgos (Tabla 4). Estos resultados indican que, bajo dietas de baja a mediana calidad, los CSA muestran una mayor digestibilidad en comparación con los rumiantes tradicionales, mientras que ambas especies presentan una digestibilidad similar cuando son sometidos a dietas de alta calidad o bajo contenido de fibra (San Martín 1987; López *et al.* 1998; Sponheimer *et al.* 2003; Cebra *et al.* 2014).

**Tabla 4. Diferencias en la digestión de materia orgánica entre llamas y ovinos en relación a la calidad de la dieta**

<i>Calidad de la dieta</i>	<i>Llamas</i>	<i>Ovinos</i>	<i>Diferencia</i>	
			<i>n</i>	<i>%</i>
<i>Baja</i>	51	41	10	24
<i>Media</i>	60	52	8	25
<i>Alta</i>	73	75	-2	-3

Fuente: Adaptado de San Martín y Bryant (1989)

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 LUGAR DEL ESTUDIO Y PERIODO DE EJECUCIÓN**

El experimento se realizó en el Centro de Investigación y Producción (CIP) “Quimsachata” del INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria del Perú), ubicado en el distrito de Santa Lucía, departamento de Puno, a una altitud promedio de 4 200 msnm. Asimismo, se llevó a cabo durante los meses de enero y febrero del 2019.

#### **3.2 ANIMALES EXPERIMENTALES**

El experimento se realizó con 12 alpacas macho de la raza Huacaya de aproximadamente 18 meses de edad, con un peso promedio de  $36.7 \pm 6.4$  kg, clínicamente sanos y aclimatados a la zona. Al inicio del estudio, los animales se sometieron a un período de 12 horas de ayuno, tras el cual fueron pesados en una balanza digital de  $\pm 100$  g de precisión.

Los animales se mantuvieron en corrales individuales de  $6 \text{ m}^2$ , diseñados para proteger a las alpacas de la lluvia, y equipados con bebederos y comederos que permitían un adecuado control de la ingesta de agua y alimento. Cada uno de los animales experimentales fue equipado con un arnés con bolsa colectora que facilitó la recolección total diaria de las heces producidas por animal.

#### **3.3 RACIONES EXPERIMENTALES**

La elaboración de las raciones experimentales se llevó a cabo en la Estación Experimental Agraria “Illpa” del INIA, ubicada en el distrito de Paucarcolla, provincia de Puno, departamento de Puno, a 3 822 msnm. Para el estudio se elaboraron cuatro raciones, cada una de ellas con diferente nivel de fibrosidad (Tabla 5).

**Tabla 5. Composición y porcentaje de FDN de las raciones (% base seca)**

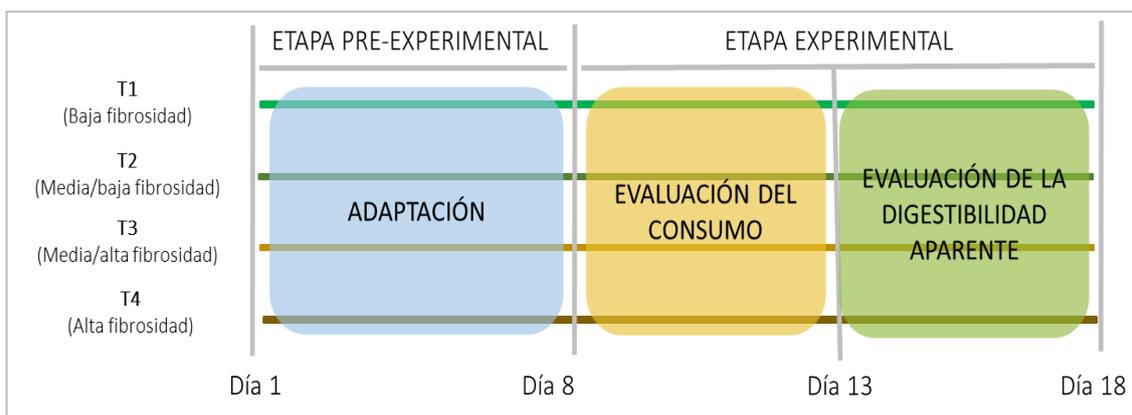
<b>Ración</b>	<b>Composición</b>	<b>FDN (%)</b>
<b>T1</b>	100% Heno de Avena INIA 902-Africana + vicia	40.3
<b>T2</b>	100% Heno de Avena INIA 904-Vilcanota + vicia	62.1
<b>T3</b>	50% <i>Stipa Ichu</i> + 50% Heno de Avena INIA 904-Vilcanota + vicia	67.7
<b>T4</b>	80% <i>Stipa Ichu</i> + 20% Heno de Avena INIA 904-Vilcanota + vicia	71.5

Las raciones experimentales fueron suministradas a los animales en forma picada para favorecer la mezcla de los insumos y evitar la selección al consumo. Para este fin, los componentes empleados fueron procesados por una picadora en tamaños de corte de 2cm y se consideró el contenido que pasó por el tamiz de 0.5cm.

### **3.4 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA**

El experimento contó con 3 periodos de 18 días de duración cada uno. Para cada periodo los animales fueron distribuidos en 3 bloques, en cada uno de los cuales se probaron los 4 tratamientos en paralelo (1 animal por tratamiento en cada bloque) para su evaluación.

Cada periodo comprendió una etapa pre-experimental de ocho días para la adaptación de los animales al manejo bajo estabulación y al consumo de alimento ofrecido, y una etapa experimental de 10 días para la evaluación del consumo voluntario de alimento y agua (del día 8 al día 13) y la evaluación de la digestibilidad aparente (del día 13 al día 18) (Fig. 10), siguiendo lo descrito por López *et al.* (1998).



**Figura 10. Esquema de un periodo experimental del estudio**

### 3.4.1 Etapa pre-experimental

Durante esta etapa se realizó la adaptación de los animales experimentales a la estabulación, al manejo diario bajo este tipo de sistema de crianza, y al consumo de las raciones experimentales correspondientes.

### 3.4.2 Etapa experimental

Durante los primeros cinco días de esta etapa se realizó la evaluación del consumo voluntario de alimento y agua. Con tal propósito, las alpacas fueron alimentadas *ad libitum* con cada una de las raciones experimentales correspondientes. El alimento fue suministrado en cantidad suficiente para obtener un mínimo de 10% de alimento rechazado. El mismo fue proporcionado a las 07:00 h, recogándose la fracción rechazada antes de proporcionar el alimento matutino (06:00 h del día siguiente). Se determinó el consumo voluntario a partir de la diferencia entre el alimento ofrecido y el sobrante (López *et al.* 1998). El alimento fue pesado en una balanza digital de  $\pm 10$  g de precisión. Simultáneamente, la misma metodología fue empleada para la evaluación del consumo de agua. Se ofreció ésta en una cantidad de 5 L/día a las 08:00 h, midiéndose el agua ofrecida y rechazada.

Durante los últimos cinco días de esta etapa se realizó un ensayo de digestibilidad aparente, utilizando la metodología de suministro controlado de alimento y de recolección total de heces a través de un sistema de bolsa colectora y arnés (Tapia 1993). Con tal

propósito, las alpacas fueron alimentadas diariamente a las 7 a.m. con el 90% de lo registrado como consumo voluntario (López *et al.* 1998), mientras que las heces producidas por los animales fueron recolectadas y pesadas diariamente a las 5 a.m. del día siguiente. Un 20% de lo evacuado se congeló a -20°C para su posterior análisis.

### **3.5 MANEJO DE LAS MUESTRAS**

Al inicio de cada periodo se colectó una muestra de cada ración experimental, lo cual nos otorgó un total de 12 muestras de raciones experimentales (3 por ración) al finalizar el experimento (López *et al.* 1998). Asimismo, al final de cada periodo se descongelaron y mezclaron las cinco muestras de heces diarias obtenidas por cada animal, lo cual nos otorgó un total de 36 muestras de heces al finalizar el experimento (Tapia 1993).

### **3.6 ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LAS MUESTRAS**

La preparación y las mediciones analíticas de las muestras colectadas se realizaron en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) de la Facultad de Zootecnia, ambos pertenecientes a la Universidad Nacional Agraria La Molina, durante los meses de marzo y abril del 2019. La preparación de las muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes, bajo el siguiente procedimiento:

- a) Las muestras fueron secadas parcialmente al ambiente.
- b) Para el secado, las muestras permanecieron en una estufa durante 48 horas a 60° C.
- c) Posteriormente, se molieron las muestras en un molino de corte a 1 mm de diámetro.
- d) Finalmente, las muestras fueron preservadas en contenedores adecuados hasta el momento de realizar los análisis posteriores.

Las mediciones analíticas de las raciones experimentales (12 muestras) y de las heces recolectadas (36 muestras) se determinaron mediante las técnicas oficiales de la A.O.A.C. (Asociación de las Comunidades Analíticas) (2005):

### **3.6.1 Determinación de materia seca**

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

### **3.6.2 Determinación de materia orgánica**

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

### **3.6.3 Determinación de la proteína cruda**

La determinación de proteína se calculó por el método Semi-Micro Kjeldahl, método A.O.A.C. (2005).

### **3.6.4 Determinación de la fibra detergente neutra**

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

## **3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

El estudio se condujo bajo el diseño de cambio doble para cuatro tratamientos, también denominado “Switch back”, el cual se caracteriza por hacer uso de los mismos animales en tres periodos experimentales sucesivos, teniendo en el periodo inicial y final el mismo tratamiento, el cual es comparado con el segundo periodo (Figura 11) (CATIE 1983).

Los efectos de cada una de las raciones experimentales sobre el consumo voluntario de alimento y agua, y los coeficientes de digestibilidad aparente se estimaron mediante

análisis de varianza (ANOVA) para un diseño de cambio doble para 4 tratamientos. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

**DISEÑO DE CAMBIO DOBLE PARA CUATRO TRATAMIENTOS**

Donde:

- P = N° de tratamientos
- Secuencias = P(P-1)
- Bloques = P-1

		Secuencias											
		Alp1	Alp2	Alp3	Alp4	Alp5	Alp6	Alp7	Alp8	Alp9	Alp10	Alp11	Alp12
Periodos	1	D 1	D 2	D 3	D 4	D 1	D 2	D 3	D 4	D 1	D 2	D 3	D 4
	2	D 2	D 3	D 4	D 1	D 3	D 4	D 1	D 2	D 4	D 1	D 2	D 3
	3	D 1	D 2	D 3	D 4	D 1	D 2	D 3	D 4	D 1	D 2	D 3	D 4
		Bloque 1				Bloque 2				Bloque 3			

\*Alp = Alpaca; \*\*D = Dieta

**Figura 11. Diseño de cambio doble para cuatro tratamientos**

Adicionalmente usando los datos del ensayo se elaboró una propuesta de ecuación que permita estimar la digestibilidad de la MO de las dietas basadas en forraje a partir de la concentración de nitrógeno o PC en la MO fecal en alpacas. Para ello, se utilizó el modelo de regresión no lineal del software estadístico NCSS (2012). El modelo es el siguiente:

$$Y_{ij} = a - b * \exp((-c * X_{ij})/100) + e_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Digestibilidad de la MO en la i-ésima ración (%)

$a$ ,  $b$  y  $c$  = Parámetros de efectos fijos

$X_{ij}$  = Concentración de PC en MO fecal (g/kg MO)

$e_{ij}$  = Error residual

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 CONSUMO VOLUNTARIO DE ALIMENTO Y AGUA

Para la evaluación del consumo voluntario de alimento y agua se realizó la comparación del consumo de materia seca (CMS) expresado en base a PV (%) y a PM (g/kg PV<sup>0.75</sup>). En la Tabla 6 se presentan las medias de los valores registrados.

**Tabla 6. Consumo de materia seca (CMS) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de fibra detergente neutra (FDN)**

Raciones experimentales	FDN (%)	CMS	
		PV <sup>1</sup> (%)	PM <sup>2</sup> (g/kg PV <sup>0.75</sup> )
T 1	40.3	2.0 ± 0.8 <sup>a</sup>	48.3 ± 15.8 <sup>a</sup>
T 2	62.1	1.6 ± 0.4 <sup>a,b</sup>	39.4 ± 9.7 <sup>a,b</sup>
T 3	67.8	1.6 ± 0.6 <sup>a,b</sup>	39.3 ± 13.0 <sup>a,b</sup>
T 4	71.6	1.3 ± 0.6 <sup>b</sup>	31.9 ± 14.4 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> Consumo en base a peso vivo (expresado en porcentaje)

<sup>2</sup> Consumo en base a peso metabólico (g/kg PV<sup>0.75</sup>)

<sup>a,b</sup> Superíndices con letras diferentes dentro de columnas son estadísticamente diferentes entre sí ( $p < 0.05$ )

Al analizar los valores obtenidos de CMS expresados en base a PV y PM, se encontraron rangos de 1.3 a 2.0% del PV, y 31.9 a 48.3 g/kg PV<sup>0.75</sup> para las raciones experimentales estudiadas. Al análisis estadístico se observaron diferencias significativas entre los valores obtenidos para las raciones experimentales T1 y T4.

Los resultados del presente estudio muestran una disminución progresiva del CMS a medida que aumenta el contenido de FDN en las raciones experimentales. La tendencia hallada se asemeja a lo reportado por Paredes *et al.* (2014), quienes observaron una variación del CMS desde 1.4 a 1.7% del PV y de 36.3 a 45.7 g/kg PV<sup>0.75</sup>, trabajando con 4 raciones elaboradas a base de hojas, tallos y heno de avena, con un rango de FDN entre 58.2 a 70.2%. Asimismo, López *et al.* (2001) encontraron una tendencia similar al comparar 4 raciones a base de henos de trébol rosado y ballica, y pajas de poroto y avena, donde el CMS disminuyó desde 38.8 a 20.9 g/kg PV<sup>0.75</sup> a medida que la FDN se incrementó de 53.5 a 78.5%. De modo similar, López *et al.* (2000) estudiaron tres raciones a base de heno de alfalfa en combinación con paja de trigo, con un porcentaje creciente de FDN de 46.3 a 58.4%, encontrando que el CMS se redujo de 45.8 a 33.2 g/kg PV<sup>0.75</sup>. Nuestros datos incluyen una gama más amplia de valores de NDF que esas dos publicaciones. Por su parte, San Martín y Bryant (1989) reportaron dos experimentos, en el primero de los cuales las llamas fueron alimentadas con dietas experimentales elaboradas con niveles de 69, 55 y 77% de FDN, alcanzando CMS de 59, 58 y 54 g/kg PV<sup>0.75</sup>, superiores a los consumos obtenidos en el presente ensayo. En un segundo experimento, los mismos autores alimentaron a sus llamas con dietas experimentales elaboradas con niveles de 42, 58, 68% de FDN, obteniendo CMS de 53, 50 y 47 g/kg PV<sup>0.75</sup>, cifras que también son superiores a las del presente estudio, pero que concuerdan en la relación entre el nivel de fibrosidad de la dieta y el consumo voluntario.

La tendencia al descenso del CMS cuando el contenido de FDN en las raciones aumenta puede atribuirse a la presencia de elevados volúmenes de paredes celulares en el forraje (Mertens 1994), los cuales distienden los compartimientos y estimulan los mecanorreceptores de la capa muscular (Forbes 1996), limitando de esta manera el consumo de alimento. Además, el CMS podría verse disminuido en esta especie debido a que los CSA retienen por mayor tiempo los alimentos de elevada concentración de fibra (Clemens y Stevens 1980; Heller *et al.* 1986; Dulphy *et al.* 1994) generando de esta

manera una sensación de saciedad que limita que estos animales ingieran mayor cantidad de alimento (Araujo 2005). Sin embargo, muchos otros factores afectan el llenado, incluido el tamaño de la partícula, la frecuencia y eficacia de la masticación, la fragilidad de la partícula, la fracción de FDN no digerible, la velocidad de fermentación de FDN potencialmente digerible y las características de las contracciones reticulares (Allen 1996).

Adicionalmente, se realizó la comparación del consumo de fibra detergente neutra (CFDN) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de FDN expresado en base a PV (%) y a PM (g/kg PV<sup>0.75</sup>). En la Tabla 7 se presentan las medias de los valores registrados.

**Tabla 7. Consumo de fibra detergente neutra (CFDN) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de FDN**

Raciones experimentales	FDN (%)	CFDN	
		PV <sup>1</sup>	PM <sup>2</sup>
		(%)	(g/kg PV <sup>0.75</sup> )
<b>T 1</b>	40.3	1.0 ± 0.4 <sup>a</sup>	24.8 ± 8.2 <sup>a</sup>
<b>T 2</b>	62.1	1.0 ± 0.2 <sup>a</sup>	23.9 ± 6.2 <sup>a</sup>
<b>T 3</b>	67.8	1.0 ± 0.2 <sup>a</sup>	23.8 ± 5.4 <sup>a</sup>
<b>T 4</b>	71.6	0.8 ± 0.3 <sup>a</sup>	20.4 ± 7.4 <sup>a</sup>
<b>Total</b>		0.95 ± 0.07	23.24 ± 1.55

<sup>1</sup> Consumo en base a peso vivo (expresado en porcentaje)

<sup>2</sup> Consumo en base a peso metabólico (g/kg PV<sup>0.75</sup>)

<sup>a</sup> Superíndices con letras diferentes dentro de columnas son estadísticamente diferentes entre sí ( $p < 0.05$ )

Al analizar los valores obtenidos de CFDN expresados en base a PV y PM, se observaron rangos de 0.8 a 1.0% del PV, y 20.4 a 24.8 g/kg PV<sup>0.75</sup> para las raciones experimentales estudiadas, con un valor promedio de  $1.0 \pm 0.1\%$  del PV y  $23.2 \pm 1.6$  g/kg PV<sup>0.75</sup>. Al análisis estadístico no se observaron diferencias significativas entre los valores obtenidos de CFDN expresados en base a PV y PM.

Los resultados obtenidos en nuestro estudio coinciden con lo encontrado por Paredes *et al.* (2014), quienes reportan un CFDN promedio de  $0.92 \pm 0.06\%$  PV y  $24.20 \pm 1.6$  g/kg PV<sup>0.75</sup> para un rango de FDN de 58.24 a 70.22%, y señalan que sin importar el nivel de FDN de las raciones, las alpacas poseen un consumo similar de este componente cuando se encuentra entre el 60 a 70% en la ración. Asimismo, nuestros resultados concuerdan con lo reportado por San Martín y Van Saun (2014), quienes a partir del contraste de diversos estudios, reportaron que el consumo de FDN como porcentaje del PV en alpacas y llamas fue de  $0.9\% \pm 0.3\%$  PV. Estos datos sugieren que el contenido de FDN en la dieta podría usarse para predecir la capacidad potencial de consumo. El CMS de mantenimiento esperado se basaría en una ingesta de FDN de 0.6% PV y 1.2% PV, con los valores más bajos y más altos representando forrajes de baja y alta fibrosidad, respectivamente.

Finalmente, se realizó la comparación del consumo de agua (CA) (L/día) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de FDN. En la Tabla 8 se presentan las medias de los valores registrados.

Al analizar los valores obtenidos de CA expresados en L/día, se encontraron rangos de 1.41 a 1.75 L/día para las raciones experimentales estudiadas. Al análisis estadístico se observaron diferencias significativas entre los valores obtenidos para las raciones experimentales T1, T2 y T4, y las raciones experimentales T1, T3 y T4.

Los resultados del presente estudio muestran una disminución del CA a medida que disminuye el CMS y aumenta el contenido de FDN en las raciones experimentales. La tendencia hallada se asemeja a lo reportado por Llanos *et al.* (2010), quienes observaron una reducción del CA de 4.28 a 0.53 L/día en llamas alimentadas con heno de cebadilla y heno de paja brava, al mismo tiempo que el CMS disminuía de 3.27 a 1.34 kg de MS,

y el contenido de fibra cruda (FC) aumentaba de 1.75 a 28.34% en las dietas experimentales. Asimismo, nuestros resultados coinciden con lo reportado por San Martín (1996), quien menciona la existencia de una relación directamente proporcional entre el CMS y el CA. Por su parte, Velez-Contacayo *et al.* (2011) reportan una reducción del CA de 1.86 a 0.24 L/día en llamas alimentadas con avena y pasto brasileño, al mismo tiempo que el CMS aumentaba de 2.07 a 2.24 kg de MS, y el contenido de FC disminuía de 52.51 a 47.7%, respectivamente. Esto podría deberse a que el pasto brasileño presenta una mayor humedad respecto a la avena.

**Tabla 8. Consumo de agua (CA) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de fibra detergente neutra (FDN)**

<b>Raciones experimentales</b>	<b>FDN (%)</b>	<b>CA<sup>1</sup> (L/día)</b>
<b>T 1</b>	40.3	1.8 ± 0.4 <sup>a</sup>
<b>T 2</b>	62.1	1.6 ± 0.3 <sup>b</sup>
<b>T 3</b>	67.8	1.6 ± 0.2 <sup>b</sup>
<b>T 4</b>	71.6	1.4 ± 0.3 <sup>c</sup>

<sup>1</sup> Consumo de agua (expresado en L/día)

<sup>a,b,c</sup> Superíndices con letras diferentes dentro de columnas son estadísticamente diferentes entre sí ( $p < 0.05$ )

## **4.2 DIGESTIBILIDAD APARENTE**

Se realizó la comparación de los coeficientes de digestibilidad aparente obtenidos para los parámetros de MS, MO, PC y FDN de las raciones experimentales evaluadas en nuestro estudio. En la Tabla 9 se presentan las medias de los valores registrados.

Al analizar los coeficientes de digestibilidad aparente obtenidos para los parámetros evaluados, se encontraron rangos de 50.3 a 66.4% para la MS, 53.4 a 68.5% para la MO, 41.5 a 61.1% para la PC y 50.4 a 60.7% para la FDN. Al análisis estadístico se observaron diferencias significativas entre los coeficientes de digestibilidad aparente obtenidos para los parámetros de MS, MO, PC. Nuestros resultados muestran que los coeficientes de digestibilidad de estos parámetros fueron significativamente más altos a medida que aumentan los niveles de FDN. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre los coeficientes obtenidos para el parámetro de FDN.

**Tabla 9. Coeficientes de digestibilidad aparente para los parámetros de MS, MO, PC y FDN en alpacas alimentadas con diferentes niveles de FDN**

<b>Raciones experimentales</b>	<b>FDN (%)</b>	<b>DMS<sup>1</sup> (%)</b>	<b>DMO (%)</b>	<b>DPC (%)</b>	<b>DFDN (%)</b>
<b>T 1</b>	40.3	66.4 ± 13.5 <sup>a</sup>	68.5 ± 12.9 <sup>a</sup>	61.1 ± 13.1 <sup>a</sup>	60.7 ± 11.0 <sup>a</sup>
<b>T 2</b>	62.1	56.1 ± 8.3 <sup>a,b</sup>	58.2 ± 7.9 <sup>b</sup>	52.0 ± 15.3 <sup>a,b</sup>	54.6 ± 7.9 <sup>a</sup>
<b>T 3</b>	67.8	56.0 ± 12.1 <sup>b</sup>	58.2 ± 11.6 <sup>b</sup>	51.3 ± 16.9 <sup>a,b</sup>	54.1 ± 11.9 <sup>a</sup>
<b>T 4</b>	71.6	50.3 ± 14.2 <sup>b</sup>	53.4 ± 13.0 <sup>c</sup>	41.5 ± 33.2 <sup>b</sup>	50.4 ± 10.7 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Coeficiente de digestibilidad aparente (expresado en %)

<sup>a,b,c</sup> Superíndices con letras diferentes dentro de columnas son estadísticamente diferentes entre sí ( $p < 0.05$ )

Los resultados del presente estudio muestran una disminución de los coeficientes de digestibilidad aparente obtenidos para los parámetros a medida que el porcentaje de FDN de las raciones experimentales se incrementa. Diversos estudios realizados en llamas y alpacas alimentadas con raciones elaboradas a base de heno de alfalfa y paja de trigo demuestran una tendencia similar en la que la digestibilidad aparente para la MO y PC disminuyen a medida que lo hace el aporte energético-proteico y aumenta el porcentaje

de FDN (San Martín y Bryant 1989; López *et al.* 2000). Sin embargo, estos resultados se obtuvieron con un número menor de animales y un menor rango de FDN en la ración.

En un estudio realizado en llamas, San Martín y Bryant (1989), evaluaron dietas con niveles bajo, medio y alto de FDN (42 a 68%), obteniendo coeficientes de digestibilidad para MO y PC en rangos de 67 a 58% y 61 a 52%, respectivamente. Dichos resultados presentan tendencias similares a las observadas en el presente estudio. Asimismo, López *et al.* (2001), elaboraron dietas para llamas a base de henos de trébol rosado y ballica, así como pajas de poroto y avena, con niveles de FDN de 53 a 78%. En este caso, se reportaron coeficientes de digestibilidad para MS de 52 a 50.2%, MO de 55.5 a 53.4%, y PC de 55.3 a 51.4%. Estos valores son inferiores a los obtenidos en nuestro estudio, para la ración que presenta un nivel de FDN similar. Al respecto, San Martín y Bryant (1989) mencionan que los CSA son más eficientes en la utilización del alimento cuando se encuentran en el Altiplano que cuando se encuentran al nivel del mar. Siendo este el caso, la disparidad entre los datos de López *et al.* (2001) y los nuestros podría deberse a esto fenómeno de eficiencia y la diferencia de altitud. Nuestros resultados sugieren que los coeficientes de digestibilidad de la MS, MO, PC se reducen a medida que se incrementa el porcentaje de FDN de raciones. Sin embargo, además de la cantidad de FDN en la ración, se ha sugerido que la cantidad de iFDN (componente indigerible de la FDN) juega un papel significativo en la regulación de la digestibilidad y el consumo de alimento en rumiantes (Harper y McNeil 2015).

En cuanto al coeficiente de digestibilidad de la FDN en las cuatro raciones experimentales de nuestro estudio, si bien es evidente la tendencia a su disminución, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ellas. Esto concuerda con lo reportado por Paredes *et al.* (2014), quienes sugieren que la digestibilidad de la FDN puede mantenerse a medida que la fibrosidad de la ración aumenta y la calidad de la misma se deteriora. Sin embargo, según los resultados reportados por San Martín y Bryant (1989) se obtuvieron coeficientes de digestibilidad para FDN en un rango de 48 a 53%, lo cual presenta una tendencia diferente a lo observado en el presente estudio. Asimismo, López *et al.* (2001), cuyas dietas poseían niveles de FDN de 53 a 78%, reportaron coeficientes de digestibilidad para FDN en un rango de 44 a 57%, valores que presentan una tendencia diferente a lo observado. López *et al.* (2001) sugieren que el incremento de los

coeficientes de digestibilidad de FDN a medida que aumenta el contenido de la misma en la dieta, podría deberse a la mayor capacidad de los CSA para utilizar los carbohidratos estructurales.

### 4.3 PROPUESTA DE ECUACIÓN

Adicionalmente usando los datos del ensayo se elaboró una propuesta de ecuación que permita estimar la digestibilidad de la MO de la dieta a partir del contenido de PC en la MO fecal para su aplicación en alpacas:

$$y = 0.07635 - (-0.33866 * \exp(-(-0.4484) * \text{PC fecal (g/kg MO)/100}))$$

Donde:

y = Digestibilidad de la MO de la dieta

Al análisis estadístico se determinó que el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) fue de 0.28, mientras que la raíz del error cuadrático medio (RMSE) y el error porcentual medio (MPE) fueron 0.09 y 0.15, respectivamente. La RMSE y el MPE son indicadores de precisión y ajuste en regresiones no lineales. Estos poseen la misma unidad de medidas que la cantidad que se estima, por ello, mientras menor sean los valores obtenidos para estos indicadores, mayor será el grado de precisión y ajuste de la ecuación de predicción generada.

La RMSE y el MPE de nuestra propuesta fueron relativamente bajos, lo cual sugiere que la precisión del modelo y el ajuste de la ecuación son buenos. La MPE de nuestra ecuación de predicción fue inferior a la obtenida por Oliveira *et al.* (2007), quienes señalaron una MPE de 0.17. Por otro lado, la MPE de nuestra ecuación fue superior a lo obtenido por Peripolli *et al.* (2011), quienes señalaron una MPE de 0.13. Asimismo, la RMSE y la MPE de nuestra ecuación fueron superiores a los valores obtenidos por Wang *et al.* (2009), quienes indicaron un RMSE de 0.05 y un MPE de 0.07, trabajando con 721 observaciones obtenidas a partir de ovinos sometidos a 159 tipos de dietas con rangos de fibra cruda (FC) entre 178 a 373 g/kg MS.

La diferencia entre el valor de la RMSE y el MPE de nuestra ecuación y de lo obtenido para la ecuación de Wang *et al.* (2009) podría estar asociado al número de observaciones con los que se elaboró cada ecuación. Boval *et al.* (2003) mencionan que la confiabilidad del método de PC fecal depende del rango y el número de observaciones de ensayos de digestibilidad in vivo, así como del modelo de regresión aplicado.

## V. CONCLUSIONES

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

1. El consumo de materia seca en alpacas fue menor a medida que el nivel de fibrosidad de las raciones aumentaba, mientras que el consumo de fibra detergente neutra no varió según la fibrosidad. Por otro lado, el consumo de agua fue menor a medida que el nivel de fibrosidad de las raciones aumentaba.
2. La digestibilidad de la materia seca, materia orgánica y proteína cruda en alpacas fue significativamente menor a medida que el nivel de fibrosidad de las raciones aumentaba, mientras que la digestibilidad de la fibra detergente neutra no varió a medida que el nivel de fibrosidad aumentó.
3. La propuesta de ecuación para estimar la digestibilidad de la MO a partir de la PC de la MO fecal en alpacas presentó valores de RMSE y MPE relativamente bajos, lo cual sugiere que la precisión del modelo y el ajuste de la ecuación son buenos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Comparar en alpacas el consumo y la digestibilidad aparente de raciones con diferente contenido de fibra durante la época seca y lluviosa, a fin de evaluar si las condiciones ambientales representan un sesgo en los resultados.
2. Utilizar un número mayor de animales experimentales, a fin de obtener una mayor cantidad de observaciones que permitan obtener una ecuación de estimación con grados de precisión y ajuste superiores a los obtenidos en el presente estudio.
3. Realizar más investigaciones de este tipo aplicando la ecuación de estimación propuesta en nuestro estudio, a fin de poder calibrarla y validar su uso en trabajos de nutrición de camélidos sudamericanos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, M. 1996. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science* 74(1): 3063-3075.
- Allison, C. 1985. Factors affecting forage intake by range ruminants: A review. *Journal of Range Management* 38(1): 305-311.
- ANKOM. 2005. Neutral detergent fiber in feeds. Filter Bag Technique. ANKOM technology method 6. Macedon, NY.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official methods of analysis. 1(15): 1298 p.
- Araujo, O. 2005. Factores que afectan el consumo voluntario en bovinos al pastoreo en condiciones tropicales. IX Seminario de Pastos y Forrajes. 12 p.
- Arce, B. 1994. A simulation model of an alpaca system in the dry Puna of the Andes. *Journal of Agricultural Systems* 46(1): 205-225.
- Bartiaux-Thill, N; Oger, R. 1986. The indirect estimation of the digestibility in cattle of herbage from Belgian permanent pasture. *Journal of Grass Forage Science* 41(1):269–272.
- Basurto, R; Tejada, I. 1992. Digestibilidad aparente de la pulpa deshidratada de limón: Comparación de métodos para estimarla. *Técnica Pecuaria México* 30(1):13p.
- Bondi, A. 1989. *Nutrición Animal*. Acribia (ed.) Zaragoza, España. 421-428.
- Boval, M; Archimede, H; Fleury, J; Xande, A. 2003. The ability of fecal nitrogen to predict digestibility for goats and sheep fed with tropical forage. *Journal of Agriculture Science* 140(1): 443-450.
- Bowen, R. 2003. Digestive anatomy in ruminants. Colorado State University (ed.) Colorado, EEUU. 167 p.

- Burns, J; Pond, K; Fisher, D. 1991. Effects of grass species on grazing steers: II. Dry matter intake and digesta kinetics. *Journal of Animal Science* 69(3): 1199-1204.
- Bustinza, A. 2001. *La Alpaca*. 1 ed. UNA-Puno (ed.) Puno, Perú. 496 p.
- Camargo, R. 2019. Estimación de excreción fecal total en alpacas (*Vicugna pacos*) bajo condiciones estabuladas usando dióxido de titanio como marcador externo. Tesis Mg. Lima, Perú, UNALM. 115 p.
- Camargo, R; Cardozo, A. 1971. Ensayo comparativo de la capacidad de digestión de la llama y la oveja. (Comparative digestion trials between llama and ewe.) III. Reunión Latinoamericana Producción Animal. Bogotá, Colombia. 18(1): 46p.
- Cañas, R. 1995. Colección en agricultura: Alimentación y nutrición animal. Facultad de Agronomía de la Pontificia Universidad Católica de Chile (ed.) Santiago de Chile, Chile. 67 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1983. Documento de trabajo: Manejo y análisis de datos de investigación. Henao, J (ed.). Turrialba, Costa Rica, IICA. 102 p.
- Cavero, J. 1970. Composición química de la saliva parotídea de la alpaca (*Lama pacos*). (Chemical composition of the parotid saliva of alpaca (*Lama pacos*)). Tesis B.S. Lima, Perú. UNMSM. 24 p.
- Cebra, C; Anderson, D; Tibary, A; Van Saun, R; Johnson, L. 2014. Llama and alpaca care: Medicine, Surgery, Reproduction, Nutrition, and Herd Health. Elsevier (ed) Toronto, Canadá. 51-58.
- Cerda, D; Manterola, H; Sirhab, L; Alwyn, P. 1986. Validación y estudios comparativos de métodos estimadores de la digestibilidad aparente de alimentos para rumiantes. *Avances en Producción Animal* 11 (2): 41-52.
- Chesson, A; Ørskov, E.1984. Straw and other fibrous by-products as feed: Microbial degradation in the digestive tract. Elsevier (ed.) Amsterdam, Alemania. 305-339.
- Church, D. 1974. Fisiología digestiva y nutrición de los rumiantes. 1ra ed. Acribia (ed.) Zaragoza, España. 345 p.
- Church, D; Pond, G. 1994. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. Grupo Noriega (ed.) Ciudad de México, México. 438 p.

- Church, D. 1993. El rumiante: Fisiología digestiva y nutrición. Acribia (ed.) Zaragoza, España. 238 p.
- Clemens, E; Stevens, C. 1980. A comparison of gastrointestinal transit time in ten species of mammal. *Journal of Agricultural Science* 94(1): 735-737.
- Cochran, R; Adams, J; Wallace, D; Galyean, M. 1986. Predicting digestibility of different diets with internal markers: Evaluation of four potential markers. *Journal of Animal Science* 63(1): 1476-1483.
- Cordero, A; Contreras, J; Curasma, J; Tunque, Q; Enriquez, D. 2018. Degradabilidad y estimación del consumo de forrajes y concentrados en alpacas (*Vicugna pacos*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 29(2): 429-437.
- Cottle, D. 2013. The trials and tribulations of estimating the pasture intake of grazing animals. *Journal of Animal Production Science* 53(11): 1209-1220.
- Cumming, J; Munnell, J; Vallenias, A. 1972. The mucigenous glandular mucosa in the complex stomach of two New World Camelids, the llama and guanaco. *Morphology* 137: 71-110.
- Curran, M; Leader, J; Weston, E. 1967. A note on the use of chromic oxide incorporated in a feed to estimate faecal output in ruminants. *Journal of Animal Production* 9(1): 561-564.
- De la Vega, E., 1950. Aspectos histológicos del aparato digestivo de la alpaca. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria*. 5(1): 163-187.
- Decruyenaere, V; Buldgen, A; Stilmant, D. 2009. Factors affecting intake by grazing ruminants and related quantification methods: A review. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 13(4): 559-573.
- Demment, M; Van Soest, P. A nutritional explanation for body-size patterns of ruminant and non-ruminant herbivores. *Journal of American Naturalist* 125: 641-672.
- Dittmann, M; Runge, U; Ortmann, S. 2015. Digesta retention patterns of solute and different-sized particles in camelids compared with ruminants and other foregut fermenters. *Journal of Comparative Physiology* 185: 559-573.
- Dougherty, R; Vallenias, A. 1968. Quantitative study of eructated gas expulsion in alpacas. *Cornell University College of Veterinary Medicine* 58(1): 3-7.

- Dulphy, J; Martin-Rosset, W; Dubroeuç, H; Ballet, J; Detour, A; Jailler, M. 1997. Compared feeding patterns in *ad libitum* intake of dry forages by horses and sheep. *Journal of Livestock Production Science* 52(1): 49-56.
- Dumont, J; Manrique, R; Alomar, D. 2003. Efectos de dos sistemas de determinación de materia seca en la composición química y calidad del ensilaje directo de avena en diferentes estados fenológicos. Universidad Austral, Facultad de Ciencias Agrarias (ed.) Valdivia, Chile. 4p.
- Eckerlin, R; Stevens, C. 1973. Bicarbonate secretion by the glandular saccules of the llama stomach. *Cornell University College of Veterinary Medicine* 63: 436-445.
- Elam, C; Reynolds, R; Davis, E; Everson, D. 1962. Digestibility studies by means of chromic oxide, lignin and total collection techniques with sheep. *Journal of Animal Science* 21(1):189-192.
- Engelhardt, W; Schneider, W. 1977. Energy and nitrogen metabolism in the llama. *Journal of Animal Research and Development* 5(3): 68-72.
- Engelhardt, W; Rubsamen, K. 1979. Digestive physiology of camelids: The workshop of camels. Khartoum, Sudan. 307-346.
- Engelhardt, W; Sallmann, H. 1972. Reabsorption and secretion in the stomach of guanacos (*Lama guanicoe*). *Zentralblatt für Veterinärmedizin* 19(1): 117-132.
- Fahey, J; Jung, H. 1983. Lignin as a marker in digestion studies. *Journal of Animal Science* 57(1): 220p.
- Fernández, T. 1989. Balance de agua y tolerancia al estrés hídrico en ovinos y alpacas. Tesis Ing. Zoot. UNALM. Lima, Perú. 109p.
- Fernández-Baca, S; Novoa, C. 1996. Estudio comparativo de la digestibilidad de los forrajes en ovino y alpacas. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 18(20): 88-96.
- Fernández-Baca, S. 1975. Alpaca raising in the high Andes. *World Animal* 14(1): 1-8.
- Flores, A; Bryant, F. 1989. Manual de Pastos y Forrajes. Programa colaborativo de apoyo a la investigación de rumiantes menores. INIA, Dirección General de Investigación Pecuaria (Programa de Investigación de Pastos y Forrajes). Texas Tech University (ed.) Lima, Perú. 16-17.

- Florez, J. 1973. Velocidad de pasaje de la ingesta y digestibilidad en alpacas y ovinos. Tesis B.S. UNMSM. Lima, Peru. 85p.
- Forbes, J. 1996. Integration of regulatory signals controlling forage intake in ruminants. *Journal of Animal Science* 74(1): 3029-3035.
- Forbes, J. 2007. Voluntary food intake and diet selection in farm animals. Center for Agricultural Bioscience International (ed.) Wallingford, U.K. 115p.
- García, D; García, P; Gatica, F; Gatica, M; Gornall, V. 2009. Digestibilidad por el método del indicador en rumiantes. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile. 9 p.
- Giraldo, L; Gutiérrez, L; Rua, C. 2007. Comparación de dos técnicas *in vitro* e *in situ* para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20(1): 269-279.
- Gomide, J. 2004. Os volumosos na alimentação de vacas leiteiras. Nutrição de bovinos: Conceitos básicos e aplicados. 5ta ed. FEALQ (ed.) Piracicaba, Brazil. 563 p.
- Greenhalgh, J. 1982. An introduction to herbage intake measurements. *Herbage Intake Handbook*. The British Grassland Society. Leaver (ed.) 38-44.
- Guerin, H; Richard, D; Lefevre, P; Friot, D; Mbaye, N. 1989. Prevision de la valeur nutritive des fourrages ingeres sur parcours naturels par les ruminants domestiques sahéliens et soudaniens. XVI International Grassland Congress. INRA (ed.) París, France. 879-880.
- Haro, J. 2002. Consumo voluntario de forraje por rumiantes en pastoreo. *Acta universitaria* 12(3): 56-63.
- Harper, K; McNeill, D. 2015. The Role iNDF in the regulation of feed intake and the importance of its assessment in subtropical ruminant systems. *Agriculture* 5(3): 778-790.
- Harrison, D. 1975. Manipulation of rumen fermentation in sheep by increasing the rate of flow of water from the rumen. *Journal of Agricultural Science Cambridge* 85(1): 93-101.
- Heller, R; Gregory, P; Engelhardt, W. 1984. Pattern of motility and flow of digesta in the forestomach of the llama (*Lama guanicoe* F. *glama*). *Journal of Comparative Physiology* 154(1): 529-533.

- Heller, R; Cercasov, V; Engelhardt, W. 1986. Retention of fluid and particles in the digestive tract of the llama (*Lama guanicoe* F. *Glama*). Journal of Comparative Biochemistry and Physiology 83(1): 687-691.
- Hespel, R; Bryant, M. 1979. Efficiency of rumen microbial growth influence of some theoretical and experimental factors on YATP. Journal of Animal Science 49(1): 1640-1659.
- Hinderer, S; Engelhardt, W. 1975. Urea metabolism in the llama. Comparative Biochemistry and Physiology 52(1): 619-622.
- Hintz, H; Sedgenrick, C; Schryver, F. 1976. Some observations of a pelleted diet by ruminants and non-ruminants. International Zoo Yearbook 616(1): 54-57.
- Holmes, J; Lang, R. 1963. Effect of fertilizer nitrogen and herbage dry matter content on herbage intake and digestibility in bullocks. Animal Production 5(1): 17 p.
- Huwasquiche, A. 1974. Balance del nitrógeno y digestibilidad en alpacas y ovinos. Tesis M.V. UNMSM. Lima, Perú. 98 p.
- Huhtanen, P; Kaustell, K; Joakkola, S. 1994. The use of internal markers to predict total digestibility and duodenal flow of nutrients in cattle given six different diets. Journal of Animal Feed Science and Technology 48(1): 211-227.
- INEI (National Institute of Statistics and Informatics). 2012. Resultados definitivos del IV Censo Nacional Agropecuario: Informe de 2012. Lima, Perú.
- Irlbeck, N. 2002. Basics of Alpaca Nutrition. Alpacas Research Foundation (en línea). Alpacas Magazine 19(4): 314p. Consultado 14 feb. 2020. Disponible en <https://www.alpacaresearch.org/library/2503/basics-of-alpaca-nutrition-by-nancy-irlbeck-phd>.
- Jarman, P. 1974. The social organization of antelope in relation to their ecology. Journal of Animal Behaviour 48(1): 215-267.
- Kahn, H; Speding, C. 1984. A dynamic model for simulation of cattle herd production systems: An investigation of various factors influencing the voluntary intake of dry matter and the model in their validation. Journal of Agricultural Systems 13(1): 63-82.
- Kotb, A; Luckey, T. 1972. Markers in nutrition. Nutrition abstracts and reviews 42(1): 813-845.

- Lascano, C. 1990. Recomendaciones sobre metodología para la medición de consumo y digestibilidad *in vivo*. Nutrición de Rumiantes: Guía metodológica de investigación. ALPA (ed.) San José, Costa Rica. 157-168.
- Le Du, Y; Penning, P. 1982. Animal based techniques for estimating herbage intake. Herbage Intake Handbook. The British Grassland Society. Leaver (ed.) 37-75.
- Lechner-Doll, M; Engelhardt, W; Abbas, A; Mousa, H; Luciano, L; Reale, E. 1995. Particularities in fore stomach anatomy, physiology and biochemistry of camelids compared to ruminants. Options Méditerranéennes 13(2): 19-32.
- Leite, E; Stuth, J. 1990. Value of multiple fecal indices for predicting diet quality and intake of steer. Journal of Range Management 43(1): 139-143.
- Llanos, P; Chiri, R; Saavedra, V. 2018. Digestibilidad *in vivo* en llamas (*Lama glama*) alimentadas con heno de cebadilla y paja brava en el centro experimental agropecuario Condoriri. VII Congreso Mundial sobre Camélidos. Oruro, Bolivia. 295-296.
- López, A; Morales, S; Cabrera, R; Arias, M. 2001. Ingestión y digestibilidad aparente de forrajes por la llama (*Lama glama*) II. Heno de trébol rosado (*Trifolium pratense*), heno de ballica (*Lolium multiflorum*), paja de poroto (*Phaseolus vulgaris*) y paja de avena (*Avena sativa*). Archivos de Medicina Veterinaria 33(1): 145-152.
- López, A; Morales, S; Cabrera, R; Urra, X. 2000. Intake and apparent digestibility of forages in llamas (*Lama glama*). I. Alfalfa hay (*Medicago sativa*) and wheat straw (*Triticum aestivum*) at different proportions. Archivos de Medicina Veterinaria. 32(2): 201-208.
- López, A; Raggi, L. 1992. Requerimientos nutritivos de camélidos sudamericanos: llamas (*Lama glama*) y alpacas (*Lama pacos*). Archivos de Medicina Veterinaria 24(1): 121-130.
- López, A; Maiztegui, J; Cabrera, R. 1998. Voluntary intake and digestibility of forages with different nutritional quality in alpacas (*Lama pacos*). Small Ruminant Research 29(1): 295-301.
- Lukas, M; Südekum, K; Rave, G; Friedel, K; Susenbeth, A. 2005. Relationship between fecal crude protein concentration and diet organic matter digestibility in cattle. Journal of Animal Science 83(1): 1332-1344.

- Maloy, G. 1972. Comparative studies on digestion and fermentation rates in the forestomach of the one-humped camel and the Zebu steer. *Research in Veterinary Science* 13(1): 476-481.
- Mc Donald, 1986. *Nutrición animal*. 3ra ed. Acribia (ed.) Zaragoza, España. 618p.
- Mc Collum, F; Galyean, M. 1985. Cattle grazing blue grama rangeland. II. Seasonal forage intake and digestive kinetic. *Journal of Range Management* 38(1): 543-546.
- Mehrez, A; Drskov, E. 1977. A study of the artificial fiber bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *Journal of Agriculture Science* 88(1): 645-650.
- 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.
- Mendoza, C. 1989. Efecto de la privación de agua sobre el consumo y digestibilidad de ovinos y alpacas. Tesis Ing. Zoot. UNALM. Lima, Perú. 96 p.
- Merchen, N. 1993. Digestión, absorción y excreción en los rumiantes. El rumiante, fisiología digestiva y nutrición. Tomo I. Acribia (ed.) Zaragoza, España. 191-223.
- Mertens, D. 1994. Regulation of forage intake. Forage quality, evaluation, and utilization. *Journal of American Society of Agronomy* 450-493.
- Mertens, D. 2002. Physical and chemical characteristics of fiber affecting dairy cow performance. *Proceedings Cornell Nutrition Conference* (ed.) New York, E.U. 125-144.
- Meyer, J; Lofgreen, G; Hull, J. 1957. Selective grazing by sheep and cattle. *Journal of Animal Science* 16(1): 766-772.
- Meyer, K; Hummel, J; Clauss, M. 2010: The relationship between forage cell wall content and voluntary food intake in mammalian herbivores. *Mammal Review* 40(3): 221-245.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2015. Informe especial por el Día Nacional de la Alpaca. Lima, Perú. 25 p. Informe de 2015. Lima, Perú.
- Minson, D. 1981. Effect of chemical and physical composition of herbage eaten upon intake. Nutritional limits to animal production from pasture. *Commonwealth Agricultural Bureaux* 167-182.
- Montalvo, C; Ploog, H; Copaira, M. 1967. Contribución al estudio de la morfología de la alpaca (*Lama pacos*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 2(1): 46-59.

- Muntifering, R. 1982. Evaluation of various lignin assays for determining ruminal digestion of roughages by lambs. *Journal of Animal Science* 55(1): 432-438.
- Newman, S; Paterson, D. 1994. Effect of level of nutrition and season on fiber growth in alpacas. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 54(1): 147-150.
- NRC. 2007. Nutrient requirements of small ruminants. Sheep, goats, cervids and new world camelids. National Academy Press (ed.) Washington D.C., E.U. 18 p.
- Oliveira, L; Kozloski, G; Chiesa, A; Härter, C; Lima, L; Júnior, R. 2007. Uso do nitrogênio fecal para estimar consumo por ruminantes: uma abordagem ensaios de digestibilidade com ovinos. XLIV Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Jaboticabal, Brasil, SBZ Editions. Jaboticabal, Brasil. CD ROM.
- Ordóñez, T. 1994. Llama Production and Llama Nutrition in the Ecuador Highlands. *Journal of Arid Environments* 26(1): 67-71.
- Orskov, E; Hughes-Jones, M; Elimam, M. 1983. Etudes sur la vitesse de degradation et de vidange des concentrés protéiques dans le rumen des ovins et des bovins. *Journal of Livestock Production Science* 10(1):17-24.
- Ortiz, C. 1971. Contribución al estudio de la saliva parotídea de la alpaca: pH, Na, K, y Ca. Tesis B.S. UNMSM. 27 p.
- Owens, F; Isaacson, H. 1992. Ruminal microbial yields: factors influencing synthesis and bypass. *Federation Proceedings* 36(2): 198-202.
- Owens, F; Hanson, C. 1992. External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. *Journal of Dairy Science* 75(1): 2605-2617.
- Oyanguren, F. 1969. Ensayo comparativo de la digestibilidad del ensilaje de avena (*A. sativa*) y de totora (*Scirpus totora*). Tesis B.S. UNTA. Puno, Perú. 33 p.
- Paredes, J; San Martín, F; Olazabal, J; Ara, M. 2014. Efecto del nivel de fibra detergente neutra sobre el consumo en la alpaca (*Vicugna pacos*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 25(2): 205-212.
- Peripolli, V; Prates, E; Barcellos, J; Braccini J. 2011. Fecal nitrogen to estimate intake and digestibility in grazing ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 163(1): 170-176.

- Pond, K; Burns, C; Fisher, S. 1987. External markers: Use and methodology in grazing studies. Grazing livestock nutrition conference. North Carolina State University and USDA, ARS 49-53.
- Prud'hon, M; Cordesse, R; De Rouville, S; Thimonier, J. 1993. Les camélidés sudaméricains: le point des connaissances. Revista de Producción Animal 6(1): 5-15.
- Raggi, S; Ferrando, G. 1996. Avances en fisiología y adaptación de camélidos sudamericanos. Avances en Ciencias Veterinarias 13(1): 58-63.
- Raggi, L.; Jiliberto, E.; Urquieta, Y. 1994. Feeding and foraging behavior of alpaca in northern Chile. Journal of Arid Environments 26(1): 73-77.
- Reeves, J. 1997. Relationships between crude protein and determination of nondispersible lignin. Journal of Dairy Science 80(1): 692-699.
- Reyes G. 2012 Evaluación de la digestibilidad *in situ* de los nutrientes y variables ruminales del ensilado de caña de azúcar con diferente fuente de proteína. Tesis Dr. UG. Jalisco, México. 93 p.
- Rodríguez, N; Saliba, E; Guimaraes, R. 2007. Uso de indicadores para estimar consumo y digestibilidad del pasto: LIPE, lignina purificada y enriquecida. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias 20(1): 518p.
- Rubsamen, K; Engelhardt, W. 1978. Bicarbonate secretion and solute absorption in the forestomach of the llama. American Journal of Physiology 235(1): 1-6.
- Russell, J. 1985. Factors influencing competition and composition of the rumen bacterial flora. Herbivore Nutrition in the Subtropics and Tropics. The Science Press (ed.) Pretoria, Sudáfrica. 222-243.
- San Martin, F; Bryant, F. 1989. Nutrition of domesticated South American llamas and alpacas. Small Ruminant Research 2(3): 191-216.
- San Martín, F; Van Saun, R. 2014. Applied digestive anatomy and feeding behavior. En: Cebra, C; Anderson, D; Tibary, A; Van Saun, R; Johnson, L (eds.) 2014. Llama and alpaca care: Medicine, Surgery, Reproduction, Nutrition, and Herd Health. El Sevier (ed) Toronto, Canadá. 51-58.
- San Martin, F. 1987. Comparative forage selectivity and nutrition of South American Camelids and sheep. Tesis Ph. D. T.U. Texas, E.U. 128 p.

- San Martín, F. 1989. Alimentación y nutrición de la llama y alpaca. XII Reunión Científica de la Asociación Peruana de Producción Animal (APPA). Lima, Perú. 151p.
- San Martín, F. 1991. Producción de Rumiantes Menores: Nutrición y alimentación en alpacas. INIAA. Lima, Perú. 359 p.
- San Martín, F. 1996. Nutrición de Camélidos Sudamericanos y su relación con la reproducción. *Revista Argentina de Producción Animal* 16(1): 305-312.
- San Martín, F; Olazabal, J. 2005. Nutrición y alimentación en Camélidos Sudamericanos domésticos. En: Manual del técnico alpaquero. ECHO – SAVE DE CHILDREN – IDTEG (ed.) Puno, Perú. 55-68.
- San Martín, F; Farfán, R; Valdivia, R. 1985. Digestibilidad comparativa entre alpacas y ovinos. V Convención Internacional sobre Camélidos Sudamericanos. Cusco, Perú. 221-222.
- Schlecht, E; Susenbeth, A. 2006. Estimating the digestibility of Sahelian roughages from faecal crude protein concentration of cattle and small ruminants. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 90(10): 369-379.
- Schmidt, L; Jentsch, W. 1994. Die Schätzung der Verdaulichkeit von Konservatfütterationen für Rinder anhand des Stickstoffgehaltes im Rinderkot. *FBN Schriftenreihe Dummerstorf* 7(1): 179–184.
- Schmidt, L. 1993. Faecal nitrogen as an indicator for silage digestibility and energy content of silage. *Mezinarodni Sympozim* 6(1): 157-163.
- Soltner, D. 2008. Alimentation des animaux domestiques. *Collection Scientifiques et Techniques Agricoles* (ed.) Berlín, Alemania. 22-176.
- Sponheimer, M; Robinson, T; Roeder, B; Hammer, J; Ayliffe, L; Passey, B; Cerling, T; Dearing, D; Ehleringer, J. 2003. Digestion and passage rates of grass hays by llamas, alpacas, goats, rabbits and horses. *Small Ruminant Research* 48(1): 149-154.
- Stölzl, A; Lambertz, C; Moors, E; Stiehl, J; Gauly, M. 2014. Trockensubstanzaufnahme von Neuweltkameliden und deren Bedeutung für die Rationsgestaltung. *Berliner und Münchner Tierärztliche Wochenschrift* 127(1) 328-332.

- Thornton, R; Minson, D. 1972. The relationship between voluntary intake and mean apparent retention time in the rumen. *Australian Journal of Agricultural Research* 23(1): 871-877.
- Titgemeyer, E; Armendariz, C; Bindel, D; Greenwood, R; Löest, C. 2001. Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker for cattle. *Journal of Animal Science* 79(4): 1059-1063.
- Tobal, C. 1997. Evaluación de los alimentos a través de los diferentes métodos de digestibilidad (en línea). Universidad Nacional de La Pampa. Consultado 01 mar. 2020. Disponible en <http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/pubpdf/anuavet/n1999a16tobal.pdf>.
- Valenza, D; Holgado, D; San Martín, F; Farfán, R. 1991. Digestibilidad comparativa entre ovinos, alpacas y llamas de la mezcla broza de quinua (*Chenopodium quinoa*) y heno de avena (*Avena sativa*), y broza de haba (*Vicia faba*). En: San Martín, F; Bryant, F. *Investigaciones sobre pastos y forrajes de la Texas University en el Perú* 6(1): 325 p.
- Vallenas, A; Stevens, C. 1971a. Motility of the llama and guanaco stomach. *American Journal of Physiology* 220(1): 275-282.
- Vallenas, A; Stevens, C. 1971b. Volatile fatty acid concentration and pH of llama and guanaco forestomach digesta. *Cornell University College of Veterinary Medicine* 61(1): 239-252.
- Vallenas, A; Esquerre, J; Valenzuela, A; Candela, E; Chauca, D. 1973a. Ácidos grasos volátiles y pH en los dos primeros compartimientos del estómago de la alpaca y del ovino. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 2(1): 115-130.
- Vallenas, A; Llerena, L; Valenzuela, A; Chauca, D; Esquerre, J; Candela, E. 1973b. Concentración de ácidos grasos volátiles a lo largo del tracto digestivo de alpacas y llamas. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 2(1): 3-14.
- Vallenas, A; Cummings, J; Munnell, J. 1971. A gross study of the compartmentalized stomach of two New World Camelids, the llama and guanaco. *Morphology* 134(3): 399-424.
- Van Keulen, J. and B.A. Young, 1977. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*. 44(2): 282-287.
- Van Saun, R. 2006. Nutrient requirements of South American Camelids: A factorial approach. *Small Ruminant Research* 61(1): 165-186.

Van Soest, P. 1982. *Nutritional ecology of the ruminant*. O&B Books (ed.) Oregon, E.U. 374 p.

Van Soest, P. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2da (ed.). Proceedings Cornell Nutrition Conference (ed.) New York, E.U. 476 p.

Velez-Contacayo, W; Chiri, R; Saavedra, V. 2018. Digestibilidad aparente en llamas (*Lama glama*) alimentadas con pasto brasileiro (*Phalaris arundinacea*) y avena (*Avena sativa*) en el centro experimental agropecuario Condoriri. VII Congreso Mundial sobre Camélidos. Oruro, Bolivia. 301-302.

Vivar, M. 2018. Comparación del nivel de nitrógeno ureico sanguíneo entre alpacas y llamas destetadas mantenidas en pastos cultivados. Tesis B.S. UNMSM. Lima, Perú. 98 p.

Wang, C; Tas, B; Glindemann, T; Rave, G; Schmidt L; Weissbach, F; Susenbeth, A. 2009. Fecal crude protein content as an estimate for the digestibility of forage in grazing sheep. *Animal Feed Science Technology* 149(3): 199-208.

Warmington, B. 1989. Voluntary intake and digestion of Ryegrass straw by llama x guanaco crossbreds and sheep. *The Journal of Agricultural Science* 113(1): 87-91.

Yaranga, R. 2009. Alimentación de camélidos sudamericanos y manejo de pastizales. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Zootecnia. Consultado 18 may. 2020. Disponible en:

<http://www.comunidadcamelidos.org/admin/imagesup/ALIMENTACI%C3%83%E2%80%9CN%20DE%20CAMELIDOS%20Y%20MANEJO%20DE%20PASTIZALES.pdf>

Yokohama, M; Johnson, K. 1988. Microbiología del rumen e intestine. Acribia (ed.) Zaragoza, España. 137-158.

## VIII. ANEXOS

**Anexo 01. Base de datos de Peso Vivo de las alpacas (Kg), Consumo de Materia Seca (%PV), Consumo de Materia Seca (g/ kg PV<sup>0.75</sup>), Consumo de Fibra Detergente Neutra (%PV) y Consumo de Fibra Detergente Neutra (g/ kg PV<sup>0.75</sup>)**

<i>Código</i>	<i>Peso Vivo de las Alpacas (kg)</i>	<i>Consumo de Materia Seca (%PV)</i>	<i>Consumo de Materia Seca (g/ kg PV<sup>0.75</sup>)</i>	<i>Consumo de Fibra Detergente Neutra (%PV)</i>	<i>Consumo de Fibra Detergente Neutra (g/ kg PV<sup>0.75</sup>)</i>
<i>T1.1-P1</i>	28.2	2.93	67.45	1.20	27.74
<i>T1.2-P1</i>	47.8	1.33	35.09	0.55	14.43
<i>T1.3-P1</i>	29.4	2.72	63.40	1.12	26.07
<i>T2.1-P1</i>	31.2	1.66	39.35	1.01	23.75
<i>T2.2-P1</i>	39.6	1.27	31.93	0.77	19.28
<i>T2.3-P1</i>	40.0	0.82	20.58	0.49	12.42
<i>T3.1-P1</i>	32.0	1.20	28.48	0.82	19.55
<i>T3.2-P1</i>	39.4	1.05	26.36	0.72	18.10
<i>T3.3-P1</i>	43.2	1.10	28.26	0.76	19.40
<i>T4.1-P1</i>	39.2	0.95	23.76	0.68	17.13
<i>T4.2-P1</i>	41.6	0.85	21.58	0.61	15.56
<i>T4.3-P1</i>	29.2	0.82	19.15	0.59	13.80

<<Continuación>>

<i>T1.1-P2</i>	33.2	2.75	66.02	1.10	26.41
<i>T1.2-P2</i>	40.6	1.88	47.35	0.75	18.94
<i>T1.3-P2</i>	36.8	1.87	46.14	0.75	18.46
<i>T2.1-P2</i>	32.9	1.74	41.79	1.13	27.08
<i>T2.2-P2</i>	39.6	1.68	42.22	1.09	27.36
<i>T2.3-P2</i>	43.2	1.91	49.04	1.24	31.78
<i>T3.1-P2</i>	38.2	2.04	50.80	1.42	35.25
<i>T3.2-P2</i>	39.6	1.65	41.41	1.15	28.73
<i>T3.3-P2</i>	28.0	1.77	40.62	1.23	28.19
<i>T4.1-P2</i>	28.2	1.86	42.89	1.32	30.52
<i>T4.2-P2</i>	45.2	0.94	24.36	0.67	17.34
<i>T4.3-P2</i>	29.8	0.73	17.03	0.52	12.12
<i>T1.1-P3</i>	24.2	3.85	85.48	1.53	34.01
<i>T1.2-P3</i>	41.4	1.62	41.07	0.64	16.34
<i>T1.3-P3</i>	24.4	1.75	38.81	0.69	15.44
<i>T2.1-P3</i>	31.8	1.90	45.12	1.16	27.61
<i>T2.2-P3</i>	36.8	1.58	39.00	0.97	23.87
<i>T2.3-P3</i>	34.8	1.78	43.12	1.09	26.39
<i>T3.1-P3</i>	31.2	1.77	41.88	1.16	27.32
<i>T3.2-P3</i>	38.6	1.74	43.29	1.13	28.24
<i>T3.3-P3</i>	41.6	1.55	39.30	1.01	25.64
<i>T4.1-P3</i>	37.7	1.75	43.46	1.25	31.04
<i>T4.2-P3</i>	40.2	1.67	42.13	1.20	30.09
<i>T4.3-P3</i>	26.0	1.81	40.86	1.29	29.18

**Anexo 02. Base de datos de Proteína en heces (g/kg MO), Digestibilidad de la Materia Seca (%), Digestibilidad de la Materia Orgánica (%), Digestibilidad de la Proteína Cruda (%) y Digestibilidad de la Fibra Detergente Neutra (%)**

<i>Código</i>	<i>Proteína en heces (g/Kg MO)</i>	<i>Digestibilidad de la Materia Seca (%)</i>	<i>Digestibilidad de la Materia Orgánica (%)</i>	<i>Digestibilidad de la Proteína Cruda (%)</i>	<i>Digestibilidad de la Fibra Detergente Neutra (%)</i>
<i>T1.1-P1</i>	132.74	84.38	85.83	76.65	75.34
<i>T1.2-P1</i>	130.18	64.66	68.21	48.65	45.39
<i>T1.3-P1</i>	126.97	85.67	86.89	79.36	78.15
<i>T2.1-P1</i>	106.07	58.19	59.90	58.84	55.03
<i>T2.2-P1</i>	107.43	49.19	51.89	49.98	42.82
<i>T2.3-P1</i>	126.31	52.86	56.42	46.73	52.85
<i>T3.1-P1</i>	78.63	45.39	47.82	37.39	48.46
<i>T3.2-P1</i>	74.16	39.31	42.87	35.35	38.80
<i>T3.3-P1</i>	74.19	41.30	43.94	36.52	42.00
<i>T4.1-P1</i>	80.35	37.98	42.81	-2.48	44.32
<i>T4.2-P1</i>	69.77	32.53	38.09	3.67	36.38
<i>T4.3-P1</i>	69.97	26.25	31.40	-7.05	29.51
<i>T1.1-P2</i>	119.58	86.34	87.42	81.45	78.91
<i>T1.2-P2</i>	127.07	65.01	69.86	52.77	46.17
<i>T1.3-P2</i>	130.99	79.16	80.50	68.50	68.06
<i>T2.1-P2</i>	98.11	51.31	53.56	53.77	52.99
<i>T2.2-P2</i>	92.00	58.02	59.82	62.49	58.79
<i>T2.3-P2</i>	93.54	60.50	61.90	63.84	62.08

<<Continuación>>

<i>T3.1-P2</i>	71.98	46.44	48.90	43.37	51.74
<i>T3.2-P2</i>	72.59	47.64	50.38	44.54	52.25
<i>T3.3-P2</i>	69.41	51.06	53.08	49.86	48.37
<i>T4.1-P2</i>	70.88	67.86	69.93	55.23	68.59
<i>T4.2-P2</i>	70.85	49.39	52.63	29.51	51.23
<i>T4.3-P2</i>	63.84	40.13	45.78	27.31	42.21
<i>T1.1-P3</i>	110.70	86.20	86.85	80.87	77.80
<i>T1.2-P3</i>	109.57	79.83	80.89	72.47	66.46
<i>T1.3-P3</i>	110.90	78.03	79.13	69.58	65.24
<i>T2.1-P3</i>	93.90	67.27	67.94	68.74	64.17
<i>T2.2-P3</i>	89.62	56.85	58.07	60.97	52.08
<i>T2.3-P3</i>	96.86	64.96	66.15	65.95	62.86
<i>T3.1-P3</i>	64.27	61.95	62.89	63.75	61.58
<i>T3.2-P3</i>	61.56	54.48	56.03	58.86	54.30
<i>T3.3-P3</i>	65.15	55.39	56.78	57.21	57.31
<i>T4.1-P3</i>	53.51	55.75	57.67	71.46	56.81
<i>T4.2-P3</i>	58.19	60.21	62.03	72.17	62.28
<i>T4.3-P3</i>	53.21	55.18	56.89	71.10	57.49

**Anexo 03. Análisis de Varianza para el Consumo de Materia Seca (%PV) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra**

**Análisis de Varianza**

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>F<sub>tab</sub></i>
<i>Tratamientos</i>	3	2.65	0.88	5.29	3.16
<i>Bloques</i>	2	0.64	0.32	1.91	
<i>Error experimental</i>	18	3.01	0.17		
<i>Total</i>	23	6.31	0.27		
<i>Promedio general</i>		1.64			
<i>CV (%)</i>		24.90			

**Resumen de la comparación de medias de Tukey**

<i>Tratamiento</i>	<i>Medias</i>	<i>Agrupamiento de Tukey</i>
<i>T1</i>	1.30	A
<i>T2</i>	1.63	A B
<i>T3</i>	1.63	A B
<i>T4</i>	2.01	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 04. Análisis de Varianza para el Consumo de Materia Seca (g/kg PV<sup>0.75</sup>) en  
alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra**

**Análisis de Varianza**

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>F<sub>tab</sub></i>
<i>Tratamientos</i>	3	1453.13	484.38	5.95	3.16
<i>Bloques</i>	2	449.30	224.65	2.76	
<i>Error experimental</i>	18	1464.34	81.35		
<i>Total</i>	23	3366.78	146.38		
<i>Promedio general</i>		39.72			
<i>CV (%)</i>		22.71			

**Resumen de la comparación de medias de Tukey**

<i>Tratamiento</i>	<i>Medias</i>	<i>Agrupamiento de Tukey</i>
<i>T1</i>	31.88	A
<i>T2</i>	39.30	A B
<i>T3</i>	39.35	A B
<i>T4</i>	48.34	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 05. Análisis de Varianza para el Consumo de Fibra detergente Neutra (%PV) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra**

**Análisis de Varianza**

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>F<sub>tab</sub></i>
<i>Tratamientos</i>	3	0.23	0.08	3.15	3.16
<i>Bloques</i>	2	0.11	0.06	2.39	
<i>Error experimental</i>	18	0.43	0.02		
<i>Total</i>	23	0.77	0.03		
<i>Promedio general</i>			0.95		
<i>CV (%)</i>			16.18		

**Resumen de la comparación de medias de Tukey**

<i>Tratamiento</i>	<i>Medias</i>	<i>Agrupamiento de Tukey</i>
<i>T1</i>	0.83	A
<i>T2</i>	0.97	A
<i>T3</i>	1.00	A
<i>T4</i>	1.01	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 06. Análisis de Varianza para el Consumo de Fibra Detergente Neutra (g/kg PV<sup>0.75</sup>) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra**

**Análisis de Varianza**

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>F<sub>tab</sub></i>
<i>Tratamientos</i>	3	121.90	40.63	3.15	3.16
<i>Bloques</i>	2	82.19	41.10	3.19	
<i>Error experimental</i>	18	232.04	12.89		
<i>Total</i>	23	436.13	18.96		
<i>Promedio general</i>		23.24			
<i>CV (%)</i>		15.45			

**Resumen de comparación de medias de Tukey**

<i>Tratamiento</i>	<i>Medias</i>	<i>Agrupamiento de Tukey</i>
<i>T1</i>	20.38	A
<i>T2</i>	23.84	A
<i>T3</i>	23.93	A
<i>T4</i>	24.79	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 07. Análisis de Varianza para el Consumo de agua (L) en alpacas  
alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra**

**Análisis de Varianza**

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>F<sub>tab</sub></i>
<i>Tratamientos</i>	3	0.63	0.21	102.79	3.16
<i>Bloques</i>	2	1.04	0.52	253.71	
<i>Error experimental</i>	18	0.04	0.00		
<i>Total</i>	23	1.71	0.07		
<i>Promedio general</i>			1.59		
<i>CV (%)</i>			2.85		

**Resumen de comparación de medias de Tukey**

<i>Tratamiento</i>	<i>Medias</i>	<i>Agrupamiento de Tukey</i>
<i>T1</i>	1.41	A
<i>T2</i>	1.59	B
<i>T3</i>	1.60	B
<i>T4</i>	1.75	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 08. Análisis de Varianza para la Digestibilidad de la Materia Seca (%) en  
alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra**

**Análisis de Varianza**

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>F<sub>tab</sub></i>
<i>Tratamientos</i>	3	1451.78	483.93	5.35	3.16
<i>Bloques</i>	2	77.78	38.89	0.43	
<i>Error experimental</i>	18	1626.66	90.37		
<i>Total</i>	23	3156.22	137.23		
<i>Promedio general</i>		57.16			
<i>CV (%)</i>		16.63			

**Resumen de comparación de medias de Tukey**

<i>Tratamiento</i>	<i>Medias</i>	<i>Agrupamiento de Tukey</i>
<i>T1</i>	50.25	A
<i>T2</i>	55.91	A B
<i>T3</i>	56.05	A B
<i>T4</i>	66.41	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 09. Análisis de Varianza para la Digestibilidad de la Materia Orgánica (%)  
en alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra**

**Análisis de Varianza**

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>F<sub>tab</sub></i>
<i>Tratamientos</i>	3	1298.14	432.71	5.47	3.16
<i>Bloques</i>	2	64.27	32.14	0.41	
<i>Error experimental</i>	18	1422.87	79.05		
<i>Total</i>	23	2785.29	121.10		
<i>Promedio general</i>		59.57			
<i>CV (%)</i>		14.92			

**Resumen de comparación de medias de Tukey**

<i>Tratamiento</i>	<i>Medias</i>	<i>Agrupamiento de Tukey</i>
<i>T1</i>	53.36	A
<i>T2</i>	58.20	A B
<i>T3</i>	58.24	A B
<i>T4</i>	68.48	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 10. Análisis de Varianza para la Digestibilidad de la Proteína Cruda (%) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra**

**Análisis de Varianza**

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>F<sub>tab</sub></i>
<i>Tratamientos</i>	3	2053.94	684.65	5.43	3.16
<i>Bloques</i>	2	298.39	149.20	1.18	
<i>Error experimental</i>	18	2270.86	126.16		
<i>Total</i>	23	4623.19	201.01		
<i>Promedio general</i>		51.45			
<i>CV (%)</i>		21.83			

**Resumen de comparación de medias de Tukey**

<i>Tratamiento</i>	<i>Medias</i>	<i>Agrupamiento de Tukey</i>	
<i>T1</i>	41.46	A	
<i>T2</i>	51.32	A	B
<i>T3</i>	51.98	A	B
<i>T4</i>	61.06		B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 11. Análisis de Varianza para la Digestibilidad de la Fibra Detergente Neutra (%) en alpacas alimentadas con diferentes niveles de Fibra Detergente Neutra**

**Análisis de Varianza**

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>F<sub>tab</sub></i>
<i>Tratamientos</i>	3	582.06	194.02	3.49	3.16
<i>Bloques</i>	2	141.01	70.50	1.27	
<i>Error experimental</i>	18	1001.07	55.61		
<i>Total</i>	23	1724.14	74.96		
<i>Promedio general</i>		54.92			
<i>CV (%)</i>		13.58			

**Resumen de comparación de medias de Tukey**

<i>Tratamiento</i>	<i>Medias</i>	<i>Agrupamiento de Tukey</i>
<i>T1</i>	50.37	A
<i>T2</i>	54.06	A
<i>T3</i>	54.57	A
<i>T4</i>	60.67	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Anexo 12. Ecuación propuesta para estimar la Digestibilidad de la Materia Orgánica de la dieta a partir del contenido de proteína cruda en la Materia Orgánica fecal, para su aplicación en alpacas**

**Dataset**                      **Untiled**

*Y Variable*        :     *DMO*

*X Variable*        :     *PC*

*Model Fit*         :      $A-B*EXP(-C*X/100)$

**Parameter Estimates for All Groups**

<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Iter's</i>	<i>R2</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>All</i>	36.00	11	0.28758	0.07635	-0.33866	-0.4484

**Model Estimation Section**

<i>Parameter Name</i>	<i>Parameter Estimate</i>	<i>Asymptotic Standard Error</i>	<i>Lower 95% C.L.</i>	<i>Upper 95% C.L.</i>
<i>A</i>	0.07635	3.16349	-6.35983	6.51253
<i>B</i>	-0.33866	2.96083	-6.36252	5.6852
<i>C</i>	-0.4484	2.74406	-6.03124	5.13443

<i>Iterations</i>	11	<i>Rows Read</i>	36
<i>R-Squared</i>	0.287577	<i>Rows Used</i>	36
<i>Random Seed</i>	14963	<i>Total Count</i>	36