

**Universidad Católica de Santa María**  
**Escuela de Postgrado**  
**Maestría en Producción y Salud Animal**



**Desarrollo de un ensayo de digestibilidad *in vitro* en alpacas  
(*Vicugna pacos*) utilizando dos tipos de inóculos**

Tesis presentada por el Bachiller:

**San Miguel Velarde, Juan Jose Jorge**

**ORCID: 0009-0005-2774-7125**

Para optar el Grado Académico de Maestro en Producción y Salud Animal

Asesor:

**Dr. Obando Sánchez, Alexander Daniel**

**ORCID: 0000-0003-1765-2710**

Arequipa - Perú

2025

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR DE TESIS**

Arequipa, 17 de Junio del 2025

**Dictamen: 011509-C-EPG-2025**

Visto el borrador del expediente 011509, presentado por:

**2010006072 - SAN MIGUEL VELARDE JUAN JOSE JORGE**

Titulado:

**DESARROLLO DE UN ENSAYO DE DIGESTIBILIDAD IN VITRO EN ALPACAS (VICUGNA PACOS)  
UTILIZANDO DOS TIPOS DE INÓCULOS**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**29201360 - VILLANUEVA SALAS JOSE ANTONIO  
DICTAMINADOR**



**16423061 - FERNANDEZ FERNANDEZ FERNANDO ALBERTO  
DICTAMINADOR**



**29520758 - VELAZCO GUTIERREZ RUBEN ROBERTO  
DICTAMINADOR**



# DESARROLLO DE UN ENSAYO DE DIGESTIBILIDAD IN VITRO EN ALPACAS (VICUGNA PACOS) UTILIZANDO DOS TIPOS DE INÓCULOS

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	11%
2	<a href="https://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	7%
3	<a href="https://bibliotecadigital.umsa.bo:8080">bibliotecadigital.umsa.bo:8080</a> Fuente de Internet	4%
4	<a href="http://www.clubensayos.com">www.clubensayos.com</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://rdu.unc.edu.ar">rdu.unc.edu.ar</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://repositorio.unal.edu.co">repositorio.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://acikerisim.aku.edu.tr">acikerisim.aku.edu.tr</a> Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

## DEDICATORIA

*A mis abuelos, tanto maternos como paternos, que ya no se encuentran físicamente con nosotros, pero cuyo recuerdo vive en cada uno de nosotros. Su legado de amor, integridad y bondad sigue marcando el camino de las nuevas generaciones. Gracias por enseñarnos, aún desde la distancia, a ser buenas personas.*

*A mis padres, **Juana Luz Velarde Escobedo** y **Óscar Reinaldo San Miguel Herrera**, por ser el pilar más firme en mi vida. Gracias por su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos y por enseñarme, con el ejemplo, que el esfuerzo y la perseverancia abren caminos donde antes solo había dudas.*

*A mis hermanas, **Fiorella** y **Karina San Miguel Velarde**, por su apoyo incondicional, su cariño sincero y su presencia constante a lo largo de este camino.*

*A mis sobrinos **Valeria**, **Alejandra**, **Santiago** y **Micaela**, para que nunca se rindan, y que siempre recuerden esta frase que me ha acompañado en los momentos más desafiantes: "**Hazlo, y si te da miedo, hazlo con miedo.**"*

*A mi esposa, **Lady Lizeth Morales Piñares**, por su paciencia, fortaleza y amor inquebrantable. Gracias por caminar conmigo incluso en los días más duros. Este logro también es tuyo, porque lo construimos juntos, paso a paso.*

*A mis hijos, **Fabián Mathías** y **Daniela Andrea San Miguel Morales**, quienes son mi mayor orgullo y mi razón más profunda para seguir esforzándome. Todo lo logrado es también para ustedes, con la esperanza de que sigan sus propios sueños con pasión y valentía.*

*A **Canela**, nuestra fiel mascota, por su compañía serena y su afecto constante. Tu presencia fue un bálsamo en los días largos de estudio y redacción.*

*Con todo mi corazón,*

**Juan Jose Jorge San Miguel Velarde**

## AGRADECIMIENTOS

*Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi asesor de tesis, **Dr. Alexander Daniel Obando Sánchez**, por su guía constante, sus valiosas observaciones y el compromiso demostrado durante todo el proceso de investigación. Su acompañamiento ha sido fundamental para lograr culminar este trabajo con éxito.*

*Este trabajo fue realizado gracias al equipamiento subvencionado por el CONCYTEC a través del programa PROCIENCIA en el marco del concurso “E044-2023-01-BM Fortalecimiento de Laboratorios”, según contrato PE501085738-2023-BM. Desarrollado por la **Universidad Nacional Mayor de San Marcos**, a través del proyecto “Implementación de un laboratorio de bioenergética para el monitoreo y adaptación al cambio climático en sistemas de producción agropecuaria de la zona altoandina, templada y amazónica del Perú; Proyecto e Institución que me brindo la oportunidad, los recursos académicos y el espacio formativo necesarios para el desarrollo de esta investigación. Su compromiso con la excelencia académica y la investigación ha sido fundamental para la culminación de este trabajo.*

*De igual manera, extiendo mi sincero agradecimiento al **Dr. Víctor Manuel Vélez Marroquín**, cuyo acompañamiento, orientación y apoyo constante fueron esenciales durante todo el proceso. Su dedicación, disposición y valiosos conocimientos contribuyeron de manera significativa al logro de los objetivos planteados en esta investigación.*

*A mis dictaminadores:*

**Dr. José Antonio Villanueva Salas,**

**Dr. Fernando Alberto Fernández Fernández,**

**Dr. Rubén Roberto Velazco Gutiérrez,**

*por sus observaciones rigurosas, sus correcciones oportunas y por haberme ayudado a identificar mis errores y mejorar este trabajo con profesionalismo y exigencia académica.*

*Y a todas las personas que colaboraron, de una u otra manera, en la realización de esta tesis, les expreso mi más profundo agradecimiento. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.*

*Con profunda gratitud,*

**Juan Jose Jorge San Miguel Velarde**

## RESUMEN

Se diseñó un estudio con el objetivo de desarrollar un ensayo de digestibilidad *in vitro* en alpacas utilizando para ello dos tipos de inóculos, fecal y del primer compartimento (C1), para ello se utilizaron los inóculos obtenidos de dos alpacas macho adultos y fistuladas en el C1, de los cuales se obtuvieron ambos inóculos en forma compuesta, estos animales fueron alimentados con un nivel de consumo de energía metabolizable (EM) cercano a 70 kcal/kg PV<sup>0.75</sup> y de proteína cruda de alrededor de 3,5 g PC/kgPV<sup>0.75</sup>. La dieta estuvo compuesta por heno de avena (60%) y concentrado comercial (40%), con un aporte aproximado de 86.5 g de PC/día y 86.4 kcal/kg de EM. Se emplearon 02 jaulas metabólicas para alpacas, hechas en acero inoxidable, las cuales contaron con comederos, bebederos y paneles metálicos para cuantificar la cantidad de ingesta y rechazo de alimento. Los animales fueron sometidos a un período de adaptación a las jaulas metabólicas de 10 días y una etapa de acostumbramiento al alimento de 21 días en función a su requerimiento de mantenimiento. El ensayo de digestibilidad *in vitro* se desarrolló de acuerdo al protocolo recomendado por el fabricante del incubador Daisy II<sup>®</sup>, (ANKOM Technology) usando bolsas F57; en cada una de las cuatro jarras de digestión se incubaron 22 muestras de los dos alimentos (concentrado comercial y heno de avena) con los dos tipos de inóculo; el proceso de incubación se extendió por 48 horas, incluyendo dos bolsas blanco –bolsa vacía y sellada sin muestra-, con el fin de generar el factor de corrección para el posible ingreso de partículas o pérdida de peso de las bolsas. Luego del proceso experimental y de análisis de datos, se encontró que el coeficiente de digestibilidad *in vitro* de la materia seca para el concentrado comercial utilizando el inóculo fecal y del C1 fueron 81.28±1.08 y 80.78±0.91; respectivamente, valores que no presentaron diferencia estadística significativa (P>0.05), estos valores presentaron una relación directa y una alta correlación positiva, representado en el momento r de Pearson correspondiente a 0.80. En consideración al siguiente alimento evaluado (heno de avena) se encontraron valores del coeficiente de digestibilidad correspondiente a 66.65±1.51 y 67.19±1.43; para el inóculo del C1 y fecal, respectivamente; en este caso tampoco se encontró diferencia estadística significativa (P>0.05), estos valores presentaron una relación directa y una alta correlación positiva, representado en el momento r de Pearson correspondiente a 0.85. De acuerdo con los resultados arribados en este estudio, podemos concluir que la utilización de un inóculo fecal en los ensayos de digestibilidad *in vitro* en alpacas presenta los mismos resultados que el uso de un inóculo del C1 y permitiría reemplazar su utilización en ensayos de digestibilidad *in vitro* por un inóculo menos invasivo como lo representa el inóculo fecal.

**Palabras clave:** digestibilidad, inoculo, concentrado.

## ABSTRACT

A study was designed with the aim of developing an in vitro digestibility test in alpacas using two types of inocula, fecal and from the first compartment (C1), for this the inocula obtained from two adult male alpacas fistulated in C1 were used, from which both inocula were obtained in compound form, these animals were fed with a level of metabolizable energy (ME) consumption close to 70 kcal / kg PV<sup>0.75</sup> and crude protein of around 3.5 g PC / kg PV<sup>0.75</sup>. The diet consisted of oat hay (60%) and commercial concentrate (40%), with an approximate contribution of 86.5 g of PC / day and 86.4 kcal / kg of ME. Two metabolic cages for alpacas made of stainless steel were used, which had feeders, drinkers and metal panels to quantify the amount of food intake and rejection. The animals underwent a 10-day adaptation period to the metabolic cages and a 21-day acclimatization period to the feed based on their maintenance requirements. The in vitro digestibility test was developed according to the protocol recommended by the manufacturer of the Daisy II<sup>®</sup> incubator (ANKOM Technology) using F57 bags; in each of the four digestion jars, 22 samples of the two feeds (commercial concentrate and oat hay) were incubated with the two types of inoculum; the incubation process lasted 48 hours, including two blank bags - empty and sealed bag without sample -, in order to generate the correction factor for the possible entry of particles or weight loss of the bags. After the experimental process and data analysis, it was found that the in vitro digestibility coefficient of dry matter for the commercial concentrate using the fecal inoculum and C1 were  $81.28 \pm 1.08$  and  $80.78 \pm 0.91$ ; respectively, values that did not present a significant statistical difference ( $P > 0.05$ ), these values presented a direct relationship and a high positive correlation, represented in the Pearson r moment corresponding to 0.80. In consideration of the next evaluated food (oat hay) digestibility coefficient values corresponding to  $66.65 \pm 1.51$  and  $67.19 \pm 1.43$  were found; for the C1 and fecal inoculum, respectively; in this case also no significant statistical difference was found ( $P > 0.05$ ), these values presented a direct relationship and a high positive correlation, represented in the Pearson r moment corresponding to 0.85. According to the results arrived in this study, we can conclude that the use of a fecal inoculum in in vitro digestibility tests in alpacas, presents the same results as the use of a C1 inoculum and would allow replacing its use in in vitro digestibility tests with a less invasive inoculum such as the fecal inoculum.

**Keywords:** digestibility, inoculum, concentrate.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I .....	2
1.1. Enunciado del problema .....	2
1.2. Descripción del problema .....	2
1.3. Justificación del problema .....	2
1.4. Objetivos .....	3
1.4.1. Objetivos generales .....	3
1.4.2. Objetivos específicos .....	3
1.5. Hipótesis .....	3
CAPÍTULO II .....	4
2. MARCO TEÓRICO .....	4
2.1 Análisis bibliográfico .....	4
2.1.1 Anatomía y Fisiología Digestiva de los Camélidos Sudamericanos .....	4
2.1.1.1 Cavidad Bucal .....	4
2.1.1.2 Dentición .....	4
2.1.1.3 Glándulas Salivales .....	5
2.1.1.4 Estomago .....	5
2.1.1.5 Glándulas Estomacales .....	6
2.1.1.6 Motilidad Estomacal .....	7
2.1.2 Tiempo de retención del alimento en el tracto digestivo .....	8
2.1.3 Reciclaje de urea .....	8
2.1.4 Consumo Voluntario .....	10
2.1.5 Digestión .....	11
2.1.6 Selectividad .....	12
2.1.7 Digestibilidad de los alimentos .....	13
2.1.8 Digestibilidad in vitro de los alimentos .....	14
2.1.9 Digestibilidad de la Materia Seca .....	16
2.1.10 Consumo de Materia Seca (MS) .....	17

2.1.11 Consumo de agua en camélidos .....	20
2.2 Antecedentes de investigación.....	20
2.2.1 Análisis de tesis.....	20
CAPÍTULO III.....	23
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
3.1. Materiales.....	23
3.1.1 Localización del trabajo .....	23
a) Localización espacial .....	23
b) Ubicación temporal .....	23
3.1.2 Métodos de evaluación.....	23
a) Unidades de estudio .....	23
b) Estrategia de recolección de datos .....	23
c) Etapa experimentales .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
d) Dieta experimental .....	24
e) Suministro de alimento, agua y colecta de heces y orina.....	25
3.1.3 Análisis de laboratorio.....	25
a) Análisis de digestibilidad in vitro – Daisy II Incubator .....	25
b) Determinación de la fibra detergente neutro.....	26
c) Desarrollo de la técnica de digestibilidad in vitro.....	27
d) Determinación de la digestibilidad in vitro verdadera .....	28
e) Determinación de la Fibra Detergente Neutra (FDN).....	28
f) Fórmula de digestibilidad verdadera in vitro (%IVTD).....	29
3.1.4 Análisis de datos .....	29
CAPÍTULO IV.....	30
4. RESULTADOS Y DISCUSION .....	30
CONCLUSIONES .....	42
RECOMENDACIONES.....	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
ANEXOS .....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coeficiente de digestibilidad de un concentrado comercial y del heno de avena utilizando un inóculo basado en fluido del primer compartimento. ....	30
Tabla 2	Coeficiente de digestibilidad de un concentrado comercial y del heno de avena utilizando un inóculo fecal.....	32
Tabla 3	Concentrado comercial .....	34
Tabla 4	Heno de avena.....	36
Tabla 5	Matriz de correlación – Concentrado comercial.....	38
Tabla 6	Matriz de correlación – Heno de avena .....	40
Tabla 7	Inoculo: CI.....	51
Tabla 8	Alimento: Concentrado Comercial Inoculo: Fecal .....	52
Tabla 9	Alimento: Avena Heno Inoculo: CI.....	53
Tabla 10	Alimento: Avena Heno Inoculo: Fecal .....	54
Tabla 11	Concentrado Comercial Análisis de varianza – inóculo fecal y del C1.....	55
Tabla 12	Procedimiento ANOVA Información del nivel de clase .....	56
Tabla 13	Heno de Avena Análisis de varianza – inóculo fecal y del C1.....	57
Tabla 14	Heno de Avena Análisis de varianza – inóculo fecal y del C1.....	58
Tabla 15	Prueba de Correlación – Estadística Descriptiva Concentrado Comercial – Inoculo C1 y Fecal.....	59
Tabla 16	Prueba de Correlación – Estadística Descriptiva Concentrado Comercial – Inoculo C1 y Fecal.....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Relación comparativa inoculo C1 y fecal.....	34
Figura 2 Relación comparativa para el heno de avena .....	36
Figura 3 Diagrama de dispersión de los valores de los coeficientes de digestibilidad <i>in vitro</i> de dos inóculos (C1 y fecal) luego de incubar un concentrado comercial en alpacas.....	38
Figura 4 Diagrama de dispersión de los valores de los coeficientes de digestibilidad <i>in vitro</i> de dos inóculos (C1 y fecal) luego de incubar heno de avena en alpacas.....	40
Figura 5 Colecta de inóculo del C1 – alpaca fistulada.....	64
Figura 6 Colecta de inóculo del C1 – retiro de la tapa de la fístula.....	64
Figura 7 Colecta de inóculo del C1 a través de la fistula.....	65
Figura 8 Colecta de inóculo fecal.....	65
Figura 9 Medición del pH en los inóculos colectados .....	66
Figura 10 Medición de la temperatura en los inóculos colectados.....	66
Figura 11 Acondicionamiento de las soluciones para el proceso de incubación.....	67
Figura 12 Acondicionamiento de las soluciones en baño maría automatizado.....	67
Figura 13 Acondicionamiento de los filtros F57 conteniendo los alimentos a digerir.....	68
Figura 14 Sellado de los filtros F57 conteniendo los alimentos a digerir.....	68
Figura 15 Acondicionamiento de los filtros F57 conteniendo los alimentos a digerir.....	69
Figura 16 Pesado de reactivos para el proceso de digestibilidad <i>in vitro</i> .....	69
Figura 17 Frascos con las soluciones e inóculo para introducción en el Daisy II.....	70
Figura 18 Puesta en marcha del sistema de digestibilidad <i>in vitro</i> Daisy II.....	70
Figura 19 Acondicionamiento de filtros luego del proceso de digestibilidad <i>in vitro</i> .....	71
Figura 20 Pesado de filtros luego del proceso de digestibilidad <i>in vitro</i> .....	71
Figura 21 Acondicionamiento de filtros luego del proceso de digestibilidad <i>in vitro</i> .....	72
Figura 22 Secado de filtros luego del proceso de digestibilidad <i>in vitro</i> .....	72
Figura 23 Pesado de filtros luego del proceso de digestibilidad <i>in vitro</i> .....	73
Figura 24 Inicio del proceso de enjuague con la solución de FDN en el equipo Delta.....	73
Figura 25 Filtros F57 con las extrusas de los alimentos previamente digeridos.....	74
Figura 26 Programación del sistema Delta para determinación del FDN.....	74
Figura 27 Inicio del sistema Delta para determinación del FDN.....	75
Figura 28 Pesado final para la determinación del coeficiente de digestibilidad <i>in vitro</i> .....	75

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Alimento: Concentrado Comercial.....	51
Anexo 2 Salida SAS.....	55
Anexo 3 Imágenes del Desarrollo Experimental .....	64



## INTRODUCCIÓN

Los aspectos de la nutrición y alimentación son de especial atención o importancia en los sistemas de producción animal; al respecto, existe reducida información en cuanto a las particularidades de esta importante área en estas especies, pese a la amplia distribución y valor de los camélidos sudamericanos (CSA), en tal sentido, la comprensión de muchos de sus procesos fisiológicos aún se halla en desarrollo y estudio. De otro lado, en la literatura existe abundante información respecto al proceso reproductivo o biotecnología de la reproducción, en contrapartida a los evidentes vacíos de conocimiento de la evaluación funcional de la nutrición en alpacas; particularmente puede considerarse a la digestibilidad de los alimentos en un punto crucial que permite evaluar la capacidad que presenta un animal para que utilice en mayor o menor escala un nutriente. Esto se expresa por el coeficiente de digestibilidad del nutriente que está relacionado al consumo de materia seca (MS).

El consumo de MS es parámetro fundamental para atender exigencias nutricionales. Ocurre porque los animales no satisfacen las exigencias para aspectos productivos y reproductivos. El consumo de alimentos es regulado por varios mecanismos y factores como tamaño, edad del animal, condición corporal, capacidad de distribución, raza especie y estado fisiológico.

Algunos estudios han abordado la nutrición de los CSA en base a la información disponible y extrapolado datos a partir de otras especies como los pequeños rumiantes (Van Saun, 2006), del mismo modo, existen vacíos en el estado del conocimiento respecto a los principios que regulan la utilización de alimentos, así como hábitos alimenticios en estas especies (Dittmann *et al.*, 2014) por lo cual es necesario actualizar la información.

Existen metodologías para valorar la utilización de nutrientes contenidos en los alimentos, lo cual provee mayor conocimiento acerca del valor nutricional de un alimento, en tal sentido la digestibilidad de un alimento representa una herramienta más precisa y de aplicación directa, estas metodologías se han aplicado en otras especies y mejorar su utilización para los CSA.

## CAPÍTULO I

### 1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

#### 1.1. Enunciado del problema

Desarrollo de un ensayo de digestibilidad in vitro en alpacas (*Vicugna pacos*) utilizando dos tipos de inóculos.

#### 1.2. Descripción del problema

Asimismo, los procesos fermentativos y la cinética de sus indicadores permiten caracterizar la digestión facilitando la descripción detallada de las propiedades intrínsecas del alimento que podrían limitar su disponibilidad en especies fermentadoras, asimismo facilitan conocer el porcentaje de nutrientes consumidos que pueden ser absorbidos y utilizados por el animal, el mismo depende de los procesos dinámicos del crecimiento y desarrollo de la microbiota de las cámaras fermentativas poca y dispersa información de nutrición de los CSA evidencia la necesidad de generar conocimiento, respecto a la evaluación de recursos alimenticios disponibles estos parámetros son poco conocidos en camélidos (nutrición animal, la valoración de los alimentos es determinada por la biodisponibilidad de los nutrientes así como por los procesos de solubilización e hidrólisis en el sistema digestivo.

#### 1.3. Justificación del problema

A la fecha no existe información actualizada de la digestibilidad in vivo o in vitro en alpacas que utilicen equipamiento de última generación como es el digestor Daisy II Ankom, este equipo ha mostrado gran precisión al evaluar la digestibilidad in vitro de especies herbívoras, en tal sentido, este parámetro es importante al evaluar el proceso fermentativo y degradativo de los recursos alimenticios ofertados a las alpacas que puede proveerse a las alpacas a fin de mejorar la productividad de esta especie. para validar los resultados obtenidos las muestras para verificar los resultados.

## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. Objetivos generales

- Desarrollar un ensayo de digestibilidad *in vitro* en alpacas (*Vicugna pacos*) utilizando dos tipos de inóculos utilizando un inóculo basado en fluido del primer compartimento y de un inóculo fecal

### 1.4.2. Objetivos específicos

- Desarrollar un ensayo de digestibilidad *in vitro* en alpacas utilizando un inóculo basado en fluido del primer compartimento
- Desarrollar un ensayo de digestibilidad *in vitro* en alpacas utilizando un inóculo fecal
- Relacionar comparativamente los resultados del desarrollo de un ensayo de digestibilidad *in vitro* en alpacas utilizando un inóculo basado en fluido del primer compartimento y de un inóculo fecal.

## 1.5. Hipótesis

La aplicación de un inóculo basado en el fluido del primer compartimento de alpacas presenta un porcentaje de digestibilidad *in vitro* similar al obtenido al utilizar un inóculo fecal de la misma especie.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Análisis bibliográfico

##### 2.1.1 Anatomía y Fisiología Digestiva de los Camélidos Sudamericanos

###### 2.1.1.1 Cavidad Bucal

Los labios de los CSA son de paredes delgadas, el labio superior está dividido por un surco medio (labio leporino) y el inferior es comparativamente más grande; ambos labios son móviles, y esta característica les permite una gran funcionalidad al seleccionar alimentos cuando realizan el pastoreo y el consumo de alimentos. Con los labios superiores partidos, cada parte del labio ejerce funciones casi como un dedo para aprehender los alimentos. Los dientes incisivos son sumamente efectivos, con los cuales cortan el pasto y no lo arrancan desde su base (1).

###### 2.1.1.2 Dentición

Los CSA exhiben una diversidad de formas relacionadas con el procesamiento del alimento y funciones de defensa. Esta última se encuentra relacionada con los caninos (2).

Los incisivos con los que nacen cambian a una determinada edad y toda la dentadura la completan aproximadamente a los 4 años y medio. Los premolares y molares cumplen un papel importante en la eficiencia del corte y molido de los alimentos. El cambio de los premolares se presenta entre los 3.5 y 4 años, y se completan con la erupción de los extremos entre los 4 a 5 años (2). Durante la masticación los movimientos mandibulares y horizontales permiten un adecuado molido del alimento logrando una reducción del tamaño de la partícula. Una particularidad son los incisivos los cuales se ubican oblicuamente y tienen un crecimiento continuo, semejante al de las especies roedoras. Por esta cualidad son muy longevos, favorecidos por este tipo de sistema dentario el cual les permite seguir cosechando forraje eficientemente a pesar del paso de los años. Los CSA se caracterizan por poseer incisivos y caninos en ambas mandíbulas, a diferencia de otros ruminantes (ovinos y bovinos) los cuales no presentan incisivos superiores ni caninos (1).

Al nacimiento, todos los dientes temporales se encuentran presentes, excepto los caninos, a los 18 a 24 meses ocurre el cambio de incisivos por pinzas, localizadas en la porción delantera de la mandíbula inferior y tienen bordes cortantes en forma de cuña que les facilita cortar las plantas al hacer presión contra la almohadilla dentaria localizada en la parte delantera de la mandíbula superior (1).

### 2.1.1.3 Glándulas Salivales

Las glándulas salivales presentes en camélidos corresponden a serosas, mucosas y mixtas; estas glándulas cumplen la función de secreción de saliva, al mismo tiempo cumplen otras funciones importantes como son la lubricación del alimento seco, la secreción de bicarbonato y fosfato para amortiguar los efectos de los ácidos durante la fermentación, así como el reciclado de los nutrientes como la urea y el fósforo (1).

Estas secreciones cumplen un importante rol durante la rumia la cual es muy importante en el proceso digestivo de los CSA, esta actividad se presenta entre 7 a 12 horas por día, y es realizado en varios periodos. El acto de la rumia facilita la fermentación microbiana y la destrucción de la pared celular de los pastos ingeridos, originando una secreción refleja de saliva (1).

De acuerdo con investigaciones previas, estas indican que el flujo salival del CSA es superior en comparación al del ovino. Este comportamiento sumado al tamaño relativamente pequeño de los C1 y C2 del estómago, determina que la concentración de los compuestos tampones por unidad de volumen del contenido estomacal en la alpaca sea superior que en ovinos (2).

### 2.1.1.4 Estomago

El estómago de los CSA presenta 3 compartimentos, el Compartimento 1 (C1) comparable con el rumen, Compartimento 2 (C2) análogo con el retículo y el compartimento 3 (C3) comparable con el abomaso o cavidad enzimática, estas cavidades comprenden el 83%, 6% y 11% del volumen total del estómago, respectivamente (1).

El primer compartimento (C1) a semejanza del compartimento ruminal de los rumiantes, contiene un ecosistema microbiano complejo conformado por bacterias, protozoos, arqueas y hongos, y es el sitio anatómico donde ocurre la fermentación del

alimento consumido, un proceso primordial para la nutrición del animal, el C1 es el más grande de los tres compartimentos y está dividido en dos porciones, una craneal y otra caudal, y se encuentra dividido por un pliegue muscular transversal. El C2 es el más pequeño y es la continuación del C1. El C3, que se origina en C2, está situado en el lado derecho del C1 y tiene forma tubular y alargada. Sólo en la parte final del C3 se produce la secreción de ácido clorhídrico. Es evidente la presencia de sacos glandulares en el estómago que les permite una eficiente maceración, mezclado y absorción de la digesta (1).

Los C1 y C2 (principalmente el C1) están implicados en los procesos fermentativos y contienen el microbiota necesaria para el aprovechamiento de vegetales fibrosos. Los compartimentos C1 y C2, están cubiertos por áreas de sacos glandulares con células epiteliales con microvilli mientras que el estómago de ovino, caprino y vacuno está formado por cuatro compartimentos (rumen, retículo, omaso y abomaso), los tres primeros están cubiertos por papilas con epitelio estratificado y queratinizado; sin embargo, ambos tipos de estómagos sirven de cámaras de fermentación, y presentan los mismos mecanismos para realizar la rumia (1).

Los CSA presentan una mayor capacidad que el vacuno, ovino o caprino para digerir forrajes fibrosos (San Martín y Bryant, 1987), originado principalmente por un mayor tiempo de retención del alimento y una mayor exposición a la fermentación microbiana. Los CSA ingieren pasturas y la transforman en energía gracias a que tienen un mayores de ciclos de rumia y mayor secreción de jugos gástricos lo que origina un aprovechamiento superior de nutrientes. Asimismo, la tasa de absorción en camélidos es superior, de 2 a 3 veces mayor a la observada en el rumen de ovinos y cabras. Esto es debido a las células absorbibles de la superficie del rumen en los rumiantes (2).

#### **2.1.1.5 Glándulas Estomacales**

Han sido descritas dos tipos de mucosa que tapizan la pared interna del C1 y C2 de los CSA, y que los diferencia con los *Ruminantia*; en primer término, existen los sacos glandulares que están cubiertos por una mucosa glandular localizada en la zona ventral y la superficie expuesta cubierta por un epitelio escamoso estratificado ubicado en la parte dorsal (9). La mucosa glandular mucinógena se encuentra presente en todos los compartimentos del estómago, con excepción de la quinta parte distal del C3 y presenta una estructura similar a la de los rumiantes, con diferencias en la disposición física. Los

sacos glandulares del C1 y C2 tienen variadas funciones, una de las principales es la absorción rápida de solutos y agua; también aportan cantidades de bicarbonato en asociación con la ingesta del C1, que contribuyen a la capacidad amortiguadora del contenido del C1 y C2 y la secreción de mucosidad, glicoproteínas y urea, las cuales mantienen un espacio adecuado para la actividad microbiana (2).

### 2.1.1.6 Motilidad Estomacal

Esta es una función crítica con respecto a la actividad de fermentación continua. la motilidad constante asegura la exposición de los alimentos ingeridos a la unión microbiana con su posterior degradación, además se asegura la mezcla eficiente de las fases líquidas y sólidas de la digesta y favorece el vaciamiento de los reservorios digestivos (Van Saun, 2006). En forma similar a los rumiantes, la motilidad del estómago de los CSA se produce en dos fases distintas: fase A y fase B, y en comparación con los verdaderos rumiantes, sus patrones básicos de motilidad de los compartimentos son dramáticamente diferentes. La motilidad de los camélidos es más continua y regular que la del rumiante (3).

En los CSA, el ciclo de motilidad comienza con una secuencia única de contracciones A, a continuación, se presenta una serie de contracciones tipo B y una pausa hasta el inicio del siguiente ciclo de motilidad. La fase A es la contracción en el C2 que continua con la contracción de la región distal de C1. La fase B se inicia cuando la zona craneal de C1 se contrae luego 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 inicio de un nuevo ciclo (3).

Las contracciones de estómago se presentan cada 1-2 minutos. Cuando los animales están en reposo se contrae 3-4 veces por minuto, dichos intervalos disminuyen durante la ingestión de alimento donde se incrementa a 4-5 veces por minuto. El eructo puede ocurrir de tres a cuatro veces durante cada ciclo de motilidad (5). Los CSA tienen una mayor actividad del estómago en comparación con la contracción trifásica única por minuto de los rumiantes; este patrón de motilidad incrementado que se encuentra en los CSA también puede influir en la observación de que estos animales son bastante resistentes a la acumulación de gases del estómago en comparación con los rumiantes (3).

### 2.1.2 Tiempo de retención del alimento en el tracto digestivo

Se ha establecido que los CSA retienen el alimento en el tracto digestivo por un mayor tiempo en comparación a los rumiantes. Investigaciones realizadas en alpacas reportan un tiempo de retención del alimento de 50.3 h y 43.2 h en comparación a ovinos. Otro estudio realizado en llamas reporta un tiempo de retención del alimento de 63.2 h y 40.9 h en ovinos (Hintz *et al.*, 1973). Las llamas retienen partículas de mayor volumen por mayores periodos de tiempo que en caballos y bovinos; asimismo se ha observado en partículas de 0.2-1.0 cm de largo su tiempo de retención de 52 h y partículas de 2.5-4.0 cm de 60 h (1).

Este mayor tiempo de retención de partículas sólidas determina la eficiencia de la digestibilidad en el estómago de los CSA a partir de dietas fibrosas. Cuando el tiempo de retención de la digesta se incrementa existe una aparente mejora en la digestibilidad de los alimentos de baja calidad y de la proteína cruda presente en el alimento, mientras que los alimentos de alta calidad no son afectados por el tiempo de retención (8). Con respecto al pasaje de líquidos desde los compartimentos C1 y C2 en los CSA comparados con las ovejas, se ha reportado una tasa de pasaje más rápida en llamas de 10.4 %/h que en ovinos de 7.7 %/h (4).

Otros estudios señalan un tiempo de retención de fluidos en C1 y C2 de 9.7 h y en todo el tracto digestivo de 36.2 horas. La tasa de pasaje rápida de la fase líquida en CSA comparada con la de rumiantes, podría obedecer a una alta relación entre el flujo salival y el volumen del C1 y C2. Estudios anteriores, señalan que el principal determinante de la tasa de pasaje de la fase líquida parecía ser la cantidad de saliva deglutida. El menor tiempo de retención del fluido ruminal, indicaría que las llamas pueden tener mayor crecimiento microbiano en los C1 y C2, lo cual garantiza una mínima cantidad de energía para mantener la microbiota (2).

### 2.1.3 Reciclaje de urea

El nitrógeno generalmente en forma de amoníaco producido en el proceso de fermentación es el resultado de una interacción compleja entre la disponibilidad de nitrógeno dietario, energía fermentable y las tasas de degradación y el pasaje de proteína (3)

Cuando existe una disminución de energía para la fermentación o cuando la proteína en la dieta es alta, no todo el amoníaco producido en el rumen puede ser convertido a proteína microbiana, este exceso de amoníaco se absorbe por la pared del rumen y es transportada por el sistema venoso portal al hígado para su transformación en urea, que al ser liberada en la sangre, puede seguir dos procesos, regresar al rumen vía salival o a través de la pared del rumen, o también excretarse en la orina vía renal. Cuando la urea se recicla hacia el rumen, esta es reconvertida en amoníaco el cual puede ser utilizada como una fuente de nitrógeno para el crecimiento bacteriano, en cambio la urea excretada en la orina es eliminada (2). En dietas con bajo contenido proteico, se produce una alta actividad ureolítica de los microorganismos unidos a la pared ruminal y se asume que es uno de los mecanismos adaptativos para aumentar la entrada de urea sanguínea en el rumen a través de la pared del C1.

La urea en el rumen se convierte en amoníaco por la ureasa que cataliza la hidrólisis de urea a dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) El amoníaco liberado de la urea debilita las paredes externas del alimento, mejorando la penetración de los microorganismos a fin de producir una fermentación y liberación de nutrientes de forma más efectiva. La hidrólisis de urea a  $\text{NH}_3$  en el rumen, por enzimas microbianas es un proceso rápido y ocurre a un ritmo superior a la utilización de  $\text{NH}_3$  por parte de la microbiota del rumen.

En el caso de los CSA, la actividad específica de la ureasa es sustancialmente superior en el C1 que, en el C2, que se reduce notablemente con la profundidad del compartimento. Estudios realizados indican que los CSA pueden hidrolizar mayor cantidad de urea por unidad de tiempo ( $\text{mmol/h/kg}$ ) en el C1, en el rumen de vacunos y ovinos, complementariamente reciclan un gran porcentaje de urea a través de la saliva por reabsorción pasiva en los túbulos colectores e ingresar nuevamente al sistema fermentativo, originando más nitrógeno disponible para la síntesis de proteína microbiana. El mayor reciclaje de urea en dietas de baja proteína entre camélidos y rumiantes, también se observa en llamas alimentadas con dietas isocalóricas, una con alta proteína y otra con baja proteína, donde las llamas alimentadas con dieta baja en proteína reciclaron más eficientemente urea al tracto digestivo, esta urea fue utilizada en un 85% y excretada a través de la orina en menores cantidades que la registrada en ovinos y cabras sometidas al mismo régimen alimenticio, permitiéndoles contar con

una mayor disponibilidad de nitrógeno para la síntesis de proteína microbiana. Esta mayor capacidad de reciclaje de urea a través de la mucosa digestiva por los CSA puede ser utilizada como una fuente importante de nitrógeno para mantener la fermentación microbiana en el C1, asegurando una digestión y utilización eficiente de alimentos con bajo contenido proteico (3).

#### 2.1.4 Consumo Voluntario

La información sobre consumo voluntario es muy relevante en la formulación de estrategias de manejo del alimento en general. El consumo de MS promedio en alpacas y llamas es de aproximadamente 1.8 y 2% de peso vivo respectivamente, menor que el de la oveja que es aproximadamente al 3% (San Martín y Bryant, 1987). El menor consumo de alimentos de los CSA es el resultado del mayor tamaño corporal y el relativo menor requerimiento de energía, además de la menor selectividad, el menor volumen del estómago por unidad de peso metabólico, así como el mayor tiempo de retención del alimento (2).

Estudios sobre consumo y tolerancia a la privación de agua, señalan que el consumo es menor en alpacas y llamas comparativamente con el ovino. Este menor consumo es explicado principalmente por el menor consumo de MS observado en los CSA, sin embargo, cuando se hacen comparaciones entre la relación consumo de agua y consumo de MS, se observa que la alpaca y el ovino tienen una relación similar, mientras que la llama presenta una menor relación, lo que explicaría la mejor adaptación de la llama a ambientes áridos (1).

El consumo de MS por unidad de peso metabólico en los CSA en condiciones de pastoreo, varían entre 36 a 67 g, en dependencia del tipo de pastura y de la estación del año. Mientras las alpacas y llamas presentan el mismo nivel de consumo bajo condiciones de pastoreo; dicho consumo en comparación a ovinos es menor en 36% en pasturas cultivadas y en 26% en pasturas nativas (San Martín y Van Saun, 2014). Con algunas excepciones, el consumo del forraje en la estación lluviosa en la región del altiplano es similar o ligeramente menor que el consumo en la estación de seca. Este similar o menor consumo en la estación húmeda, aun cuando la calidad de las dietas registradas en esta estación es mayor que en la estación seca, podría deberse a que los animales durante la estación seca incrementan su capacidad digestiva en respuesta al

consumo de forraje de pobre calidad, aumentando el tiempo de retención de estos alimentos en el C1, originando una disminución del consumo (2).

### 2.1.5 Digestión

Al margen del tiempo de retención, la mayor eficiencia digestiva en los CSA puede ser originada por la mayor frecuencia de contracciones en el estómago y a la presencia de sacos glandulares. Estas peculiaridades del sistema digestivo de los CSA permitirían una eficiente maceración, mezclado y absorción de la digesta. Por otro lado, la mayor digestibilidad de los alimentos de baja calidad por los CSA podría también deberse a la habilidad de estos animales de mantener una mayor concentración de  $\text{NH}_3$  en el C1- C2 comparado con el ovino. Esto proveería a las llamas más nitrógeno disponible para la síntesis microbiana, incrementando su digestibilidad (5).

Un aspecto relevante para la digestibilidad de la celulosa es la lenta degradación microbial de los camélidos; sin embargo, tienen un tiempo mayor de retención microbial y de partículas en las cámaras fermentativas del estómago. El tiempo de retención en el tracto digestivo para llamas es de 62 horas y para alpacas de 50.3 horas en comparación a las 41 horas para ovinos. Este parámetro es afectado también por el tamaño de partículas, al respecto las partículas de 0.2 a 0.1 cm es de 52 horas, mientras que para partículas de 2.5 a 4.0 cm es de 60 horas. Varias pruebas comparativas de digestibilidad *in vivo* han sido conducidas entre alpacas y ovinos, así entre llamas y ovinos. En una revisión de pruebas comparativas de digestibilidad *in vivo* entre alpacas y ovinos, las digestibilidades en aquellas pruebas en que el alimento suministrado tenía menos de 7, 5 % de proteína cruda fueron mayores y favorables a la alpaca y, en aquellas en que el contenido proteico fue mayor de 10, 5 % no se encontraron diferencias. Adicionalmente, se condujeron pruebas comparativas de digestibilidad *in vivo* entre llamas y ovinos mostrando mayores coeficientes de digestión en llamas que en ovinos para dietas de baja y mediana calidad proteica, así como comparables coeficientes de digestión entre las dos especies para la dieta de alta calidad (2).

La capacidad digestiva diferenciada entre llamas y ovinos, al momento de proporcionar dietas de diferente calidad nutritiva en términos de proteína y energía, así como dietas isoproteicas con diferentes niveles de fibra, dio como resultado que, en ambos estudios, con la excepción del tratamiento de alta calidad nutritiva, la llama mostró mayores

coeficientes de digestibilidad que el ovino. Los resultados de una prueba de digestibilidad *in situ* de forrajes nativos del altiplano árido en llamas y ovinos, muestran una evidente superioridad de la llama para la digestión de los forrajes. En gramíneas duras, los coeficientes de digestibilidad fluctúan desde 36.6 a 65 % en llamas y desde 25.7 a 55 % en ovinos, siendo mucho más evidentes las diferencias cuando se utilizan forrajes poco digeribles.

La digestibilidad de pastos nativos en alpacas al pastoreo en diferentes sitios de la pradera altoandina, cuando este se registró en época seca fue menor con 55.93%. Además de un factor de retención, la mayor eficiencia de la digestión en los camélidos podría ser irrogada a la mayor frecuencia de contracciones y ciclos de rumia, una más amplia relación flujo salival y tamaño del estómago, y a la presencia de sacos glandulares en el estómago. Las peculiaridades del sistema digestivo de los CSA permitirían una más eficiente maceración, mezclado y absorción (2).

San Martín y Van Saún (2014), concluyeron que los CSA son más eficientes que los ovinos en la digestión de recursos alimenticios de mediana y baja calidad. Esta superior eficiencia digestiva en los CSA está relacionada con el mayor tiempo de retención del alimento en el tracto digestivo (1).

### 2.1.6 Selectividad

Los CSA han demostrado una alta eficiencia en su proceso digestivo al momento de alimentarse con fuentes de nutrientes provenientes de una cobertura vegetal de baja calidad la cual se desarrolla en el hábitat natural donde se crían. Los CSA, bajo pastoreo durante la época seca se enfrentan a limitaciones de disponibilidad en cantidad y calidad de forraje, así mismo esta época corresponde a los meses de mayo a octubre cuando la precipitación pluvial es mínima y por lo tanto la producción de forraje es la más baja (2).

San Martín y Van Saun (2014), en estudios sobre la composición nutricional de la dieta seleccionada por los CSA al pastoreo, indica que, durante los meses de bajas temperaturas, la calidad de la dieta presenta los valores más bajos en términos de proteína cruda y digestibilidad (1).

Las llamas no varían respecto al consumo ni en su selectividad, la calidad de proteína

consumida es generalmente baja y consumen pocas leguminosas (San Martín y Bryant, 1987) La composición botánica de la dieta de la llama mantiene un porcentaje de aproximadamente 83% del consumo de gramíneas y menos del 20% de leguminosas, en cualquier época del año. Entre las gramíneas consumidas por la llama fluctúan entre 40 a 45% gramíneas altas y 40 y 55% gramíneas bajas, existiendo un porcentaje de 70% de selección de hojas, respecto al consumo de las partes de la planta. El alimento rechazado por un animal, que usualmente contiene un mayor nivel de partes fibrosas, este factor no es cuantificado y corregido (2).

### 2.1.7 Digestibilidad de los alimentos

La digestibilidad se define como la proporción de un alimento que no es excretada con las heces y que se supone por lo tanto que ha sido retenida. Por lo general se representa por el llamado coeficiente de digestibilidad o coeficiente de utilización digestiva (CUD) que se expresa en porcentaje de materia seca. La digestibilidad de un alimento no solo incluye la digestión sino también su absorción, la evaluación de la digestibilidad en especies que realizan la rumia supone la determinación de la cantidad de un determinado nutriente que desaparece en el tracto digestivo y que señala la única pérdida en el uso de los alimentos, y los cuales son los residuos no digeridos de las excreciones fecales.

La mayor digestibilidad de los CSA con bajo contenido de N también puede ser explicada por la habilidad de mantener una mayor concentración de  $\text{NH}_4$  en el C1 y C2, comparado con los ovinos. Al comparar la digestibilidad *in vivo* entre llamas y ovinos usando dietas de diferente calidad nutritiva (proteína y energía) así como dietas no proteicas con diferentes niveles de fibra, se encontró mayores coeficientes de digestibilidad *in vivo* en llamas que en ovinos para dietas de baja y mediana calidad, así como dietas de alto contenido de fibra (6).

Existen factores que afectan la digestibilidad, tales como los propios del alimento como es la composición del alimento, nivel de consumo del alimento, las deficiencias de algunos nutrientes; y los factores dependientes del animal como el tiempo de acción y trastornos digestivos. La digestibilidad de los forrajes es afectada por el estado fenológico de la planta y es el principal causante de dicha variabilidad. En general a medida que aumenta la madurez de la planta, disminuye su contenido proteico, de

carbohidratos solubles y se eleva el contenido fibroso. Para cubrir los requerimientos de un animal se debe tener conocimiento de los nutrientes del alimento para desarrollar la ración. Asimismo, se debe tomar en cuenta que el valor energético de los alimentos depende de su digestibilidad. Las diferencias de la capacidad digestiva de las diversas especies de animales se observan en los coeficientes de digestión promedio, como por ejemplo para el heno de alfalfa este corresponde al 86.1% de materia seca, 16.2% de proteína, 1.6 % de extracto etéreo y 26.9% de fibra cruda; lo cual demuestra que los rumiantes digieren considerablemente más nutrientes que los animales de estómago simple. Debido a la extensa fermentación microbiana del rumen, los rumiantes son capaces de digerir celulosa y otros carbohidratos complejos, en forma más eficientes que los herbívoros no rumiantes (7).

### 2.1.8 Digestibilidad *in vitro* de los alimentos

La digestibilidad *in vitro* en nutrición animal se desarrolló por primera vez como una alternativa al método *in vivo*, el cual involucra elevados costos, es laborioso, lento y ha sido cuestionado éticamente, por lo cual el objetivo de estos estudios es de utilidad al momento de predecir la digestibilidad de los nutrientes en herbívoros (8).

Inicialmente el primer método fue descrito por Tilley y Terry (1963) como una técnica que utilizaba líquido ruminal y pepsina y se desarrollaba en dos etapas, proporcionando estimaciones satisfactorias de la digestibilidad aparente *in vivo* (9), aunque algunos autores encontraron que esta técnica era precisa para los forrajes frescos. pastos y no para ensilajes o paja (10).

Van Soest (9) y Goering y Van Soest (11) modificaron la metodología de Tilley y Terry (12) reemplazando el paso ácido-pepsina con un paso de digestión con detergente neutro; Esta metodología es más rápida y precisa que el método original, y puede estimar la digestibilidad verdadera *in vitro* de los alimentos tomando como base los constituyentes de la pared celular no digeridos.

Otros autores con el objetivo de superar los inconvenientes relacionados con la variabilidad del fluido ruminal (13), implementaron nuevas metodologías, es así que Czerkawski y Breckenridge (14) desarrollaron un sistema continuo utilizando un aparato descrito por Gray *et al.* (15) y por Aafjes y Nijhof (16) como punto de partida se desarrolló el “Rumen Simulación TEChnique” (RUSITEC), que todavía se utiliza

con éxito para generar inóculos para estudios *in vitro* (17).

Se han desarrollado otros métodos *in vitro* para estimar la digestibilidad del alimento. Menke y Steingass (18) propusieron medir el gas producido durante la fermentación y los datos de composición del alimento para estimar el contenido energético de los mismos. Theodorou *et al.* (19), considerando estudios previos (20) desarrollaron un método *in vitro* para medir la acumulación de gas en el espacio de cabeza; este

Posteriormente, el método fue revisado por otros investigadores, que utilizaron sensores de presión computarizados para monitorear los productos gaseosos del metabolismo microbiano y hallaron una relación lineal clara entre la desaparición de la fibra detergente neutra (FND) y la producción de gas (21; 20).

La necesidad de un sistema que fuera capaz de automatizar el análisis tradicional de digestibilidad *in vitro* y superar algunos errores analíticos, como los relacionados con el manejo de muestras y los pasos de filtración manual, condujo al desarrollo del digestor Ankom DaisyII (ADII; Ankom Technology Corporation Fairport , Nueva York, EE. UU.)

El digestor ADII comenzó como un proyecto para un cliente canadiense y se presentó al público en 1994 como un gabinete de madera aparentemente frágil (22). En 1997 se fabricó un nuevo modelo con un gabinete metálico más resistente, exactamente igual a la forma que se comercializa actualmente. El ADII se basa esencialmente en la simulación *in vivo* de la digestión. Con este dispositivo es posible analizar simultáneamente hasta 92 muestras en una cámara controlada termostáticamente que contiene cuatro frascos de digestión giratorios.

La temperatura dentro de la cámara se mantiene a  $39 \pm 0,5$  C mediante un controlador de calor; un temporizador permite configurar cada período de incubación. Las muestras se pesan en bolsas de filtro F57 (tamaño de 25 micro por poros) y se colocan en los frascos (hasta 23 filtros/frasco) junto con el inóculo (líquido ruminal, heces o enzimas, etc.) y una solución tampón. Cada uno de los cuatro frascos de vidrio, colocados en las rejillas de rotación dentro del digestor, contiene un agitador perforado que divide el volumen interno en dos partes y permite el libre movimiento del medio de digestión. Las bolsas se pesan antes y después de un período determinado de incubación, y el material que ha desaparecido se considera materia seca digerible. La incubadora ADII

ofrece ventajas en términos de tiempo, eficiencia y mano de obra sobre los métodos convencionales, como el método de Tilley y Terry y el método Van Soest. Debido a su diseño, el diseño ADII es capaz de probar una gran cantidad de muestras (23). Ha sido identificado como un instrumento fácil, económico y eficaz para la predicción de la digestibilidad de varios alimentos y dietas (23). Sin embargo, en comparación con otras técnicas (como la técnica de cultivo discontinuo, el uso del sistema de producción de gas Ankom o la técnica de simulación ruminal), se ha demostrado que la incubadora ADII proporciona valores más altos en diferentes tiempos de incubación (23).

### **2.1.9 Digestibilidad de la Materia Seca**

La digestibilidad de la materia seca de henos C3 fue similar entre camélidos y caprinos; en cambio, los camélidos tuvieron mayor eficiencia que las cabras en la digestión de materia seca de henos C4, debido posiblemente a un mayor tiempo de retención del alimento (71 vs 54 horas, respectivamente). Este resultado resta soporte a la hipótesis de que los camélidos tengan mayor eficiencia digestiva que los rumiantes. Cuando la digestibilidad se expresó con relación al peso metabólico, las cabras mostraron mayor eficiencia digestiva que las alpacas. En otro ensayo comparativo de patrones de alimentación con forrajes ha mostrado que las cabras consumen y retienen más MS y N que las llamas más grandes, lo cual demuestra que las cabras tienen mayor eficiencia digestiva que las llamas. En pruebas de digestión con ryegrass, festuca, trébol, y paja de trigo en alpacas, San Martín y Bryant (2) encontraron, digestibilidad variable de la materia seca (48.4 a 55.9%), a pesar de las diferencias en la composición de nutrientes, la digestibilidad de la proteína fue mayor para trébol (63.0%) y ryegrass (55.5%) que para festuca (34.6%), y la digestibilidad fue negativa (-42.0%) para paja de trigo; mayor digestibilidad de la FDN y hemicelulosa para la paja de trigo y festuca que para el trébol cuyo contenido de lignina fue el más alto; similar digestibilidad de la fibra detergente ácido (43.2 a 49.2%) y celulosa (57.9 a 64.8%) entre forrajes.

El tiempo de retención de la digesta es mayor en alpacas que en llamas, sin embargo, la digestibilidad de la materia seca por unidad de peso corporal metabólico es mayor en llamas que en alpacas, lo cual indica que las llamas pueden afrontar mejor las dietas de baja calidad que las alpacas (2). La digestibilidad de la materia seca de una mezcla de heno de alfalfa, heno de gramínea, melaza y aceite vegetal, fue 74 % para alpacas lactantes y 69 % para las no lactantes.

### 2.1.10 Consumo de Materia Seca (MS)

El consumo promedio de MS para alpaca y llama es de 1.8% y 2.0% del peso vivo, respectivamente. Tanto en condiciones de estabulación y pastoreo, el consumo de MS para alpaca y llama es aproximadamente 30% inferior al del ovino. Estudios sobre consumo, y tolerancia a la restricción de agua indican que el consumo de agua es menor en alpacas y llamas en comparación con el ovino. En alpacas en pastoreo se reportan valores de CMS entre 42 y 60 g MS/Kg PV para diferentes composiciones de pradera natural andina (1).

El consumo de MS define la cantidad disponible de nutrientes en los alimentos para el animal; su importancia práctica radica en la prevención de la subalimentación o la sobrealimentación. Existe información que indica que el consumo voluntario de alimento por los CSA considerando como unidad de su peso metabólico, sería menor en comparación a rumiantes domésticos. Las diferencias anatómicas, representadas por un menor tamaño del estómago, que mantienen con los rumiantes, podrían explicar en parte este menor consumo de MS (4).

En tal sentido, una de las particularidades descritas en la fisiología digestiva de los camélidos se representa en un mayor tiempo de retención del alimento y ello probablemente incremente la digestibilidad de la MS de acuerdo a los reportes de Sponheimer *et al.* (5) y Hintz *et al.* (6); sin embargo los patrones de fermentación serían similares a lo observado en rumiantes y ello obedecería a que las poblaciones microbianas que habitan en los dos primeros compartimentos sea similar a la reportada para rumiantes (2).

El consumo de MS en la alpaca varía del 1.08 a 2.40% del peso vivo, con un promedio de 1.83 % del peso corporal, similar al de la llama cuando se ajusta al peso metabólico, y 20% menor que la capacidad de consumo del ovino (2); en la misma especie, en mantenimiento el consumo es de 1.25 % del peso corporal, aumenta a 1.5 % en gestación, y 2.0 a 2.75 % en la lactación (3).

De otro lado, el consumo de MS también depende de la composición del alimento, por el contenido de proteína (8); y de fibra detergente neutro, la disponibilidad, y la digestibilidad del forraje (5).

En alpacas de crianza intensiva (a nivel experimental), el consumo de MS de heno de alfalfa fue 23 g/kg PV en 24 h, equivalente a 0.76 MJ de energía metabolizable (EM) y 262.2 g de proteína cruda (PC); las alpacas seleccionaron 77.3 % hojas y 22.7 % tallos, y se ha observado, una variación en consumo entre periodos diurno y nocturno (6).

Las alpacas en confinamiento consumen cantidades variables de MS, de acuerdo a cada tipo de forraje ofrecido; son más eficientes en la ingestión y masticación de forrajes largos que ovinos (9); consumen a voluntad una mayor cantidad de ryegrass y festuca que trébol y paja de trigo (5).

Reiner y Bryant (24) indican que la composición botánica y la calidad de la dieta, varía de acuerdo a la estación del año, así como al sitio de pastizal ya sea humedal o altiplano (zonas alto-andinas de reducido relieve). A medida que la estación seca progresa, las dietas de humedales están formadas mayormente por juncáceas y ciperáceas (78%) mientras que las dietas de altiplano son predominantemente gramíneas (68%).

El consumo de malezas varía a lo largo del año entre 8 y 29% de la dieta en ambos sitios. El porcentaje de proteína cruda (PC) en las dietas en humedales (12.3%) son más altas que en el altiplano (10.2%) y los valores son más bajos en agosto (6.1 %) en altiplano, y en julio (8.0%) en humedales. El consumo de MS en pastoreo, estimado en alpacas equipadas con cánulas esofágicas y sobre *Festuca dolichophylla* / *Muhlenbergia fastigiata*, en La Raya - Perú, a 4200 msnm, fue variable entre estaciones del año. En la estación seca (octubre), el consumo fue de 60.5 g/PV<sup>0.75</sup>, mientras que en la estación húmeda (febrero) fue de 53.7 g/ PV<sup>0.75</sup> (2).

Las especies forrajeras en los pastizales altoandinos, sobre todo aquellas que son catalogadas como las más palatables para las alpacas, son de hábito de crecimiento postrado (casi al nivel del suelo), sobre todo aquellas que se encuentran en los humedales (zonas con presencia constante y abundante de agua). Los CSA, por tener el labio leporino serían muy eficientes en utilizar estas especies. En efecto, Hongo *et al.* (25) usando pastura cultivada a varias densidades de hojas, demostró que las alpacas tenían una profundidad de pastoreo de entre 3 y 15 mm más baja que los ovinos.

Los CSA, especialmente las llamas, tienen mayor capacidad para utilizar forrajes fibrosos que los rumiantes [ (26; 27); esta capacidad otorgaría condiciones óptimas para la fermentación, la tasa de pasaje más lenta de partículas y la capacidad del C1, el

contendría mayor cantidad de digesta que el rumen, en base al peso vivo (28); y por consiguiente alguna composición diferencial de poblaciones microbianas (29). Es más, en dietas pobres en nitrógeno (N), los CSA presentan mayor concentración de amonio en el C1 que los rumiantes (28), lo cual es asociado con una mayor síntesis de proteína microbiana.

La alpaca en pastoreo, es altamente selectiva, en época seca prefiere dietas basadas en *Eleocharis albibracteata*, *Poa spp.*, *Calamagrostis heterophylla*, *Calamagrostis vicuniarum*, *Alchemilla pinnata*, *Muhlebergia fastigiata*, y *Carex spp.*; las especies de menor abundancia pero de alta preferencia son *Poa gymnantha*, *Muhlebergia peruviana*, *Stipa brachiphylla*, *Ranunculus limoselloides*, y *Trifolium amabile*; mientras que *Festuca dolichophylla* a pesar de su abundancia tiene un bajo índice de preferencia; y más bien consumen considerables cantidades de semillas de gramíneas (30).

Un ensayo comparativo de consumo en confinamiento y pastoreo entre alpacas y ovinos machos, alimentados en nivel ad libitum, encontró que las alpacas seleccionan dietas de menor calidad, y consumen menor cantidad de MS que el ovino en el caso del heno de alfalfa (*Medicago sativa*) en confinamiento; igualmente para el ryegrass/trébol blanco (*Lolium perenne/Trifolium repens*), e incluso para trébol cornudo (*Lotus corniculatus*) en pastoreo (31).

Complementariamente, un aspecto importante al momento de hacer comparaciones directas del consumo de alimento entre camélidos y rumiantes usualmente tiene contrastes en la diferencia de la masa corporal (MC) entre especies. Mayoritariamente, los CSA son comparados a ovinos y cabras, los cuales tienen una baja MC. Adicionalmente, una corrección del efecto de la MC es posible que se necesaria.

Tradicionalmente, el consumo de alimento es expresado como una directa proporción de la MC (usualmente en % de MC o g, kg, MC<sup>-1</sup>), o con relación a la MC metabólica (g/kg MC<sup>-0.75</sup>; 10). La diferencia resultante puede tener un efecto relevante sobre los resultados (21). La decisión de cómo presentar los datos depende de si la ingesta es considerada alométricamente o linealmente con la MC. Recientemente, ello ha sugerido que el consumo de materia seca escalaba a 0.8 y 0.9 (18; 32).

### 2.1.11 Consumo de agua en camélidos

Con relación al consumo de agua, se ha reportado que tanto por unidad de peso metabólico como por unidad de ingestión de materia seca (IMS), los CSA consumen menos agua de bebida que los ovinos, de forma que la pérdida de agua en la orina como proporción de lo ingerido es menor que en ovinos (25). En ambientes áridos, un metabolismo más bajo representa una ventaja adaptativa, no solo porque se requieren menos recursos energéticos, sino también porque se pierde menos agua durante la respiración (33).

Rieck *et al.* en un estudio realizado en Europa Central, reportaron que el consumo total de agua en llamas difiere significativamente entre estaciones climáticas, de tal forma que, en el verano, los animales consumen más del doble de la cantidad de agua en comparación con el invierno, asimismo, el consumo es mayor en el verano que en primavera, y en primavera, también el consumo de agua es mayor que en el invierno (34).

Otras especies de mamíferos, como aquellos que se desarrollan en ambientes desérticos u hostiles, deben optimizar en términos de ahorro de recursos, en tal sentido, estas especies presentan mayores concentraciones de orina o reducción en la pérdida de agua en las heces: Al respecto, Nielsen *et al.* reportaron una reducción significativa en la excreción de agua en heces y orina en llamas frente a ovinos (35).

## 2.2 Antecedentes de investigación

### 2.2.1 Análisis de tesis

- **Energy metabolism and methane production in llamas, sheep and goats fed high- and low-quality grass-based diets. Nielsen**

Este estudio tuvo como objetivo comprobar si las características digestivas y metabólicas de los camélidos proporcionan una capacidad superior para utilizar dietas de baja calidad en comparación con los rumiantes. El estudio se desarrolló de acuerdo con un diseño cruzado, se utilizaron un total de 18 animales hembras maduras, no embarazadas y no lactantes, incluidas seis llamas (*Lama glama*), seis cabras Landrace danesas y seis ovejas Shropshire. El experimento tuvo una duración de dos períodos de tres semanas. La mitad de los animales fueron

alimentados con heno de pasto de alta calidad (HP) o paja de semilla de pasto (LP) de baja calidad durante cada período. Los animales se colocaron en jaulas metabólicas durante los últimos 5 días y se midió el intercambio gaseoso mediante calorimetría indirecta de circuito abierto durante 22 horas. La energía metabólica para el mantenimiento (MEM) y el gasto energético en ayunas (FEEExp) se estimaron mediante un enfoque de regresión. La ingesta de materia seca (MS) por  $\text{kg}^{0.75}$  se redujo sustancialmente en llamas y ovejas, pero no en cabras, en la dieta LP en comparación con la dieta HP. Las llamas tuvieron un gasto energético diario más bajo ( $324 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{0.75}$ ) que las ovejas ( $416 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-0.75}$ ) y las cabras ( $404 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-0.75}$ ) con la dieta LP. Las llamas en comparación con las ovejas y las cabras tuvieron menor emisión de metano ( $0.83$  vs  $1.34$  y  $1.24 \text{ l} \cdot \text{d}^{-1} \text{ kg}^{-0.75}$ ,  $p < 0.05$ ), menor MEM ( $328$  vs  $438$  y  $394 \text{ kJ d}^{-1} \text{ kg}^{-0.75}$ ,  $p < 0,05$ ) y menor FEEExp ( $246$  vs  $333$  y  $414 \text{ kJ} \cdot \text{d}^{-1} \text{ kg}^{-0.75}$ ,  $p < 0,05$ ), respectivamente. En conclusión, las llamas tenían una tasa metabólica basal más baja y, por lo tanto, menores requerimientos energéticos de mantenimiento. Con relación al consumo de agua en las tres especies, el consumo y excreción de agua [ $\text{ml}/\text{kg}^{0.75}$ ] en las tres especies, se halló que la ingesta de agua no difirió entre especies ni entre dietas. La pérdida de agua en las cabras fue de la misma magnitud en la dieta LP y HP, pero la excreción de agua en la orina fue significativamente menor en la dieta LP en comparación con la dieta HP. La pérdida de agua a través de las heces fue significativamente mayor en ovejas en comparación con cabras con lodo en el medio. Las llamas, sin embargo, tuvieron una pérdida de agua significativamente menor a través de la orina en comparación con las ovejas y las cabras en ambas dietas, lo cual indicaría que existe algún mecanismo de optimización del uso de agua en las llamas en comparación a los rumiantes (35).

- **Seasonal variation in water intake in llama (*Lama glama*) and alpaca (*Lama pacos*). Rieck**

Este estudio registró la variación anual que ocurre debido a cambios ambientales, el estudio se realizó entre llamas (*Lama Glama*) y alpacas (*Lama Pacos*) que se encontraban ubicadas en América del Norte. Las Llamas tuvieron un consumo medio de agua de  $46,1 \text{ ml}$  de agua/ $\text{kg PV}$  durante el verano y  $34,1 \text{ ml kg/PV}$  durante el otoño,  $25,0 \text{ ml kg/PV}$  durante el invierno, y  $33,2 \text{ ml kg/PV}$  durante la primavera. Las alpacas tuvieron un consumo de agua media de  $69,0 \text{ ml}$  de agua  $\text{kg}^{-1}$  durante el

verano, 50.2 ml kg<sup>-1</sup> durante el otoño, 40.6 ml kg/PV durante el invierno, y 46,1ml kg/PV durante la primavera. En una base de peso corporal metabólico, Llamas y Alpacas tenían consumos de agua media de 117,2 ml kg (0.75) <sup>-1</sup> y 101.1ml kg <sup>0.75</sup>, respectivamente, durante la primavera, 157,1 ml kg (0.75) <sup>-1</sup> 194.8 ml kg <sup>0.75</sup>, respectivamente durante el verano, 116,2 ml kg <sup>0.75</sup> y 141.6 ml kg<sup>0.75</sup>, respectivamente durante el otoño, y 86.7 ml kg<sup>0.75</sup> y 114.9 ml kg <sup>0.75</sup> respectivamente durante el invierno. La media temperatura ambiente diaria durante el verano, el otoño, el invierno y los períodos de muestra de primavera fueron de 25.4 ° C, 24.6 ° C, 4.4 ° C y 21.0 ° C, respectivamente. La humedad relativa media durante el verano, el otoño, el invierno y los períodos de muestra de primavera fueron 69.6, 64.2, 82.5 y 87.2%, respectivamente. Este estudio evidenció que las variaciones ambientales estacionales se correlacionan con la variación en el consumo de agua en Llamas y alpacas (P <0.05). asimismo, este estudio reportó que las alpacas consumen mayores cantidades de agua por kilogramo peso corporal que llamas en una temporada determinada bajo la misma temperatura y humedad (P <0.05) (34).

- **Voluntary intake and digestibility of forages with different nutritional quality in alpacas (*Lama pacos*). López**

En estudios realizados con alpacas en el sur de Chile con el objetivo de determinar la digestibilidad y el consumo voluntario de materia seca (MS) con cuatro forrajes diferentes (trébol, ryegrass, paja de trigo y fescue), los resultados indicaron que la ingesta de materia seca y materia orgánica depende de la calidad del forraje. En cuanto a la digestibilidad de la MS, esta osciló entre 48.4 y 55.9% (p <0.05). No se encontraron diferencias entre los forrajes con respecto a la digestibilidad de la materia orgánica (55.0 a 59.7%) pese a reportarse diferencias en la composición nutricional. La digestibilidad de la proteína cruda fue mayor en trébol (63.0%) y ryegrass (55.5%) que en fescue (34.6%). Asimismo, la paja de trigo tenía un coeficiente de digestibilidad de proteínas negativas (-42.0%). La digestibilidad de la fibra detergente neutra y la hemicelulosa fue mayor para la paja de trigo y el fescue que para el trébol que tenía el contenido de lignina más alto. La digestibilidad de la fibra detergente ácida y la celulosa fue similar entre forrajes. La digestibilidad de la pared celular fue alta, considerando la calidad de los forrajes utilizados en el ensayo, resultados concordantes con otros estudios donde los camélidos sudamericanos mostraron también una relevante capacidad para digerir forrajes de baja calidad (31).

## CAPÍTULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Materiales

##### 3.1.1 Localización del trabajo

###### a) Localización espacial

El trabajo de investigación se desarrolló en la Estación Experimental del Centro de Investigación IVITA-Maranganí de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, situado en el distrito de Maranganí, provincia de Canchis, Departamento de Cusco. Se halla situado en:

Latitud Sur: 14°21'23.7" Longitud Oeste: 71°10'03.8"

Altitud: 3 727 m.s.n.m.

###### b) Ubicación temporal

Se realizó el estudio en el período comprendido entre los meses de octubre 2024 a diciembre del 2024.

##### 3.1.2 Métodos de evaluación

###### a) Unidades de estudio

Se consideraron dos alpacas macho adultos fistulados a nivel del C1 de la variedad Huacaya a nivel de mantenimiento y con un peso promedio de 63 Kg., los cuáles fueron seleccionados del hato alpaquero de la Estación Experimental del Centro de Investigación IVITA-Maranganí.

###### b) Estrategia de recolección de datos

Para desarrollar la investigación se emplearon 02 jaulas metabólicas para alpacas en acero inoxidable, las cuales contaron con comederos, bebederos y paneles metálicos que facilitaron la medida de la cantidad de ingesta y rechazo de alimento, colección de muestras, heces y orina.

Estas jaulas individuales tienen medidas de 0.6 metros de ancho, 2 metros de largo, 1.6 metros de altura y se encuentran suspendidas del suelo a una altura de 60 centímetros; todas estas dimensiones son planteadas en función a las características

morfológicas y comportamentales, confort y hábitos alimenticios de las alpacas (36).

Las jaulas metabólicas estuvieron estructuradas en base a una serie de paneles metálicos que faciliten la colecta del alimento y el agua.

Una vez culminada la etapa de acostumbramiento de los animales a la dieta, se procedió a coleccionar muestras del fluido del C1 y de las heces. Las muestras fueron mantenidas en baño maría a 39.5 °C. (36).

#### **c) Etapas experimentales**

Se registró el peso inicial de los animales experimentales y luego fueron sometidos a un período de adaptación a las jaulas metabólicas de 10 días y a una etapa de acostumbramiento al alimento (heno de avena y pellet de alfalfa) de 10 días en función a su requerimiento de mantenimiento.

Posteriormente, los animales experimentales, se sometieron a una etapa de adaptación a la nueva ración del alimento en función al 100 % de su requerimiento para mantenimiento por un período de 21 días. Seguidamente se sometieron a un período de 5 días de colección de colección del alimento y agua consumida. Al iniciar y finalizar esta etapa se realizó un control del peso vivo y de la condición corporal de cada uno de estos animales.

#### **d) Dieta experimental**

La dieta experimental estuvo conformada por un concentrado proteico y un alimento fibroso, que corresponderán a pellet de alfalfa (*Medicago sativa*) y heno de avena (*Avena sativa*), el cual se formuló en base al mantenimiento de los animales. Se mantuvo una relación de 30:70% entre el pellet de alfalfa y heno de avena respectivamente, hasta alcanzar el requerimiento de energía y proteína. La cantidad de alimento a suministrarse fue calculada en base al consumo estimado para mantenimiento en alpacas de 50 g/MS/PM, según lo propuesto por Vélez *et al.* y se asumió complementariamente que la cantidad de alimento ingerido por los animales del estudio será autorregulada hasta que estos completen su requerimiento de mantenimiento (36).

**e) Suministro de alimento, agua y colecta de heces y orina**

A partir del día 20 (periodo de adaptación a las jaulas metabólicas y a la dieta experimental) y hasta completar la etapa experimental del trabajo de investigación, se cuantificó el consumo y rechazo de la dieta experimental, con un consumo estimado de del 1.5% del peso corporal (31). Durante este periodo, en forma Interdiaria (07:30 horas) se procedió a retirar el animal de la jaula y durante 15 minutos fueron sometidos a un desplazamiento en la zona adyacente inmediata a la jaula metabólica (57) con la finalidad de evitar posibles atrofiaciones musculares.

Las muestras de alimento fueron congeladas a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis. En todos los casos y durante el período de adaptación a la ración del alimento, se cuantificó el consumo/rechazo de alimento (g/día), consumo/rechazo de agua (ml/día),

**3.1.3 Análisis de laboratorio**

Luego del periodo de colección de muestras de alimento de cada uno de los tratamientos, se determinó el porcentaje de materia seca en cada una de las muestras colectadas.

**a) Análisis de digestibilidad *in vitro* – Daisy II Incubator**

La digestibilidad *in vitro* se desarrolló de acuerdo al protocolo recomendado por el fabricante del incubador Daisy II<sup>®</sup>, (ANKOM Technology, Fairport, NY-USA), usando bolsas F57 con un tamaño de poro de  $25\ \mu\text{m}$  y dimensiones de 5 x 4 cm diseñadas con poliéster/polietileno con filamentos extruidos en una matriz de tres dimensiones, en cada una de las cuales se depositarán 0.25 g de muestra, para obtener un área efectiva por bolsa de  $36\ \text{cm}^2$  lo que corresponde a una relación tamaño de la muestra y superficie de la bolsa de  $14.4\ \text{mg}/\text{cm}^2$ ; luego fueron selladas con calor para este propósito. En cada una de las cuatro jarras de digestión se incubaron al azar 20 réplicas de cada alimento (22 bolsas/jarra), incluyendo dos bolsa blanco –bolsa vacía y sellada sin muestra-, con el fin de generar el factor de corrección para el posible ingreso de partículas o pérdida de peso de las bolsas.

El principio de funcionamiento del Daisy II<sup>®</sup> consiste en establecer condiciones de incubación semejante a las condiciones *in vivo*, de tal manera que el procedimiento incluye soluciones compuestas por minerales, fuentes de nitrógeno y agentes reductores

que ayudan a la anaerobiosis necesaria en el proceso. Por ello se emplearán las soluciones utilizadas (11). El inóculo necesario para el procedimiento (proporción 4:1 de solución medio de cultivo: inóculo del C1) se recolectaron de dos animales fistulados

El líquido del C1 fue mezclado en igual proporción de cada uno. La preparación de las soluciones tampón (1600 ml/jarra) se realizó en condiciones anaerobias permanentes, a las cuales se le agregó a cada una 400 ml de líquido del C1 previamente mezclado y filtrado por dos bolsas de nylon con tamaño de poro de 50  $\mu\text{m}$ . para el caso del inóculo de las heces, estas fueron colectadas directamente del recto y fueron mantenidas en una cámara de anaerobiosis hasta su dilución v/v con la solución tampón (1600/jarra), cada inóculo fue adicionado con una solución buffer, de tal forma que cada frasco se colocó en una unidad de rotación dentro de la incubadora, los frascos presentan una separación mediante una superficie de agitación con agujeros circulares que dividen la capacidad interna en dos partes diferenciadas, facilitando la agitación y mezclado constante de ambos compartimentos con el inóculo y la solución buffer. La digestibilidad se expresa gravimétricamente y para ello las bolsas fueron pesadas antes y después del proceso de incubación, asumiéndose que el material que ha desaparecido es el que ha sido digerido por actividad de las enzimas microbianas presentes en la microbiota del inóculo (31).

Este sistema de digestibilidad ofrece ventajas sobre otros sistemas *in vitro*; el equipo presenta una relativa automatización en su operación y es eficaz para la determinación de la digestibilidad de diversos alimentos y/o dietas, estudios de comparación con otros sistemas como el Ankom Gas Production System o el sistema RUSITEC, el Daisy II ha reportado una mayor eficiencia en diferentes puntos de incubación (31). De otro lado y de acuerdo la sugerencia del fabricante (ANKOM), para desarrollar el ensayo de digestibilidad por la ADII se requiere la estimación de la digestibilidad de la fibra detergente neutra (DFDN) en un tiempo concreto de incubación.

#### **b) Determinación de la fibra detergente neutro**

El Analizador de Fibras Delta ANKOM es un equipo diseñado para determinar fracciones de la fibra vegetal como es la Fibra Detergente Ácida (FDA), Fibra Detergente Neutra (FDN) y Fibra Cruda (FC) en muestras de alimento, pudiendo procesar hasta 24 muestras simultáneamente. El principio de análisis se realiza en base a un lavado a altas presiones y temperatura arrastrando los contenidos celulares de los

alimentos que son removidos cuando la muestra se expone a una solución (detergente ácido, detergente neutro o ácido y base para fibra cruda) de acuerdo con los lineamientos del fabricante.

En el caso concreto de esta investigación se determinó la digestibilidad verdadera *in vitro*, donde se cuantificó la fracción de FDN de la fibra vegetal utilizando un equipo analizador de fibras vegetales (DELTA – ANKOM).

### c) Desarrollo de la técnica de digestibilidad *in vitro*

Preparación de las soluciones buffer (para cada frasco de digestión)

- Para la preparación de un litro de solución A se combinaron los siguientes reactivos.

$\text{KH}_2\text{PO}_4$  (10g/litro)

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (0.5g/litro)

$\text{NaCl}$  (0.5g/litro)

$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (0.1g/litro)

Urea (0.5g/litro)

- Para la preparación de un litro de solución B se combinaron los siguientes reactivos.

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  (15g/litro)

$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  (1g/litro)

- Se pre-calentaron ambas soluciones buffer (A y B) a 39°C. combinándose 1330 ml de solución A con 266 ml de solución B, hasta obtener un pH de 6.8.
- Se colocaron los frascos de digestión con 1600 ml de la mezcla de solución A/B en la incubadora ADII y se inició el calentamiento y rotación, hasta alcanzar 39°C.
- El proceso de incubación se realizó por un periodo de 72 h.
- Enjuague de muestras
- Al terminar el proceso, los frascos de digestión fueron retirados y el líquido contenido se desechó. Las bolsas filtrantes fueron lavadas con agua fría.

**d) Determinación de la digestibilidad *in vitro* verdadera**

Para determinar la digestibilidad *in vitro* verdadera que remueve todos los detritos y fracciones solubles, utilizando para ello una solución detergente neutra (Dodecil sulfato de sodio). Las bolsas filtrantes que fueron lavadas previamente deben ser transportadas hacia el analizador de fibra ANKOM DELTA, considerando el procedimiento estándar indicado por el fabricante para la determinación de FDN.

**e) Determinación de la Fibra Detergente Neutra (FDN)**

Se utilizó una fuente de agua caliente la cual debe encontrarse activa y la manguera de drenaje debe estar conectada al desagüe para su correcto drenaje. Asimismo, se debe de verificar que el tubo de solución detergente neutra se encuentre conectado a la válvula y al contenedor de la solución.

Se abrió el compartimento colocando las bolsas filtrantes, tres por bandeja, con una bolsa vacía (blanco) en la bandeja superior. Las ocho bandejas se colocaron para alojar hasta 22 muestras, con la bandeja número 9 vacía en la parte superior. Posteriormente, las bandejas se ubicaron en el compartimento del equipo y la pesa suspensoria se ubicó para mantenerlas en su lugar.

El contenedor de amilasa se enlazó a la válvula que agregó la enzima mientras se enjuaga. Fueron agregados 8 mililitros de amilasa diluidos en agua destilada al recipiente. El equipo se encendió y fue seleccionado el modo de determinación de FDN. El flujo de solución detergente y la agitación se inició cuando se añadieron directamente al compartimento del equipo, 20 g de  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  y 4 ml de alfa-amilasa. La extracción inicia cuando se cierra el compartimento.

Después de la extracción, las bolsas filtrantes se retiraron y se sumergen en acetona durante 05 minutos antes de secarse. Luego las bolsas filtrantes fueron secadas en un horno a 102 grados centígrados durante tres horas. Al finalizar este proceso de secado, cada bolsa de filtración fue pesada y se registró como W3.

**f) Fórmula de digestibilidad verdadera *in vitro* (%IVTD)**

$$\%IVTD=100-((W3-(W1\times C1)) /W2 \times 100$$

Dónde:

W1 = Peso de la bolsa filtrante

W2 = Peso de la muestra

W3 = Peso final posterior a la digestibilidad *in vitro* y determinación de FDN

C1 = Corrección de la bolsa filtrante blanco

**3.1.4 Análisis de datos**

Dadas las características descriptivas de la información generada en el estudio, se utilizó el procedimiento ANOVA, MEANS, FREQ, CORR y UNIVARIATE del software SAS 9.0, las cuales determinarán el nivel de relación entre ambos inóculos, asimismo las medidas de tendencia central (media aritmética y mediana, así como las medidas de variabilidad (desviación estándar, error estándar de la media y varianza) serán calculadas en cada inóculo (24).

## CAPÍTULO IV

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

- Desarrollo de un ensayo de digestibilidad *in vitro* en alpacas utilizando un inóculo basado en fluido del primer compartimento

Tabla 1

**Coefficiente de digestibilidad de un concentrado comercial y del heno de avena utilizando un inóculo basado en fluido del primer compartimento.**

Alimento	n	Promedio	DS	Max	Min
Concentrado comercial	20	80.78	0.91	82.35	79.07
Heno de avena	20	66.65	1.51	64.12	68.82

La tabla 1 representa los resultados del desarrollo del ensayo de digestibilidad *in vitro* en alpacas utilizando un inóculo basado en fluido del primer compartimento, el promedio del coeficiente de digestibilidad indica que el coeficiente de digestibilidad para el concentrado comercial correspondió a  $80.78 \pm 0.91$ . y para el caso del heno de avena este mismo coeficiente alcanzó a  $66.65 \pm 1.51$ .

Los estudios de digestibilidad *in vitro* en alpacas son escasos, Hintz *et al.* en un estudio de digestibilidad aparente en varias especies herbívoras utilizando un concentrado pelletizado, reportaron un coeficiente de digestibilidad de 73.4, este valor inferior al encontrado en este estudio obedecería a varios aspectos como la técnica desarrollada, así como el porcentaje de FDN entre ambos estudios; en el presente estudio el valor de FDN correspondió a 25.9% de la dieta y en el estudio de Hintz *et al.*, este porcentaje alcanzó a 47.8%; esta tendencia que describe la relación inversa entre el porcentaje de FDN y la digestibilidad, ha sido reportado en alpacas para estudios de digestibilidad aparente, es así que Obregón (2019) indica que se observa una disminución de los coeficientes de digestibilidad aparente a medida que el porcentaje de FDN de las raciones experimentales se incrementa (6).

En consideración a la digestibilidad *in vitro* del heno de avena en alpacas, sólo se ha reportado el estudio citado por Leyva *et al.*, donde indica que el coeficiente de digestibilidad *in vitro* para

la paja de avena con relación de saliva artificial:licor ruminal de 2:1, correspondió a 54.32, valor menor al reportado en este estudio (66.65), estas diferencias obedecerían principalmente a las diferencias de los dos recursos alimenticios evaluados, donde el heno de avena podría haber presentado una mayor calidad nutricional representado probablemente por una mayor proporción de carbohidratos solubles en contraposición a carbohidratos estructurales como posiblemente presente la paja de avena (38). En un estudio de digestibilidad aparente para el heno de avena. Enciso halló un coeficiente de digestibilidad para la MS (considerando un contenido de MS de 94.7% y de materia orgánica de 4.46%) correspondiente a 63.23, valor relativamente similar al hallado en esta investigación. Considerando la utilización del inóculo del C1 en este estudio para ambos recursos alimenticios (concentrado comercial y heno de avena), y comparando los resultados encontrados con las de autores precedentes, se aprecia la eficiencia del sistema Daisy II utilizando este tipo de inóculo de alpaca (39).

- **Desarrollo de un ensayo de digestibilidad *in vitro* en alpacas utilizando un inóculo fecal.**

**Tabla 2****Coefficiente de digestibilidad de un concentrado comercial y del heno de avena utilizando un inóculo fecal**

<b>Alimento</b>	<b>n</b>	<b>Promedio</b>	<b>DS</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>
Concentrado comercial	20	81.28	1.08	83.44	79.24
Heno de avena	20	67.19	1.43	69.37	63.37

La tabla 2 representa los resultados del desarrollo del ensayo de digestibilidad *in vitro* en alpacas utilizando un inóculo basado en fluido del primer compartimento, el promedio del coeficiente de digestibilidad indica que el coeficiente de digestibilidad para el concentrado comercial correspondió a  $81.28 \pm 1.08$  y para el caso del heno de avena este mismo coeficiente alcanzó a  $67.19 \pm 1.43$ .

La utilización de un inóculo alternativo como es el fecal, presenta un opción viable frente a la necesidad de mantener animales fistulados a fin de proporcionar este inóculo, por lo cual el inóculo del C1 o del rumen, plantea varios desafíos prácticos, como la necesidad de contar con instalaciones o espacios quirúrgicos dentro de un laboratorio de nutrición animal, proveer cuidados especializados para evitar infecciones, así como costos asociados con el mantenimiento a largo plazo de los especímenes experimentales (40). Omed *et al.* 2000, en una revisión relacionada a la utilización de este inóculo, demostraron que las heces presentan un alto potencial como inóculo alternativo para las técnicas de digestibilidad *in vitro*, demostrando el uso con resultados exitosos de una suspensión líquida de heces, para el caso de ovejas, vacunos; y en equinos (41; 42; 43; 44; 45; 46).

Asimismo, las actuales tendencias de bienestar animal han motivado la utilización de heces como un inóculo alternativo debido a cuestiones principalmente bioéticas, frente al uso de animales quirúrgicamente modificados (41).

La utilización de inóculos fecales en estudios de digestibilidad *in vitro* en alpacas no ha sido documentado; sin embargo, existen reportes en otras especies como equinos donde los valores de los coeficientes de digestibilidad *in vitro* de la MS alcanzan valores de 66.60 para forrajes con una participación de 70% de heno timothy y 30% de avena (48), dieta relativamente

similar a la proveída en el estudio de digestibilidad de esta investigación, donde el valor correspondió a 67.19.

De otro lado, en el estudio de Lattimer *et al.* 2007, en un ensayo de digestibilidad *in vitro* utilizando pellets de un concentrado para equinos en mantenimiento reportó un coeficiente de digestibilidad de 75.00, valor por debajo del hallado en esta estudio debido probablemente a condiciones inherentes a la especie evaluada (equino), para el caso de nuestros resultados, este valor alcanzó a 81.28 para el caso del coeficiente de digestibilidad utilizando inóculo fecal (45).

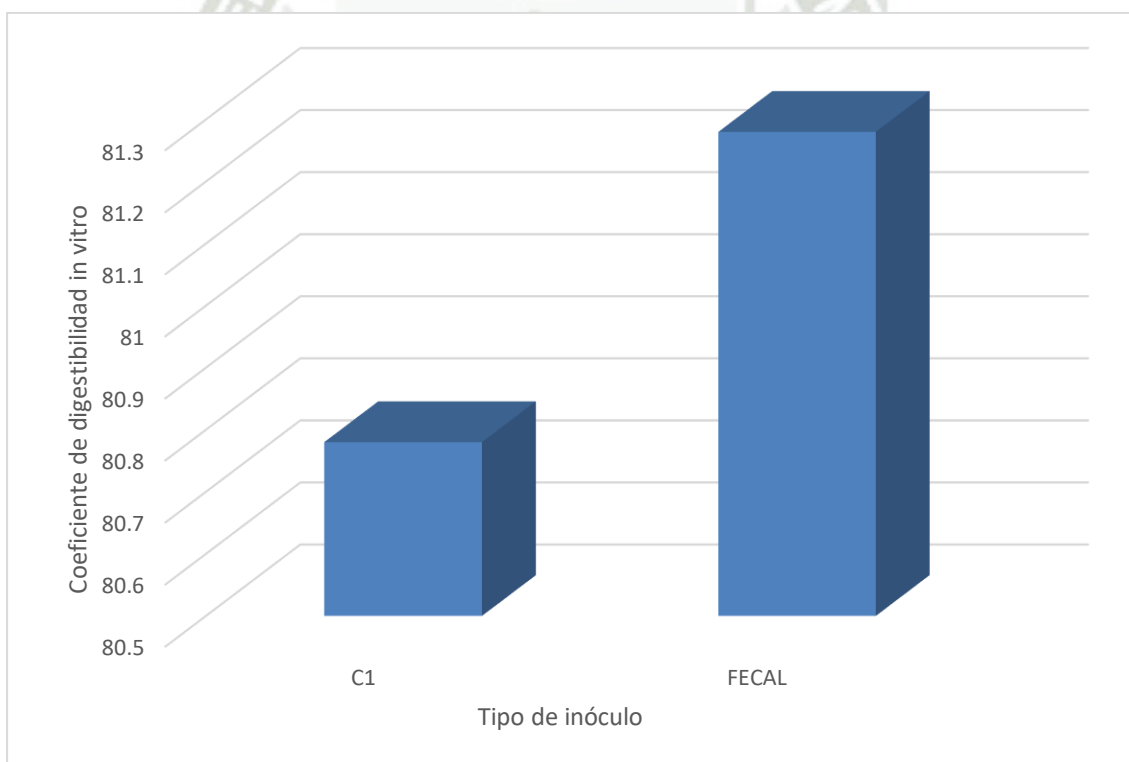


- **Relación comparativa de los resultados del desarrollo del ensayo de digestibilidad *in vitro* en alpacas para un concentrado comercial y heno de avena utilizando un inóculo basado en fluido del primer compartimento y de un inóculo fecal.**

**Tabla 3**  
**Concentrado comercial**

Tipo de inóculo	Promedio
Inoculo C1	80.78 <sup>a</sup> ±0.91
Inoculo fecal	81.28 <sup>a</sup> ±1.08

**Figura 1**  
**Relación comparativa inoculo C1 y fecal**



La tabla 3 y figura 1 representan la relación comparativa de los resultados del desarrollo del ensayo de digestibilidad *in vitro* en alpacas utilizando un inóculo basado en fluido del primer compartimento y de un inóculo fecal. Se determinó que los promedios del coeficiente de digestibilidad del concentrado comercial utilizando ambos inóculos no presentan diferencias estadísticas entre ellos ( $P>0.05$ ), estos valores correspondieron a  $80.78\pm 0.91$  y  $81.28\pm 1.08$  para

la digestibilidad *in vitro* utilizando inóculos del C1 y fecal, respectivamente.

El proceso analítico de datos del desarrollo del ensayo de digestibilidad *in vitro* confrontando ambos tipos de inóculo, indican que la incubación por 48 horas de un concentrado comercial utilizando indistintamente ambos tipos de inóculos, demuestran que el coeficiente de digestibilidad presenta estadísticamente valores similares, lo cual indica que el inóculo del C1 puede ser reemplazado con el inóculo fecal, sin afectar los resultados de digestibilidad *in vitro* en alpacas.

Al respecto puede indicarse que en otros ensayos realizados previamente y considerando investigaciones comparativas entre inóculos fecales y licor ruminal en vacas, Akhter *et al.* 1999 concluyeron que las heces pueden ser una alternativa adecuada al licor ruminal para la evaluación de la digestibilidad *in vitro* de forrajes (49).

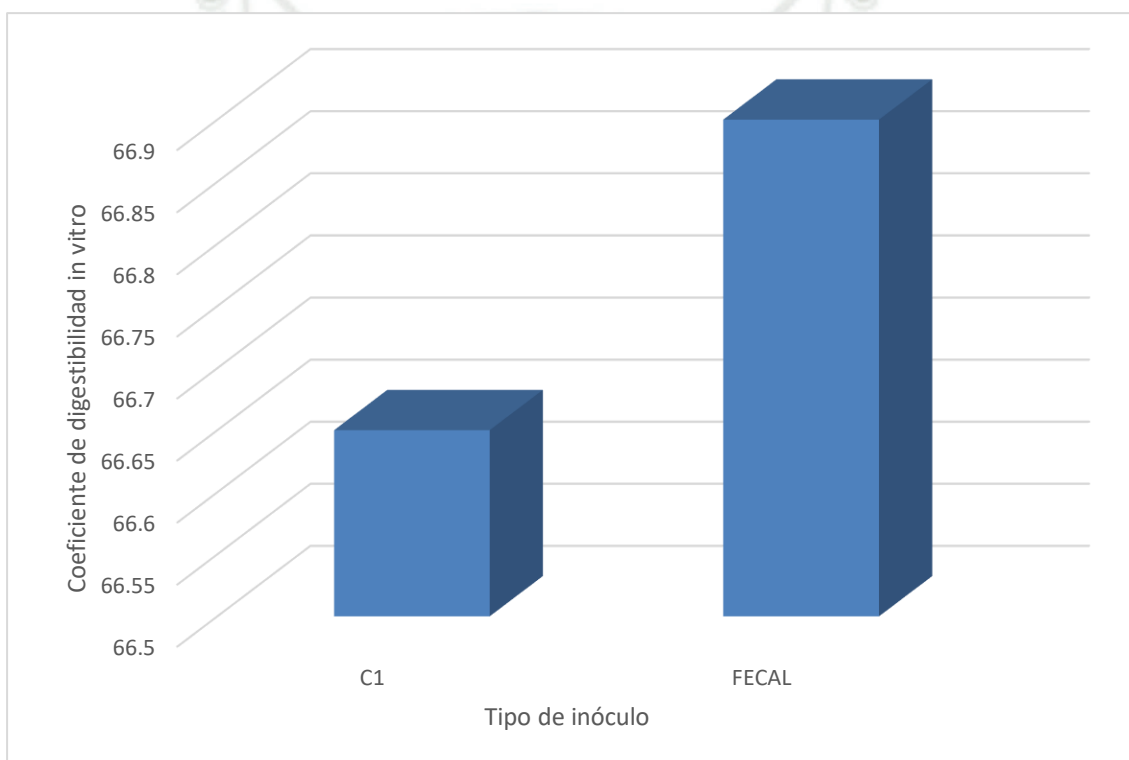
Otros autores han indicaron resultados similares (47; 50). Asimismo, los estudios de Akhter *et al.* 1999 utilizando la técnica de digestibilidad *in vitro* de Tilley y Terry, 1963 demostraron que las heces colectadas de vacunos pueden utilizarse como fuente de inóculo para la determinación de la digestibilidad *in vitro* de forrajes, los resultados de los autores precedentes concuerdan en general con estudios previos donde se ha reportado el uso de inóculo preparado a partir de heces de ovejas, burros y caballos (51; 52; 53).

**Tabla 4**  
**Heno de avena**

<b>Tipo de inóculo</b>	<b>Promedio</b>
Inoculo C1	66.65 <sup>a</sup> ±1.51
Inoculo fecal	67.19 <sup>a</sup> ±1.43

**Figura 2**

**Relación comparativa para el heno de avena**



En la tabla 4 y figura 2, se representan la relación comparativa de los resultados del desarrollo del ensayo de digestibilidad *in vitro* en alpacas para el heno de avena, utilizando para ello el inóculo basado en fluido del primer compartimento y un inóculo fecal. Se determinó que los promedios del coeficiente de digestibilidad utilizando ambos inóculos no presentan diferencias estadísticas entre ellos ( $P>0.05$ ), estos valores correspondieron a  $66.65\pm 1.51$  y  $67.19\pm 1.43$  para la digestibilidad utilizando un inóculo del C1 y fecal, respectivamente.

En un estudio en camellos utilizando el mismo sistema de digestibilidad *in vitro* reportaron la pertinencia del sistema Daisy II incluso sobre la metodología de Tilley y Terry 1963, asimismo la utilización de un inóculo fecal y ruminal de ovino para desarrollar estudios de digestibilidad

en forrajes convencionales para la alimentación de camellos, los mismos investigadores Tilley (54), indican alta correlación entre la digestibilidad *in vitro* utilizando ambos inóculos, mencionando que el inóculo fecal podría representar un procedimiento de rutina para determinar la digestibilidad *in vitro* en esta especie; en tal sentido, para el caso del forraje *Frankenia thymifolia*, el coeficiente de digestibilidad *in vitro* correspondió a 69.5 para el caso del uso del licor ruminal de ovino, 68.4 para el caso de heces de camello, 69.1 para heces de cabra y 69.1 para las heces de ovino, respectivamente; en todos los casos no se observaron diferencias estadísticas significativas, lo que indica claramente la pertinencia de los inóculos fecales frente al inóculo fecal de diferentes especies de herbívoros.



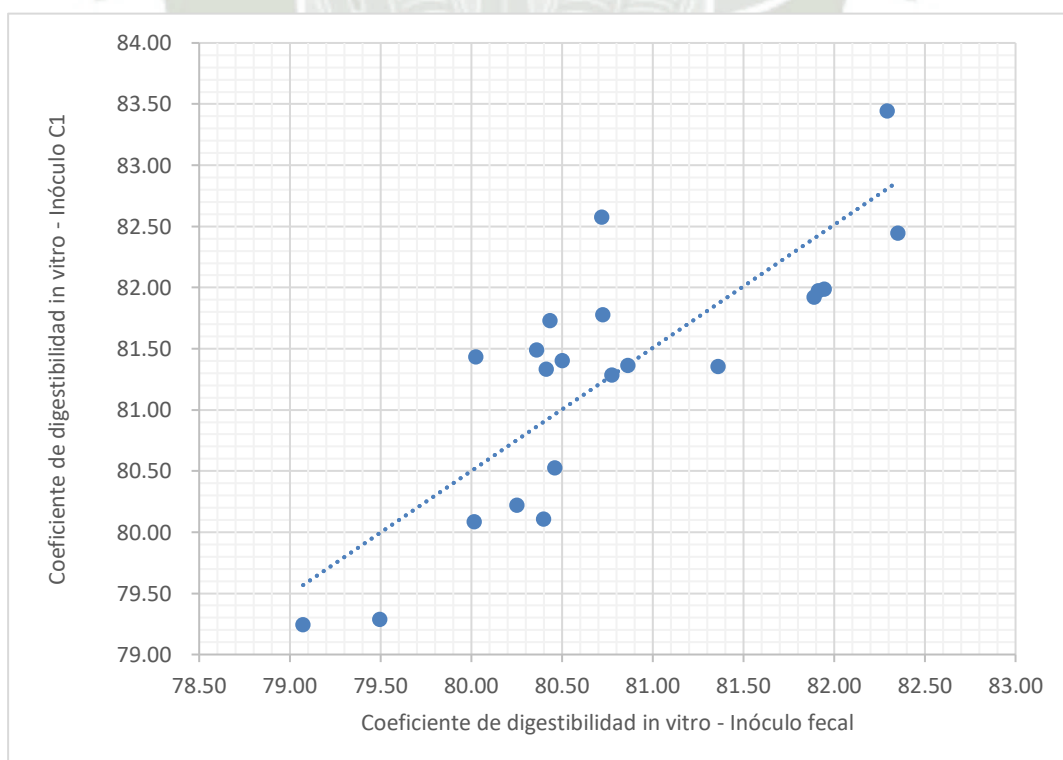
**Tabla 5**  
**Matriz de correlación – Concentrado comercial**

Sustrato/inóculo	Concentrado inóculo C1	Concentrado inóculo fecal
Concentrado inóculo C1	1	0.80923 (<.0001)
Concentrado inóculo fecal	0.80923 (<.0001)	1

La tabla 5 representa la matriz de correlación de ambos tipos de inóculo (C1 y fecal) considerando el coeficiente de digestibilidad como parámetro de correlación, en este caso para el concentrado comercial. El valor del momento  $r$  de Pearson correspondió a 0.80 u 80% de relación la cual resultó significativa ( $P < 0.01$ ), este valor representa una alta correlación lo cual indica que los valores del coeficiente de digestibilidad *in vitro* utilizando los dos tipos de inóculo (C1 y fecal) se encuentran altamente relacionados cuando se incubó durante 48 horas un concentrado comercial.

**Figura 3**

**Diagrama de dispersión de los valores de los coeficientes de digestibilidad *in vitro* de dos inóculos (C1 y fecal) luego de incubar un concentrado comercial en alpacas.**



La figura 3 representa la relación entre los valores de los coeficientes de correlación de los dos inóculos utilizado en el estudio al momento de incubar durante 72 horas el concentrado comercial; este gráfico de dispersión permite observar la línea de tendencia donde se aprecia la relación directa existente entre ambos coeficientes de digestibilidad, lo cual indica que la utilización de un inóculo fecal para desarrollar un ensayo de digestibilidad *in vitro* presenta un comportamiento similar frente al inóculo del compartimento 1 de la alpaca.



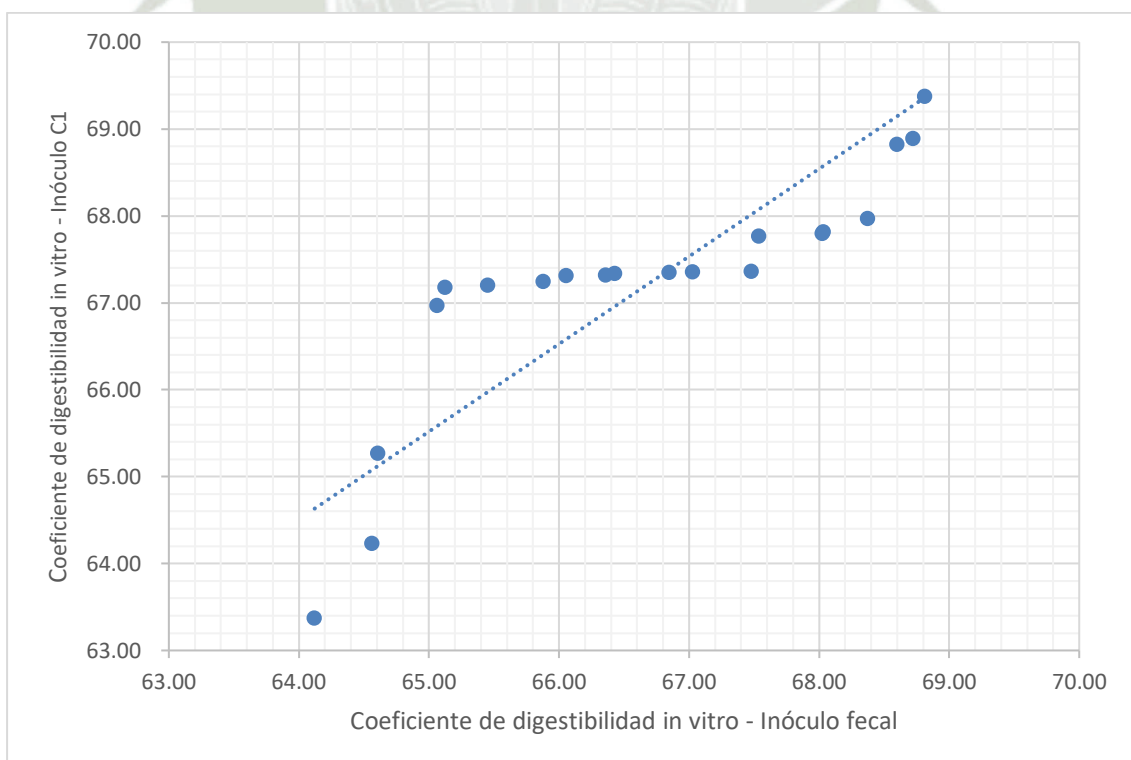
**Tabla 6**  
**Matriz de correlación – Heno de avena**

Sustrato/inóculo	Heno avena inóculo C1	Heno avena inóculo fecal
Heno avena inóculo C1	1	0.85100 (<.0001)
Heno avena inóculo fecal	0.85100 (<.0001)	1

En la tabla 6 se aprecia la matriz de correlación para ambos tipos de inóculo (C1 y fecal) considerando el coeficiente de digestibilidad como parámetro de correlación, en este caso para el heno de avena. El valor del momento  $r$  de Pearson correspondió a 0.85 u 85% de relación, la misma que resultó significativa ( $P < 0.01$ ), este valor representa una alta correlación lo cual indica que los valores del coeficiente de digestibilidad *in vitro* utilizando los dos tipos de inóculo (C1 y fecal) se encuentran altamente relacionados cuando se incubó durante 48 horas el heno de avena.

**Figura 4**

**Diagrama de dispersión de los valores de los coeficientes de digestibilidad *in vitro* de dos inóculos (C1 y fecal) luego de incubar heno de avena en alpacas.**



En la figura 4 se presenta en un diagrama de dispersión, la relación entre los valores de los coeficientes de correlación de los dos inóculos utilizado en el estudio al momento de incubar durante 48 horas el heno de avena; este gráfico permite observar la línea de tendencia denotándose la relación directa que existe entre los dos coeficientes de digestibilidad, indicando que el uso de un inóculo fecal durante para el desarrollo de un ensayo de digestibilidad *in vitro*, presenta un similar comportamiento al compararlo con el inóculo del compartimento 1 de la alpaca.

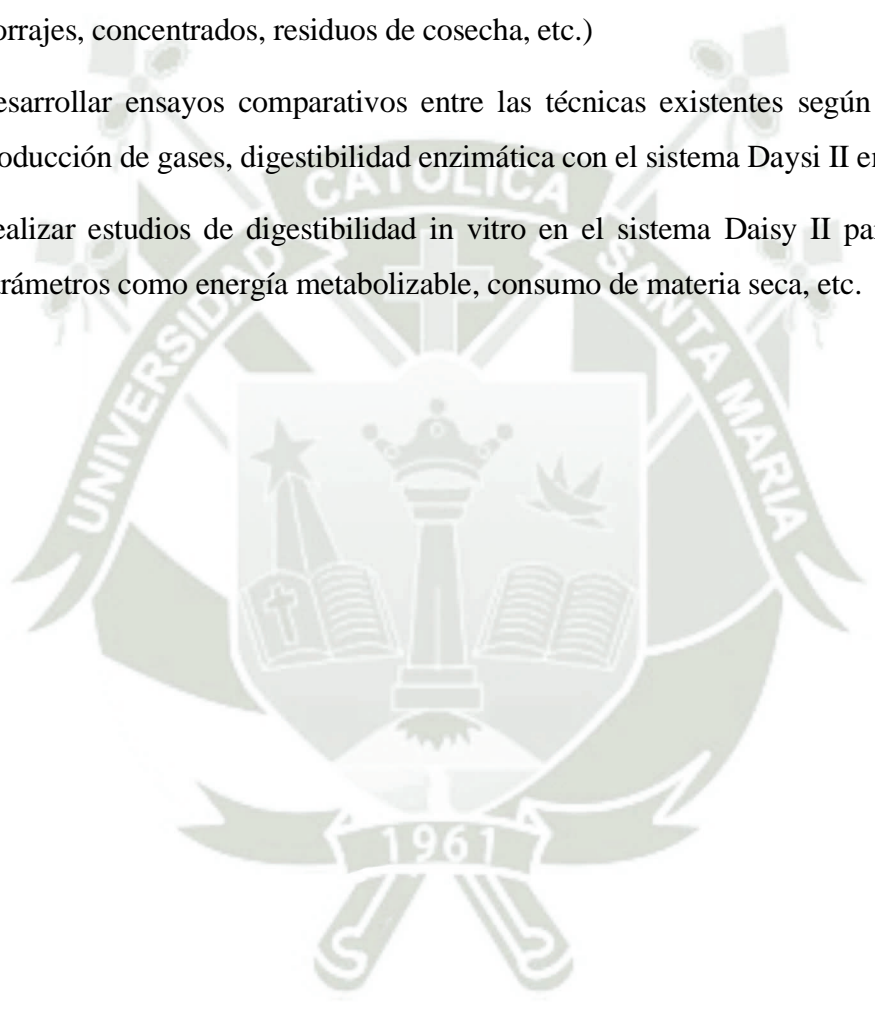


## CONCLUSIONES

1. El desarrollo del ensayo digestibilidad in vitro en alpacas utilizando un inóculo basado en fluido del primer compartimento (C1), para un concentrado comercial y para el heno de avena correspondió a un valor del coeficiente de digestibilidad in vitro de  $80.78 \pm 0.91$  y  $66.65 \pm 1.51$ , respectivamente.
2. Para el caso del desarrollo del ensayo digestibilidad in vitro en alpacas utilizando un inóculo fecal, para un concentrado comercial y para el heno de avena, el valor del coeficiente de digestibilidad in vitro correspondió a  $81.28 \pm 1.08$  y  $67.19 \pm 1.43$ , respectivamente.
3. Existe relación altamente significativa entre los resultados del coeficiente de digestibilidad in vitro para el concentrado comercial y el heno avena, utilizando en ambos casos, los dos tipos de inóculo (fecal vs C1), representado por el P-valor del ANVA, donde no se detectó diferencia significativa entre ellos, asimismo el r del momento de Pearson alcanzó el valor de 0.80 y 0.85 para el concentrado comercial y el heno, respectivamente; lo cual demuestra que el inóculo fecal y del C1 presentan las mismas condiciones para determinar el coeficiente de digestibilidad in vitro en alpacas.

## RECOMENDACIONES

1. Se sugiere el desarrollo de ensayos de digestibilidad in vitro de la materia seca, utilizando el inóculo de diversas especies animales herbívoras a fin de evaluar las probables eficiencias de digestibilidad diferenciada por cada especie herbívora.
2. Desarrollar estudios que cuantifiquen la digestibilidad de nutrientes (proteína cruda, grasa cruda, fibra detergente neutro, materia orgánica) de la materia seca de diversos alimentos (forrajes, concentrados, residuos de cosecha, etc.)
3. Desarrollar ensayos comparativos entre las técnicas existentes según Tilley y Terry, producción de gases, digestibilidad enzimática con el sistema Daysi II en camélidos.
4. Realizar estudios de digestibilidad in vitro en el sistema Daisy II para estimar otros parámetros como energía metabolizable, consumo de materia seca, etc.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. San Martín, F. y R.J. Van Saun. Applied Digestive Anatomy and Feeding Behavior. In: Llama and Alpaca care. Elsevier Inc 1st edition. Canada pp 51 - 58. 2014.
2. San Martín, F., F.C. Bryant. Nutrición de los camélidos sudamericanos. Estado de nuestro conocimiento. Artículo técnico T-9-505. Programa colaborativo de apoyo a la investigación en rumiantes menores. Universidad Nacional Mayor de San Marcos - T. 1987.
3. R.J., Van Saun. Nutrient requirements of South American camelids: A factorial approach. *Small Rumin Res.* 61(2-3):165-186. 2006.
4. Dittmann, M. T., J. Hummelc, U. Runge, C. Galeffi, M. Kreuzer, Clauss, M. Characterising an artiodactyl family inhabiting arid hábitats by its metabolism: Low metabolism and maintenance requirements in camelids. *Journal of Arid Environments.* 107. 2014.
5. Sponheimer M, Robinson T, Roeder B, Hammer J, Ayliffe L. Digestion and passage rates of grass hays by llamas, alpacas, goats, rabbits, and horses. *Small Rumin Res.* 48: 149–154. 2003.
6. Hintz HF, Schryver HF, Halbert M. A note on the comparison of digestion by new-world camels, sheep and ponies. *Anim Prod.* 16: 30–35. 1973.
7. A., Bruni M. de los y Chilibroste, P. Simulación de la digestión ruminal por el método de la producción de gas. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 9: 43-51. 2001.
8. Tassone S, Fortina R, Peiretti PG. In vitro Techniques Using the DaisyII Incubator for the Assessment of Digestibility: A Review. *Anim Open Access J MDPI.* 10(5):775. 2020.
9. Van Soest, P.J. *Nutritional Ecology of the Ruminant*, 2nd ed.; Cornell University Press: Ithaca, NY, USA,. 1994.
10. Klopfenstein, T.J., y otros. Chemical treatment of low quality forages. *J. Anim. Sci.*, 35, 418–422. 1972.

11. Goering, M.K. y Van Soest, P.J. Forage Fiber Analysis (Apparatus, Reagents, Procedures and some Applications); Agricultural Handbook No. 379; USDA:Washington, DC, USA,. 1970.
12. Tilley, J.M.A. y Terry, R.A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass Forage Sci.*18, 104–111. 1963.
13. Adesogan, A.T. What are feeds worth? A critical evaluation of selected nutritive value methods. In Proceedings of the 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium, Gainesville, FL, USA, 11–12 January; pp. 33–47. 2002.
14. Czerkawski, J.W. y Breckenridge, G. Design and development of a long-term rumen simulation technique (Rusitec). *Br. J. Nutr.* 38, 371–384. 1977.
15. Gray, F.V., y otros. stringent test for the artificial rumen. *Aust. J. Agric. Res.*, 13, 343–349. 1962.
16. Aafjes, J.H. y Nijhof, J.K. A simple artificial rumen giving good production of volatile fatty acids. *Br. Vet. J.* 123, 436–446. 1967.
17. Carro, M.D., y otros. Comparison of microbial fermentation of high- and low-forage diets in Rusitec, single-flow continuous- culture fermenters and sheep rumen. *Animal.* 3, 527–534. 2009.
18. Menke, K.H. y Steingass, H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Dev.* 28, 7–55. 1988.
19. Theodorou, M.K., y otros. A new laboratory procedure for estimating kinetic parameters associated with the digestibility of forages. In Proceedings of the International Symposium on Forage CellWall Structure an. 1991.
20. Schofield, P. y Pell, A.N. (1). Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent- soluble carbohydrate fraction of legumes and grasses. *J. Anim. Sci.*, 73, 3455– 3463. 1995.
21. Schofield, P. y Pell, A.N. (2). Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro. *J. Dairy Sci.*, 76, 1063–1073. 1993.

22. Layton, B. Ankom Technology Corporation Fairport, NY, USA. Personal communication,. 2019.
23. L.A., Holden. Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds. *J. Dairy Sci.*, 82, 1791-1794. 1999.
24. Reiner, R. J., and F. C. Bryant. Botanical composition and nutritional quality of alpaca diets in two Andean rangeland communities. *J. Range Manag.*, 39:424-427. 1986.
25. Hongo A., Toukura Y., Choque J.L., Aro J.A. and N. Yamamoto. The role of a cleft upper lip of alpacas in foraging extremely short grasses evaluated by grazing impulse. *Small Ruminant Research*. 69:108–114. 2007.
26. Dulphy JP, Dardillat C, Jailler M, Ballet JM. Comparative study of forestomach digestion in llamas and sheep. *Reprod Nutr Dev*. 37:709–725. 1997.
27. Pinares-Patiño, C S, y otros. Methane emission by alpaca and sheep fed on lucerne hay or grazed on pastures of perennial ryegrass/white clover or birdsfoot trefoil. *The Journal of Agricultural Science; Cambridge*. 140.2: 215-226. 2003.
28. Dardillat C, Baumont R, Jouany JP. Contenus gastriques du lama et du mouton. *Ann Zotech*. 43, 279. 1994.
29. Cai-xia Pei, Qiang Liu, Chang-sheng Dong. Microbial Community in the Forestomachs of Alpacas (*Lama pacos*) and Sheep (*Ovis aries*) *Journal of Integrative Agriculture*. 12 (2) 314. 2010.
30. Bryant, F.C., and R.D. Farfan. Dry season forage selection by alpaca (*Lama pacos*) in southern Peru. *Journal of Range Management*. 37:330-333. 1984.
31. López, A., J. y Maiztegui., and Cabrera, R. *Voluntary intake and digestibility of forages with different nutritional quality in alpacas (Lama pacos)*. *Small Rum. Res*. 29: 295-301. 1998.
32. Pell, A.N. y Schofield, P. *Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro*. *J. Dairy Sci.*, 76, 1063–1073. 1993.
33. Bartholomew, G.A. *The roles of physiology and behaviour in maintenance of*

- homeostasis in the desert environment. Symp. Soc. Exp. Biol.*. 18, 7e29. 1964.
34. Rieck, A., y otros. *Seasonal changes in energy expenditure, body temperatura and activity patterns in llamas (Lama glama). Scientific Reports.* 7: 7600. 2017.
  35. Nielsen Mette O., Ali Kiani, Einstein Tejada, Andre Chwalibog y Lene Alstrup. Energy metabolism and methane production in llamas, sheep and goats fed high- and low-quality grass-based diets, *Archives of Animal Nutrition.* 2014, págs. 68:3, 171-185.
  36. Vélez-Marroquín V.M., E.H. Cabezas-García, W. Antezana-Julián, F. Estellés-Barber, F.E. Franco, C.S. Pinares-Patiño. Design, operation, and validation of metabolism crates for nutrition studies in alpacas (*Vicugna pacos*), *Small Ruminant Research.* 2022.
  37. Leyva, L., y otros. Prueba de digestibilidad in vitro con diferentes proporciones de saliva artificial y flora microbiana en alpacas. *Rev Inv Vet. Perú;* 12(1): 98-103. 2001.
  38. Enciso, A.M. Utilización de avena-vicia en forma de pellets como suplemento alimenticio para alpacas en la zona altoandina. Tesis PhD. EPG – UNALM. Lima – Perú. 2019.
  39. Mauricio RM, Owen E., Mould FL, Givens I., Theodorou MK, France J., Davies DR, Dhanoa MS. Comparison of bovine rumen liquor and bovine faeces as inoculum for an in vitro gas production technique for evaluating forages. *Anim. Feed Sci. Technol.*, . 2001.
  40. Omed H.M., Lovett D.K., Axford R.F.E. Faeces as a source of microbial enzymes for estimating digestibility. In: Givens, D.I., Owen, E., Omed, H.M., Axford, R.F.E. (Eds.), *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition.* CAB International, Wallingford, 135-154. 2000.
  41. Váradyová Z., Baran M., Zeleňák I. Comparison of two in vitro fermentation gas production methods using both rumen fluid and faecal inoculum from sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 123-124, 81–94. 2005.
  42. Jones R.J., Barnes P. In vitro digestibility assessment of tropical shrubs legumes using rumen fluid or faecal fluid as the inoculum source. *Trop. Grassl.*, 30, 374-377. 1996.
  43. Holden, L.A. *Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds.*

- J. Dairy Sci.*, 82, 1791-1794. 1999.
44. Lattimer J.M., Cooper S.R., Freeman D.W., Lalman D.L. *Effect of yeast culture on in vitro fermentation of a high-concentrate or high-fiber diet using equine fecal inoculum in a DaisyII incubator. J. Anim. Sci.*, 85, 2484-2491. 2007.
45. Murray J.M.D., Longland A., Dunnett C. *Effect of yeast supplementation on the in vitro fermentation of high-temperature dried lucerne incubated with an equine faecal inoculum. Anim. Feed Sci. Technol.*, 146, 149–159. 2008.
46. Martínez, S.J., y otros. Correlación degradabilidad ruminal in situ y producción de gas in vitro con el uso de heces vacunas depuestas como inóculo. *Revista de Producción Animal*, 20(2). 2008.
47. Earing, J.E.B.D., y otros. *Comparison of in vitro digestibility estimates using the DaisyII incubator with in vivo digestibility estimates in horses, Journal of Animal Science, Volume 88, Issue 12:3954-3963.* 2010.
48. Akhter, Owen, Theodorou, Butler y R., & Minson. *Bovine faeces as a source of micro-organisms for the in vitro digestibility assay of forages. Grass and forage science*, 54(3), 219-226. 1999.
49. Sáenz, N., y otros. *Determinación de producción de gas in vitro, y contenido de energía metabolizable de alimentos para rumiantes incubados con excretas de ovinos. Latin American Archives of Animal Production*, 31 (Suplemento), 191-196. 2023.
50. El Shaer H.M., Omed H.M., Chamberlain Hamberlain A.G. y R.F.E., Axford. *Use of faecal organisms from sheep for the in vitro determination of digestibility. Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 109, 257:259. 1987.
51. Aboud A.A.O., Chenyambuga Henyambuga S.W., Kimambo A.E., Owen E. *Comparison between rumen liquor, sheep and donkey faeces as inoculae for in vitro digestion of some tropical forages. Proceedings of 22nd Scientific Conference Tanzania Society of Animal Production*, 22.130-141. 1996.
52. Whittall Hittall H., Mtengeti Tengeti E.J., Mtenga L.A., Romney D.L., Owen E. *Bovine or equine faeces as sources of micro-organisms instead of rumen liquor in the Tilley*

*and Terry in vitro digestibility technique for evaluating forages in Tanzania. Proceedings of the British Society of Animal Science, 172. 1998.*

53. Tilley, J.M.; Terry, R.A. *A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. Grass Forage Sci.*18, 104-111. 1963.





Anexo 1

Alimento: Concentrado Comercial

Tabla 7  
Inoculo: CI

ID	Orden	(W1) Peso Bolsa, g	(W2) Peso Muestra, g	(W3) Peso Final, g	% Digestibilidad
PC-001	1	0.5554	0.50109	0.6254	80.4615
PC-002	2	0.552	0.50477	0.6299	79.0727
PC-003	3	0.5766	0.50624	0.6445	80.8647
PC-004	4	0.5528	0.50569	0.6287	79.4984
PC-005	5	0.5973	0.50423	0.6645	80.7210
PC-006	6	0.5623	0.50721	0.6354	80.0177
PC-007	7	0.5874	0.50824	0.6577	80.3610
PC-008	8	0.5871	0.50169	0.6543	80.7255
PC-009	9	0.5801	0.50127	0.6397	82.2957
PC-010	10	0.5811	0.5021	0.6498	80.5026
PC-011	11	0.5478	0.50476	0.6114	81.9472
PC-012	12	0.539	0.50592	0.61297	80.0262
PC-013	13	0.598	0.5011	0.6661	80.4139
PC-014	14	0.598	0.5014	0.6614	81.3630
PC-015	15	0.5413	0.5019	0.6123	80.4350
PC-016	16	0.5802	0.50126	0.6395	82.3542
PC-017	17	0.5497	0.50102	0.6128	81.8932
PC-018	18	0.5492	0.50101	0.6198	80.4008
PC-019	19	0.5496	0.50103	0.6126	81.9145
PC-020	20	0.5747	0.50177	0.6449	80.2549
BLANCO 1	21	0.598		0.5763	0.9637
BLANCO 2	22	0.581		0.5437	0.9358
(C1) Blank bag correction (final oven-dried weight/original blank bag weight)					<b>0.9498</b>

**Tabla 8**  
**Alimento: Concentrado Comercial**  
**Inoculo: Fecal**

ID	Orden	(W1) Peso Bolsa, g	(W2) Peso Muestra, g	(W3) Peso Final, g	% Digestibilidad
CF-001	1	0.5425	0.5018	0.631	81.7256
CF-002	2	0.5532	0.5059	0.6337	83.4426
CF-003	3	0.5591	0.5022	0.6494	81.3623
CF-004	4	0.5665	0.5021	0.6569	81.3299
CF-005	5	0.5582	0.5026	0.6425	82.5719
CF-006	6	0.5439	0.5013	0.6335	81.4863
CF-007	7	0.5439	0.5025	0.6344	81.3514
CF-008	8	0.55	0.5029	0.6384	81.7767
CF-009	9	0.5678	0.5054	0.665	80.1049
CF-010	10	0.5674	0.5052	0.664	80.2162
CF-011	11	0.5552	0.5025	0.6498	80.5223
CF-012	12	0.551	0.5049	0.6415	81.4318
CF-013	13	0.5757	0.5012	0.6603	82.4428
CF-014	14	0.5812	0.5059	0.6828	79.2392
CF-015	15	0.5695	0.5071	0.6575	81.9838
CF-016	16	0.5617	0.504	0.6628	79.2829
CF-017	17	0.5683	0.5019	0.6557	81.9181
CF-018	18	0.5679	0.5053	0.6652	80.0810
CF-019	19	0.5684	0.5017	0.6555	81.9706
CF-020	20	0.5594	0.5021	0.6495	81.3980
BLANCO 1	21	0.5758		0.5809	1.0089
BLANCO 2	22	0.5714		0.5584	0.9772
<b>(C1) Blank bag correction (final oven-dried weight/original blank bag weight)</b>					<b>0.9931</b>

**Tabla 9**  
**Alimento: Avena Heno**  
**Inoculo: CI**

ID	Orden	(W1) Peso Bolsa, g	(W2) Peso Muestra, g	(W3) Peso Final, g	% Digestibilidad
AC-001	1	0.5882	0.5019	0.7189	68.3765
AC-002	2	0.5524	0.5045	0.6874	68.0252
AC-003	3	0.5251	0.5023	0.6657	67.0292
AC-004	4	0.5483	0.5001	0.6994	64.5636
AC-005	5	0.5894	0.5016	0.7182	68.7250
AC-006	6	0.5892	0.5018	0.7187	68.5999
AC-007	7	0.5523	0.5033	0.6953	66.3604
AC-008	8	0.5469	0.5022	0.6963	65.0636
AC-009	9	0.5687	0.5043	0.7088	66.8473
AC-010	10	0.5416	0.5004	0.6929	64.6086
AC-011	11	0.5637	0.5001	0.6992	67.5363
AC-012	12	0.5569	0.5013	0.6867	68.8156
AC-013	13	0.5737	0.5013	0.7094	67.4791
AC-014	14	0.5522	0.5043	0.6871	68.0342
AC-015	15	0.5924	0.5004	0.7387	65.1243
AC-016	16	0.592	0.5005	0.7367	65.4547
AC-017	17	0.5824	0.5071	0.7366	64.1211
AC-018	18	0.5514	0.504	0.6962	66.0585
AC-019	19	0.5469	0.5051	0.6904	66.4322
AC-020	20	0.5398	0.5091	0.6878	65.8785
BLANCO 1	21	0.5781		0.5678	0.9822
BLANCO 2	22	0.5836		0.5384	0.9225
<b>(C1) Blank bag correction (final oven-dried weight/original blank bag weight)</b>					<b>0.9524</b>

**Tabla 10**  
**Alimento: Avena Heno**  
**Inoculo: Fecal**

ID	Orden	(W1) Peso Bolsa, g	(W2) Peso Muestra, g	(W3) Peso Final, g	% Digestibilidad
CF-001	1	0.5614	0.5029	0.7262	67.3529
CF-002	2	0.5611	0.5027	0.7264	67.2403
CF-003	3	0.5612	0.5028	0.726	67.3463
CF-004	4	0.5693	0.5012	0.7262	68.8201
CF-005	5	0.5612	0.5024	0.7258	67.3601
CF-006	6	0.5692	0.502	0.726	68.8897
CF-007	7	0.5611	0.5026	0.726	67.3134
CF-008	8	0.5635	0.5022	0.726	67.7658
CF-009	9	0.5639	0.502	0.7261	67.8128
CF-010	10	0.5401	0.5011	0.7012	67.9693
CF-011	11	0.5501	0.5028	0.7168	66.9660
CF-012	12	0.5412	0.5024	0.7215	64.2308
CF-013	13	0.5657	0.5018	0.72	69.3747
CF-014	14	0.5611	0.5029	0.7364	65.2649
CF-015	15	0.5413	0.5029	0.7261	63.3715
CF-016	16	0.561	0.5029	0.726	67.3130
CF-017	17	0.5612	0.5029	0.7264	67.2733
CF-018	18	0.5618	0.5029	0.7267	67.3331
CF-019	19	0.5611	0.5029	0.7268	67.1738
CF-020	20	0.5639	0.5011	0.7259	67.7949
BLANCO 1	21	0.5584		0.5595	1.0020
BLANCO 2	22	0.5511		0.542	0.9835
<b>(C1) Blank bag correction (final oven-dried weight/original blank bag weight)</b>					<b>0.9927</b>

**Anexo 2**  
**Salida SAS**

**Tabla 11**  
**Concentrado Comercial**  
**Análisis de varianza – inóculo fecal y del C1**

<b>Obs</b>	<b>Inóculo</b>	<b>VR</b>
1	1	80.46
2	1	79.07
3	1	80.86
4	1	79.50
5	1	80.72
6	1	80.02
7	1	80.36
8	1	80.73
9	1	82.30
10	1	80.50
11	1	81.95
12	1	80.03
13	1	80.41
14	1	81.36
15	1	80.43
16	1	82.35
17	1	81.89
18	1	80.40
19	1	81.91
20	1	80.25
21	2	80.52
22	2	79.24
23	2	81.36
24	2	79.28
25	2	82.57
26	2	80.08
27	2	81.49
28	2	81.78
29	2	83.44
30	2	81.40
31	2	81.98
32	2	81.43
33	2	81.33
34	2	81.35
35	2	81.73
36	2	82.44
37	2	81.92
38	2	80.10
39	2	81.97
40	2	80.22

**Tabla 12**  
**Procedimiento ANOVA**  
**Información del nivel de clase**

Clase	Niveles	Valores
Inóculo	2	12

**Variable dependiente: VR**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	2.56542250	2.56542250	2.56	0.1177
Error	38	38.03955500	1.00104092		
Total correcto	39	40.60497750			

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	2.56542250	2.56542250	2.56	0.1177

**Prueba del rango múltiple de Duncan para VR**

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	38
Error de cuadrado medio	1.001041
Número de medias	2
Rango crítico	0.6405

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Duncan Agrupamiento	Media	N	TRAT
A	81.2815	20	2
A	80.7750	20	1

Tabla 13

## Heno de Avena

## Análisis de varianza – inóculo fecal y del C1

Obs	Trat	VR
1	1	68.82
2	1	68.73
3	1	68.60
4	1	68.38
5	1	68.03
6	1	68.03
7	1	67.54
8	1	67.48
9	1	67.03
10	1	66.85
11	1	66.43
12	1	66.36
13	1	66.06
14	1	65.88
15	1	65.45
16	1	65.12
17	1	65.06
18	1	64.61
19	1	64.56
20	1	64.12
21	2	64.12
22	2	69.37
23	2	68.89
24	2	68.82
25	2	67.97
26	2	67.81
27	2	67.79
28	2	67.77
29	2	67.36
30	2	67.35
31	2	67.35
32	2	67.33
33	2	67.31
34	2	67.31
35	2	67.24
36	2	67.20
37	2	67.17
38	2	66.97
39	2	65.26
40	2	64.23

**Tabla 14**

**Heno de Avena**

**Análisis de varianza – inóculo fecal y del C1**

Procedimiento ANOVA  
Información del nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
Inóculo	2	12

**Procedimiento ANOVA**

**Variable dependiente: VR**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	1	3.29476000	3.29476000	1.61	0.2119
Error	38	77.66320000	2.04376842		
Total correcto	39	80.95796000			

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
TRAT	1	3.29476000	3.29476000	1.61	0.2119

**Procedimiento ANOVA**

**Prueba del rango múltiple de Duncan para VR**

Alfa	0.05
Error de grados de libertad	38
Error de cuadrado medio	2.043768
Número de medias	2
Rango crítico	0.9152

**Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.**

Duncan Agrupamiento	Media	N	TRAT
A	67.2310	20	2
A	66.6570	20	1

**Tabla 15**

**Prueba de Correlación – Estadística Descriptiva**  
**Concentrado Comercial – Inoculo C1 y Fecal**

Obs	CI	Fecal
1	80.46	80.52
2	79.07	79.24
3	80.86	81.36
4	79.50	79.28
5	80.72	82.57
6	80.02	80.08
7	80.36	81.49
8	80.73	81.78
9	82.30	83.44
10	80.50	81.40
11	81.95	81.98
12	80.03	81.43
13	80.41	81.33
14	81.36	81.35
15	80.43	81.73
16	82.35	82.44
17	81.89	81.92
18	80.40	80.10
19	81.91	81.97
20	80.25	80.22

**Procedimiento UNIVARIATE – C1**

<b>Momentos</b>			
N	20	Pesos de la suma	20
Media	80.775	Observaciones de la suma	1615.5
Desviación típica	0.91035274	Varianza	0.82874
Asimetría	0.29772915	Curtosis	-0.5216075
Suma de cuadrados no corregidos	130507.759	Suma de cuadrados corregidos	15.7461
Coefficiente de variación	1.12702289	Media de error estándar	0.20356106

**Medidas estadísticas básicas**

<b>Localización</b>		<b>Variabilidad</b>	
Media	80.77500	Desviación típica	0.91035
Mediana	80.48000	Varianza	0.82874
Moda		Rango	3.28000
Rango intercuantil			1.32000

**Observaciones extremas**

<b>Inferior</b>		<b>Superior</b>	
<b>Valor</b>	<b>Observación</b>	<b>Valor</b>	<b>Observación</b>
79.07	2	81.89	17
79.50	4	81.91	19
80.02	6	81.95	11
80.03	12	82.30	9
80.25	20	82.35	16

**Procedimiento UNIVARIATE - Fecal**

<b>Momentos</b>			
N	20	Pesos de la suma	20
Media	81.2815	Observaciones de la suma	1625.63
Desviación típica	1.08320808	Varianza	1.17333974
Asimetría	-0.3055455	Curtosis	-0.0731638
Suma cuadrados no corregidos	132155	Suma de cuadrados corregidos	22.293455
Coefficiente de variación	1.33266251	Media de error estándar	0.24221269

**Medidas estadísticas básicas**

<b>Localización</b>		<b>Variabilidad</b>	
Media	81.28150	Desviación típica	1.08321
Mediana	81.41500	Varianza	1.17334
Moda		Rango	4.20000
Rango intercuantil	1.57500		

**Procedimiento UNIVARIATE**

**Variable: Y**

**Observaciones extremas**

<b>Inferior</b>		<b>Superior</b>	
<b>Valor</b>	<b>Observación</b>	<b>Valor</b>	<b>Observación</b>
79.24	2	81.97	19
79.28	4	81.98	11
80.08	6	82.44	16
80.10	18	82.57	5
80.22	20	83.44	9

**Procedimiento CORR**

2 Variables: X Y

**Estadísticos simples**

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>Desviación Típica</b>	<b>Suma</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
X	20	80.77500	1616	79.07000	82.35000
Y	20	81.28150	1626	79.24000	83.44000

Coefficientes de correlación Pearson, N = 20  
Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0

	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>X</b>	1.00000	0.80923 <.0001
<b>Y</b>	0.80923 <.0001	1.00000

**Tabla 16**

**Prueba de Correlación – Estadística Descriptiva**  
**Concentrado Comercial – Inoculo C1 y Fecal**

<b>Obs</b>	<b>C1</b>	<b>Fecal</b>
1	68.82	69.37
2	68.73	68.89
3	68.60	68.82
4	68.38	67.97
5	68.03	67.81
6	68.03	67.79
7	67.54	67.77
8	67.48	67.36
9	67.03	67.35
10	66.85	67.35
11	66.43	67.33
12	66.36	67.31
13	66.06	67.31
14	65.88	67.24
15	65.45	67.20
16	65.12	67.17
17	65.06	66.97
18	64.61	65.26
19	64.56	64.23
20	64.12	63.37

Procedimiento UNIVARIATE  
Variable: C1

<b>Momentos</b>			
N	20	Pesos de la suma	20
Media	66.657	Observaciones de la suma	1333.14
Desviación típica	1.51513453	Varianza	2.29563263
Asimetría	-0.1067613	Curtosis	-1.2822394
Suma de cuadrados no corregidos	88906.73	Suma de cuadrados corregidos	43.61702
Coefficiente de variación	2.27303138	Media de error estándar	0.33879438

### Medidas estadísticas básicas

Localización		Variabilidad	
Media	66.65700	Desviación típica	1.51513
Mediana	66.64000	Varianza	2.29563
Moda	68.03000	Rango	4.70000
Rango intercuantil	2.74500		

### Procedimiento UNIVARIATE

Variable: Fecal

#### Observaciones extremas

Inferior		Superior	
Valor	Observación	Valor	Observación
64.12	20	68.03	6
64.56	19	68.38	4
64.61	18	68.60	3
65.06	17	68.73	2
65.12	16	68.82	1

### Procedimiento UNIVARIATE

Variable: Fecal

Momentos			
N	20	Pesos de la suma	20
Media	67.1935	Observaciones de la suma	1343.87
Desviación típica	1.43723153	Varianza	2.06563447
Asimetría	-1.3501394	Curtosis	2.27295551
Suma cuadrados no corregidos	90338.5759	Suma de cuadrados corregidos	39.247055
Coefficiente de variación	2.13894429	Media de error estándar	0.3213747

### Medidas estadísticas básicas

Localización		Variabilidad	
Media	67.19350	Desviación típica	1.43723
Mediana	67.34000	Varianza	2.06563
Moda	67.31000	Rango	6.00000
Rango intercuantil	0.61500		

**Procedimiento UNIVARIATE**

**Variable: Fecal**

**Observaciones extremas**

<b>Inferior</b>		<b>Superior</b>	
<b>Valor</b>	<b>Observación</b>	<b>Valor</b>	<b>Observación</b>
63.37	20	67.81	5
64.23	19	67.97	4
65.26	18	68.82	3
66.97	17	68.89	2
67.17	16	69.37	1

-----Inferior-----      -----Superior-----  
Valor Observación      Valor Observación

**Procedimiento CORR**

2 variables: X      Y

**Estadísticos simples**

<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>Desviación Media</b>	<b>Típica</b>	<b>Suma</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
X	20	66.65700	1.51513	1333	64.12000	68.82000
Y	20	67.19350	1.43723	1344	63.37000	69.37000

Coefficientes de correlación Pearson, N = 20

Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0

	<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>X</b>	1.00000	0.85100
<b>Y</b>	0.85100	1.00000
	<.0001	<.0001

**Anexo 3**

**Imágenes del Desarrollo Experimental**

**Figura 5**

**Colecta de inóculo del C1 – alpaca fistulada**



**Figura 6**

**Colecta de inóculo del C1 – retiro de la tapa de la fístula.**



**Figura 7**

**Colecta de inóculo del C1 a través de la fistula.**



**Figura 8**

**Colecta de inóculo fecal.**



**Figura 9**

**Medición del pH en los inóculos colectados**



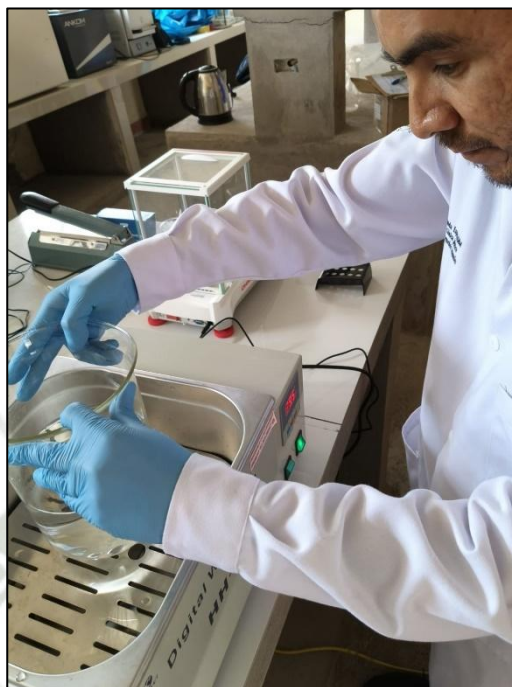
**Figura 10**

**Medición de la temperatura en los inóculos colectados.**



**Figura 11**

**Acondicionamiento de las soluciones para el proceso de incubación**



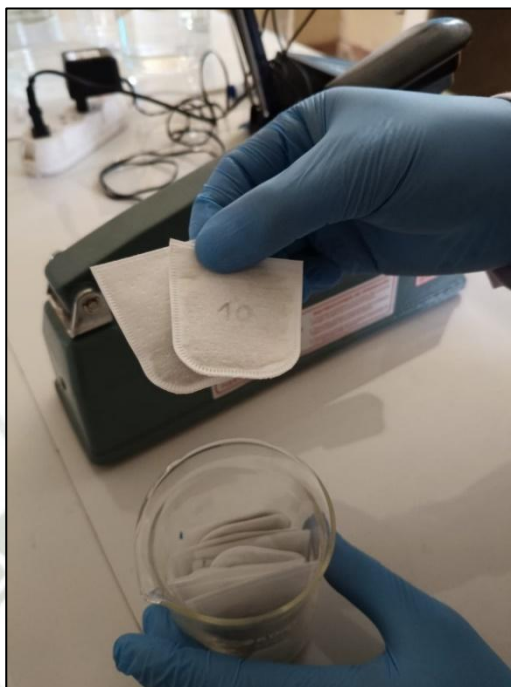
**Figura 12**

**Acondicionamiento de las soluciones en baño maría automatizado.**



**Figura 13**

**Acondicionamiento de los filtros F57 conteniendo los alimentos a digerir.**



**Figura 14**

**Sellado de los filtros F57 conteniendo los alimentos a digerir.**



**Figura 15**

**Acondicionamiento de los filtros F57 conteniendo los alimentos a digerir**



**Figura 16**

**Pesado de reactivos para el proceso de digestibilidad in vitro.**



**Figura 17**

**Frascos con las soluciones e inóculo para introducción en el Daisy II**



**Figura 18**

**Puesta en marcha del sistema de digestibilidad in vitro Daisy II.**



**Figura 19**

**Acondicionamiento de filtros luego del proceso de digestibilidad in vitro**



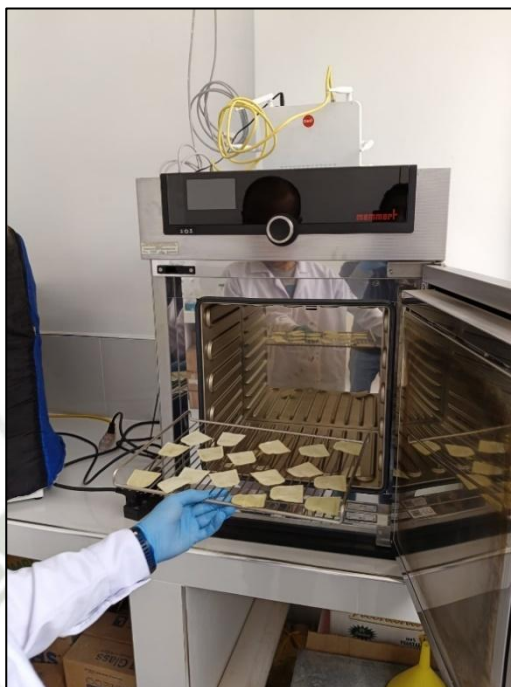
**Figura 20**

**Pesado de filtros luego del proceso de digestibilidad in vitro**



**Figura 21**

**Acondicionamiento de filtros luego del proceso de digestibilidad in vitro**



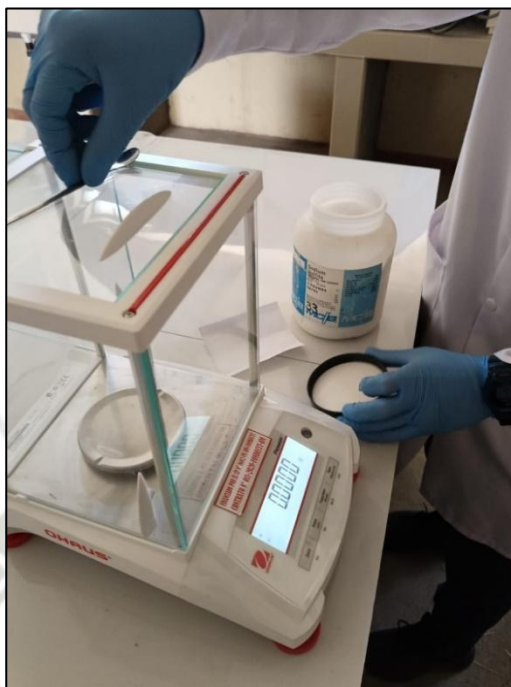
**Figura 22**

**Secado de filtros luego del proceso de digestibilidad in vitro**



**Figura 23**

**Pesado de filtros luego del proceso de digestibilidad in vitro**



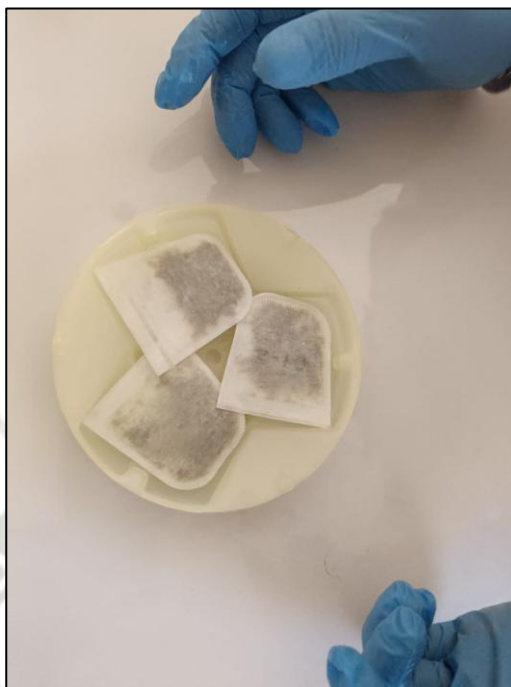
**Figura 24**

**Inicio del proceso de enjuague con la solución de FDN en el equipo Delta.**



**Figura 25**

**Filtros F57 con las extrusas de los alimentos previamente digeridos.**



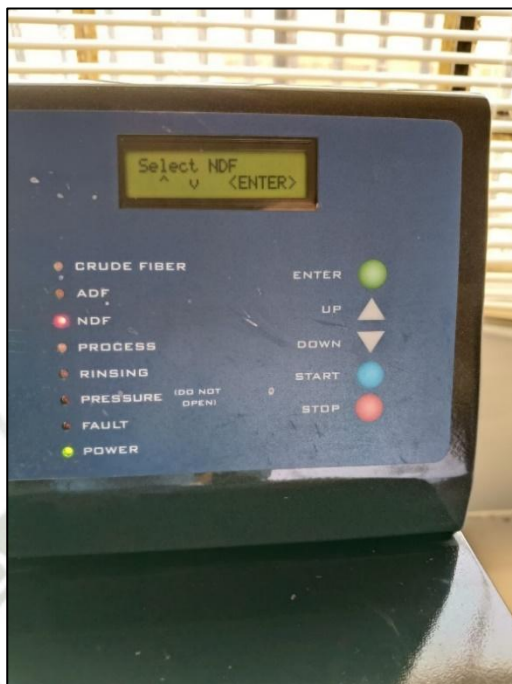
**Figura 26**

**Programación del sistema Delta para determinación del FDN.**



**Figura 27**

**Inicio del sistema Delta para determinación del FDN.**



**Figura 28**

**Pesado final para la determinación del coeficiente de digestibilidad in vitro.**

