



Universidad Católica de Santa María

**Facultad de Ciencias e Ingenierías Biológicas y Químicas
Escuela Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia**

**Evaluación nutricional, digestiva y metabólica de la broza de frijol
(*Phaseolus vulgaris*) como estrategia de suplementación para camélidos
sudamericanos andinos (CSA) en épocas de friaje en la comunidad
campesina de Chapiocco, Yanahuara, Arequipa, 2025**

Tesis presentada por:

Chavez Carazas, Giancarlo Luis

ORCID: 0009-0009-9088-3436

para optar el Título Profesional de Médico Veterinario y Zootecnista

Asesor:

Mg. Neira Huamani, Marcos Leandro

ORCID: 0000-0002-4703-5206

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 09 de Abril del 2026

Dictamen: 016686-C-EPMVZ-2026

Visto el borrador del expediente 016686, presentado por:

2020174641 - CHAVEZ CARAZAS GIANCARLO LUIS

Titulado:

**EVALUACIÓN NUTRICIONAL, DIGESTIVA Y METABÓLICA DE LA BROZA DE FRIJOL
(PHASEOLUS VULGARIS) COMO ESTRATEGIA DE SUPLEMENTACIÓN PARA CAMÉLIDOS
SUDAMERICANOS ANDINOS (CSA) EN ÉPOCAS DE FRIAJE EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE
CHAPIOCCO, YANAHUARA, AREQUIPA, 2025.**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA

**29616421 - OBANDO SANCHEZ ALEXANDER DANIEL
DICTAMINADOR**



**29470814 - ZEGARRA PAREDES JORGE LUIS
DICTAMINADOR**



**42960827 - MEDINA ESCALANTE CYNTHIA KARIN
DICTAMINADOR**



EVALUACIÓN NUTRICIONAL, DIGESTIVA Y METABÓLICA DE LA BROZA DE FRIJOL (*PHASEOLUS VULGARIS*) COMO ESTRATEGIA DE SUPLEMENTACIÓN PARA CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS ANDINOS (CSA) EN ÉPOCAS DE FRIAJE EN LA COMUNID

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	4%
	Trabajo del estudiante	
2	hispana.mcu.es	1%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.ucsm.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.unsa.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	hdl.handle.net	1%
	Fuente de Internet	
6	bibliotecadigital.fvet.edu.uy	<1%
	Fuente de Internet	
7	baixardoc.com	<1%
	Fuente de Internet	

Dedicatoria

A Dios. Gracias por crear la realidad que amo.

A quienes me dieron la vida. En su amor, mi existencia halla su puerto.

A mi hermano. Tus pasos en la arena han sido faro y brújula en mi andar.

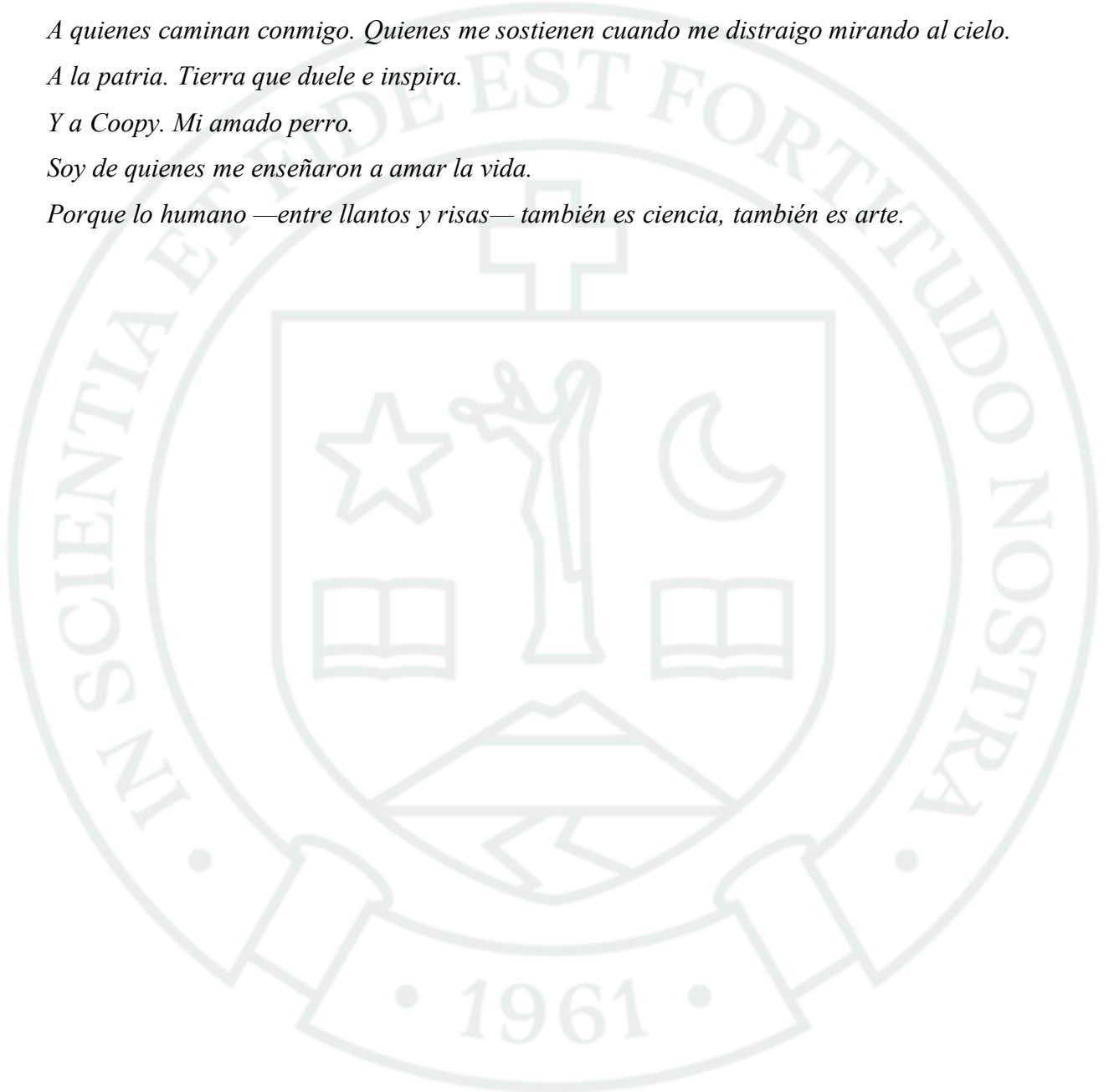
A quienes caminan conmigo. Quienes me sostienen cuando me distraigo mirando al cielo.

A la patria. Tierra que duele e inspira.

Y a Coopy. Mi amado perro.

Soy de quienes me enseñaron a amar la vida.

Porque lo humano —entre llantos y risas— también es ciencia, también es arte.



Agradecimientos

Expreso mi más profundo agradecimiento a la Universidad Católica de Santa María, por brindarme una sólida formación académica y humanística que guiará mi ejercicio profesional. Asimismo, extendiendo mi gratitud a cada uno de los docentes que impartieron cátedra en las aulas, módulos y laboratorios; sus enseñanzas y exigencia serán por siempre el pilar de nuestro caminar como sus estudiantes.

Un reconocimiento especial a mi asesor, el Dr. Marcos Neira, por su valioso apoyo, paciencia y orientación en el desarrollo de esta investigación. De igual manera, agradezco a los docentes que lideran el proyecto de Responsabilidad Social Universitaria, del cual forma parte este trabajo. Al Dr. Jorge Zegarra, mi gratitud por su soporte continuo, gestión y liderazgo logístico durante la fase experimental. Mi sincero agradecimiento al Dr. Ronnie Christian Delgado, por su invaluable guía y mentoría en la intervención quirúrgica de fistulación del camélido sudamericano, una experiencia que enriqueció profundamente mi formación profesional.

A las autoridades de nuestra casa de estudios, gracias por viabilizar la residencia dentro de las instalaciones del Fundo Chapiocco, permitiendo la ejecución óptima de este proyecto. En ese sentido, dedico un reconocimiento entrañable al Señor Melchor, personal del Fundo Huasacache, a quien debo mi gratitud por su abnegado apoyo en el cuidado integral y bienestar de los camélidos sudamericanos que conformaron nuestras unidades experimentales. Al personal de vigilancia del Fundo Chapiocco, gracias por su hospitalidad, protección y constante amabilidad, cualidades que superaron con creces el cumplimiento de sus funciones.

Mi gratitud al equipo humano del Laboratorio de Nutrición Animal en el Fundo La Banda - Huasacache, por su apoyo técnico en el procesamiento y análisis de las muestras, así como por su guía y orientación continua en cada etapa analítica.

Finalmente, a mi familia y amigos, quienes con su amor y respaldo incondicional sostuvieron mis pasos en este proceso. Y a todo aquel que, de manera directa o indirecta, sumó su esfuerzo para hacer realidad este trabajo de tesis; a todos ellos, mi más alta consideración y estima.

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el valor nutricional, respuesta digestiva y perfil metabólico de la broza de frijol (*Phaseolus vulgaris*) como suplemento para camélidos sudamericanos andinos (CSA) durante el friaje en Chapiocco, Arequipa. Se empleó un diseño de medidas repetidas con cuatro animales adultos (dos alpacas y dos llamas) a 4,300 msnm, evaluando una dieta base de pastoreo y una posterior suplementación con 2.4 kg/día de broza de frijol durante 15 días. El suplemento presentó 93.01% de materia seca, 5.81% de proteína cruda, 53.85% de FDN, 7.80% de cenizas y una alta densidad energética caracterizada por 31.92% de carbohidratos no fibrosos (CNF), superando a los pastos naturales degradados. El consumo promedio fue de 1.27 ± 0.49 kg/día (53% de aceptación). Bioquímicamente, hubo descensos significativos ($p < 0.05$) en albúmina ($p = 0.03$), proteínas totales ($p = 0.016$), calcio ($p = 0.02$) y fósforo ($p = 0.04$), manteniéndose dentro de los rangos fisiológicos. En contraste, la serie roja incrementó significativamente ($p < 0.05$): el hematocrito subió de 31.98% a 35.38% ($p = 0.022$) y la hemoglobina de 17.30 a 18.70 g/dL ($p = 0.048$). En el rumen, el pH se mantuvo estable (7.19–7.17), los ácidos grasos volátiles aumentaron (58.73 a 62.73 mEq/L) y el nitrógeno amoniacal permaneció constante (12.22 mg/dL). Se concluye que la broza de frijol es un recurso viable y eficaz que optimiza la fermentación, favorece la resiliencia hematológica ante el friaje y mantiene la homeostasis energética sin alteraciones metabólicas adversas.

Palabras clave: camélidos sudamericanos andinos, broza de frijol, suplementación alimenticia.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the nutritional value, digestive response, and metabolic profile of bean stover (*Phaseolus vulgaris*) as a supplement for Andean South American camelids (SAC) during the freezing season in Chapiocco, Arequipa. A repeated measures design was used with four adult animals (two alpacas and two llamas) at 4,300 m.a.s.l., evaluating a grazing baseline diet and subsequent supplementation with 2.4 kg/day of bean stover over 15 days. The supplement contained 93.01% dry matter, 5.81% crude protein, 53.85% NDF, 7.80% ash, and a high energy density characterized by 31.92% non-fibrous carbohydrates (NFC), surpassing degraded native grasses. Average intake was 1.27 ± 0.49 kg/day (53% acceptance). Biochemically, there were significant decreases ($p < 0.05$) in albumin ($p = 0.03$), total proteins ($p = 0.016$), calcium ($p = 0.02$), and phosphorus ($p = 0.04$), all remaining within physiological ranges. In contrast, the red blood cell series increased significantly ($p < 0.05$): hematocrit rose from 31.98% to 35.38% ($p = 0.022$) and hemoglobin from 17.30 to 18.70 g/dL ($p = 0.048$). In the rumen, pH remained stable (7.19–7.17), volatile fatty acids increased (58.73 to 62.73 mEq/L), and ammonia nitrogen remained constant (12.22 mg/dL). It is concluded that bean stover is a viable and effective resource that optimizes fermentation, promotes hematological resilience against freezing temperatures, and maintains energy homeostasis without adverse metabolic alterations.

Keywords: South American Andean camelids, bean stover, nutritional supplementation.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN1

CAPÍTULO I.....2

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO3

1.1. Enunciado del problema3

1.2. Descripción del problema3

1.3. Efecto en el desarrollo local y/o regional.....4

1.4. Justificación.....4

1.4.1. Aspecto general.....4

1.4.2. Aspecto tecnológico4

1.4.3. Aspecto social.5

1.4.4. Aspecto económico5

1.5. Objetivos6

1.5.1. Objetivo general.....6

1.5.2. Objetivos específicos.....6

1.6. Hipótesis.....6

CAPÍTULO II.....7

2. MARCO TEÓRICO8

2.1. Análisis bibliográfico8

2.1.1. Generalidades de los camélidos sudamericanos andinos (CSA)8

2.1.2. Adaptación, extensión y hábitat.....10

2.1.3. Valor y crianza en zonas altoandinas del Perú.....	11
2.1.4. Anatomía y fisiología digestiva.....	12
2.1.5. Digestibilidad, consumo y selectividad.....	17
2.1.6. Requerimientos nutricionales.....	17
2.1.7. Parámetros metabólicos sanguíneos.....	18
2.1.8. Parámetros hematológicos de la serie roja.....	20
2.1.9. Técnicas de valuación de la fermentación ruminal.....	21
2.1.9.1. Uso de sondas orogástricas.....	21
2.1.9.2. Fistulación.....	22
2.1.9.3. Parámetros de fermentación ruminal.....	22
2.1.10. Impacto del friaje en pastizales naturales altoandinos y estrategias de alimentación complementaria para CSA.....	24
2.1.11. Análisis nutritivo de los alimentos.....	25
2.1.12. Los residuos agrícolas fibrosos (RAF).....	27
2.1.13. Residuos de frijol.....	28
2.2. Antecedentes de investigación.....	30
2.2.1. Análisis de tesis.....	30
2.2.2. Análisis de trabajos de investigación.....	31
CAPÍTULO III.....	38
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
3.1. Materiales.....	39
3.1.1. Localización del trabajo.....	39
3.1.2. Condiciones termo-higrométricas durante la fase experimental.....	40
3.1.3. Material biológico.....	40
3.1.4. Instalaciones y materiales de laboratorio.....	40
3.1.5. Materiales de campo.....	42
3.1.6. Materiales de escritorio.....	42
3.1.7. Equipos.....	43
3.2. Métodos.....	43
3.2.1. Muestreo.....	43
3.2.1.1. Universo.....	43
3.2.1.2. Tamaño de muestra.....	43

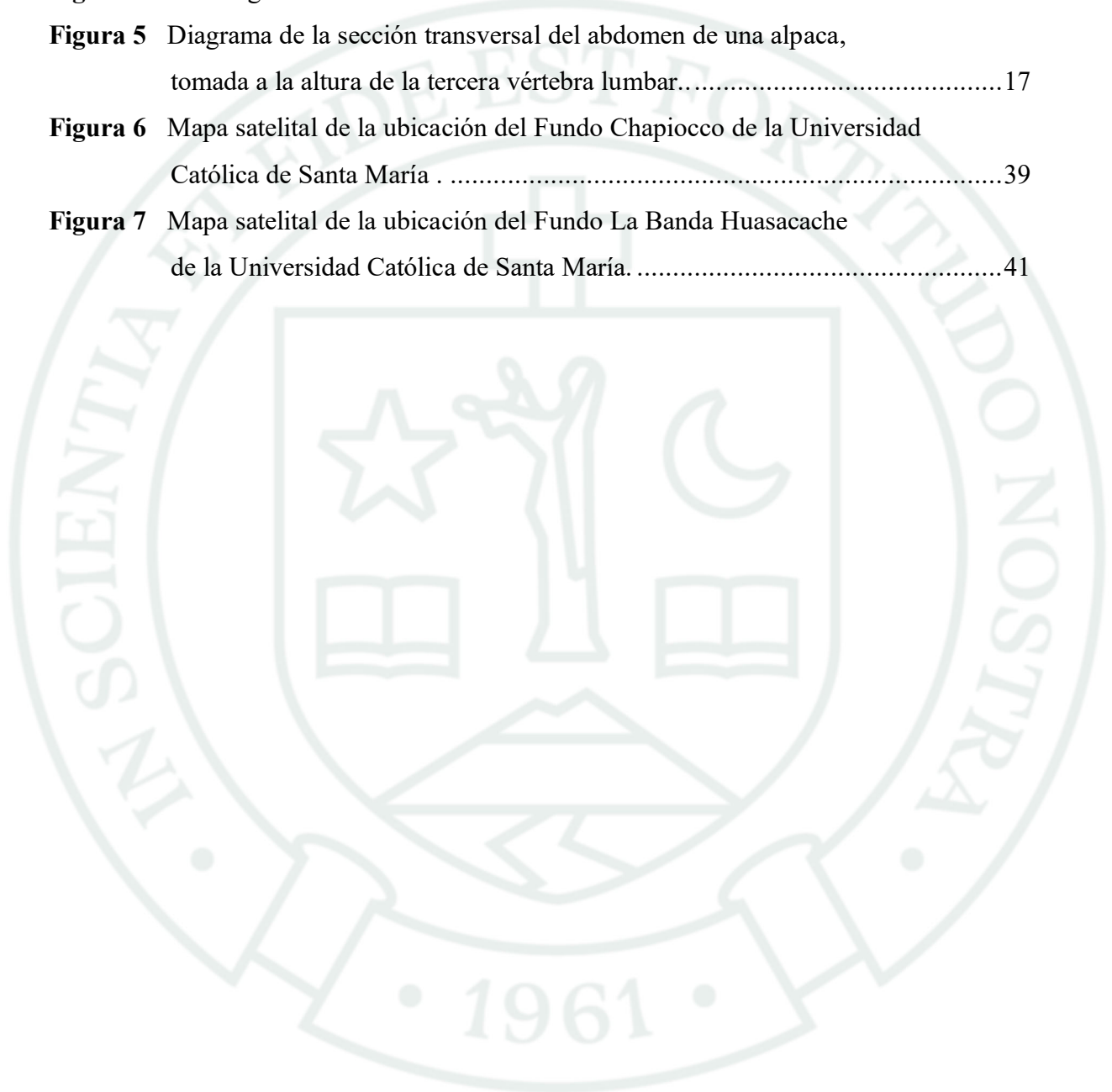
3.2.1.3. Procedimiento de muestreo	44
3.2.2. Métodos de evaluación	44
3.2.2.1. Metodología de la experimentación	44
3.2.2.2. Recopilación de información	48
3.3. Variables de respuesta	49
3.3.1. Variables independientes	49
3.3.2. Variables dependientes	49
3.4. Evaluación estadística	50
3.4.1. Diseño experimental	50
3.4.1.1. Unidades experimentales.....	50
3.4.1.2. Análisis estadístico	50
CAPÍTULO IV.....	51
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1. Resultados	52
4.1.1. Resultados bromatológicos	52
4.1.2. Consumo de alimento	53
4.1.3. Resultados bioquímicos sanguíneos.....	53
4.1.4. Resultados hematológicos	55
4.1.5. Parámetros fermentativos de líquido ruminal	57
4.2. Discusión.....	58
CAPÍTULO V.....	61
5. CONCLUSIONES.....	62
CAPÍTULO VI.....	63
6. RECOMENDACIONES.....	64
REFERENCIAS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Ubicación taxonómica de los camélidos sudamericanos andinos.....	9
Tabla 2	Fórmula dentaria decidua de los CSA.....	13
Tabla 3	Fórmula dentaria permanente de los CSA	13
Tabla 4	Comparativa entre los compartimientos de los camélidos sudamericanos y de los rumiantes verdaderos. Adaptado de Niheaus	15
Tabla 5	Valores nutricionales de paja de frijol común. Adaptado de Feedipedia	29
Tabla 6	Valores nutricionales de residuos de frijol según Rodruigues et al	29
Tabla 7	Temperatura ambiental registrada durante el período experimental	40
Tabla 8	Tabla de composición química nutricional de alimentos forrajes.....	52
Tabla 9	Tabla de consumo de suplemento	53
Tabla 10	Valores bioquímicos séricos antes y después de la suplementación (media \pm DE) y análisis mediante prueba t pareada	54
Tabla 11	Parámetros hematológicos antes y después de la suplementación con broza de frijol.....	56
Tabla 12	Comparación de promedios hematológicos con prueba de t pareada y cambio porcentual.....	57
Tabla 13	Tabla de resultados de parámetros fermentativos de líquido ruminal	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Extensión de las diferentes especies de camélidos sudamericanos.	10
Figura 2	Esquema anatómico digestivo de los camélidos sudamericanos andinos..	14
Figura 3	Las superficies internas del primer y segundo compartimentos.	16
Figura 4	Estómago de una llama visto desde la cara lateral derecha.....	16
Figura 5	Diagrama de la sección transversal del abdomen de una alpaca, tomada a la altura de la tercera vértebra lumbar.....	17
Figura 6	Mapa satelital de la ubicación del Fundo Chapiocco de la Universidad Católica de Santa María	39
Figura 7	Mapa satelital de la ubicación del Fundo La Banda Huasacache de la Universidad Católica de Santa María.	41



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Matriz de resultados	73
Anexo 2 Secuencia fotográfica	81



INTRODUCCIÓN

La crianza de camélidos sudamericanos andinos (CSA), representados por la alpaca y la llama, constituye la base fundamental de la economía y la cultura en las zonas altoandinas del Perú. En comunidades como Chapiocco, situada a más de 4,000 msnm, esta actividad pecuaria es la principal fuente de sustento para familias que dependen de la venta de fibra y carne para su supervivencia. Sin embargo, la sostenibilidad de este sistema productivo se ve amenazada anualmente por el fenómeno climático del friaje, que ocurre entre los meses de junio y agosto. Durante este periodo, las temperaturas extremadamente bajas y las heladas provocan un daño estructural y una pérdida severa de la composición nutricional de los pastizales naturales, reduciendo drásticamente la disponibilidad de forraje de calidad.

Esta escasez alimentaria deriva en consecuencias críticas para los rebaños, tales como una marcada pérdida de peso corporal, disminución de la fertilidad y una mayor susceptibilidad a enfermedades, lo que perjudica la economía local al mermar la productividad. Si bien los camélidos poseen una extraordinaria adaptación evolutiva a la hipoxia y al clima extremo, el déficit nutricional estacional supera en ocasiones su capacidad de resistencia fisiológica. Ante la limitada accesibilidad y el elevado costo de los suplementos comerciales en zonas rurales remotas, se hace imperativo identificar y validar alternativas alimenticias locales que sean técnica y económicamente viables.

La presente investigación se centra en el aprovechamiento de los residuos agrícolas fibrosos (RAF), específicamente la broza de frijol (*Phaseolus vulgaris*), como una estrategia de suplementación nutricional durante la época crítica. A pesar de que el uso de subproductos agrícolas es una práctica conocida en rumiantes convencionales, existe un vacío de conocimiento específico sobre el valor nutricional y metabólico de la broza de frijol para alpacas y llamas en condiciones de altura.



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. Enunciado del problema

Evaluación nutricional, digestiva y metabólica de la broza de frijol como estrategia de suplementación para camélidos sudamericanos andinos (CSA) en épocas de friaje en la comunidad campesina de Chapiocco, Yanahuara, Arequipa 2025.

1.2. Descripción del problema

La crianza de camélidos sudamericanos altoandinos (CSA) es una fuente económica primordial para las comunidades altoandinas del distrito de Chapiocco. Durante los meses de junio-agosto estas experimentan un problema recurrente debido a fenómenos climáticos extremos propios de la época de friaje, en la que las bajas de temperatura limitan la disponibilidad de pastos naturales. La combinación de temperaturas extremadamente bajas, junto con las heladas, genera un daño de origen estructural en el forraje, además de provocar también una pérdida de su composición nutricional, lo que derivará en su deterioro. Esta escasez de disponibilidad forrajera supone una amenaza en la alimentación de los camélidos sudamericanos andinos, comprometiendo su salud y, como consecuencia, la economía local se ve perjudicada por la disminución de la productividad de los camélidos sudamericanos andinos. Estos, aunque se encuentran adaptados a tales condiciones climáticas, sufren una pérdida de peso muy importante, menor grado de producción de fibra, menor fertilidad y una mayor susceptibilidad a las enfermedades. Esta situación se vuelve crítica ya que la disponibilidad de suplementos alimenticios comerciales en zonas rurales distantes es escasa.

Ante esta situación, surge la posibilidad de utilizar residuos agrícolas fibrosos, es decir, subproductos de cosecha, siendo la broza de frijol una alternativa a esta problemática.

1.3. Efecto en el desarrollo local y/o regional

Esta investigación pretende aportar una solución nutricional contrastada con broza de frijol que, por ser directamente aplicable al contexto local, pueda incrementar los ingresos familiares y la productividad de los camélidos, fortalecer la seguridad alimentaria y la resiliencia de las comunidades altoandinas frente al friaje, e incentivar el uso sostenible de los recursos, todo lo cual apoyaría el desarrollo regional.

1.4. Justificación

1.4.1. Aspecto general

La presente investigación trata un vacío de conocimiento para el valor nutricional y digestivo de residuos agrícolas como un recurso alimenticio para Camélidos Sudamericanos Andinos (CSA) dentro de un contexto específico, el de las zonas altoandinas afectadas por el friaje. Existen trabajos que complementan este vacío de conocimiento, como las investigaciones sobre el aprovechamiento de los subproductos agrícolas en rumiantes, pero se observa que la información específica, contextualizada, a partir del aprovechamiento de la broza de frijol para alpacas y llamas es, en general, escasa.

Estos tratamientos de subproductos agrícolas representan una alternativa de enorme potencial en épocas de escasez de forraje.

Estos datos ampliarán la nueva base de conocimiento existente sobre nutrición de camélidos, para una mejor comprensión de la adaptabilidad digestiva de estos intereses y sus requerimientos nutricionales en situaciones de estrés ambiental.

1.4.2. Aspecto tecnológico

El presente estudio pretende realizar la validación de la broza de frijol como una tecnología nutricional alternativa de bajo coste y de disponibilidad local. Además, se implica el desarrollo de un protocolo de aprovechamiento y la aplicación de metodologías avanzadas de laboratorio, tales como la evaluación de perfiles metabólicos y la evaluación de la fermentación ruminal mediante el uso de animales fistulados. Dicha técnica de fistulación, aunque común en

bovinos y ovinos, no lo es con respecto a camélidos sudamericanos, lo que confiere al presente trabajo una importante relevancia tecnológica y metodológica. La validación de esta estrategia implica que se espera mejorar la productividad animal frente a temporadas climatológicas adversas.

1.4.3. Aspecto social.

La investigación está motivada por una necesidad latente de la comunidad campesina de Chapiocco, cuyo productor de CSA posee un alto riesgo de perder grandes cantidades del ganado en la campaña (frijaje) por la falta de alternativas alimenticias. Al desarrollarse con condiciones ambientales similares a las de la zona (mismo clima, praderas y altitud), los resultados de esta investigación estarán muy próximos a la realidad de los productores locales. La posibilidad de validar la broza de frijol como un suplemento nutricional les brindará a las familias productoras criadoras una alternativa práctica y asequible de garantizar la condición corporal de sus animales en tiempos difíciles, reduciendo así sus pérdidas económicas y contribuyendo en términos generales a su autonomía alimentaria familiar.

1.4.4. Aspecto económico

La broza de frijol como residuo agrícola resulta ser una alternativa alimenticia económica respecto a la alternativa de la compra de forrajes o concentrados comerciales en época de friaje, el cual permitiría reducir los costos en la alimentación de las unidades productivas familiares que constituyen un recurso limitante comúnmente en los pequeños productores de CSA. Para que tales unidades productivas puedan reducir gastos y destinar esos recursos en cubrir otras áreas, dado que el impacto del friaje sobre la condición corporal puede ser mejorado, se espera mantener la producción de fibra y de carne, ya que por la deficiencia alimentaria que afecta a los animales por la reducción del alimento dado el friaje se pierden también las oportunidades de ingresar a obtener ingresos. El aprovechamiento de este recurso contribuiría al fortalecimiento de la economía local en un modelo de aprovechamiento de los recursos, el cual

sumaría a la sustentabilidad económica de la cadena productiva de camélidos sudamericanos.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar el valor nutricional, digestivo y metabólico de la broza de frijol como estrategia de suplementación en Camélidos Sudamericanos Andinos (CSA) durante épocas de friaje en Chapiocco, Yanahuara, Arequipa.

1.5.2. Objetivos específicos

- Evaluar la composición nutricional de la broza de frijol.
- Determinar el consumo voluntario y el nivel de aceptabilidad de la broza de frijol como suplemento alimenticio en camélidos sudamericanos andinos bajo condiciones de friaje
- Analizar el impacto de la suplementación con broza de frijol en los parámetros bioquímicos sanguíneos (cuerpos cetónicos, colesterol, proteínas totales y fraccionadas, urea, calcio, fósforo y transaminasas) y hematológicos de los Camélidos Sudamericanos Andinos en estudio.
- Determinar la influencia de la suplementación con broza de frijol en los parámetros de fermentación ruminal de las llamas fistuladas.

1.6. Hipótesis

Dado que las condiciones de friaje en la zona altoandina de Arequipa provocan una severa escasez de forrajes naturales, resultando en un déficit nutricional que compromete el estado metabólico y la condición corporal de los CSA; y considerando antecedentes de investigación que han permitido comprender a los residuos agrícolas fibrosos como mejoras en su digestibilidad, es probable que la suplementación nutricional con broza de frijol en camélidos sudamericanos andinos durante las épocas de friaje contribuya a mantener la estabilidad metabólica y nutricional.



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Análisis bibliográfico

2.1.1. Generalidades de los camélidos sudamericanos andinos (CSA)

Los camélidos sudamericanos andinos (CSA) son los únicos ungulados domesticados en el continente americano, y fue la región andina quien proporcionó el sustento a las únicas comunidades pastoriles en el Nuevo Mundo precolombino (1). La familia *Camelidae* tuvo sus raíces en América del Norte durante el eoceno, hace aproximadamente 40 a 50 millones de años. La separación de Lamini y Camelini (las tribus de camélidos del Nuevo y Viejo Mundo, respectivamente) se remonta a hace 11 millones de años. La teoría más aceptada redacta su migración hacia Sudamérica y Asia hace aproximadamente 2 a 3 millones de años, siendo a este último por el Estrecho de Bering (2–4). Los andes centrales del Perú han sido el principal objetivo de la arqueología y los estudios sobre la domesticación de los camélidos en América del sur que da inicio hace unos 5000 a 6000 años. En consecuencia, esta zona ha sido ampliamente reconocida como el núcleo de la domesticación de camélidos, mientras que las otras zonas de los Andes han sido presentadas como receptores secundarios (5).

Con respecto a su clasificación taxonómica, los CSA pertenecen al orden *Artiodactyla*, suborden *Tylopoda*, y familia *Camelidae*, comprendiendo cuatro especies, siendo silvestres la vicuña (*Vicugna vicugna*) y el guanaco (*Lama guanicoe*); y domésticos la llama (*Lama glama*) y la alpaca (*Vicugna pacos*). Resulta importante resaltar que, históricamente y de forma errada, se le consideró a los CSA como auquénidos. El taxón *Auchenia* ha sido taxonómicamente invalidada y es necesario erradicar su uso con respecto a los CSA (6).

De igual forma, existe la discusión sobre el sí considerar a los CSA como rumiantes o pseudorumiantes. Algunos autores se refieren a los CSA como rumiantes por su naturaleza en el proceso de la rumina, mas no por su clasificación taxonómica. En ese aspecto, se hace alusión a pseudorumiante, esto debido a diferencias remarcadas con los llamados rumiantes verdaderos. Si bien ambos realizan el proceso de la rumia, se distinguen del suborden *Pecora* (rumiantes) especialmente por la estructura de los compartimentos digestivos, la falta de cuernos o astas, la existencia de auténticos caninos separados de los premolares a través del diastema,

la estructura de las piernas posteriores que permite a los Camélidos reposar en el vientre con las rodillas inclinadas y los garrones hacia atrás, y que poseen una almohadilla plantares en vez de cascos (6,7).

Tabla 1. Ubicación taxonómica de los camélidos sudamericanos andinos.

Nivel taxonómico	Clasificación	Referencia
Reino	<i>Animalia</i>	Son seres animales.
Tipo	<i>Cordata</i>	Posee cordón nervioso, columna vertebral.
Clase	<i>Mamalia</i>	Son vivíparos, las hembras presentan mamas, las crías se alimentan de leche materna.
Orden	<i>Artiodactyla</i>	Las extremidades terminan en dos dedos con pezuñas simétricas.
Suborden	<i>Tylopoda</i>	Posee dedos pares con almohadillas plantares.
Familia	<i>Camelidae</i>	Carecen de cuernos.
Especies		<i>Lama glama</i> (Llama) <i>Lama guanicoe</i> (Guanaco) <i>Vicugna pacos</i> (Alpaca) <i>Vicugna vicugna</i> (Vicuña)

Dentro de las especies domésticas, existen variedades fenotípicas muy marcadas y con denominaciones en quechua. En el caso de las llamas, encontramos las variedades, Ch'aku (o lanuda) que presenta una abundante cobertura de fibra, así como fibras más finas, y además tiene una cobertura de fibra que va hasta la parte anterior de la cabeza, orejas y las extremidades; y Q'ara o (pelada) con un aspecto robustos, poco desarrollo de la fibra corporal, y ausencia de fibra en la cara o las extremidades. De igual forma en las alpacas, existen dos variedades, Huacaya, siendo la más comercializada, tiene un vellón denso, esponjoso y que llega a cubrir todo el cuerpo, así como las patas, la frente y mejillas, formando una formación que puede cubrir los ojos; y Suri, que fibras de mayor longitud, finas, sedosas y lisas, que cuelgan desde la línea media a ambos lados del cuerpo del animal.

Las cuatro especies de camélidos sudamericanos (CSA) comparten el mismo cariotipo ($2n=74$) y tienen la capacidad de cruzarse entre sí, generando crías fértiles, aunque esto no suceda de forma natural.

2.1.2. Adaptación, extensión y hábitat

A través de miles de años, los camélidos sudamericanos andinos han sido objeto de una profunda transformación y adaptación tanto fisiológica y morfológica a su llegada al inhóspito ambiente de América del Sur, siendo la adaptación más importante, según estudios, a la hipoxia de la altura, atribuyéndose características únicas a esta adaptación como arterias pulmonares de una pared muy delgada, un aumento en la producción de monóxido de carbono pulmonar como potente vasodilatador, hasta la forma peculiar de sus eritrocitos elípticos que puede facilitar su circulación a través de pequeños capilares (8).

Los camélidos sudamericanos se han extendido a los países andinos de Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Paraguay y Perú, teniendo este último la cantidad mayoritaria de CSA y siendo el único país con las cuatro especies de camélidos sudamericanos. Es también importante destacar su extensión actual a países europeos, asiáticos y de América del Norte.



Figura 1. Extensión de las diferentes especies de camélidos sudamericanos. (1)

Con respecto a su hábitat, los CSA han sido asociados con la puna. Esta es una pradera de gran altura, entre los 3,500 y 4,600 m.s.n.m. Allí se desarrolla toda una serie de formaciones de plantas. Se le conoce como puna clásica, y se sitúa básicamente en las tierras altas que se extienden desde el Perú Central, hasta el de Bolivia, el Noroeste Argentino y la parte septentrional de Chile. Debido a su gran altura y su cercanía al Ecuador, la puna es una zona biológica única que se extiende entre el límite de y la línea de las nieves. La topografía de la puna es muy variada y puede presentarse en forma de grandes llanos, de anchos valles abiertos, de cordilleras aplanadas, colinas onduladas, escarpaduras y picos dentados (9).

2.1.3. Valor y crianza en zonas altoandinas del Perú

Los camélidos sudamericanos andinos son fuente importante de ingresos económicos para el sector pecuario de las poblaciones andinas de Sudamérica ya que proporcionan productos como fibra, carne (charqui), piel (tacllas), leche, estiércol (combustible) y cuero. Además, son utilizados en otras áreas como el transporte de mercancías y el turismo. Este aporte actual indudable al ser humano lo fue también a las culturas precolombinas.

El año 2024, declarado por la FAO como el Año Internacional de los Camélidos, subraya su importancia global para la seguridad alimentaria, la sostenibilidad ambiental y el patrimonio cultural (10).

Bonavia (9) escribe, “[...] los Camélidos silvestres y domésticos son, sin ninguna duda, los grandes mamíferos herbívoros nativos más importantes de Sudamérica. Su dominio y su contribución capital al hombre en tiempos pasados y presentes es única”.

En el Perú la crianza de camélidos no es solo una actividad pecuaria, sino que representa la principal fuente de ingresos y sustento para más de 82,000 pequeños criadores, especialmente en las zonas altoandinas. Para muchas familias, esta actividad puede constituir entre el 70% y el 80% de su ingreso familiar anual. Perú se consolida como el país con la mayor población de camélidos sudamericanos a nivel global. Se estima que alberga aproximadamente 7 millones de individuos entre alpacas, llamas, vicuñas y guanacos, según datos de julio de 2024 (11).

Perú es el líder indiscutible en la población mundial de alpacas. En 2020, el país concentraba el 72% de la población global de alpacas. Más recientemente, en agosto de 2022, el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) reportó que Perú alberga el 87% de la población mundial de alpacas (12).

Las principales regiones productoras de alpaca en Perú, según las cifras de producción de 2020 y datos poblacionales de 2007, son Puno (61.3% de la producción en 2020; 54% de la población nacional en 2007), Cusco (13.3% de la producción), Arequipa (7.5% de la producción), Huancavelica, Apurímac, Ayacucho y Pasco (13).

Las tendencias recientes en la producción de alpaca muestran cierta variabilidad. Entre enero y mayo de 2024, la producción de alpaca a nivel nacional experimentó un crecimiento del +0.71%, con incrementos en Puno (+0.48%), Cusco

(+0.88%), Arequipa (+3.89%), Ayacucho (+0.51%), Huancavelica (+0.19%) y Pasco (+0.37%). Sin embargo, un informe del INEI de julio de 2024 indicó una disminución del -4.48% en la producción de fibra de alpaca en comparación con julio de 2023, lo que sugiere fluctuaciones a corto plazo o disparidades regionales (14).

La población de llamas en Perú se estimó en 1,092,771 individuos en 2020, lo que representaba el 32.52% de la población mundial de llamas. Los departamentos con mayor producción de fibra de llama en 2020 fueron Puno (56.4%), Arequipa (10.1%), Cusco (8.2%), Junín (7.1%) y Apurímac (6.0%). Datos de julio de 2024 muestran una disminución del -0.23% en la producción de llamas en comparación con julio de 2023 (13,14).

Según Mamani (15) la crianza de camélidos en las zonas altoandinas del Perú se caracteriza por una dualidad entre prácticas tradicionales arraigadas y la creciente adopción de enfoques modernos, así como por la influencia de políticas y programas de conservación.

La mayor parte de la población de alpacas en Perú está en manos de pequeños productores que, en su mayoría, siguen prácticas de crianza tradicionales que en la actualidad enfrentan una serie de desafíos como un manejo precario, rebaños mixtos y cruzamientos no controlados, sobrepastoreo y erosión, renovación genética limitada, altas tasas de mortalidad, entre otros (15).

2.1.4. Anatomía y fisiología digestiva

El sistema digestivo es uno de los más intensamente estudiados dentro de todos los sistemas orgánicos de los camélidos sudamericanos andinos.

Las llamas y las alpacas pastorean selectivamente plantas de alta calidad en ambientes donde la disponibilidad general de nutrientes es baja. Una característica anatómica que contribuye a esta capacidad es la hendidura labial que divide el labio superior en mitades. Cada mitad puede moverse de forma independiente, lo que permite a los camélidos investigar meticulosamente las posibles fuentes de alimento y luego procurar alimentos selectos. El labio inferior es menos móvil y menos sensible que el labio superior (16).

Los CSA poseen 16 dientes deciduas, y de 28 a 30 dientes permanentes. Los caninos adultos y los incisivos superiores juntos forman los dientes de lucha (16). El patrón dental se detalla a continuación.

Tabla 2. Fórmula dentaria decidua de los CSA.

	Incisivos	Molares
Superior	0	3 (2)
Inferior	3 (2)	2 (2)

Tabla 3. Fórmula dentaria permanente de los CSA

	Incisivos	Caninos	Premolares	Molares
Superior	1 (2)	1 (2)	2 (2)	3 (2)
Inferior	3 (2)	1 (2)	1 (2)	3 (2)

Al igual que los verdaderos rumiantes, los camélidos utilizan la masticación para descomponer las partículas grandes de alimento. La masticación inicial de los camélidos es superficial y consiste en masticar lo suficiente para mezclar la comida con la saliva y formar un bolo para tragar. Para disminuir aún más el tamaño de las partículas y aumentar el área de superficie para la digestión microbiana, el bolo se impulsa desde el primer compartimento gástrico por el esófago hasta la boca, donde se vuelve a masticar y se mezcla con la saliva. A diferencia de los rumiantes, que tienden a retener un bolo en un lado durante varias masticaciones, los camélidos parecen mover el bolo de un lado a otro con cada masticación (16).

Desde el punto de vista de la anatomía digestiva, los *Tylopoda* experimentaron una evolución autónoma frente a los rumiantes verdaderos del suborden *Pecora*. Se observan variaciones en el número de cámaras y la organización de los pre-estómagos. En relación a los *Bovidae*, sin embargo, siguen utilizando mecanismos parecidos en cuanto a su habilidad para regurgitar el bolo alimenticio no degradado y generar energía a partir de los ácidos grasos volátiles (AGV) derivados de la fermentación en la cámara principal de fermentación o rumen (9).

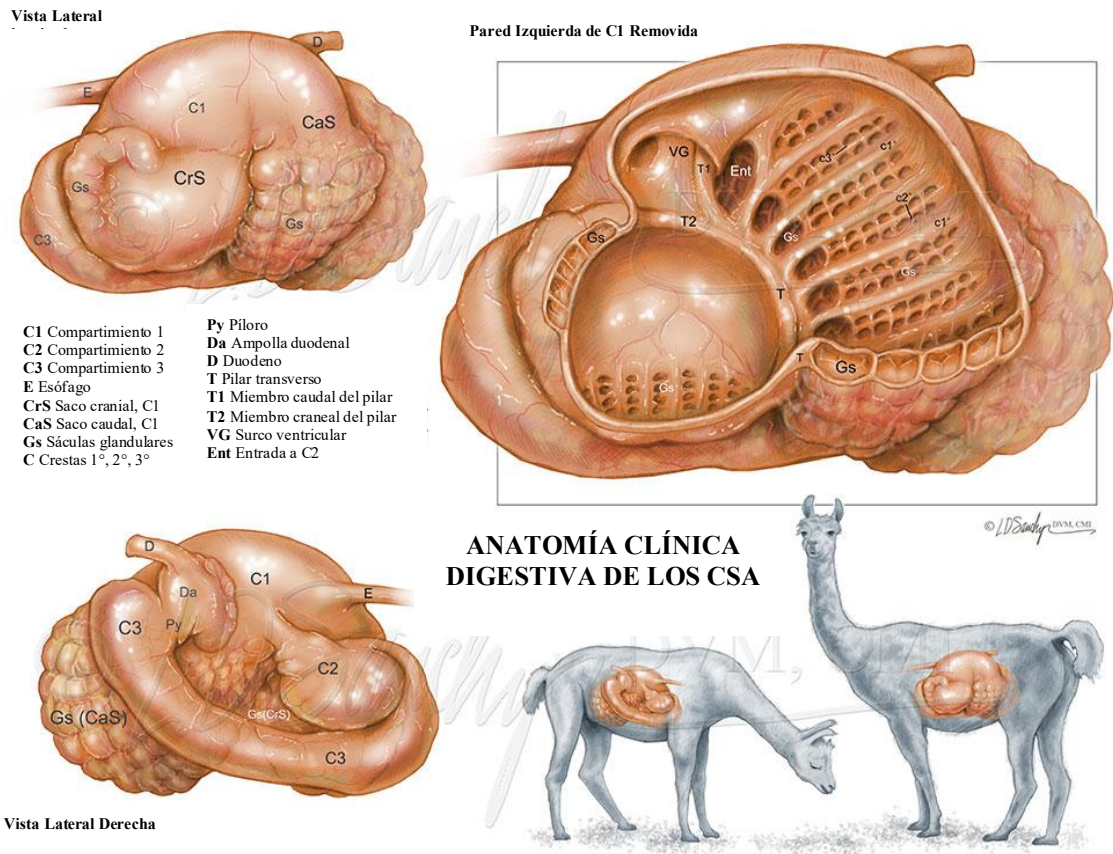


Figura 2. Esquema anatómico digestivo de los camélidos sudamericanos andinos.
Adaptado de Sawchyn Medical Illustration (17).

La denominación de los compartimientos digestivos de los CSA aún es controvertida. Sin embargo, gran cantidad de autores prefieren utilizar la denominación de C1, C2 y C3. El volumen estomacal de los compartimientos representa el 83, 6 y 11% del volumen total, respectivamente (18).

Aunque a menudo se considera que los compartimientos estomacales del camélido son análogos a los del rumiante, existen claras diferencias morfológicas y fisiológicas. Entre las principales diferencias se encuentra la ausencia de papilas en las regiones no glandulares de C1 y C2 y la presencia de tejido glandular en los tres compartimientos gástricos (19).

Tabla 4. Comparativa entre los compartimientos de los camélidos sudamericanos y de los rumiantes verdaderos. Adaptado de Niheaus (19).

		Rumiante verdadero			Camélido sudamericano
Rumen-retículo	Función	Cámara	de	C1	Fermentación, absorción de agua, AGV y otros solutos
	Contenido	Estratificado			Contenido homogéneo
	Papilas	Papilas	solo	en	Áreas no glandulares sin papilas
	Frecuencia de contracción	2-4/min			3-5/min
	pH	5.8-7.0			6.4-7.0
Omaso	Función	Reducción	de	C2	Fermentación, absorción de agua, AGV y otros solutos
	pH	5.8-7.0			6.4-7.0
Abomaso	Función	Secreción de jugos gástricos	para	C3	Absorción de agua y solutos (proximal 4/5) digestivo (distal 1/5) enzimático, ácido.
	pH	3.0			6.5 (craneal). <2-3 (distal)

El intestino delgado generalmente es flácido y contiene solo una pequeña cantidad de líquido y bolos de alimentación semisólidos. Se sabe muy poco sobre la fisiología del intestino delgado del camélido. Se presume que el ciclo de líquidos y electrolitos, la digestión y la absorción de nutrientes ocurren de manera muy similar a como en otros mamíferos.

El ciego del camélido es bastante pequeño (alrededor de 7 a 10 cm de largo en las alpacas adultas y de 15 a 20 cm en las llamas adultas), y generalmente contiene algunos puñados de material pastoso. La porción craneal del colon generalmente se llena con material de alimentación pastoso que se deshidrata gradualmente para formar gránulos fecales (16). Como se ha podido observar con los compartimientos, la eficiente absorción de agua en los camélidos ha permitido su adaptabilidad a ambientes con escasez de agua.

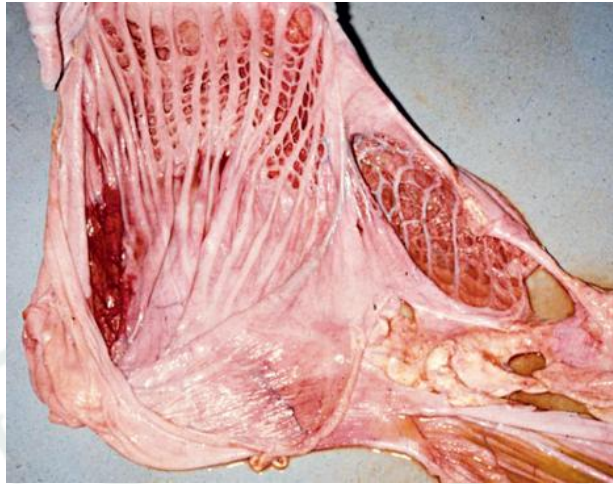


Figura 3. Las superficies internas del primer (izquierda) y segundo (derecha) compartimentos. Obsérvese la ausencia de papilas y la presencia de tabiques musculares que dividen los sáculos o células glandulares, así como la abertura más amplia hacia las células

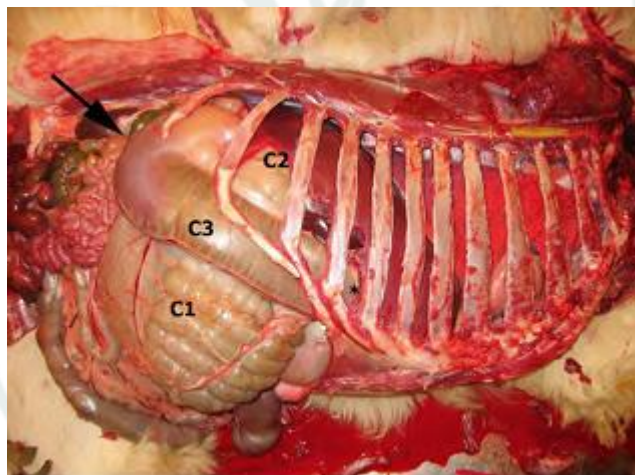


Figura 4. Estómago de una llama visto desde la cara lateral derecha. El lado derecho de la imagen es craneal y el lado izquierdo, caudal. Se ven los tres compartimentos estomacales. C3 se encuentra en primer plano en esta vista derecha y es tubular. Niheaus (19)

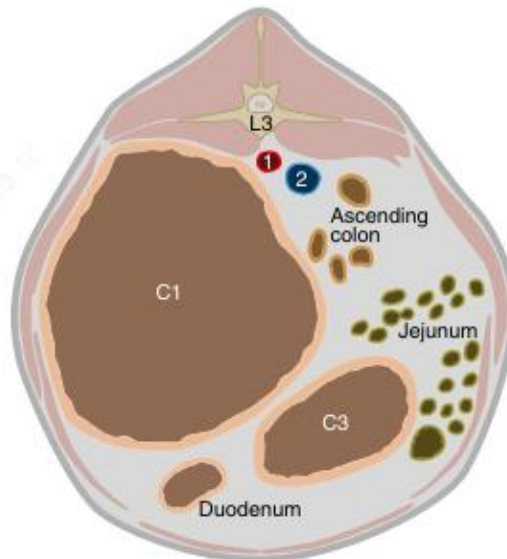


Figura 5. Diagrama de la sección transversal del abdomen de una alpaca, tomada a la altura de la tercera vértebra lumbar. Nótese que el compartimento C1 ocupa la mayor parte del lado izquierdo del abdomen. El compartimento C3 se observa en la parte ventral derecha del abdomen. El yeyuno y el colon ascendente también ocupan el lado derecho del abdomen. 1. Aorta abdominal, 2. Vena cava caudal. Niheaus (19).

2.1.5. Digestibilidad, consumo y selectividad

Los camélidos sudamericanos (CSA) tienen mejor digestibilidad para la materia de baja calidad que los ovinos. Además, tienen mejor eficiencia digestiva a dietas con baja y media calidad nutricional y con una gran cantidad de fibra, debido al tiempo de retención del alimento en el sistema digestivo, las frecuentes contracciones del estómago, la alta producción de saliva y la existencia de sacos glandulares, lo que favorece la maceración y absorción de nutrientes (20).

Las alpacas tienen un consumo de materia seca por unidad de peso vivo 1.8%, y las llamas 2.0%, alrededor un 30% inferior al de los ovinos. También tienen menor consumo de agua, debido al menor consumo de materia seca. Las alpacas son altamente selectivas, adaptan su dieta a la disponibilidad de gramíneas y herbáceas (20).

2.1.6. Requerimientos nutricionales

El inicio de los estudios relacionados con los requerimientos nutricionales se remonta a los años 90. A partir de allí, se han sugerido una serie de requerimientos nutricionales en CSA tanto en mantenimiento, diferentes etapas de gestación, crecimiento, etc. Sin embargo, se demuestra una escasez de información en este

ámbito, por lo que durante mucho tiempo se ha asumido que no existen diferencias en los requerimientos de nutrientes entre llamas y alpacas. Algunas investigaciones establecieron un requerimiento levemente superior de proteínas de mantenimiento para las alpacas en comparación con la investigación inicial y un incremento en la necesidad de proteínas para las llamas (21,22). Además, indican que las necesidades de proteínas no podían ser aplicadas de manera equitativa a las llamas y a las alpacas. Inclusive, se afirma que existe una variación en los requerimientos nutricionales dependiendo de la altitud a la que se encuentre (22).

Si bien es importante para criadores y veterinarios conocer los requerimientos nutricionales en alpacas y llamas, es necesario entender las limitaciones que se presenta, su variabilidad y proceder con cautela.

2.1.7. Parámetros metabólicos sanguíneos

a. Cuerpos cetónicos

Los cuerpos cetónicos son un grupo de sustancias químicas orgánicas que son metabolitos de grasa intermediarios. Son un producto alternativo de la oxidación de ácidos grasos libres en el hígado, y el proceso de formación se denomina cetogénesis. Surgen cuando el cuerpo obtiene energía de las moléculas de grasa en lugar de extraerla de la glucosa. Algunas de las moléculas de este último se pueden convertir en cuerpos cetónico cuando el hígado metaboliza rápidamente los ácidos grasos en acetil-CoA (23).

b. Colesterol

El colesterol es el esteroide más común en el cuerpo. Es un precursor importante de los ésteres de colesterol, los ácidos biliares y las hormonas esteroides. Se deriva de fuentes dietéticas y se sintetiza *in vivo* a partir de acetil-CoA en el hígado (sitio principal) y otros tejidos (intestinos, glándulas suprarrenales y órganos reproductivos). La medición del colesterol puede dar una indicación de la función hepática, las enfermedades gastrointestinales y los trastornos metabólicos (24).

c. Glucosa

Es fuente de energía para las células del cuerpo. Su concentración en la sangre (glicemia) es un indicador directo del estado energético del animal.

Los rumiantes verdaderos mantienen un nivel de glucosa en sangre más bajo (40 – 60 mg/dL) que el de los CSA. Esto se debe a que la fermentación microbiana de azúcares/almidones dietéticos resulta en una presentación mínima de glucosa al intestino delgado para su absorción. Así, los rumiantes se basan principalmente en la gluconeogénesis (a partir del propionato) para la disponibilidad de glucosa. Los camélidos sudamericanos andinos mantienen un nivel de glucosa en sangre más alto (85 - 160 mg/dL) y tienen una respuesta hiperglucémica extrema (> 200 mg/dL) al estrés. Se cree que la alta glucosa en sangre de los camélidos se debe a una resistencia moderada a la insulina y una gluconeogénesis hepática continua (25). Esto podría explicar la alta susceptibilidad de los camélidos a la lipidosis hepática durante el estrés y la reducción de la ingesta de alimentos.

d. Proteínas totales y fraccionadas

Son análisis de sangre que miden la cantidad de albúmina y globulinas, indicadores de la salud general, función hepática y renal, y estado nutricional del animal. Los valores bajos pueden indicar mala nutrición, enfermedades hepáticas o renales, mientras que los altos suelen ser por deshidratación. Se utilizan para diagnosticar y monitorear tratamientos o dietas, y sus resultados guían la evaluación nutricional y el manejo clínico

e. Nitrógeno ureico en sangre (NUS)

El NUS es el producto final del metabolismo de las proteínas. El exceso de nitrógeno que no es utilizado por el cuerpo se convierte en urea en el hígado y se libera al torrente sanguíneo. En los rumiantes, el NUS

refleja el balance entre la cantidad de nitrógeno disponible en la dieta y la capacidad de los microorganismos del rumen para utilizarlo.

Los CSA tienen niveles de NUS más altos que los rumiantes verdaderos. En estos últimos refleja el nivel de proteína en la dieta, en los camélidos se debe a una menor tasa de recambio de urea y excreción renal. Por lo tanto, los camélidos reciclan más urea al estómago anterior para su uso por microorganismos para producir proteína bacteriana, lo que les permite sobrevivir en condiciones difíciles consumiendo forrajes de baja calidad (25).

2.1.8. Parámetros hematológicos de la serie roja

La hematología es la rama dedicada al estudio de la sangre, los órganos hematopoyéticos y las enfermedades relacionadas con sus componentes celulares y plasmáticos. El estudio de la serie roja constituye un pilar fundamental para el diagnóstico del estado de salud, la evaluación del rendimiento productivo y la comprensión de los mecanismos de adaptación biológica a los ecosistemas altoandinos. Los CSA, que incluyen a la llama (*Lama glama*), la alpaca (*Vicugna pacos*), la vicuña (*Vicugna vicugna*) y el guanaco (*Lama guanicoe*), poseen características hematológicas únicas que los diferencian drásticamente de otros mamíferos domésticos, fruto de millones de años de evolución bajo condiciones de hipoxia hipobárica, frío extremo y radiación solar intensa (23).

a. Conteo de Eritrocitos

El recuento de eritrocitos, también denominados glóbulos rojos o hematíes. Representa la cuantificación absoluta de estas células por unidad de volumen de sangre. En términos teóricos, el eritrocito es el vehículo primordial para el transporte de gases respiratorios, gracias a su contenido rico en hemoglobina (23).

Una de las adaptaciones más impresionantes de los CSA es su elevado recuento de glóbulos rojos por microlitro de sangre, el cual es significativamente superior al de los humanos y otros animales domésticos. Además, los eritrocitos elípticos de los camélidos poseen una resistencia excepcional a la fragilidad osmótica. Esto les permite

sobrevivir a cambios bruscos en la osmolaridad plasmática, como los que ocurren durante la rehidratación rápida después de un periodo prolongado de sed, pudiendo expandirse hasta una forma esferoidal sin romperse (25).

b. Hemoglobina (Hb)

La hemoglobina es una metaloproteína compleja de color rojo, presente en el citoplasma del eritrocito, cuya función es el transporte reversible de oxígeno desde los pulmones a los tejidos y de dióxido de carbono desde los tejidos a los pulmones.

c. Hematocrito (HCT)

El hematocrito, también conocido como Volumen Globular Aglomerado (VGA), es el porcentaje del volumen total de una muestra de sangre que está ocupado por los glóbulos rojos.

d. Índices Eritrocitarios (VCM y HCM)

El Volumen Corpuscular Medio (VCM) indica el tamaño promedio de los hematíes, mientras que la Hemoglobina Corpuscular Media (HCM) mide la cantidad de hemoglobina presente en cada eritrocito. Estos parámetros son fundamentales para clasificar posibles estados anémicos y evaluar la calidad de la eritropoyesis.

2.1.9. Técnicas de valuación de la fermentación ruminal

2.1.9.1. Uso de sondas orogástricas

El contenido de C1 se puede obtener mediante el paso de una sonda orogástrica con aspiración mediante una jeringa dosificadora o una bomba estomacal invertida. Este método puede provocar contaminación salival, lo que afecta significativamente a algunos analitos, incluidos el pH, el Na, el K. La paracentesis del primer compartimento evita por completo la contaminación salival y, por lo tanto, es el método preferido para la determinación del pH (26).

2.1.9.2. Fistulación

La nutrición en animales rumiantes, al ser un proceso más complejo que en animales monogástricos, ha requerido históricamente de procesos más complejos e invasivos para comprender esta área a profundidad.

El contenido ruminal es una mezcla compleja de alimento, agua, productos de fermentación y organismos vivos como bacterias, hongos y protozoos, que varían con el tiempo y con diferentes alimentos. Al ser imposible reproducir este complejo sistema en el laboratorio, la fistulación quirúrgica y canulación del rumen es una potente herramienta para el estudio (in vivo e in situ) (27).

De forma básica, esta técnica de naturaleza quirúrgica consiste en la gastrotomía y posterior colocación de una cánula permanente que actúa como ventana y que permite acceso al rumen del animal para desarrollar investigación y análisis del sistema digestivo (28). Este procedimiento tiene sus orígenes en 1822 con el Dr. William Beaumont, quien observó la secreción, motilidad y vaciado del estómago en un paciente con fístula gástrica, que fue causada por una lesión por arma de fuego después de la curación (27).

Esta técnica ha permitido la generación de conocimiento amplia y valiosa con respecto a la digestibilidad ruminal y valor nutritivo de los alimentos. Su aplicación ha sido limitada muchas veces a instituciones de ámbito investigativo y universidades.

Si bien existe una gran mayoría de procedimientos de fistulación de animales rumiantes, en especial bovinos, la técnica es aplicable a los CSA, teniendo esta la denominación de fistulación o gastrotomía permanente del C1, existiendo una brecha de investigación entre los CSA y los rumiantes verdaderos. La aplicación de dicha técnica implica el amplio conocimiento en la anatomía digestiva.

2.1.9.3. Parámetros de fermentación ruminal

La caracterización de los parámetros ruminales es fundamental para comprender la eficiencia de la utilización de los diferentes tratamientos alimenticios. Los parámetros del rumen relacionados con la eficiencia alimenticia han sido objeto de investigación desde los últimos 20 años. Herd *et al* (29)

estimaron que la función del rumen contribuye con el 23% de la variación de la eficiencia alimentaria en bovinos.

a. pH ruminal

El pH del rumen constituye un indicador físico esencial en la digestión y la nutrición de los rumiantes. No existe consenso al asignar un valor único o rango de pH en el que se optimice el funcionamiento ruminal (30) por lo que varía con la dieta y la actividad fermentativa. Los camélidos con una dieta que consiste predominantemente en forraje deben tener un pH del líquido preestomacal entre 6,4 y 7,0; es decir, los AGV existen predominantemente en sus formas iónicas (16).

La rápida tasa de absorción de AGV observada en los CSA, que puede ser dos o tres veces mayor que la del rumen en rumiantes, es un factor importante que estabiliza el pH del estómago anterior favoreciendo la fermentación microbiana continua y, por lo tanto, la producción y disponibilidad de AGV (31).

b. Concentración de ácidos grasos volátiles (AGV)

Los AGV son los productos finales del metabolismo microbiano anaerobio. El animal mantiene las condiciones para la fermentación, amortiguando los cambios de pH y eliminando por absorción los AGV del tracto digestivo. El beneficio que supone para el hospedador deriva de la energía química contenida en ellos. En los rumiantes y otros grandes herbívoros, los AGV son los combustibles energéticos más importantes (32).

En los camélidos sudamericanos, y en condiciones normales de fermentación, el acetato, el propionato y el butirato son los principales AGV producidos, en una proporción de aproximadamente 4:1:1 antes de la alimentación y aproximadamente 7:2:1 unas pocas horas después de la alimentación (16). La concentración absoluta de AGV después de la alimentación tanto en camélidos del Nuevo Mundo como en camélidos del Viejo Mundo es de aproximadamente

140 milimoles por litro (mmol/L), que es de 30% a 40% más alta que en rumiantes en condiciones similares (16).

No existen diferencias importantes entre los CSA y los rumiantes en los ácidos grasos volátiles (AGV) producidos durante la fermentación de los alimentos. Se han reportado concentraciones de acetato, propionato y butirato del 68%, 19,7% y 12%, respectivamente, para llamas alimentadas a niveles de mantenimiento (31).

c. Concentración de nitrógeno amoniacal

Los CSA tienen una tremenda capacidad para sobrevivir consumiendo alimentos con bajo contenido de nitrógeno como resultado de una mayor eficiencia de reciclaje de nitrógeno a través de la pared del estómago anterior, manteniendo así un mayor nitrógeno amoniacal ($\text{NH}_3\text{-N}$) contenido en los compartimentos estomacales C1-C2 para la síntesis microbiana (33).

Pese a la vital relevancia del amoníaco para el desarrollo de los microorganismos del rumen, nunca pueden emplear totalmente el amoníaco existente en el rumen, dado que hay un límite en la cantidad que estos microorganismos pueden mantener. La producción de proteínas en el rumen llega a su pico cuando el nivel de amoníaco en este se sitúa entre 5 y 8 mg por cada 100 ml. Alrededor del 12-13 % es la concentración de proteína bruta en la alimentación donde ocurre el crecimiento más alto de microorganismos. Sobre estos niveles, la cantidad de amoníaco se eleva sin que se incremente la producción de proteínas microbianas (34).

2.1.10. Impacto del friaje en pastizales altoandinos y estrategias de alimentación complementaria para CSA.

Los pajonales y bofedales constituyen la fuente principal de alimento para los camélidos que habitan en altas altitudes. No obstante, estos ecosistemas son profundamente impactados por las variaciones en las precipitaciones, la temperatura y el deshielo.

En el año 2019, los ecosistemas de pastizal andinos en el Perú constituyeron aproximadamente el 13,04% del territorio nacional (16'869,100.91 ha), y comprende el pajonal de puna seca y el pajonal de puna húmeda (35). Sin embargo, se estima que, para final del siglo, los pastizales andinos pasen a constituir solo 4 millones de hectáreas.

La capacidad de producción de los pastizales, también conocida como biomasa, está directamente influenciada por la conducta climática del área. Los eventos climatológicos extremos como las heladas constituyen uno de los principales factores que disminuyen la biomasa. Debido a ello, el principal problema causante de esta disminución en los CSA es el déficit alimentario, lo que conlleva evidentemente a una pérdida en la productividad. Diversas estrategias de alimentación han sido implementadas en comunidades alpaqueras, como la alimentación con heno de avena, con pastos cultivados, y con concentrado.

2.1.11. Análisis nutritivo de los alimentos

El análisis nutricional de los alimentos en laboratorio es importante para seleccionar mejor los suplementos a utilizar, de tal manera que se optimice la producción. Un análisis típico de forraje incluye la medición de los varios componentes. Es importante conocer la significancia de cada uno de ellos. Sin embargo, son la materia seca (MS) y la proteína cruda (PC) los principales determinantes de la calidad del forraje (25).

a. Materia seca (MS)

Es en la materia seca donde se encuentran los nutrientes esenciales. Convertimos a una base de MS porque los alimentos varían enormemente en su contenido de humedad. Además, permite comparar el contenido de nutrientes de diferentes alimentos sobre una base igual: el contenido de nutrientes sobre una base de MS es siempre superior que en una base "como alimentada" (humedad incluida), en la que los nutrientes son "diluidos" por el agua. El uso de MS facilita la formulación de dietas y el seguimiento de la ingesta de MS en animales (25).

La materia seca se calcula como la diferencia entre el peso total y el contenido de humedad. Generalmente se obtiene mediante secado al horno.

b. Proteína Cruda (PC)

En los piensos, la proteína bruta se calcula como nitrógeno mineral multiplicado por 6,25 (se supone que las proteínas de los piensos típicos contienen un 16% de nitrógeno en promedio) (36).

En los rumiantes, el contenido de proteína a menudo se mide para tener en cuenta el nitrógeno no proteico (NNP) que se convierte en proteína microbiana por los microbios del rumen. La PC varía mucho entre forrajes y es un buen reflejo de la calidad del forraje porque, a medida que los forrajes maduran, el contenido de fibra aumenta y la PC disminuye (25).

El valor del nitrógeno mineral se obtiene por el método Kjeldahl, o por un método que da resultados similares después de la corrección, como el método Dumas (36).

c. Extracto Etéreo (EE)

Grasa bruta, extraída por éter dietílico o éter de petróleo, generalmente sin hidrólisis previa.

d. Fibra Detergente Neutra (FDN)

A medida que aumenta la fibra, la calidad del forraje disminuye. Se utilizan dos medidas para evaluar el contenido de fibra del forraje.

La FDN mide los componentes totales de la pared celular de la planta, que incluyen la hemicelulosa, celulosa y lignina. A medida que la planta madura, la producción de pared celular (y la FDN) aumenta, disminuyendo la ingesta de materia seca del animal y aumentando la masticación. En consecuencia, la FDN se utiliza para predecir la ingesta de alimentos. Cuando la FDN aumenta, la ingesta voluntaria de alimento disminuye. Sin embargo, si la FDN de la

ración es demasiado baja, pueden ocurrir otros problemas de salud como la acidosis (25).

e. Fibra Detergente Ácida (FDA)

La FDA es un subconjunto de FDN y contiene los componentes de la pared celular de difícil digestión (celulosa y lignina) y cenizas. La FDA se utiliza para predecir el contenido energético y la digestibilidad de los piensos (25,36).

f. Cenizas

Es un método analítico (parte del análisis proximal de Weende) donde una muestra de alimento. El procedimiento se basa en incinerar una mufla a una temperatura muy alta hasta que todo el material orgánico se quema y volatiliza por completo, quedando residuo inorgánico como los minerales.

2.1.12. Los residuos agrícolas fibrosos (RAF)

Como resultado de la actividad agrícola, se produce un elevado volumen de desechos. Algunos, como raíces, hojas o frutos, se degradan y se incorporan al suelo, potenciando las características agronómicas del suelo cultivado. Otros desechos que se incorporan a los tallos y, por lo general, a la parte aérea de la planta, se utilizan en el sector ganadero e industrial.

La utilización de estos materiales ofrece otros beneficios adicionales. Por un lado, disminuye la rivalidad entre la alimentación animal y la humana, dado que se reduce la utilización en el ganado de materias primas que pueden ser empleadas en la nutrición humana, como los cereales. Además, la utilización de estos residuos y subproductos vegetales en la alimentación de los animales contribuye a mitigar el problema de contaminación que causa su acumulación, lo que conlleva a un beneficio para el medio ambiente. Algunos de estos componentes incluyen compuestos secundarios (compuestos fenólicos, antioxidantes...) que pueden llegar a ser beneficiosos.

2.1.13. Residuos de frijol

El frijol común (*Phaseolus vulgaris*) es una leguminosa de estación cálida que se desarrolla mejor en condiciones subtropicales y templadas (36).

Los residuos agrícolas de frijol después de su cosecha reciben otros nombres como paja de frijol, residuo de frijol común (RFC), broza de frijol, broza de poroto, paja de poroto, etc. En el presente estudio, el término “broza de frijol” se usará indistintamente para referirse al residuo poscosecha del cultivo de *Phaseolus vulgaris*.

La composición de los residuos del cultivo de frijol depende de las proporciones de tallos, cáscaras de vainas y hojas: los tallos y las cáscaras de vainas tienen un bajo contenido de proteínas (8% y 4% de MS, respectivamente) mientras que las hojas son mucho más ricas en proteínas (20% de MS) (37). La paja de frijol común contiene aproximadamente 5-11% de proteína en la MS y es rica en fibra (fibra bruta 38-45% MS). Sin embargo, al igual que otras pajitas de leguminosas, tiene un mejor valor nutritivo que las pajitas de cereales debido a un mayor contenido de proteínas y un menor contenido de fibra, aunque la composición es variable: por ejemplo, se informó que la MS de la paja de frijol rica en tallos contenía 61% de FDN frente al 51% de una paja rica en hojas (38).

Con respecto a su digestibilidad, en una comparación de subproductos de frijol poscosecha, el contenido de EM de los residuos se estimó en 9,2 (tallos), 8,5 (hojas) y 10 (vainas) MJ/kg MS, que son valores cercanos a los del heno de pasto de calidad media. La proteína de la hoja fue altamente degradable en el rumen (70%) (37). Debido a un mayor contenido de proteínas y fibra, la paja de frijoles tiene una mayor digestibilidad de MS in vitro y un contenido de energía metabolizable que las pajuelas de cereales. La paja rica en hojas tiene una mayor digestibilidad de MS in vitro que la paja rica en tallos (74 vs. 68%) y una mayor EM (8.0 vs. 7.3 MJ/kg MS, estimada por el método de producción de gas) (38).

Tabla 5. Valores nutricionales de paja de frijol común. Adaptado de Feedipedia (36).

Análisis principal	Unidad	Pro-medio	Desviación estándar	Min	Máximo	Número de muestras
Materia seca	% tal como es alimentado	88.0	4.1	81.2	94.4	8
Proteína bruta	% MS	7.1	1.8	4.8	10.7	13
Fibra bruta	% MS	41.0	2.9	38.1	45.2	6
FDN	% MS	69.7	12.3	51.1	86.4	7
FDA	% MS	48.5	7.8	37.3	56.9	8
Lignina	% MS	8.0	1.4	5.4	9.3	6
Extracto de éter	% MS	1.1	0.5	0.7	1.8	6
Ceniza	% MS	8.9	1.4	7.2	12.1	13
Energía bruta	MJ/kg MS	17.9				
Calcio	g/kg MS	9.0	2.4	6.8	11.5	3
Fósforo	g/kg MS	1.1	0.2	0.9	1.3	3
Potasio	g/kg MS	23.5		18.0	29.0	2

Tabla 6. Valores nutricionales de residuos de frijol según Rodríguez et al (39). Adaptado.

Nutriente	
MS (%)	86,88
MM^{1x}	5,30
MO^{2x}	94, 70
PBx	23,12
NNP^y	21,47
NIDN^{3y}	18,75
NIDA^{4y}	12,64
EE^x	1,67
FDN^x	16,53
CNF^x	56,11
FDA^x	10,37
Lignina^x	1,15

1. Materia mineral. 2. Materia orgánica. 3. Nitrógeno indigestible em detergente neutro. 4. Nitrógeno indigestible em detergente ácido. x. % de materia seca. y. % de nitrógeno total.

2.2. Antecedentes de investigación

2.2.1. Análisis de tesis

- **Rodriguez, A. (2005)** en su tesis **“RESÍDUO PROVENIENTE DO BENEFICIAMENTO DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) EM RAÇÕES PARA BOVINOS”** presentada a la Universidad Federal de Viçosa, en MINAS GERAIS – BRASIL

Tuvo como objetivo estudiar la sustituibilidad de ingredientes convencionales (amiréia de maíz y harina de soya) por residuo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en raciones para bovinos — novillos y vacas lecheras — a partir de tres experimentos consecutivos. La metodología seguida, fue la utilización de diseños de cuadrado latino 4x4, teniendo a los animales castrados y fistulados, bajo dietas isonitrogenadas formuladas siguiendo el NRC, y evaluaciones de consumo, digestibilidad, parámetros ruminales, excreción de nitrógeno, producción microbiana y, en el caso de vacas, producción y composición de leche, los resultados más significativos evidencian que la incorporación de amiréia de frijol común no limitó la ingestión ni la digestibilidad de los novillos cuando se compararon con dietas estándares basadas en el maíz aunque la eficiencia microbiana se presentó mayor cuando fueron alimentados con la ración de maíz solamente. En el segundo experimento, la progresiva inclusión de harina de soya cruda a expensas de la harina de soya cruda evidenció limitaciones nutricionales en concentraciones muy elevadas en donde se observaron efectos lineales y cuadráticos en las digestibilidad y metabolismo del nitrógeno. En el tercer experimento realizado con vacas lecheras, la inclusión de frijol común impactó en el rendimiento productivo en términos de leche, sin embargo, la composición porcentual de la leche y la eficiencia alimentaria permanecieron afectadas. En este sentido, el autor concluye que el residuo de frijol común se perfila como una opción alternativa de interés en la formulación de dietas para bovinos, especialmente en novillos, mas su uso en vacas lecheras debe ser moderado debido a la disminución del rendimiento que se observó con altas inclusiones (40).

2.2.2. Análisis de trabajos de investigación

- **Dejene *et al.* (2021)** en su trabajo de investigación “**Yields and the nutritive value of early harvested common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop residues for ruminants**”

Evaluaron el rendimiento y la calidad de la parte no cosechada del cultivo de frijol común en la época de llenado de vainas verdes para su posible utilización en la alimentación de rumiantes (tallos, hoja y pared de vaina). Se analizaron un total de 9 genotipos y en 2 ambientes agroecológicos en el sur de Etiopía, Boricha y Mandura. Las variables medidas fueron: rendimientos de semilla y de residuos (HPW); porcentajes de tallo, hoja y pared de vaina en HPW; contenido de nitrógeno (N), en fibra detergente neutra (FDN), en fibra detergente ácida (FDA), digestibilidad in vitro de materia seca (IVDMD), rendimiento de materia seca digestible (DDM) y rendimiento de N. Entre sus resultados más destacados, señalar la variación de calidad en términos de N, FDN, FDA e IVDMD entre los genotipos; y la correlación positiva entre rendimiento de semilla y calidad de HPW (N, DDM). En conclusión, los residuos de frijol común cosechados, en épocas de llenado de vainas, poseen un alto valor nutritivo y podrían ser aprovechados como forraje para rumiantes. La estrategia aquí planteada podría contribuir a mejorar el sistema de producción agrícola-ganadera en regiones con pocos recursos (41).

Palabras clave: calidad del alimento, leguminosas alimenticias, forraje, fracciones morfológicas, Etiopía

- **Tassoni *et al.* (2020)** en su artículo de investigación “**State-of-the-Art Production Chains for Peas, Beans and Chickpeas—Valorization of Agro-Industrial Residues and Applications of Derived Extracts**”

Investigaron la valorización de residuos agroindustriales de leguminosas (como frijoles) para aplicaciones sostenibles, incluyendo la nutrición animal, con especial atención a su potencial como fuente de proteínas vegetales. Realizaron una revisión bibliográfica y un análisis de la composición química de subproductos derivados del procesamiento de frijoles, además de una evaluación de su aplicabilidad en sistemas de producción animal, considerando digestibilidad, contenido proteico y beneficios medioambientales. Los resultados indican que los residuos de frijoles contienen cantidades importantes de proteínas y fibras, lo que los hace adecuados como complemento en dietas de rumiantes. La paja y los residuos secos de frijoles pueden ser utilizados como forraje alternativo, contribuyendo a reducir los costos de alimentación. Concluyen que el uso de residuos de frijoles como recurso alimenticio para rumiantes es viable y beneficioso, tanto económica como ecológicamente. Sin embargo, requiere ajustes nutricionales para asegurar el equilibrio de la dieta animal, pero representa una solución prometedora para enfrentar la escasez de recursos forrajeros (42).

Palabras clave: subproductos agroindustriales; biorresiduos; biomasa; fibras; legumbres; proteínas vegetales

- **Mekasha *et al.* (2002)** en su trabajo de investigación **“Evaluation of non-conventional agro-industrial by-products as supplementary feeds for ruminants: in vitro and metabolism study with sheep”**

Realizaron la evaluación in vitro e in vivo de diez tipos de piensos no convencionales comúnmente utilizados por los ganaderos urbanos y periurbanos del sistema de cría y se evaluaron in vitro siguiendo los procedimientos estándar. Después de los estudios in vitro, se seleccionaron cinco tipos de alimentos no convencionales para estudios in vivo en función del resultado in vitro, la disponibilidad y el amplio uso por parte de los agricultores. Los tratamientos incluyeron Tela atella (residuo de cervecería tradicional), Katicala atella (residuo de licor tradicional), cáscara de lenteja (*Lens culinaris*), cáscara de guisante rugoso (*Lathyrus sativa*) y cáscara de guisantes (*Pisum sativum*) basada en la dieta basal de heno de pasto nativo (control). El estudio in vitro indicó que Tela y K. atella tenían mayor materia orgánica (97-98%), proteína cruda (PC) (21%) y energía bruta (GE) (21-22 MJ/kg MS) y fracciones de fibra más bajas (fibra detergente neutra, FDN = 41-60%; fibra detergente ácida, FDA = 11-21%). Las cáscaras de legumbres (lentejas, guisantes ásperos y cáscaras de guisantes) tenían PC media a alta (8-16%), menor GE (17-19,5 MJ/kg MS) y fracciones de fibra más altas (FDN = 49-71%; ADF = 49-62%). Entre las cáscaras de legumbres consideradas, la cáscara de lentejas tuvo la PC más alta (16%) y la FDN más baja (49,4%) y FDAD (48,6%). La cama de aves de corral y la cáscara de naranja tuvieron la PC más alta (30%) y GE (28 MJ / kg MS), respectivamente. Concluyen que, dada la creciente competencia con los animales monogástricos y el aumento del precio de los subproductos convencionales junto con el deterioro de la calidad de los forrajes tropicales, T. atella, K. atella y cáscara de lenteja tienen potencial para ser utilizados como suplementos de proteínas y energía (excepto cáscara de lenteja) en una dieta basada en baja calidad bajo sistemas de producción ganadera de pequeños agricultores. Se justifica una mayor investigación para reducir la concentración de taninos y fibra en las cáscaras de las legumbres (43).

Palabras clave: Alimentos no convencionales, Evaluación de alimentos. Utilización de alimentos, Ovejas.

- **Zanine *et al.* (2020)** en su artículo de investigación “**Intake, digestibility and feeding behaviour of grazing dairy cows supplemented with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) residue**”

Evaluaron el efecto de agregar un residuo de frijol común a las dietas del ganado sobre la ingesta de alimento, la digestibilidad y el comportamiento alimentario de las vacas lecheras lactantes. Utilizaron ocho vacas lactantes Holstein × Cebú cruzadas, con un peso corporal promedio de 500 ± 30 kg (media \pm de) y una producción media diaria de leche de 13 ± 2 kg/vaca, que fueron asignadas aleatoriamente en un cuadrado latino doble de 4×4 . Los tratamientos consistieron en cuatro niveles crecientes de residuo de frijol común (134, 240, 348 y 449 g/kg) en el concentrado. La inclusión de estos disminuyó linealmente ($P \leq 0,034$) la ingesta de MS y la ingesta de fibra detergente neutra de pastos, caña de azúcar y la dieta total. La inclusión de residuo de frijol común no afectó ($P \geq 0,111$) el pastoreo, la rumia o el tiempo de inactividad. La eficiencia de alimentación en kg MS/h y kg de fibra detergente neutra corregida por cenizas y proteínas/h disminuyó linealmente ($P < 0,001$), con una disminución estimada de 39,1 y 23,4 g/h respectivamente por cada 10 g/kg de residuos de frijol añadidos al concentrado. El número de bolos por día y el tiempo empleado por bolo rumiado no se vieron afectados ($P \geq 0,086$) por la inclusión de residuos de frijol común. Los autores concluyen que sus resultados obtenidos indican que se recomienda la inclusión de hasta 240 g/kg de residuos de frijol común en las dietas de vacas lecheras lactantes con una producción media diaria de leche de 13 kg, manejadas en pastos. Mencionan también la posibilidad de utilizar el residuo de frijol común, que tiene una alta disponibilidad en varios países, en el suministro alimenticio de pequeños rumiantes (44).

Palabras clave: nutrición animal, eficiencia de conversión alimenticia, manejo del pastoreo, pastos, suplementación.

- Eynipour *et al.* (2019) en su trabajo de investigación “Use of post-harvest common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) residues in diet of lambs and its effect on finishing performance, rumen fermentation, protozoa population and meat characteristics”

Investigaron el valor de reemplazo de los residuos de frijol común en la dieta de los corderos de engorde como forraje económico. Cuarenta corderos machos Arabi con un peso corporal promedio de $18,90 \pm 0,6$ kg se dividieron aleatoriamente en cinco tratamientos con ocho repeticiones. Los cinco tratamientos experimentales consistieron en dieta de control y 50% y 100% de reemplazo de residuos de frijol con paja de trigo o reemplazo de 25% y 50% con ensilaje de maíz en la dieta de control, respectivamente. Los corderos fueron sacrificados al final del experimento para evaluar las características de la canal y la carne. La ingesta de materia seca, la glucosa en sangre, el nitrógeno ureico, el colesterol y la concentración de triglicéridos no se vieron afectados por los tratamientos experimentales. Digestibilidad aparente de los nutrientes; concentración total de ácidos grasos volátiles, acetato y butirato; y la población total de protozoos del rumen se incrementaron linealmente al aumentar los niveles de residuos de frijol, ($p < .05$). La sustitución de los residuos de frijol en las dietas de control en lugar de paja de trigo o ensilado de maíz provocó una tendencia incremental lineal positiva para la ganancia diaria promedio y la ganancia de peso total. No hubo diferencias significativas en la ganancia diaria, el peso final y la tasa de conversión alimenticia entre los tratamientos. Los residuos de frijoles de reemplazo aumentaron linealmente las actividades de masticación, rumiación y consumo por ingesta de fibra detergente neutra ($p < .05$). Los rasgos de la canal y las características fisicoquímicas de la carne no se vieron afectados por los tratamientos. Los autores recomiendan utilizar residuos de frijol en la dieta de los corderos como alternativa a la paja de trigo o al ensilaje de maíz, porque no se observaron efectos adversos sobre la fermentación ruminal, los metabolitos sanguíneos y el rendimiento; Además, la mejora en la ganancia diaria promedio, el aumento de peso total y la digestibilidad de los nutrientes, y el hecho de que el residuo de frijol es menos costoso que la paja de trigo y el ensilaje de maíz (45).

Palabras clave: Digestibilidad, población de *Diplodinium*, color de la carne, color de la pared ruminal y ácidos grasos volátiles.

- **Serrato *et al.* (2004)** en su trabajo de investigación **“Inclusión de rastrojo de maíz y paja de frijol en raciones para cabras en crecimiento”**

Mencionan que los residuos de cosecha representan un gran potencial como fuente de nutrimentos para ganado rumiante. Aun cuando su calidad nutritiva es limitada, las características anatómico-fisiológicas de los rumiantes les permiten obtener los escasos nutrimentos contenidos en los subproductos agrícolas. En su trabajo, utilizaron 27 cabras con un peso vivo promedio de 24 ± 3 kg provenientes de tres diferentes grupos raciales, las cuales fueron asignadas aleatoriamente a una de tres diferentes raciones bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3×3 . El consumo de alimento fue mayor ($P < 0.01$) en las cabras del grupo control que en aquellas que recibieron las raciones con rastrojo de maíz y paja de frijol. La interacción de raza \times ración resultó significativa ($P < 0.01$). El incremento de peso vivo fue mayor ($P < 0.01$) en las cabras del grupo control comparadas con aquellas que recibieron rastrojo de maíz y paja de frijol en la ración. La eficiencia en la conversión de los alimentos fue mayor ($P < 0.01$) en los animales del grupo control. Los animales en de este grupo recibieron alimento concentrado y forraje de buena calidad, mientras que los otros dos grupos recibieron hasta un 15 por ciento de residuos agrícolas. Sus resultados indican que la inclusión de un 15 por ciento de rastrojo de maíz y paja de frijol en la ración no mantiene el mismo comportamiento productivo que cuando se utilizan forrajes de buena calidad (46).

- **López et al. (2001)** en su trabajo de investigación “**Ingestión y digestibilidad aparente de forrajes por la llama (*Lama glama*). II. heno de trébol rosado (*Trifolium pratense*), heno de ballica (*Lolium multiflorum*), paja de poroto (*Phaseolus vulgaris*) y paja de avena (*Avena sativa*)**”

Consistió en evaluar el consumo y la digestibilidad de cuatro tipos de forrajes, heno de trébol rosado, heno de ballica, paja de poroto y paja de avena en llamas, en el marco de su adaptación a dietas fibrosas. Se aplicó un diseño experimental de cuadrado latino 4x4, con una población de ocho llamas, aplicándose un ensayo de digestibilidad por recolección total, considerando el consumo de materia seca y la digestibilidad de proteína cruda, de las fracciones de fibra detergente neutra y fibra detergente ácida, junto con hemicelulosa y celulosa. Los resultados clave fueron: Consumo diario ($\text{g/kg}^{0.75}$): Trébol rosado: 38,8; Ballica: 29,2; Paja de poroto: 28,8; Paja de avena: 20,9. Digestibilidad de proteína cruda (%): Trébol rosado: 55,3; Ballica: 37,9; Paja de poroto: 35,0; Paja de avena: -1,4. Digestibilidad de fibra: Mayor en dietas de menor calidad, mostrando capacidad de adaptación de las llamas a alimentos fibrosos. Los autores concluyen que las llamas son capaces de ejercer de forma notable la capacidad de digerir perfectamente dietas fibrosas de baja calidad, lo que las hace ser unos animales de recurso eficiente en la utilización de los recursos forrajeros disponibles en ambientes adversos. Ello las dibuja como una alternativa válida para sistemas productivos en áreas con disponibilidad escasa de forraje de buena calidad (47).

Palabras clave: camélidos sudamericanos, llamas, digestibilidad.



CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Localización del trabajo

- **Espacial**

El muestreo en campo se realizó en las instalaciones del Fundo Chapiocco de la Universidad Católica de Santa María, en la comunidad de Tambo Cañahuas, distrito de Yanahuara, en las inmediaciones de la Reserva de Salinas y Aguada Blanca, con una altitud de unos 4000 m.s.n.m. Las lluvias son escasas y la temperatura suele oscilar entre de 8 °C y 20 °C y rara vez baja a menos de 4 °C o sube a más de 23 °C. La comunidad la conforma un conjunto de 300 familias que habitan en una extensión de 54 mil hectáreas a lo largo de la carretera y la zona protegida. La comuna alberga aproximadamente mil pobladores (48).

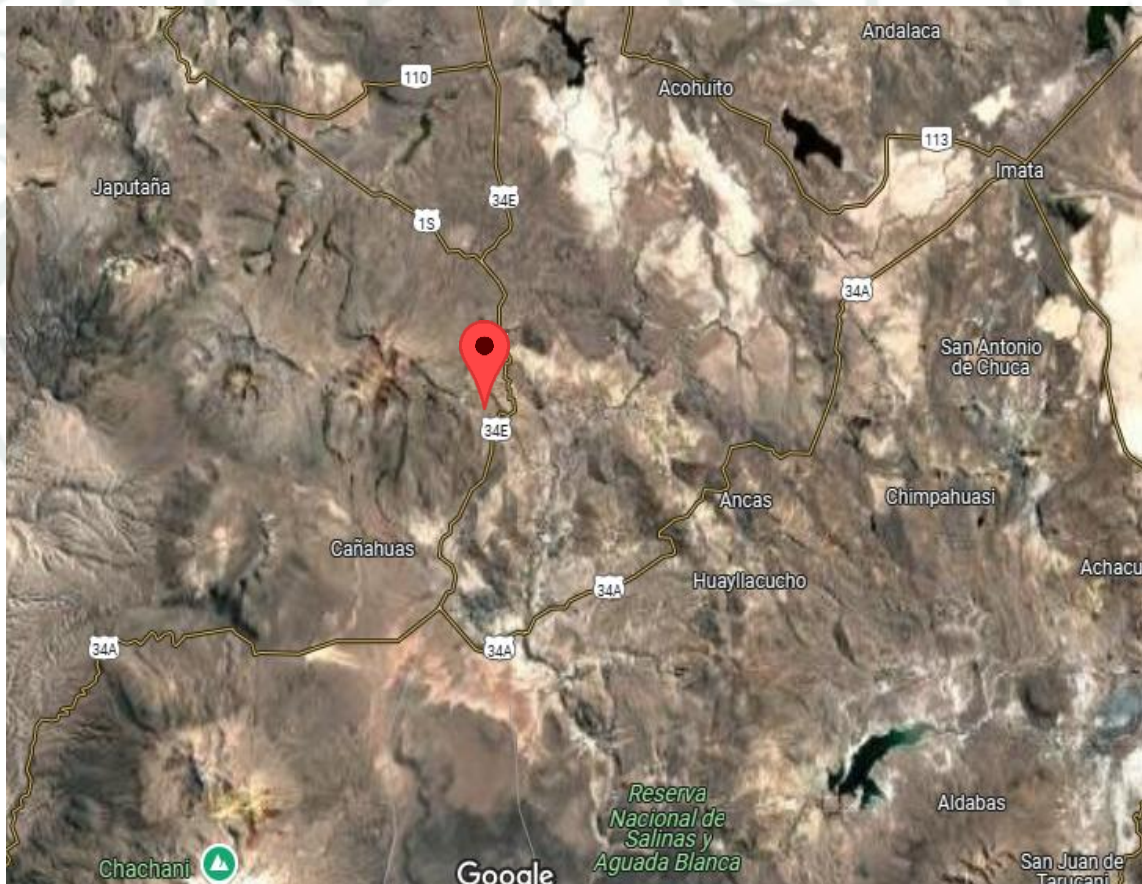


Figura 6. Mapa satelital de la ubicación del Fundo Chapiocco de la Universidad Católica de Santa María (15°57'33.2"S 71°22'39.4"W). Google Maps (49).

- **Temporal**

El presente trabajo de investigación se realizó en los meses de junio y septiembre del año 2025.

3.1.2. Condiciones termo-higrométricas durante la fase experimental

Durante el período de muestreo se registraron variaciones en la temperatura ambiental a diferentes horas del día (Tabla 7). A las 06:00 h se obtuvo una temperatura media de 9.34 °C, con valores entre 1.6 °C y 15.1 °C. A las 12:00 h la temperatura promedio fue de 8.84 °C, con un mínimo de 6.2 °C y un máximo de 13.9 °C. Finalmente, a las 18:00 h se registró una temperatura media de 5.52 °C, con valores entre 4.2 °C y 6.4 °C. En general, las temperaturas más bajas se observaron en horas de la tarde.

Tabla 7. Temperatura ambiental registrada durante el período experimental

Hora de medición	Temperatura media (°C)	Mínima (°C)	Máxima (°C)
06:00	9.34	1.6	15.1
12:00	8.84	6.2	13.9
18:00	5.52	4.2	6.4

3.1.3. Material biológico

- 01 alpaca adulta (*Vicugna pacos*) Huacaya macho con identificación 008
- 01 alpaca adulta (*Vicugna pacos*) Suri macho con identificación 006
- 01 llama adulta (*Lama glama*) Chaku hembra con identificación 003
- 01 llama adulta fistulada (*Lama glama*) K'ara macho con identificación 002
- Muestras sanguíneas
- Muestras de licor ruminal

3.1.4. Instalaciones y materiales de laboratorio

El procesamiento analítico de las muestras biológicas (sangre y contenido ruminal) y el análisis bromatológico del suplemento y forrajes

se realizó en el Laboratorio de Nutrición y Análisis Nutritivo de los Alimentos, ubicado en el Fundo la Banda Huasacache (Hunter, Arequipa).



Figura 14. Mapa satelital de la ubicación del Fundo La Banda Huasacache de la Universidad Católica de Santa María ($16^{\circ}27'28.5''S$ $71^{\circ}33'56.1''W$). Google Maps (50).

Para el desarrollo de estos análisis se emplearon los siguientes materiales:

- Vestimenta de laboratorio
- Guantes de látex
- Tubos vacutainer tapa lila con EDTA
- Tubos vacutainer tapa amarilla con gel
- Agujas y jeringas
- Jeringa dosificadora
- Vasos de muestra estériles

- Bloatenz (preservante)
- Reactivos enzimáticos para determinación analítica
- Algodón
- Alcohol
- Ácido Sulfúrico al 15% y concentrado.
- Hidróxido de Sodio al 40% y 0.1 N.
- Ácido Bórico grado analítico.
- Ácido Clorhídrico 0.25 N.
- Indicadores: Rojo Cresol, Rojo de Metilo y Azul de Metileno.
- Solventes: Éter de petróleo o Éter dietílico.
- Solución Detergente Neutra
- Discos reactivos para Skyla VB1
- Crisoles
- Vasos de precipitado y fiolas
- Gasa estéril
- Pipetas automáticas y puntas descartables

3.1.5. Materiales de campo

- Vestimenta de campo, botas
- Cajas de tecnopor (contenedores isotérmicos)
- Gel packs o bolsas de hielo reutilizables.
- Cinta de embalaje.
- Bolsas plásticas con cierre hermético (Ziploc) o bolsas resistentes para la doble contención de muestras.
- Cuerdas o sogas
- Material de relleno (papel de periódico, etc.) para el embalaje.
- Tijeras (para el muestreo de pastos).
- Malla raschel

3.1.6. Materiales de escritorio

- Materiales de registro de datos
- Computadora personal.

- Software de hojas de cálculo

3.1.7. Equipos

- Cetómetro y tiras de prueba de cetonas en sangre
- pH metro
- Balanza
- Analizador de hematología
- Analizador bioquímico Skyla VB1
- Equipo de Destilación Kjeldahl
- Analizador tipo ANKOM
- Det-Gras Soxhlet
- Estufa de secado y mufla
- Balanza analítica
- Equipos de refrigeración
- Balanza digital de gancho
- Termo higrómetro
- Centrifuga

3.2. Métodos

3.2.1. Muestreo

3.2.1.1. Universo

El universo del presente estudio comprende la totalidad de Camélidos Sudamericanos Andinos (Alpacas y Llamas) que forman parte del plantel de animales de la Universidad Católica de Santa María, los cuales fueron trasladados y mantenidos en las instalaciones del Fundo Chapiocco para fines de la presente investigación.

3.2.1.2. Tamaño de muestra

El tamaño de la muestra experimental estuvo constituido por un total de cuatro Camélidos Sudamericanos Andinos (CSA) adultos, conformados por dos alpacas y dos llamas, siendo una fistulada.

3.2.1.3. Procedimiento de muestreo

El procedimiento de muestreo para la selección de los animales fue de tipo no probabilístico por conveniencia, debido a que la selección se realizó a partir de la población disponible en la Universidad Católica de Santa María. Para garantizar la idoneidad de las unidades experimentales, se implementó el criterio de selección: clínicamente sanos, evaluados mediante un examen físico exploratorio.

La llama fistulada fue seleccionada específicamente por su condición quirúrgica y su aptitud para la recolección de líquido ruminal.

3.2.2. Métodos de evaluación

3.2.2.1. Metodología de la experimentación

El presente estudio se desarrolló en el sector de Chapiocco, en el distrito de Yanahuara, provincia y departamento de Arequipa, ubicado dentro de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, a una altitud de aproximadamente 4,300 msnm. El periodo experimental tuvo una duración de 15 días, desde el 5 hasta el 19 de agosto de 2025. La metodología se dividió en las siguientes fases.

a. Fase de Adaptación y Evaluación de la Dieta Base

Esta fase duró 7 días, del 5 al 11 de agosto, donde los animales se alimentaron exclusivamente de los pastos naturales del bofedal andino. Durante este periodo, se registró las temperaturas ambientales (6:00, 12:00 y 18:00 horas) y se realizó el muestreo de la dieta base.

- Muestreo de la Dieta Base: se recolectó una muestra representativa de 1 kg del pasto de bofedal, utilizando la técnica de submuestreo aleatorio. Se tomaron pequeñas porciones de 10 a 20 puntos distintos en el área de pastoreo, cortando a la altura de consumo de los animales. Las submuestras se mezclaron para formar una muestra compuesta homogénea, que se almacenó en una bolsa de plástico para su posterior análisis nutricional en laboratorio.

b. Fase de Suplementación y Evaluación

Esta fase tuvo una duración de 7 días, del 12 al 19 de agosto. Se proporcionó a los animales un suplemento a base de broza de frijol para evaluar el impacto en su digestibilidad.

- Administración del Suplemento: A cada animal se le proporcionó 2.4 kg de broza de frijol por día, pesados en una balanza digital de gancho. El consumo diario se calculó restando el remanente del día siguiente.

c. Procesamiento de Muestras Biológicas

Se realizaron dos tomas de muestras en el estudio, el 12 de agosto (al final de la Fase 1) y el 19 de agosto (al final de la Fase 2), con el objetivo de comparar el estado fisiológico de los animales antes y después de la suplementación.

- Toma de Muestras Sanguíneas: De cada animal, se extrajeron muestras de sangre de la vena yugular. Las muestras se recolectaron en tubos Vacutainer de tapa morada (para hemograma) y de tapa amarilla (para análisis de suero). Las muestras se almacenaron inmediatamente en una caja de tecnopor con gel packs para preservar la cadena de frío a una temperatura de 2-8°C.
- Toma de Muestras de Contenido Ruminal: En el caso de la llama fistulada, se extrajeron muestras de contenido ruminal. Una vez extraídas, se colocaron en vasos de muestras estériles y se les añadió un preservante específico para estabilizar los metabolitos, para su posterior análisis de ácidos grasos volátiles y amonio. Estas muestras fueron embaladas en una caja de tecnopor separada para evitar cualquier riesgo de contaminación con las muestras de sangre.

d. Transporte y Almacenamiento de Muestras

Todas las muestras, tanto de pasto como las biológicas, fueron transportadas al laboratorio en Arequipa en las cajas de tecnopor con gel packs, garantizando la cadena de frío durante el viaje de aproximadamente dos horas.

e. Análisis Bromatológico de Alimentos y Forrajes

El análisis de la broza de frijol y los forrajes de pastoreo se realizó siguiendo los métodos estándares de la AOAC y Van Soest para determinar los parámetros reportados:

- **Materia Seca (MS):** Se determinó mediante el método gravimétrico, sometiendo las muestras a secado en estufa de aire forzado a 105 °C por un periodo de 3 horas hasta alcanzar un peso constante.
- **Proteína Cruda (PC):** Se utilizó el método de Kjeldahl, que consistió en la digestión ácida de la muestra, destilación del nitrógeno en forma de amoníaco y posterior titulación con ácido clorhídrico. El valor de nitrógeno total se multiplicó por el factor 6.25.
- **Extracto Etéreo (EE):** Se determinó mediante extracción continua con solvente (éter de petróleo) en un extractor tipo Soxhlet, recuperando la grasa bruta de la muestra.
- **Fibra Detergente Neutra (FDN):** Se siguió la técnica de Van Soest, utilizando una solución detergente neutra para disolver el contenido celular y recuperar la fracción correspondiente a la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina).
- **Cenizas:** Se realizó mediante la incineración de la muestra en una mufla a 600 °C por 3 horas, eliminando la materia orgánica y pesando el residuo inorgánico mineral.

f. Análisis Bioquímico Sanguíneo

Para la determinación de los perfiles metabólicos, se utilizaron muestras de suero sanguíneo que fueron mantenidas en congelación. Las muestras se descongelaron por baño maría a 37 °C. Se utilizó el analizador bioquímico automático Skyla VB1. Para cada análisis, se empleó un Rotor de Reactivos (Panel Bioquímico), el cual es un disco plástico desechable que contiene los reactivos liofilizados necesarios. Se inyectaron 100 µl de suero en el rotor, el cual realiza el análisis por espectrofotometría líquida. Los parámetros determinados fueron:

Albúmina (ALB), Proteínas Totales (TP), Glucosa (GLU), Colesterol (CHOL), Fosfatasa Alcalina (ALP), ALT, AST, Nitrógeno Ureico (BUN), Creatinina (CREA), Calcio (Ca) y Fósforo (PHOS).

g. Análisis Hematológico (Hemograma)

El análisis hematológico se realizó a partir de las muestras de sangre entera recolectadas mediante punción de la vena yugular en tubos Vacutainer con anticoagulante EDTA (tapa morada). Para la determinación de los parámetros, se utilizó un analizador automático de hematología.

Mediante este procedimiento, se determinaron los indicadores correspondientes a la serie roja, los cuales incluyeron el recuento total de eritrocitos (ERI), la concentración de hemoglobina (Hb) y el hematocrito (HCT). A partir de estos valores, el equipo calculó automáticamente los índices eritrocitarios: Volumen Corpuscular Medio (VCM) y Hemoglobina Corpuscular Media (HCM).

h. Análisis de Parámetros Fermentativos (Líquido Ruminal)

- Determinación de Nitrógeno Amoniacal:

El líquido ruminal se filtró en gasa y se centrifugó por 10 min. Las muestras congeladas se descongelaron a medio ambiente y luego en baño maría a 37 °C. Se extrajeron 10 mL del sobrenadante y se transfirieron al cuerpo del destilador, adicionando 25 mL de Hidróxido de Sodio (NaOH) al 40%. El destilado se recolectó en un Erlenmeyer con 25 mL de Ácido bórico e indicador mixto (rojo de metilo + azul de metileno).

Tras el cambio de color de morado a turquesa, se tituló con 0.25 de normalidad conocida hasta el retorno al color morado, registrando el gasto para el cálculo final.

- Determinación de Ácidos Grasos Volátiles (AGV):

El fluido filtrado y centrifugado se descongeló siguiendo el protocolo anterior. Se tomaron 10 mL de sobrenadante y se adicionaron 2 mL de Ácido Sulfúrico al 15% para liberar los ácidos. En el destilador, se recolectó el condensado en un Erlenmeyer con 10 gotas de rojo cresol.

El líquido (naranja oscuro a amarillo) se tituló con (0.1N) hasta observar el cambio a naranja oscuro, anotando el gasto correspondiente.

3.2.2.2. Recopilación de información

a. En el campo

La recopilación de información en campo se basa principalmente en la recolección de muestras de pastos naturales como dieta base de los CSA. De igual forma, se realizará la toma de muestras sanguíneas y de contenido ruminal. Será posible obtener resultados directamente en campo haciendo uso de un cetómetro. Se dispuso de datos, tablas y hojas de registro.

b. En el laboratorio

Resultados analíticos de laboratorio para evaluar parámetros hematológicos, bioquímicos sanguíneos y parámetros ruminales. El análisis bromatológico y bioquímico fue realizado por el servicio especializado del Laboratorio de Nutrición de la Universidad Católica de Santa María.

c. En la biblioteca

La recopilación de información bibliográfica se llevó a cabo de manera sistemática, utilizando las bases de datos académicas de la Universidad Católica de Santa María como Scopus y ScienceDirect. Se utilizó motores de búsqueda académica como Google Académico. La búsqueda se realizó empleando palabras clave en español e inglés, tales como: 'Camélidos Sudamericanos Andinos', 'nutrición animal', 'fisiología digestiva', 'parámetros sanguíneos', 'fermentación ruminal', 'alpaca', 'llama', y combinaciones de estas. La información se seleccionó priorizando artículos científicos revisados y aprobados. Se realizó la búsqueda en libros especializados en la crianza, manejo y alimentación de CSA, tanto en forma de Ebooks como libros físicos procedentes de la biblioteca central de la Universidad Católica de Santa María y de la biblioteca del Fundo la Banda Huasacache.

d. En otros ambientes generadores de la información científica

Se recopiló información en informes y portales web gubernamentales con respecto a la demografía y meteorología de Chapiocco, Yanahuara.

3.3. Variables de respuesta

3.3.1. Variables independientes

Las variables independientes del presente estudio son los elementos o circunstancias que caracterizan el contexto de la investigación. En este sentido, se encuentran las siguientes:

- Suplementación con broza de frijol: busca valorar el impacto de la inclusión de este residuo agrícola en la nutrición y digestión de estos.
- Época de friaje: Esta variable se define por el periodo de estrés térmico (junio-agosto) caracterizado por temperaturas extremas y heladas, evaluado en dos fases experimentales y contextualiza la importancia de la suplementación planteada.

3.3.2. Variables dependientes

Las variables dependientes son aquellas que se midieron, observaron y registraron como respuesta a la intervención o a las condiciones del estudio. En esta investigación, las variables dependientes son:

- Composición Nutricional de la Broza de Frijol: Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC), Extracto Etéreo (EE), Cenizas y Fibra Detergente Neutra (FDN).
- Parámetros bioquímicos sanguíneos: Albúmina (ALB), Proteínas Totales (TP), Creatinina (CREA) y Fosfatasa Alcalina (ALP), Cuerpos cetónicos (β -hidroxibutirato) mmol/L, Proteínas totales y fraccionadas, Nitrógeno ureico (NUS), Colesterol total, Calcio, Fósforo y transaminasas.
- Indicadores hematológicos de la serie roja: recuento de eritrocitos, hemoglobina, hematocrito, volumen corpuscular medio (VCM) y hemoglobina corpuscular media (HCM)
- Parámetros de Fermentación Ruminal: pH ruminal, la concentración de Ácidos Grasos Volátiles (AGV) y concentración de Nitrógeno Amoniacal (NH₃) en licor ruminal.

3.4.Evaluación estadística

3.4.1. Diseño experimental

3.4.1.1. Unidades experimentales

Se seleccionaron un total de 4 animales experimentales (2 alpacas y 2 llamas). Una llama corresponde a un animal fistulado, por lo que se empleó para la toma de contenido ruminal, además de la toma de muestras de sangre para análisis de parámetros de bioquímicos de igual forma que en el resto de los animales en estudio.

3.4.1.2. Análisis estadístico

a. Análisis de varianza

En el presente estudio se utilizará la prueba T de Student para Muestras Pareadas (Paired T-test) para comparar las medias de los datos de los parámetros sanguíneos obtenidos antes y después de la suplementación. Este diseño de medidas repetidas en el mismo animal es ideal para evaluar el efecto de la intervención experimental según Steel & Torrie (51, 52). El análisis de fermentación ruminal es de carácter descriptivo por tratarse de un solo individuo piloto.

b. Análisis de significancias

P-valor es menor a 0.05 (el valor estándar), significa que la diferencia que encuentre entre los dos momentos es estadísticamente significativa.

P-valor es mayor a 0.05, significa que la diferencia no es significativa.



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Resultados bromatológicos

La composición química nutricional de la broza de frijol y los forrajes evaluados se presenta en la Tabla 8. Los valores corresponden al promedio de dos determinaciones analíticas por muestra (n=2).

La broza de frijol presentó un contenido de materia seca de 93.01%, proteína cruda de 5.81% (base seca), extracto etéreo de 0.62%, fibra detergente neutra de 53.85% y cenizas de 7.80%.

En cuanto a los forrajes de pastoreo, Chillihua y Parhuayo registraron contenidos de materia seca superiores al 80%, mientras que Bofedal 1-1 y Bofedal 1-2 mostraron valores cercanos al 13%, evidenciando mayor contenido de humedad.

Respecto a proteína cruda, el valor más alto se observó en Bofedal 1-2 (19.20% MS), mientras que Chillihua presentó el valor más bajo (3.96% MS).

Al evaluar la fracción energética no estructural de los alimentos analizados, se determinó que la Broza de frijol presentó el mayor contenido de Carbohidratos No Fibrosos (CNF) con un 31.92% MS, superando de manera notable a los pastos naturales de sementera como la Chillihua (19.38% MS) y el Parhuayo (23.19% MS).

Tabla 8. Tabla de composición química nutricional de alimentos forrajes

N°	MUESTRAS	MS	PC	EE	FDN	CENIZA	CNF
	NOMBRE COMUN	(%)	(%MS)	(%MS)	(%MS)	(%MS)	(%MS)
1	Broza de frijol	93.01	5.81	0.62	53.85	7.80	31.92
2	Chillihua	80.04	3.96	1.20	69.10	6.36	19.38
3	Parhuayo	80.17	5.48	1.11*	64.45	5.77	23.19
4	Bofedal 1-1	13.36	8.50	1.40	58.76	8.13	23.21
5	Bofedal 1-2	13.15	19.20	1.48	55.23	10.93	13.16

* Una de las determinaciones de Parhuayo presentó error analítico, por lo que el valor reportado corresponde a la muestra válida.

4.1.2. Consumo de alimento

Durante los 7 días de evaluación de suplementación, se ofertó diariamente 2.4 kg de broza de frijol al grupo de alpacas, registrándose el consumo por diferencia de peso.

El consumo promedio diario fue de 1.27 ± 0.49 kg, lo que representó un 53% de aceptación respecto a la oferta total. El consumo máximo registrado fue de 2.0 kg (83%), mientras que el mínimo fue de 0.4 kg (17%), observándose un rango de 1.6 kg entre el valor más alto y el más bajo. El coeficiente de variación fue de 38.44%.

Tabla 9. Tabla de consumo de suplemento

Número	Fecha	Oferta de alimento (kg)	Peso alimento final (kg)	Consumo (kg)	Porcentaje
1	12/08/2025	2.4	0.4	2	83%
2	13/08/2025	2.4	0.8	1.6	67%
3	14/08/2025	2.4	1.16	1.24	52%
4	15/08/2025	2.4	1.1	1.3	54%
5	16/08/2025	2.4	1.15	1.25	52%
6	17/08/2025	2.4	1.3	1.1	46%
7	18/08/2025	2.4	2	0.4	17%
PROMEDIO				1.27	53%

4.1.3. Resultados bioquímicos sanguíneos

Los parámetros bioquímicos séricos evaluados antes y después de la suplementación se presentan en la Tabla 10. Los resultados se expresan como media \pm desviación estándar y fueron analizados mediante la prueba t de Student para muestras pareadas (n=4).

Se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en cuatro de los analitos evaluados. La albúmina (ALB) presentó una disminución significativa de 4.30 a 4.05 g/dL ($p = 0.03$), comportamiento que se reflejó en las proteínas totales (TP), las cuales descendieron de 6.35 a 5.95 g/dL ($p = 0.016$)

En cuanto al perfil mineral, tanto el calcio (Ca) como el fósforo (PHOS) mostraron reducciones estadísticas, pasando de 8.68 a 8.13 mg/dL ($p=0.02$) y de 7.70 a 6.43 mg/dL ($p=0.04$), respectivamente.

Por el contrario, parámetros como la glucosa ($p=0.6$), ALP ($p=0.18$), AST ($p=0.11$), BUN ($p=0.31$) y creatinina ($p=0.30$) no evidenciaron variaciones significativas, manteniéndose en niveles de estabilidad metabólica. Es fundamental resaltar que, a pesar de las diferencias significativas halladas en proteínas y minerales, todos los valores promedio se mantuvieron dentro de los rangos de referencia fisiológicos para camélidos sudamericanos reportados por el analizador.

Los valores de ALT permanecieron constantes (<20 U/L) en todas las muestras, mientras que el colesterol no pudo ser analizado estadísticamente debido a que la mayoría de los resultados fueron reportados por debajo del límite de detección del equipo (<50 mg/dL).

La determinación de cuerpos cetónicos en sangre mostró valores basales en todos los animales (0.0 a 0.1 mmol/L). Estos niveles se encuentran dentro de rangos fisiológicos, descartando cuadros de movilización lipídica o cetosis durante el periodo experimental.

Tabla 10. Valores bioquímicos séricos antes y después de la suplementación (media \pm DE) y análisis mediante prueba t pareada ($n=4$)

Parámetro	Alimentación con pastos naturales (Media \pm DE)	Suplementación con Broza de frijol (Media \pm DE)	p (t pareada)
ALB (g/dL)	4.30 \pm 0.32	4.05 \pm 0.40	0.03
TP (g/dL)	6.35 \pm 0.69	5.95 \pm 0.61	0.016
GLU (mg/dL)	129.75 \pm 6.45	127.25 \pm 4.03	0.6
CHOL (mg/dL)	—*	—*	—
ALP (U/L)	76.50 \pm 22.44	83.00 \pm 18.41	0.18

ALT (U/L)	<20 en todos**	<20 en todos**	—
AST (U/L)	190.00 ± 41.25	170.75 ± 26.07	0.11
BUN (mg/dL)	15.40 ± 0.99	13.48 ± 1.41	0.31
CREA (mg/dL)	2.16 ± 0.21	2.03 ± 0.09	0.30
Ca (mg/dL)	8.68 ± 0.30	8.13 ± 0.39	0.02
PHOS (mg/dL)	7.70 ± 1.08	6.43 ± 1.33	0.04

* No se analizó estadísticamente debido a valores reportados como <50 en la mayoría de las muestras.

** No fue analizada estadísticamente por ausencia de variabilidad (<20 U/L en todos los casos).

La determinación de cuerpos cetónicos en sangre mediante cetómetro mostró valores bajos en los animales evaluados. Los individuos 002, 003 y 006 presentaron concentraciones de 0.1 mmol/L, mientras que el animal 008 registró un valor de 0.0 mmol/L.

Estos valores se encuentran dentro de rangos considerados fisiológicos, sin evidenciar presencia de cetosis en los animales evaluados durante el periodo experimental.

4.1.4. Resultados hematológicos

Se evaluaron los parámetros hematológicos de la serie roja en cuatro camélidos sudamericanos andinos antes y después del periodo de suplementación con broza de frijol.

Los resultados individuales se detallan en la Tabla 11, mientras que el análisis comparativo de promedios y su significancia estadística se presentan en la Tabla 12.

Tras la intervención nutricional, se observaron incrementos estadísticamente significativos ($p < 0.05$) en los principales indicadores de la capacidad de transporte de oxígeno. El hematocrito mostró un aumento significativo, pasando de un promedio de 31.98 % a 35.38 % (+10.63 %; $p = 0.022$).

De igual manera, los niveles de hemoglobina se incrementaron de 17.30 a 18.70 g/dL (+8.09 %; p=0.048).

En cuanto al recuento de eritrocitos, se registró una marcada tendencia al incremento, elevándose de 13.31 a 14.39 $\times 10^{12}/L$ (+8.11 %), valor que se situó en el límite de la significancia estadística (p=0.054).

Por el contrario, los índices eritrocitarios se mantuvieron en niveles de estabilidad. El Volumen Corpuscular Medio (VCM) y la Hemoglobina Corpuscular Media (HCM) no evidenciaron variaciones significativas (p=0.39 y p=0.85, respectivamente), lo que sugiere que el incremento en la masa celular sanguínea ocurrió sin alteraciones en la morfología o el contenido individual de hemoglobina de los hematíes.

Es importante precisar que los parámetros correspondientes a la serie blanca no fueron considerados para el análisis detallado, dado que estos indicadores reflejan primordialmente el estado inmunológico y no constituyen medidas directas del impacto nutricional o de la respuesta adaptativa al friaje objeto de este estudio.

Tabla 11. Parámetros hematológicos antes y después de la suplementación con broza de frijol

Animal	Momento	ERI ($10^{12}/L$)	Hb (g/dL)	HCT (%)	VCM (fL)	HCM (pg)
002	Sin suplemento	15.36	20.6	37.94	25	13.4
002	Con suplemento	17.11	23.3	42.91	25	13.6
003	Sin suplemento	13.95	17.8	33.56	24	12.8
003	Con suplemento	14.30	18.8	34.89	24	13.1
006	Sin suplemento	13.47	17.6	31.59	23	13.1
006	Con suplemento	14.10	18.5	35.09	25	13.2
008	Sin suplemento	10.44	13.2	24.82	24	12.6
008	Con suplemento	12.06	14.2	28.61	24	11.8

Tabla 12. Comparación de promedios hematológicos con prueba de t pareada y cambio porcentual

Parámetro	Antes (Media)	Después (Media)	Cambio (%)	p (t pareada)
Eritrocitos (10¹²/L)	13.31	14.39	+8.11 %	0.054
Hemoglobina (g/dL)	17.30	18.70	+8.09 %	0.048
Hematocrito (%)	31.98	35.38	+10.63 %	0.022
VCM (fL)	24.00	24.50	+2.08 %	0.39
HCM (pg)	12.98	12.93	-0.39 %	0.85

4.1.5. Parámetros fermentativos de líquido ruminal

Los parámetros fermentativos del líquido ruminal fueron evaluados en el animal fistulado (002) con alimentación netamente de pastos naturales y con suplementación con broza de frijol.

Tabla 13. Tabla de resultados de parámetros fermentativos de líquido ruminal

Parámetro	Alimentación con pastos naturales	Suplementación con Broza de frijol
pH ruminal	7.19	7.17
AGV (mEq/L)	58.73	62.73
N-NH₃ (mg/dL)	12.22	12.22

4.2. Discusión

La presente investigación evaluó el potencial de la broza de frijol (*Phaseolus vulgaris*) como estrategia de suplementación nutricional para camélidos sudamericanos andinos (CSA) durante los periodos de escasez forrajera asociados al friaje en la comunidad de Chapiocco, Arequipa. Los hallazgos permiten analizar la calidad del recurso y su impacto real en la fisiología digestiva, metabólica y hematológica de los animales bajo condiciones de estrés ambiental extremo.

En cuanto a la composición bromatológica, la broza de frijol presentó un contenido de proteína cruda (PC) de 5.81%. Aunque este valor se sitúa ligeramente por debajo del promedio de 7.1% reportado por Feedipedia, es fundamental destacar que superó significativamente el contenido proteico de la *Chillihua* (3.96%), forraje predominante en la dieta base de Chapiocco. Esta superioridad posiciona al residuo como un recurso estratégico para mitigar el balance de nitrógeno negativo que afecta a los rebaños durante las heladas. Asimismo, el nivel de FDN (53.85%) fue consistente con los rangos descritos para subproductos fibrosos de leguminosas.

Respecto al consumo voluntario, se registró un promedio de 1.27 kg/día (53% de aceptabilidad). Al contrastar este resultado con lo reportado por López et al. (2001), quienes establecieron un consumo de 28.8 g/kg^{0.75} para llamas alimentadas con paja de poroto, se observa que los animales del presente estudio mostraron una ingesta superior. Considerando el peso promedio de los individuos evaluados (~95 kg), la ingesta predicha según la literatura sería de aproximadamente 0.88 kg/día; por lo tanto, el consumo real de 1.27 kg/día evidencia una alta palatabilidad y avidez por el suplemento bajo las condiciones climáticas de Chapiocco, donde las temperaturas mínimas alcanzaron los 1.6 °C. Esto reafirma la ventaja adaptativa de los CSA para aprovechar residuos fibrosos locales frente a la escasez crítica en el bofedal.

En la dinámica fermentativa ruminal, el pH permaneció estable (7.19 a 7.17) dentro del rango fisiológico óptimo. El incremento observado en los ácidos grasos volátiles (de 58.73 a 62.73 mEq/L) sugiere una mejora en la actividad microbiana fermentativa, coincidiendo con Eynipour et al. (2019). Por otro lado, la estabilidad del nitrógeno amoniacal en 12.22 mg/dL demuestra que los CSA mantienen una excepcional capacidad de reciclaje de urea hacia el estómago anterior, garantizando el suministro de nitrógeno a la microbiota independientemente de la suplementación.

Sobre los perfiles metabólicos, la aplicación de la prueba t pareada reveló variaciones estadísticamente significativas ($p < 0.05$) que no habían sido detectadas en análisis preliminares. Se observó una disminución significativa en la Albúmina (4.30 a 4.05 g/dL) y en las Proteínas Totales (6.35 a 5.95 g/dL). Biológicamente, esto indica que la transición de una dieta de brotes verdes de bofedal a una basada en residuos fibrosos impacta el metabolismo nitrogenado; no obstante, todos los valores permanecieron dentro de los rangos fisiológicos (ALB: 2.6 – 4.6 g/dL). De igual forma, las reducciones en Calcio ($p = 0.02$) y Fósforo ($p = 0.04$) sugieren una menor biodisponibilidad mineral en la broza frente al pasto natural, aunque sin comprometer la homeostasis sistémica. La estabilidad de la Glucosa ($p = 0.6$) y los niveles basales de cuerpos cetónicos (0.0 a 0.1 mmol/L) confirman que la broza de frijol aportó la energía necesaria para prevenir la movilización de reservas grasas (cetosis) durante el friaje.

El mayor porcentaje de CNF en la broza de frijol (31.92% MS) es un hallazgo biológicamente crítico que explica la respuesta adaptativa observada en el ambiente ruminal y el perfil metabólico de las alpacas. En los rumiantes y camélidos, los carbohidratos no fibrosos poseen una tasa de degradación microbiana acelerada en comparación con la fibra estructural (FDN). Esta disponibilidad inmediata de sustrato soluble en el Compartimento 1 proporcionó el esqueleto de carbono necesario para que la microflora nativa incrementara de forma significativa la producción de Ácidos Grasos Volátiles (62.73 mEq/L), particularmente propionato, el cual actúa como el principal precursor gluconeogénico en los camélidos sudamericanos. Asimismo, esta abundancia de energía fácilmente fermentable sincronizó eficientemente con el nitrógeno disponible en el rumen, permitiendo un óptimo crecimiento bacteriano y la consiguiente síntesis de proteína microbiana. Este fenómeno explica por qué, a pesar de que el contenido de proteína cruda de la broza es moderado (5.81% MS), el estímulo energético derivado de sus CNF fue suficiente para activar de manera sistémica la eritropoyesis y elevar significativamente los índices hematológicos de los animales experimentales.

Finalmente, la evaluación hematológica mostró resultados de gran relevancia: se confirmaron incrementos estadísticamente significativos en el Hematocrito (31.98% a 35.38%) y en la Hemoglobina (17.30 a 18.70 g/dL). Esta respuesta sugiere que la suplementación favoreció la estabilidad fisiológica y la capacidad de transporte de oxígeno requerida para enfrentar la hipoxia y el frío extremo registrados. El hecho de que los índices VCM y HCM permanecieran constantes indica que el incremento en la masa celular

sanguínea fue armónico, posicionando a la broza de frijol como un recurso seguro y eficaz para mantener la integridad fisiológica de los CSA frente al estrés ambiental altoandino.





CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

PRIMERO: La broza de frijol evaluada presentó una composición nutricional caracterizada por 93.01% de materia seca, 5.81% de proteína cruda, 53.85% de fibra detergente neutra, 0.62% de extracto etéreo y 7.80% de cenizas. Estos valores confirman su potencial como recurso estratégico, al superar el contenido proteico de forrajes locales como la Chillihua (3.96%).

SEGUNDO: Los camélidos evaluados presentaron un consumo promedio de 1.27 kg de broza de frijol por día, lo que demuestra que el recurso es palatable como estrategia de suplementación. Este nivel de ingesta es suficiente para cubrir los requerimientos nutricionales de mantenimiento durante la época de friaje, superando incluso las predicciones de consumo para dietas fibrosas reportadas en la literatura.

TERCERO: La suplementación generó variaciones estadísticamente significativas en el perfil proteico y mineral, con una disminución en los niveles de albúmina, proteínas totales, calcio y fósforo. No obstante, esta respuesta no compromete la salud de los animales, ya que todos los valores promedio se mantuvieron estrictamente dentro de los rangos de referencia fisiológicos para la especie.

CUARTO: Los parámetros de fermentación ruminal evidenciaron un ambiente digestivo saludable y eficiente, con un pH estable y una concentración de nitrógeno amoniacal constante. El incremento observado en los ácidos grasos volátiles sugiere que la microbiota ruminal utiliza eficazmente la broza de frijol como sustrato energético.

QUINTO: Se acepta la hipótesis de investigación al demostrar que la broza de frijol es un recurso estratégico con alto potencial nutricional. Su uso mantiene la homeostasis energética (reflejada en la estabilidad de la glucosa y niveles basales de cuerpos cetónicos) y previene la movilización de reservas corporales, posicionándose como una alternativa económica y eficaz para mitigar los efectos del friaje en CSA.



CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar investigaciones futuras que incluyan un mayor número de unidades experimentales, especialmente de animales fistulados.
- Realizar pruebas de digestibilidad local. Es imperativo desarrollar protocolos de digestibilidad *in vivo* e *in vitro* utilizando específicamente la broza de frijol producida en las cuencas agrícolas de Arequipa, para precisar el aprovechamiento real de la energía y el nitrógeno en condiciones de altitud.
- Se recomienda evaluar diferentes formas de procesamiento de la broza de frijol (picado fino, molienda) combinándola con melaza u otras fuentes energéticas para mejorar el consumo voluntario por parte de las alpacas y llamas. Además, Se recomienda evaluar el uso de tratamientos químicos o biológicos en la broza de frijol, con el fin de romper los enlaces de la lignina, disminuir aún más la FDN y maximizar la digestibilidad de la fracción fibrosa.
- Se recomienda realizar una caracterización y cuantificación de los niveles de taninos condensados en la broza de frijol local. Asimismo, se sugiere investigar el uso de agentes desactivadores de taninos o tratamientos térmicos controlados, con el fin de evaluar si la reducción de estos compuestos fenólicos mejora la digestibilidad de la proteína y optimiza aún más el perfil proteico sérico de los camélidos sudamericanos durante el friaje
- Se sugiere investigar el uso de este residuo agrícola en categorías más vulnerables al friaje, como crías en crecimiento o hembras en el último tercio de gestación, donde los requerimientos nutricionales son mayores y el impacto de la suplementación sobre la supervivencia podría ser más significativo.

REFERENCIAS

1. Yacobaccio HD. The domestication of South American camelids: a review. *Anim Front* [Internet]. 19 de junio de 2021 [citado 16 de julio de 2025];11(3):43-51. Disponible en: <https://academic.oup.com/af/article/11/3/43/6306456>
2. Bruford MW, Chikhi L, Wheeler JC, Bradley DG. Genetic Analysis Of The Origins Of Domestic South American Camelids. En: *Documenting Domestication* [Internet]. University of California Press; 2019 [citado 16 de julio de 2025]. p. 329-41. Disponible en: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1525/9780520932425-026/html>
3. Wheeler JC. Evolution and present situation of the South American Camelidae. *Biol J Linn Soc* [Internet]. marzo de 1995 [citado 16 de julio de 2025];54(3):271-95. Disponible en: <https://academic.oup.com/biolinnean/article-lookup/doi/10.1111/j.1095-8312.1995.tb01037.x>
4. Wheeler JC. South American camelids - past, present and future. *J Camelid Sci* [Internet]. 2012 [citado 16 de julio de 2025]; Disponible en: https://isocard.info/images/journal_camelid/FILE486198178b052d8.pdf
5. Albarella U, Beja-Pereira A, Bervillé AA, Besnard G, Blattner FR, Bradley DG, et al., editores. *Documenting Domestication: New Genetic and Archaeological Paradigms* [Internet]. Berkeley, CA: University of California Press; 2006 [citado 16 de julio de 2025]. 1 p. Disponible en: 10.1525/9780520932425
6. Vilá B. *Camélidos sudamericanos*. Buenos Aires, Argentina: Eudeba; 2012. 176 p. (Ciencia joven).
7. de Lamo D. *Camélidos sudamericanos Historia, usos y sanidad animal* [Internet]. 1ra ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires; 2011 [citado 16 de julio de 2025]. 52 p. Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_de_camelidos/camelidos_general/03-manualnuevo6.pdf
8. Pinto C, Martín C, Cid M. (PDF) *Camélidos sudamericanos: clasificación, origen y características*. *Rev Complut Cienc Vet* 2010 412336 [Internet]. 2010 [citado 16 de julio de 2025]; Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/279339898_Camelidos_sudamericanos_clasificacion_origen_y_caracteristicas

9. Bonavia D. Los camélidos sudamericanos: Una introducción a su estudio [Internet]. Institut français d'études andines; 1996 [citado 16 de julio de 2025]. Disponible en: <http://books.openedition.org/ifea/2616>
10. FAO. International Year of Camelids. [citado 16 de julio de 2025]. Inicio | Año Internacional de los Camélidos | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <https://www.fao.org/camelids-2024/es>
11. Agencia Agraria de Noticias [Internet]. 2024 [citado 17 de julio de 2025]. Perú alberga 7 millones de camélidos sudamericanos, la mayor población a nivel mundial. Disponible en: <https://agraria.pe/noticias/peru-alberga-7-millones-de-camelidos-sudamericanos-la-mayor--36507>
12. MIDAGRI: El 87% de la población mundial de alpacas se encuentra en el Perú [Internet]. [citado 17 de julio de 2025]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/636546-midagri-el-87-de-la-poblacion-mundial-de-alpacas-se-encuentra-en-el-peru>
13. Neyra Paredes KL, Tupayachy Quispe DP, Almirón Baca JJ, Vargas-Serna C, Flores-Delgado C, Lujan-Biamonte H, et al. Study of the evolution of South American camelid textile products in Peru. En: Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: "Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions" [Internet]. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions; 2022 [citado 17 de julio de 2025]. Disponible en: <https://laccei.org/LACCEI2022-BocaRaton/meta/FP333.html>
14. Agencia Agraria de Noticias [Internet]. 2024 [citado 17 de julio de 2025]. INEI: sector agropecuario creció 5.35% entre enero y mayo de 2024. Disponible en: <https://agraria.pe/noticias/inei-sector-agropecuario-crecio-5-35-entre-enero-y-mayo-de-2-36433>
15. Mamani MM. Crianza tradicional versus crianza controlada. En busca de la rentabilidad en la crianza de las alpacas. 2015 [citado 17 de julio de 2025]; Disponible en: <https://www.descosur.org.pe/wp-content/uploads/2015/01/Crianzas.pdf>
16. Cebra C. Disorders of the Digestive System. En: Llama and Alpaca Care [Internet]. Elsevier; 2014 [citado 16 de julio de 2025]. p. 477-536. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781437723526000407>

17. Sawchyn Medical Illustration [Internet]. [citado 16 de julio de 2025]. Clinical Anatomy of the Camelid Stomach-. Disponible en: <https://www.sawchynmi.com/sawchynportfolios/clinical-anatomy-of-the-camelid-stomach-2/>
18. Yaranga R. ALIMENTACIÓN DE CAMELIDOS SUDAMERICANOS Y MANEJO DE PASTIZALES [Internet]. Huancayo, Perú: UNCP; 2009 [citado 17 de julio de 2025]. 6-12 p. (FACULTAD DE ZOOTECNIA). Disponible en: https://www.academia.edu/7308893/Alimentacion_de_camelidos_sudamericanos
19. Andrew N. Digestive System and Abdomen. En: Medicine and Surgery of Camelids [Internet]. 1.ª ed. Iowa State University Press: Wiley; 2022 [citado 17 de julio de 2025]. p. 669. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119583295.fmatter>
20. FELIPE A. COMPARATIVE FORAGE SELECTIYITY AND NUTRITION OF SOUTH AMERICAN CAMELIDS AND SHEEP [Internet]. Faculty of Texas Tech University; 1987 [citado 8 de marzo de 2025]. Disponible en: <https://ttu-ir.tdl.org/server/api/core/bitstreams/394be805-e8b2-4a49-9d3c-24b9f574a714/content>
21. Robinson TF, Roeder BL, Schaalje GB, Hammer JD, Burton S, Christensen M. Nitrogen balance and blood metabolites of alpaca (*Lama pacos*) fed three forages of different protein content. *Small Rumin Res* [Internet]. mayo de 2005 [citado 19 de julio de 2025];58(2):123-33. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921448804002391>
22. Davies HL, Robinson TF, Roeder BL, Sharp ME, Johnston NP, Christensen AC, et al. Digestibility, nitrogen balance, and blood metabolites in llama (*Lama glama*) and alpaca (*Lama pacos*) fed barley or barley alfalfa diets. *Small Rumin Res* [Internet]. noviembre de 2007 [citado 19 de julio de 2025];73(1-3):1-7. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921448806002859>
23. Guliński P. Ketone bodies, causes and effects of their increased presence in cows' body fluids: A review. *Vet World* [Internet]. junio de 2021 [citado 24 de agosto de 2025];14(6):1492-503. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8304442/>
24. Cholesterol [Internet]. Cornell University College of Veterinary Medicine. [citado 24 de agosto de 2025]. Disponible en: <https://eclinpath.com/chemistry/energy-metabolism/cholesterol/>

25. Gomez F. Nutritional Assessment, Nutritional Requirements and Forage Analysis of Llamas and Alpacas. Univ Tenn Knoxville [Internet]. 2011 [citado 8 de marzo de 2025]; Faculty Publications and Other Works-- Large Animal Clinical Sciences. Disponible en: https://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1025&context=utk_largepubs
26. Jones M. DVM 360. 2011 [citado 1 de agosto de 2025]. Ancillary gastrointestinal diagnostics in camelids (Proceedings). Disponible en: <https://www.dvm360.com/view/ancillary-gastrointestinal-diagnostics-camelids-proceedings>
27. Castillo C, Hernández J. Ruminant Fistulation and Cannulation: A Necessary Procedure for the Advancement of Biotechnological Research in Ruminant Animals [Internet]. 23 de junio de 2021 [citado 19 de julio de 2025];11(7):1870. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/7/1870>
28. Elizondo-Salazar JA, Monge-Rojas CR. Fistulación en bovinos y uso de la técnica de degradabilidad ruminal para análisis de alimentos. Nutr Anim Trop [Internet]. 16 de diciembre de 2020 [citado 19 de julio de 2025];14(2):209-29. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/45167>
29. Herd RM, Oddy VH, Richardson EC. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. Aust J Exp Agric [Internet]. 2004 [citado 1 de agosto de 2025];44(5):423. Disponible en: <http://www.publish.csiro.au/?paper=EA02220>
30. Gutiérrez González D, Borroto Torriente H, Gutiérrez González D, Borroto Torriente H. Consumo voluntario y pH ruminal, como indicador de la fermentación en corderos alimentados con un probiótico láctico. Cuban J Agric Sci [Internet]. diciembre de 2020 [citado 1 de agosto de 2025];54(4):547-56. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2079-34802020000400547&lng=es&nrm=iso&tlng=es
31. Fowler ME. Medicine and surgery of South American camelids: llama, alpaca, vicuña, guanaco. 1st ed. Ames: Iowa State University Press; 1989. 391 p.
32. Cunningham JG, Klein BG, editores. Cunningham's textbook of veterinary physiology. 5th ed. St. Louis, Mo: Elsevier/Saunders; 2013. 608 p.
33. San Martín F, Van Saun RJ. Applied Digestive Anatomy and Feeding Behavior. En: Llama and Alpaca Care [Internet]. Elsevier; 2014 [citado 1 de agosto de 2025]. p.

- 51-8. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9781437723526000080>
34. Mayer AF, Bordenave EI. UREA, SUPLEMENTACIÓN CON NITRÓGENO NO PROTEICO EN RUMIANTES. 2008; Disponible en: https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/44-urea_caracteristicas.pdf
35. Huamán-Carrión ML, Espinoza-Montes F, Barrial-Lujan AI, Ponce-Atencio Y. Influence of altitude and soil characteristics on organic carbon storage capacity of high Andean natural pastures. *Sci Agropecu* [Internet]. 15 de marzo de 2021 [citado 1 de agosto de 2025];12(1):83-90. Disponible en: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/3339>
36. Feedipedia [Internet]. 2013 [citado 6 de marzo de 2025]. Common bean (*Phaseolus vulgaris*). Disponible en: <https://www.feedipedia.org/node/266>
37. Pieltain MC, Castañón AAR, Flores MP, Castañón JIR. Nutritive value of postharvest bean by-products (*Phaseolus vulgaris* L.) for ruminants. *Anim Feed Sci Technol* [Internet]. noviembre de 1996 [citado 3 de agosto de 2025];62(2-4):271-5. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377840196009637>
38. López S, Davies DR, Giráldez FJ, Dhanoa M, Dijkstra J, France J. Assessment of nutritive value of cereal and legume straws based on chemical composition and *in vitro* digestibility. *J Sci Food Agric* [Internet]. julio de 2005 [citado 3 de agosto de 2025];85(9):1550-7. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jsfa.2136>
39. Magalhães ALR, Zorzi K, Queiroz ACD, Mello R, Detmann E, Pereira JC. Resíduo proveniente do beneficiamento do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em rações para vacas em lactação: consumo, digestibilidade, produção e composição do leite e eficiência de alimentação. *Rev Bras Zootec* [Internet]. marzo de 2008 [citado 3 de agosto de 2025];37(3):529-37. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982008000300019&lng=pt&tlng=pt
40. Rodrigues AL. RESÍDUO PROVENIENTE DO BENEFICIAMENTO DO FEIJÃO [Internet]. [MINAS GERAIS – BRASIL]: Universidade Federal de Viçosa; 2005. Disponible en: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/62d55430-e4cf-47c5-bacf-bc67b89e26f5/content>

41. Dejene M, Dixon RM, Duncan AJ, Walsh KB, McNeill D, Wolde-meskel E. Yields and the nutritive value of early harvested common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop residues for ruminants. *Livestock Research for Rural Development* 33(9), Article #113 [Internet]. 15 de septiembre de 2021 [citado 2 de agosto de 2025]; Disponible en: <https://www.ilri.org/knowledge/publications/yields-and-nutritive-value-early-harvested-common-bean-phaseolus-vulgaris-1>
42. Tassoni A, Tedeschi T, Zurlini C, Cigognini IM, Petrusan JI, Rodríguez Ó, et al. State-of-the-Art Production Chains for Peas, Beans and Chickpeas—Valorization of Agro-Industrial Residues and Applications of Derived Extracts. *Molecules* [Internet]. 18 de marzo de 2020 [citado 1 de agosto de 2025];25(6):1383. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/6/1383>
43. Mekasha Y, Tegegne A, Yami A, Umunna NN. Evaluation of non-conventional agro-industrial by-products as supplementary feeds for ruminants: in vitro and metabolism study with sheep. *Small Rumin Res* [Internet]. abril de 2002 [citado 1 de agosto de 2025];44(1):25-35. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921448802000093>
44. Zanine AM, Fonseca AA, Ribeiro MD, Leonel FP, Ferreira DJ, Souza AL, et al. Intake, digestibility and feeding behaviour of grazing dairy cows supplemented with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) residue. *Anim Prod Sci* [Internet]. 2020 [citado 1 de agosto de 2025];60(13):1607. Disponible en: <http://www.publish.csiro.au/?paper=AN18498>
45. Eynipour P, Chaji M, Sari M. Use of post-harvest common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) residues in diet of lambs and its effect on finishing performance, rumen fermentation, protozoa population and meat characteristics. *J Anim Physiol Anim Nutr* [Internet]. noviembre de 2019 [citado 2 de agosto de 2025];103(6):1708-18. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jpn.13192>
46. Serrato Corona JS, Partida Rodríguez R, López Martínez JD. Inclusión de rastrojo de maíz y paja de frijol en raciones para cabras en crecimiento. *Agrofaz Publ Semest Investig Científica* [Internet]. 2004 [citado 3 de agosto de 2025];4(1):455-8. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2302694>
47. López V. A, Morales S. MS, Cabrera C. R, Arias M. Ingestión y digestibilidad aparente de forrajes por la llama (*Lama glama*). II. heno de trébol rosado (*Trifolium pratense*), heno de ballica (*Lolium multiflorum*), paja de poroto (*Phaseolus vulgaris*) y paja de avena (*Avena sativa*). *Arch Med Vet* [Internet]. 2001 [citado 2 de agosto

- de 2025];33(2). Disponible en:
http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-732X2001000200003&lng=en&nrm=iso&tlng=en
48. Ismodes ASR. Arequipa: Tambo Cañahuas, una comunidad que vive en el retraso y lejanía pese a sus recursos [Internet]. El Búho. 2025 [citado 17 de julio de 2025]. Disponible en: <https://elbuho.pe/2025/05/arequipa-tambo-canahuas-una-comunidad-que-vive-en-el-retraso-y-lejania-pese-a-sus-recursos/>
49. Google Maps [Internet]. [citado 17 de julio de 2025]. Fundo Chapioco U.C.S.M. Disponible en: https://www.google.com/maps/place/Fundo+Chapioco+U.C.S.M./@-15.9594098,-71.3802655,713m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x9142653d84119e1f:0x1c3579c923a04a78!8m2!3d-15.9594098!4d-71.3776852!16s%2Fg%2F11fl3_q723!5m1!1e4?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDcxMy4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D
50. Google Maps [Internet]. [citado 17 de julio de 2025]. Fundo Huasacache - Universidad Católica de Santa María. Disponible en: https://www.google.com/maps/place/Fundo+Huasacache+-Universidad+Cat%C3%B3lica+de+Santa+Mar%C3%ADa/@-16.4582384,-71.5681971,712m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x9143b55652cd7c1b:0x631a110f2c3146a9!8m2!3d-16.4582384!4d-71.5656168!16s%2Fg%2F11sgr2s2k3!5m1!1e4?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDcxMy4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D
51. Steel R, Torrie J. Bioestadística Principios Y Procedimientos [Internet]. Segunda edición. Bogotá, Colombia: McGraw Hill; 1985 [citado 6 de septiembre de 2025]. 640 p. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/392008590/Steel-Robert-G-Bioestadistica-Principios-Y-Procedimientos-2ed-pdf>
52. D'Agostino Ralph B. Goodness-of-Fit Techniques [Internet]. 1.ª ed. D'Agostino RB, Stephens MA, editores. Routledge; 2017 [citado 6 de septiembre de 2025]. Disponible en: <https://www.taylorfrancis.com/books/9781351444569>.
53. Conover WJ. Practical nonparametric statistics. 3rd ed. New York: Wiley; 1999. 584 p. (Wiley series in probability and statistics. Applied probability and statistics section).



ANEXOS



ANEXO 1. MATRIZ DE RESULTADOS

TABLA 1. Resultados de bioquímica sanguínea de los individuos de estudio

Abreviación	002-1	002-2	003-1	003-2	006-1	006-2	008-1	008-2
	Llama	Llama	Llama	Llama	Alpaca	Alpaca	Alpaca	Alpaca
	Macho	Macho	Hembra	Hembra	Macho	Macho	Macho	Macho
ALB	4.2	4.1	4.1	3.7	4.1	3.8	4.8	4.6
TP	7.4	6.8	5.8	5.4	6.2	5.8	6	5.8
GLU	133	124	129	130	136	123	121	132
CHOL	<50	<50	68	59	<50	<50	<50	<50
ALP	63	80	96	98	49	57	98	97
ALT	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
AST	236	193	207	192	138	136	179	162
TBIL	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
AMY	595	613	328	328	445	437	416	449
BUN	16.8	18.7	15.4	12.6	14.4	12.9	15	9.7
CREA	1.89	1.93	2.38	1.97	2.26	2.1	2.12	2.13
Ca	8.9	8.1	8.6	8	8.3	7.7	8.9	8.7
PHOS	6.6	6	7.1	5.5	8	5.8	9.1	8.4
#GLOB	3.2	2.7	1.7	1.7	2.1	2	1.2	1.2
#UREA	36	40	33	27	30.8	27.6	32.1	20.8
#C-Ca	8.7	8	8.5	8.2	8.2	7.9	8.3	8.2
#A/G	1.3	1.5	2.4	2.2	2	1.9	4	3.8
#B/C	8.9	9.7	6.5	6.4	6.4	6.1	7.1	4.6

TABLA 2. Resultados de análisis bromatológico de materia seca parcial a 55 °C por 48 horas

		MATERIA SECA PARCIAL A 55 °C POR 48 H					
		ENTRADA			SALIDA		
Cod. lab.	Items	Bandeja (g)	B + MV (g)	M verde (g)	B+MS (g)	M desecada (g)	MS55 (%)
5	Chillihua	176.70	308.16	131.46	283.62	106.92	81.33
6	Chillihua	169.98	308.09	138.11	285.51	115.53	83.65
7	Parhuayo	164.73	282.49	117.76	259.14	94.41	80.17
8	Parhuayo	175.22	384.58	209.36	354.43	179.21	85.60
9	Bofedal 1-1	170.44	597.32	426.88	233.86	63.42	14.86
10	Bofedal 1-1	168.29	593.57	425.28	223.70	55.41	13.03
11	Bofedal 1-2	171.22	595.98	424.76	218.12	46.90	11.04
12	Bofedal 1-2	172.99	591.78	418.79	241.99	69.00	16.48

TABLA 3. Resultados de análisis bromatológico de materia seca a 105 °C por 3 horas

MATERIA SECA A 105 °C POR 3 H					
		ENTRADA		SALIDA	
Items	Crisol	Muestra (g)	M desecada (g)	MS105 (%)	
Broza de frijol	13.8894	2.0032	15.7526	93.01	
Broza de frijol	15.1710	2.0017	17.0326	93.00	
Chillihua	15.1317	2.0027	17.0754	97.05	
Chillihua	17.3744	2.0030	19.3172	96.99	
Parhuayo	15.1720	2.0030	17.1101	96.76	
Parhuayo	15.8809	2.0026	17.8174	96.70	
Bofedal 1-1	15.3240	2.0077	17.2485	95.86	
Bofedal 1-1	14.2463	2.0075	16.1688	95.77	
Bofedal 1-2	15.7311	2.0053	17.6494	95.66	
Bofedal 1-2	15.7589	2.0070	17.6756	95.50	

TABLA 4. Resultados de análisis bromatológico de Materia Seca Total

Items	MATERIA SECA TOTAL				
	MS55 (%)	MS105 (%)	promedio MS 105	Materia seca Absoluta	Promedio MS Total (%)
Broza de frijol		93.01			
Broza de frijol		93.00	93.01	93.01	93.01
Chillihua	81.33	97.05		78.94	
Chillihua	83.65	96.99	97.02	81.14	80.04
Parhuayo	80.17	96.76		77.57	
Parhuayo	85.60	96.70	96.73	82.77	80.17
Bofedal 1-1	14.86	95.86		14.24	
Bofedal 1-1	13.03	95.77	95.81	12.48	13.36
Bofedal 1-2	11.04	95.66		10.56	
Bofedal 1-2	16.48	95.50	95.58	15.73	13.15

TABLA 5. Resultados de análisis bromatológico de Cenizas

Cod. lab.		Items	CENIZA 600 °C POR 3 H					Promedio
			ENTRADA Crisol	SALIDA Crisol + Ceniza	MS105 (%)	CENIZA % Ceniza		
3	0	Broza de	13.8894	14.0343	93.01	7.78	7.78	
4	0	Broza de frijol	15.1710	15.3168	93.00	7.83	7.83	7.80
5	0	Chillihua	15.1317	15.2553	97.05	6.36	6.36	
6	0	Chillihua	17.3744	17.4978	96.99	6.35	6.35	6.36
7	0	Parhuayo	15.1720	15.2838	96.76	5.77	5.77	
8	0	Parhuayo	15.8809	15.9926	96.70	5.77	5.77	5.77
9	0	Bofedal 1-1	15.3240	15.4819	95.86	8.20	8.20	
10	0	Bofedal 1-1	14.2463	14.4013	95.77	8.06	8.06	8.13
11	0	Bofedal 1-2	15.7311	15.9385	95.66	10.81	10.81	
12	0	Bofedal 1-2	15.7589	15.9705	95.50	11.04	11.04	10.93

TABLA 6. Resultados de análisis bromatológico de Extracto Etéreo (EE)

Fecha 24/09/08		Muestras entrada			Peso salida			
Nro	Codigo	Descripcion	Muestra (g)	Vaso (g)	M + V (g)	% EE (MF)	% EE (MS)	Promedio
0	3	Broza de frijol	1.0030	24.5556	24.5608	0.52	0.52	0.62
0	4	Broza de frijol	1.0062	24.7934	24.8007	0.73	0.73	
0	5	Chillihua	1.0064	24.5438	24.5560	1.21	1.21	1.20
0	6	Chillihua	1.0016	24.1526	24.1644	1.18	1.18	
0	7	Parhuayo	1.0087	24.0687	24.0799	1.11	1.11	16.13
0	8	Parhuayo	1.0071	24.5562	24.8699	31.15	31.15	
0	9	Bofedal 1-1	1.0079	24.5442	24.5592	1.49	1.49	1.40
0	10	Bofedal 1-1	1.0025	24.1522	24.1654	1.32	1.32	
0	11	Bofedal 1-2	1.0013	24.0695	24.0856	1.61	1.61	1.48
0	12	Bofedal 1-2	1.0036	24.5562	24.5698	1.36	1.36	

Nota: El valor de la muestra 8 (31.15%) se considera un error técnico de pesada y fue excluido del cálculo del promedio reportado en el Capítulo IV

TABLA 7. Resultados de análisis bromatológico de Fibra Detergente Neutra (FDN)

Fecha 24/09/08		Muestras entrada			Peso salida			
Nro	Código	Descripción	Peso Bolsa	Muestra (g)	M + B (g)	% FDN	% FDN (MS)	Promedio
0	3	Broza de frijol	0.5544	1.0019	1.0897	53.67	53.67	
0	4	Broza de frijol	0.5527	1.0029	1.0921	54.03	54.03	53.85
0	5	Chillihua	0.5658	1.0052	1.2558	68.89	68.89	
0	6	Chillihua	0.5627	1.0053	1.2570	69.31	69.31	69.10
0	7	Parhuayo	0.5395	1.0064	1.1924	65.11	65.11	
0	8	Parhuayo	0.5388	1.0023	1.1758	63.79	63.79	64.45
0	9	Bofedal 1-1	0.5464	0.5044	0.8391	58.50	58.50	
0	10	Bofedal 1-1	0.5537	0.5002	0.8465	59.02	59.02	58.76
0	11	Bofedal 1-2	0.5535	0.5007	0.8232	54.35	54.35	
0	12	Bofedal 1-2	0.5314	0.5000	0.8096	56.11	56.11	55.23

TABLA 8. Resultados de análisis bromatológico de Proteína

Fecha 24/09/08		Muestras entrada			Factor de	Hcl 0.25 N							
Nro	Codigo	Descripción	Peso M (g)	Hcl 0.25Nml.	corrección	NORM	Gasto	% NT (MF)	% PT (MF)	% PT (MS)	Promedio	Promedio N	
0	3	Broza de frijol	0.1567	0.03	0.9605	0.25	0.48	0.97	6.03	6.03			
0	4	Broza de frijol	0.1540	0.03	0.9605	0.25	0.44	0.90	5.59	5.59	5.81	0.93	
0	5	Chillihua	0.1510	0.03	0.9605	0.25	0.32	0.65	4.04	4.04			
0	6	Chillihua	0.1567	0.03	0.9605	0.25	0.32	0.62	3.89	3.89	3.96	0.63	
0	7	Parhuayo	0.1559	0.03	0.9605	0.25	0.42	0.84	5.26	5.26			
0	8	Parhuayo	0.1508	0.03	0.9605	0.25	0.44	0.91	5.71	5.71	5.48	0.88	
0	9	Bofedal 1-1	0.1575	0.03	0.9605	0.25	0.64	1.30	8.14	8.14			
0	10	Bofedal 1-1	0.1542	0.03	0.9605	0.25	0.68	1.42	8.86	8.86	8.50	1.36	
0	11	Bofedal 1-2	0.1524	0.03	0.9605	0.25	1.50	3.24	20.27	20.27			
0	12	Bofedal 1-2	0.1518	0.03	0.9605	0.25	1.34	2.90	18.13	18.13	19.20	3.07	

TABLA 9. Determinación de Ácidos Grasos Volátiles – Líquido Ruminal

Nro	Código	Descripción	Muestra (ml)	Rojo Cresol	DESTILACIÓN NaOH	Factor de corrección	Normalidad (NaOH)	Gasto
1	002-1	Líquido Ruminal	10 ml	10 gotas	2 ml	0.983	0.1	5.99
2	002-1 duplicado	Líquido Ruminal	10 ml	10 gotas	2 ml	0.983	0.1	5.96
3	002-2	Líquido Ruminal	10 ml	10 gotas	2 ml	0.983	0.1	6.37
4	002-2 duplicado	Líquido Ruminal	10 ml	10 gotas	2 ml	0.983	0.1	6.39

Tabla 10. Determinación de Nitrógeno Amoniacal – Líquido Ruminal

Nro	Código	Descripción	P. muestra	DIGESTIÓN H ₂ SO ₄	DESTILACIÓN NaOH	Factor de corrección	HCl 0.25 N	Gasto	Observaciones (pH)
1	002-1	Líquido Ruminal	10 ml	25 ml	25 ml	1.0115	0.25 N	0.35	4.65
2	002-1 duplicado	Líquido Ruminal	10 ml	25 ml	25 ml	1.0115	0.25 N	0.34	4.62
3	002-2	Líquido Ruminal	10 ml	25 ml	25 ml	1.0115	0.25 N	0.35	4.52
4	002-2 duplicado	Líquido Ruminal	10 ml	25 ml	25 ml	1.0115	0.25 N	0.34	4.6

Tabla 11. Resultados hematológicos de laboratorio de individuos en estudio.

Sigla	Parámetro	Unidad	002-1	002-2	003-1	003-2	006-1	006-2	008-1	008-2
LEU	Leucocitos (Totales)	10 ⁹ /L	18.65	11.17	11.14	14.15	13.23	10.8	10.38	9.85
LIN	Linfocitos (Absoluto)	10 ⁹ /L	3.89	1.61	1.4	2.78	1.85	1.29	1.58	5.6
MON	Monocitos (Absoluto)	10 ⁹ /L	0.24	0.08	0.07	0.11	0.08	0.08	0.09	0.07
NEU	Neutrófilos (Absoluto)	10 ⁹ /L	10.75	8.42	9.17	10.39	10.64	8.9	7.82	3.51
EOS	Eosinófilos (Absoluto)	10 ⁹ /L	3.77	1.06	0.49	0.87	0.66	0.52	0.89	0.67
BAS	Basófilos (Absoluto)	10 ⁹ /L	0	0	0	0	0	0	0	0
LIN%	Linfocitos (Porcentaje)	%	20.8	14.4	12.6	19.7	14	12	15.2	56.9
MON%	Monocitos (Porcentaje)	%	1.3	0.7	0.6	0.8	0.6	0.8	0.9	0.7
NEU%	Neutrófilos (Porcentaje)	%	57.7	75.4	82.3	73.4	80.5	82.4	75.3	35.6
EOS%	Eosinófilos (Porcentaje)	%	20.2	9.5	4.4	6.2	5	4.8	8.6	6.8
BAS%	Basófilos (Porcentaje)	%	0	0	0	0	0	0	0	0
---	---	---		---	---	---	---	---	---	---
ERI	Eritrocitos (Glóbulos Rojos)	10 ¹² /L	15.36	17.11 +	13.95	14.3	13.47	14.1	10.44	12.06
Hb	Hemoglobina	g/dl	20.6	23.3 +	17.8	18.8 +	17.6	18.5	13.2	14.2
HCT	Hematocrito	%	37.94	42.91	33.56	34.89	31.59	35.09	24.82 -	28.61
VCM	Vol. Corpuscular Medio	fl	25	25	24	24	23	25	24	24
HCM	Hemoglobina Corp. Media	pg	13.4	13.6	12.8	13.1	13.1	13.2	12.6	11.8
CHCM	Conc. de Hb Corp. Media	g/dl	54.4	54.2 +	53.1 +	53.8 +	55.8 +	52.9 +	53.0 +	49.6 +
RDWc	Amplitud de distr. eritrocitaria	%	34.2	37.1	31.3	31.7	32.5	33.9	29.7	29.7
RDWs	Desviación estándar de RDW	fl	28.9	33.6	25	25.8	25	28.1	24.2	24.2



ANEXO 2. SECUENCIA FOTOGRÁFICA

MATERIALES Y EQUIPOS



Foto 1. Cetómetro y tiras reactivas.



Foto 2. Balanza colgante digital.



Foto 3. Centrífuga.



Foto 4. Phmetro digital.

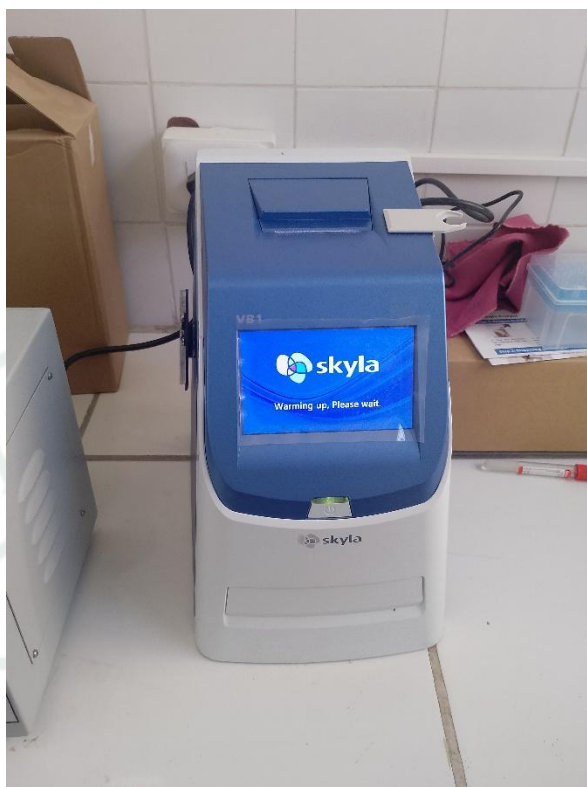


Foto 5. Analizador bioquímico Skyla VB1.



Foto 6. Baño maría termostático de laboratorio.



Foto 7. Equipo destilador de Kjeldahl.



Foto 8. Equipo automático de Titulación.

PROCEDIMIENTOS

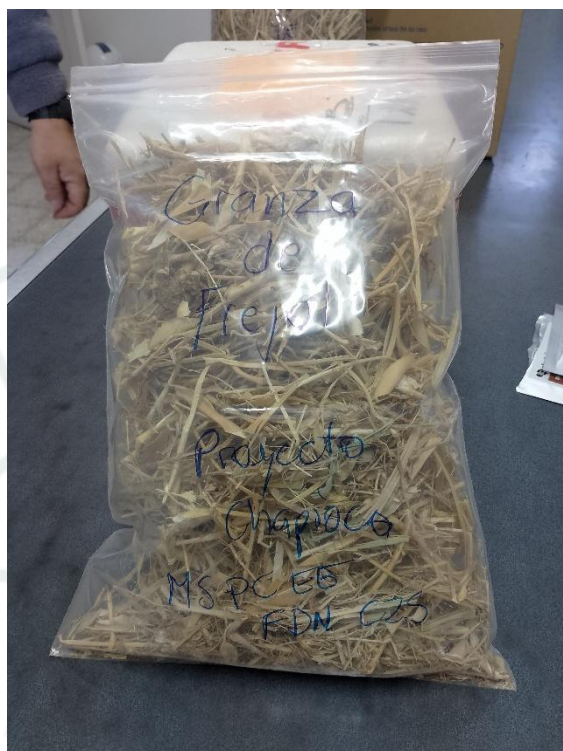


Foto 9. Muestra de Broza de Frijol para procesamiento en laboratorio.



Foto 10. Unidades experimentales al pastoreo.



Foto 11. Pesaje del alimento suplemento (Broza de Frijol)



Foto 12. Suplemento ofrecido a las unidades experimentales



Foto 13. Recolección de muestras de pastos naturales para procesamiento y análisis bromatológico en laboratorio.



Foto 14. Proceso de recolección de contenido ruminal a través de una fistula.



Foto 15. Toma de valor de pH de contenido ruminal después de su extracción



Foto 16. Recolección de muestra sanguínea por punción de la vena yugular

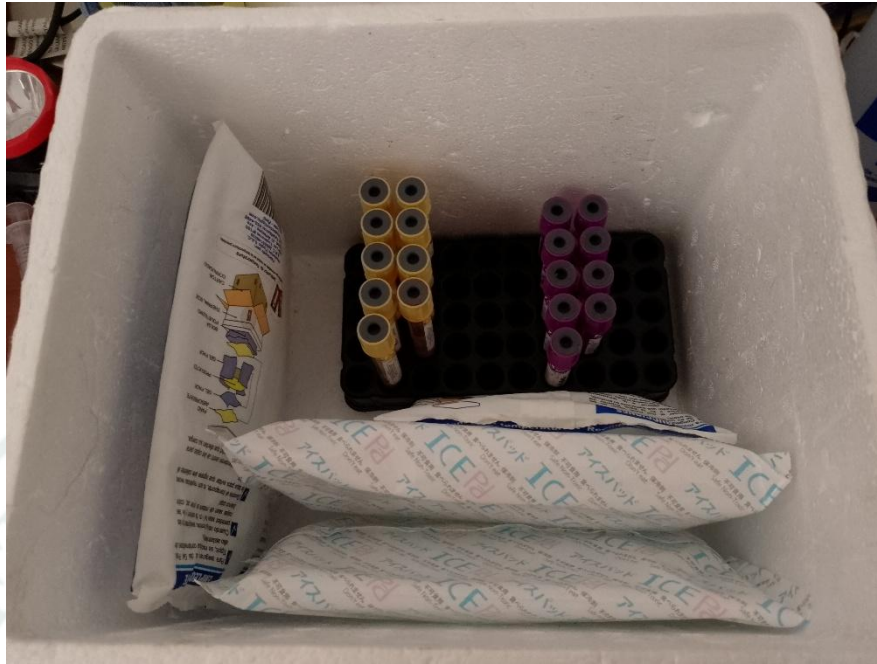


Foto 17. Almacenamiento de muestras sanguíneas para posterior envío a laboratorio



Foto 18. Obtención de resultados de cuerpos cetónicos en sangre utilizando un cetómetro



Foto 19. Procedimiento para la obtención de resultados bioquímicos sanguíneos utilizando el analizador de química analítica Skyla



Foto 20. Procedimiento para la obtención de resultados parámetros fermentativos (ácidos grasos volátiles y nitrógeno amoniacal) utilizando el equipo destilador Kjeldahl.

REPORTES DE LABORATORIO

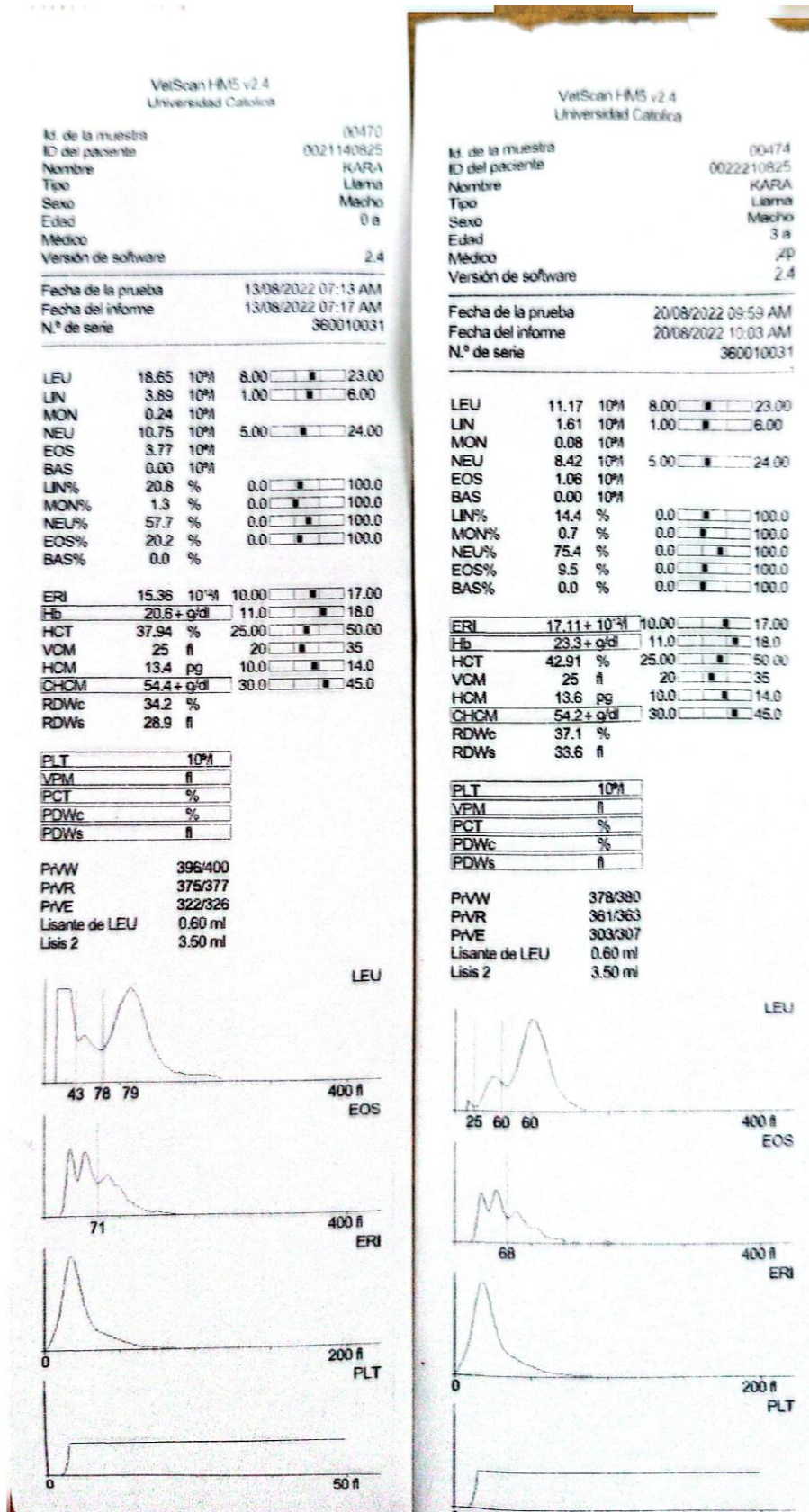


Foto 21. Resultados hematológicos del individuo 002 antes y después de la suplementación con broza de frijol.

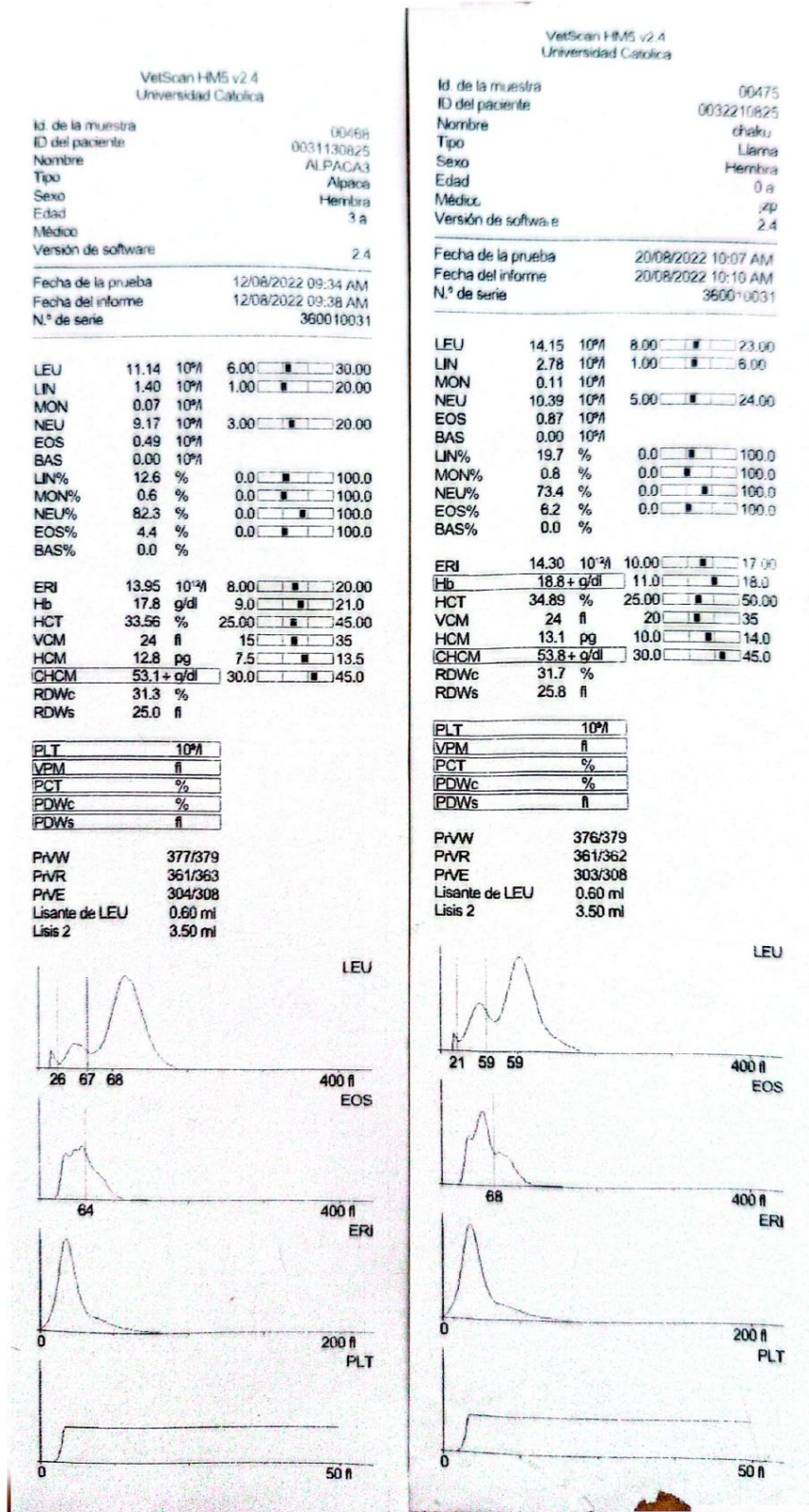


Foto 22. Resultados hematológicos del individuo 003 antes y después de la suplementación con broza de frijol. En el presente reporte original se observa un error de digitación en la casilla "Tipo", consignándose como "Alpaca" cuando técnicamente corresponde a una Llama, tal como se detalla en la Matriz de Datos

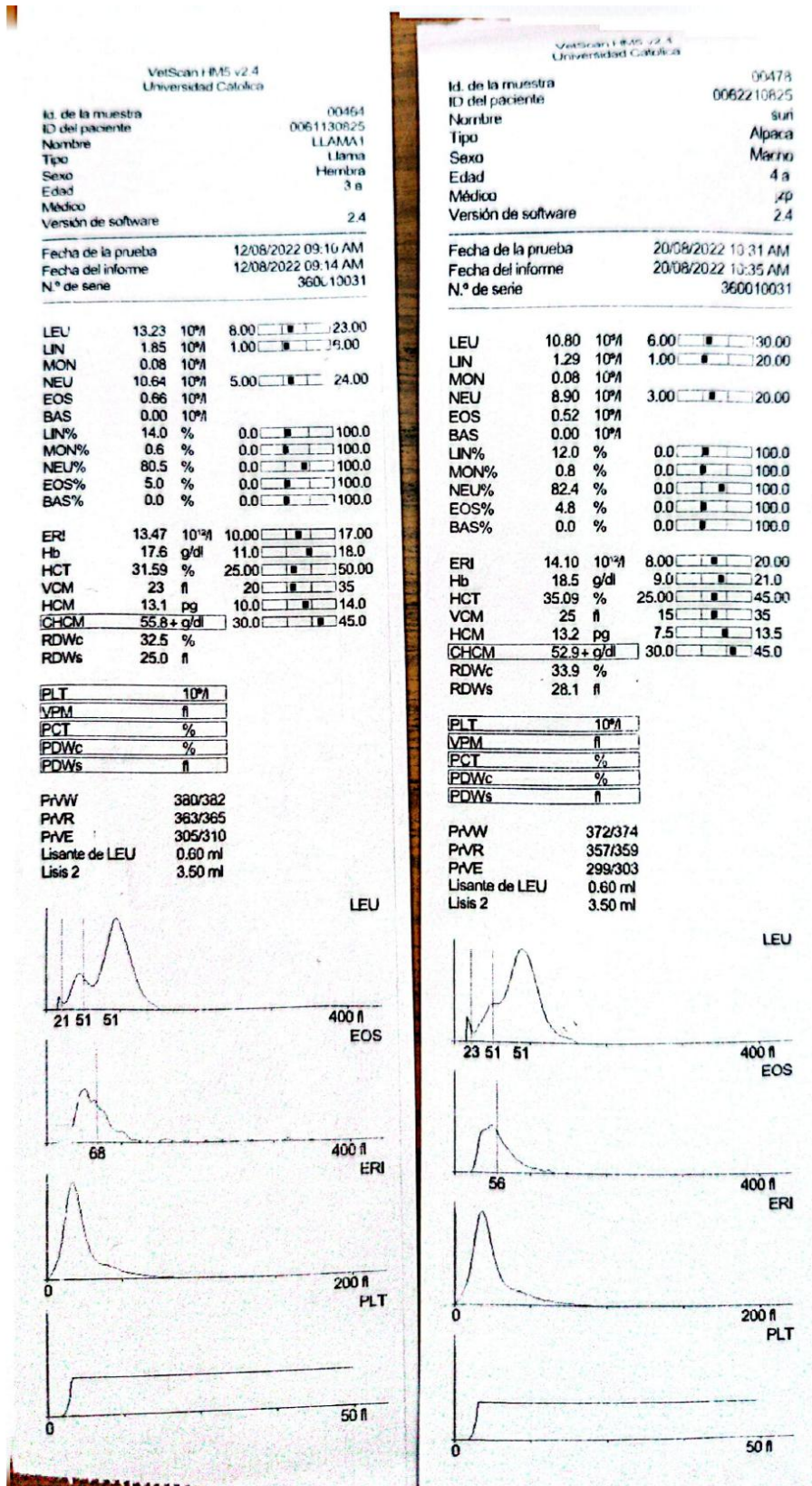


Foto 23. Resultados hematológicos del individuo 006 antes y después de la suplementación con broza de frijol.

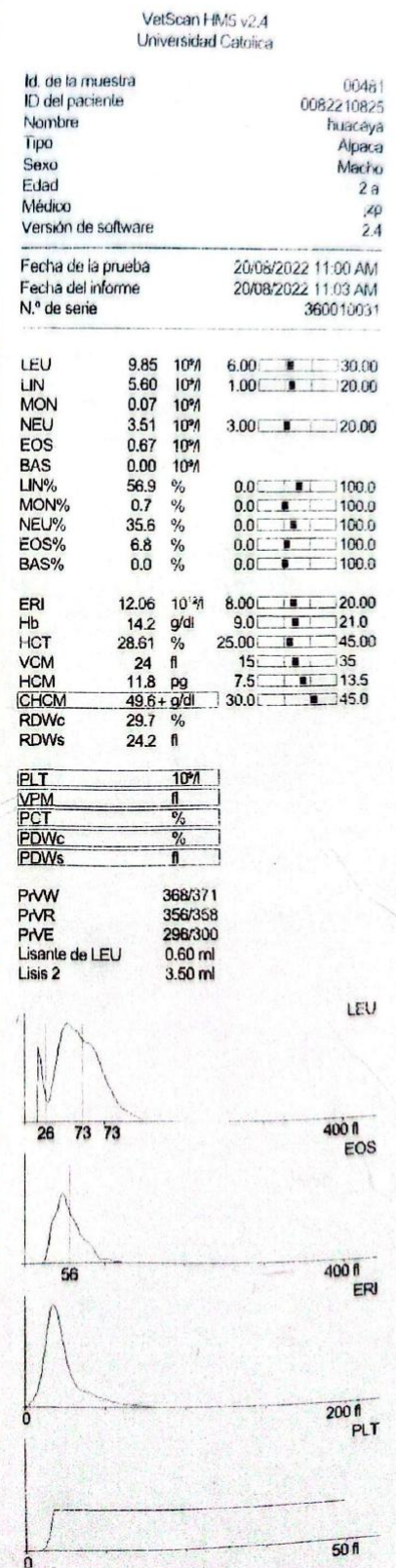
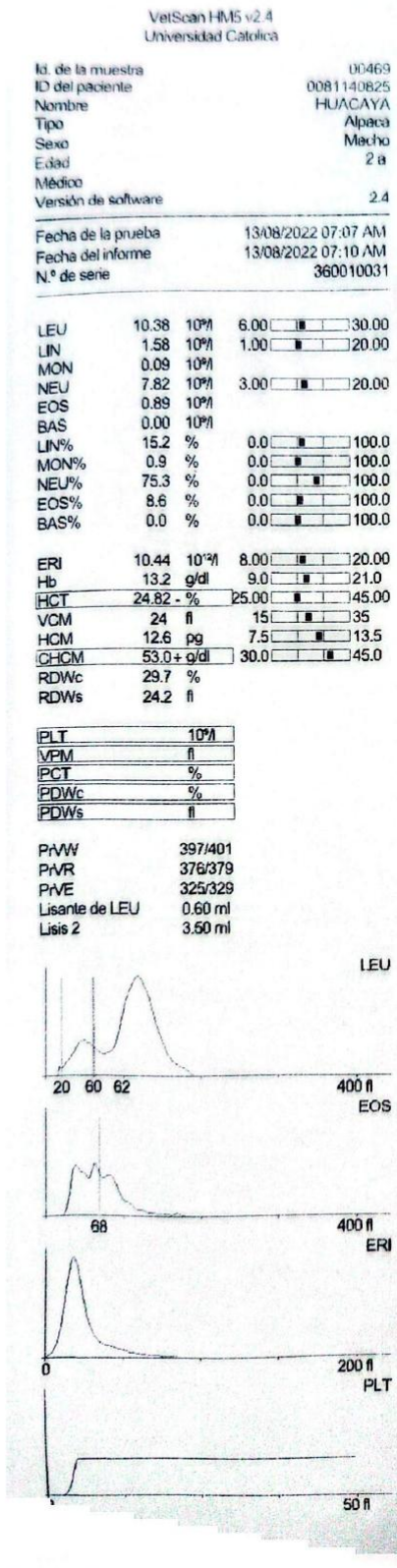


Foto 24. Resultados hematológicos del individuo 008 antes y después de la suplementación con broza de frijol.

Analizador químico skyla VBI Diagnosis Panel				Analizador químico skyla VBI Diagnosis Panel			
26-08-2025		12:10:50		08-11-2025		10:35:05	
Dueño:		UCSM		Dueño:		UCSM	
Tipo muestra:		Paciente		Tipo muestra:		Paciente	
P-ID:		0021		P-ID:		0022	
Nombre:		KCARA		Nombre:		KARA	
Especies:		Canino		Especies:		Canino	
Raza:		LLAMA		Raza:		LLAMA	
Sexo:		Macho		Sexo:		Macho	
Peso:		120 Kg		Peso:		120 Kg	
Edad:		3 Año		Edad:		3 Año	
Cód. PR: 1250220705C533AES28				Cód. PR: 1250715709C533AES28			
CQ Sistema:		OK		CQ Sistema:		OK	
CQ Muestra:		OK		CQ Muestra:		OK	
LIP: 0		HEM: 0		LIP: 0		HEM: 0	
ICT: 0		ICT: 0		ICT: 0		ICT: 0	
Elem	Resul.	Rango	Uni.	Elem	Resul.	Rango	Uni.
ALB	4.2	2.6-4.6	g/dL	ALB	4.1	2.6-4.6	g/dL
TP	7.4	5.2-8.2	g/dL	TP	6.8	5.2-8.2	g/dL
GLU	↑ 133	60-132	mg/dL	GLU	124	60-132	mg/dL
CHOL	↓ <50	110-320	mg/dL	CHOL	↓ <50	110-320	mg/dL
ALP	63	0-212	U/L	ALP	80	0-212	U/L
ALT	<20	0-88	U/L	ALT	<20	0-88	U/L
AST	↑ 236	0-50	U/L	AST	↑ 193	0-50	U/L
TBIL	<0.4	0.0-0.9	mg/dL	TBIL	<0.4	0.0-0.9	mg/dL
AMY	595	400-1500	U/L	AMY	613	400-1500	U/L
BUN	16.8	6.0-26.0	mg/dL	BUN	18.7	6.0-26.0	mg/dL
CREA	↑ 1.89	0.40-1.60	mg/dL	CREA	↑ 1.93	0.40-1.60	mg/dL
Ca	8.9	7.9-12.0	mg/dL	Ca	8.1	7.9-12.0	mg/dL
PHOS	6.6	2.5-6.8	mg/dL	PHOS	6.0	2.5-6.8	mg/dL
#GLOB	3.2	2.2-4.6	g/dL	#GLOB	2.7	2.2-4.6	g/dL
#UREA	36.0	12.8-55.6	mg/dL	#UREA	40.0	12.8-55.6	mg/dL
#C-Ca	8.7	7.9-12.0	mg/dL	#C-Ca	8.0	7.9-12.0	mg/dL
#A/G	↑ 1.3	0.6-1.1		#A/G	↑ 1.5	0.6-1.1	
#B/C	↓ 8.9	13.0-20.0		#B/C	↓ 9.7	13.0-20.0	
Calculated in mg/dL				Calculated in mg/dL			
S2H2501200022				S2H2501200022			
Individual patient may vary from the guideline. Any suggestion should not be the clinical judgement directly.				Individual patient may vary from the guideline. Any suggestion should not be the clinical judgement directly.			

Foto 25. Resultados bioquímicos sanguíneos del individuo 002 antes y después de la suplementación con broza de frijol.

Analizador químico skyla VBI Diagnosis Panel				Analizador químico skyla VBI Diagnosis Panel			
26-08-2025		12:29:11		08-11-2025		10:51:16	
Dueño:		UCSM		Dueño:		UCSM	
Tipo muestra:		Paciente		Tipo muestra:		Paciente	
P-ID:		0031		P-ID:		0032	
Nombre:		CHAKU		Nombre:		CHAKU	
Especies:		Canino		Especies:		Canino	
Raza:		LLAMA		Raza:		LLAMA	
Sexo:		Hembra		Sexo:		Hembra	
Peso:		110 Kg		Peso:		120 Kg	
Edad:		3 Año		Edad:		3 Año	
Cód PR: 12502207050S33AES28				Cód PR: 1250115799CS33AES28			
CQ Sistema:		OK		CQ Sistema:		OK	
CQ Muestra:		OK		CQ Muestra:		OK	
LIP: 0		HEM: 0		LIP: 0		HEM: 0	
		ICT: 0				ICT: 0	
Elem	Resul.	Rango	Uni.	Elem	Resul.	Rango	Uni.
ALB	4.1	2.6-4.6	g/dL	ALB	3.7	2.6-4.6	g/dL
TP	5.8	5.2-8.2	g/dL	TP	5.4	5.2-8.2	g/dL
GLU	129	60-132	mg/dL	GLU	130	60-132	mg/dL
CHOL ↓	68	110-320	mg/dL	CHOL ↓	59	110-320	mg/dL
ALP	96	0-212	U/L	ALP	98	0-212	U/L
ALT	<20	0-88	U/L	ALT	<20	0-88	U/L
AST ↑	207	0-50	U/L	AST ↑	192	0-50	U/L
TBIL	<0.4	0.0-0.9	mg/dL	TBIL	<0.4	0.0-0.9	mg/dL
AMY ↓	328	400-1500	U/L	AMY ↓	328	400-1500	U/L
BUN	15.4	6.0-26.0	mg/dL	BUN	12.6	6.0-26.0	mg/dL
CREA ↑	2.38	0.40-1.60	mg/dL	CREA ↑	1.97	0.40-1.60	mg/dL
Ca	8.6	7.9-12.0	mg/dL	Ca	8.0	7.9-12.0	mg/dL
PHOS ↑	7.1	2.5-6.8	mg/dL	PHOS	5.5	2.5-6.8	mg/dL
#GLOB ↓	1.7	2.2-4.6	g/dL	#GLOB ↓	1.7	2.2-4.6	g/dL
#UREA	33.0	12.8-55.6	mg/dL	#UREA	27.0	12.8-55.6	mg/dL
#C-Ca	8.5	7.9-12.0	mg/dL	#C-Ca	8.2	7.9-12.0	mg/dL
#A/G ↑	2.4	0.6-1.1		#A/G ↑	2.2	0.6-1.1	
#B/C ↓	6.5	13.0-20.0		#B/C ↓	6.4	13.0-20.0	
Calculated in mg/dL				Calculated in mg/dL			
52H2501200022				52H2501200022			
===== Individual patient may vary from the guideline. Any suggestion should not be the clinical judgement directly.				===== Individual patient may vary from the guideline. Any suggestion should not be the clinical judgement directly.			

Foto 26. Resultados bioquímicos sanguíneos del individuo 003 antes y después de la suplementación con broza de frijol.

Analizador químico skyla VB1 Diagnosis Panel				Analizador químico skyla VB1 Diagnosis Panel			
08-11-2025		09:27:51		08-11-2025		11:57:22	
Dueño:		UCSM		Dueño:		UCSM	
Tipo muestra:		Paciente		Tipo muestra:		Paciente	
P-ID:		0061		P-ID:		0062	
Nombre:		SURI		Nombre:		SURI	
Especies:		Canino		Especies:		Canino	
Raza:		ALPACA		Raza:		ALPACA	
Sexo:		Macho		Sexo:		Macho	
Peso:		80 Kg		Peso:		70 Kg	
Edad:		3 Año		Edad:		3 Año	
Cód. PR: 1250715709CS33AES28				Cód. PR: 1250715709CS33AES28			
CQ Sistema:		OK		CQ Sistema:		OK	
CQ Muestra:		OK		CQ Muestra:		OK	
LIP: 0		HEM: 0		LIP: 0		HEM: 0	
		ICT: 0				ICT: 0	
Elem	Resul.	Rango*	Uni.	Elem	Resul.	Rango	Uni.
ALB	4.1	2.6-4.6	g/dL	ALB	3.8	2.6-4.6	g/dL
TP	6.2	5.2-8.2	g/dL	TP	5.8	5.2-8.2	g/dL
GLU	↑ 136	60-132	mg/dL	GLU	123	60-132	mg/dL
CHOL	↓ <50	110-320	mg/dL	CHOL	↓ <50	110-320	mg/dL
ALP	49	0-212	U/L	ALP	57	0-212	U/L
ALT	<20	0-88	U/L	ALT	<20	0-88	U/L
AST	↑ 138	0-50	U/L	AST	↑ 136	0-50	U/L
TBIL	<0.4	0.0-0.9	mg/dL	TBIL	<0.4	0.0-0.9	mg/dL
AMY	445	400-1500	U/L	AMY	437	400-1500	U/L
BUN	14.4	6.0-26.0	mg/dL	BUN	12.9	6.0-26.0	mg/dL
CREA	↑ 2.26	0.40-1.60	mg/dL	CREA	↑ 2.10	0.40-1.60	mg/dL
Ca	8.3	7.9-12.0	mg/dL	Ca	↓ 7.7	7.9-12.0	mg/dL
PHOS	↑ 8.0	2.5-6.8	mg/dL	PHOS	5.8	2.5-6.8	mg/dL
#GLOB	↓ 2.1	2.2-4.6	g/dL	#GLOB	↓ 2.0	2.2-4.6	g/dL
#UREA	30.8	12.8-55.6	mg/dL	#UREA	27.6	12.8-55.6	mg/dL
#C-Ca	8.2	7.9-12.0	mg/dL	#C-Ca	7.9	7.9-12.0	mg/dL
#A/G	↑ 2.0	0.6-1.1		#A/G	↑ 1.9	0.6-1.1	
#B/C	↓ 6.4	13.0-20.0		#B/C	↓ 6.1	13.0-20.0	
Calculated in mg/dL				Calculated in mg/dL			
S2H2501200022				S2H2501200022			
===== Individual patient may vary from the guideline. Any suggestion should not be the clinical judgement directly.				===== Individual patient may vary from the guideline. Any suggestion should not be the clinical judgement directly.			

Foto 27. Resultados bioquímicos sanguíneos del individuo 006 antes y después de la suplementación con broza de frijol.

Analizador químico skyla VBI
Diagnosis Panel

08-11-2025 10:01:55
 Dueño: UCSM
 Tipo muestra: Paciente
 P-ID: 0081
 Nombre: HUACAYA
 Especies: Canino
 Raza: ALPACA
 Sexo: Macho
 Peso: 70 Kg
 Edad: 3 Año
 Cód. PR: 1250715709CS33AES28
 CQ Sistema: OK
 CQ Muestra: OK
 LIP: 0 HEM: 0 ICT: 0

Elem	Resul.	Rango	Uni.
ALB	↑ 4.8	2.6-4.6	g/dL
TP	6.0	5.2-8.2	g/dL
GLU	121	60-132	mg/dL
CHOL	↓ <50	110-320	mg/dL
ALP	98	0-212	U/L
ALT	<20	0-88	U/L
AST	↑ 179	0-50	U/L
TBIL	<0.4	0.0-0.9	mg/dL
AMY	416	400-1500	U/L
BUN	15.0	6.0-26.0	mg/dL
CREA	↑ 2.12	0.40-1.60	mg/dL
Ca	8.9	7.9-12.0	mg/dL
PHOS	↑ 9.1	2.5-6.8	mg/dL
#GLOB	↓ 1.2	2.2-4.6	g/dL
#UREA	32.1	12.8-55.6	mg/dL
#C-Ca	8.3	7.9-12.0	mg/dL
#A/G	↑ 4.0	0.6-1.1	
#B/C	↓ 7.1	13.0-20.0	

Calculated in mg/dL
S2H2501200022

=====
 Individual patient may vary from
 the guideline.
 Any suggestion should not be the
 clinical judgement directly.

Analizador químico skyla VBI
Diagnosis Panel

08-11-2025 12:15:06
 Dueño: UCSM
 Tipo muestra: Paciente
 P-ID: 0082
 Nombre: HUACAYA
 Especies: Canino
 Raza: ALPACA
 Sexo: Macho
 Peso: 60 Kg
 Edad: 3 Año
 Cód. PR: 1250715709CS33AES28
 CQ Sistema: OK
 CQ Muestra: OK
 LIP: 0 HEM: 0 ICT: 0

Elem	Resul.	Rango	Uni.
ALB	4.6	2.6-4.6	g/dL
TP	5.8	5.2-8.2	g/dL
GLU	132	60-132	mg/dL
CHOL	↓ <50	110-320	mg/dL
ALP	97	0-212	U/L
ALT	<20	0-88	U/L
AST	↑ 162	0-50	mg/dL
TBIL	<0.4	0.0-0.9	U/L
AMY	449	400-1500	mg/dL
BUN	9.7	6.0-26.0	mg/dL
CREA	↑ 2.13	0.40-1.60	mg/dL
Ca	8.7	7.9-12.0	mg/dL
PHOS	↑ 8.4	2.5-6.8	g/dL
#GLOB	↓ 1.2	2.2-4.6	mg/dL
#UREA	20.8	12.8-55.6	mg/dL
#C-Ca	8.2	7.9-12.0	mg/dL
#A/G	↑ 3.8	0.6-1.1	
#B/C	↓ 4.6	13.0-20.0	

Calculated in mg/dL
S2H2501200022

=====
 Individual patient may vary from
 the guideline.
 Any suggestion should not be the
 clinical judgement directly.

Foto 28. Resultados bioquímicos sanguíneos del individuo 008 antes y después de la suplementación con broza de frijol.