

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



Determinación del perfil metabólico renal y hepático en alpacas adultas
(*Vicugna pacos*) sometidas a tres esquemas de alimentación
(subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación)

Tesis presentada por la Bachiller:

Choque Chacolla, Yudit Veronica

ORCID: 0009-0003-5817-226X

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

Asesor:

Dr. Obando Sanchez, Alexander Daniel

ORCID: 0000-0003-1765-2710

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

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

Arequipa, 20 de Enero del 2026

Dictamen: 014329-C-EPG-2026

Visto el borrador del expediente 014329, presentado por:

2010007182 - CHOQUE CHACOLLA YUDIT VERONICA

Titulado:

**DETERMINACIÓN DEL PERFIL METABÓLICO RENAL Y HEPÁTICO EN ALPACAS ADULTAS
(VICUGNA PACOS) SOMETIDAS A TRES ESQUEMAS DE ALIMENTACIÓN (SUBALIMENTACIÓN,
MANTENIMIENTO Y SOBREALIMENTACIÓN)**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29315986 - MUÑOZ DEL CARPIO TOIA AGUEDA ROSSANGELLA
DICTAMINADOR**



**29624016 - ROMAN COYLA VERONICA MARIANELLA
DICTAMINADOR**



**71219609 - ITA BALTA YUMA ARACELY
DICTAMINADOR**



Determinación del perfil metabólico renal y hepático en alpacas adultas (*Vicugna pacos*) sometidas a tres esquemas de alimentación (subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación)

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

13%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

- | | | |
|---|--|----|
| 1 | Submitted to Universidad Católica de Santa María
Trabajo del estudiante | 9% |
| 2 | Benito Lopez, Diannett. "Indicadores fisiológicos, endocrinos y bioquímicos en alpacas a gran altitud", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)
Publicación | 2% |
| 3 | repositorio.unsaac.edu.pe
Fuente de Internet | 1% |
| 4 | repositorio.unap.edu.pe
Fuente de Internet | 1% |
| 5 | hdl.handle.net
Fuente de Internet | 1% |
| 6 | www.scielo.org.pe
Fuente de Internet | 1% |
| 7 | www.ojs.ucp.edu.pe
Fuente de Internet | 1% |
| 8 | sjar.revistas.csic.es
Fuente de Internet | 1% |
| 9 | portal.amelica.org
Fuente de Internet | 1% |

ul.qucosa.de

DEDICATORIA

Dedico este logro, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía constante, por darme sabiduría, fortaleza y la oportunidad de culminar esta etapa tan significativa en mi vida.

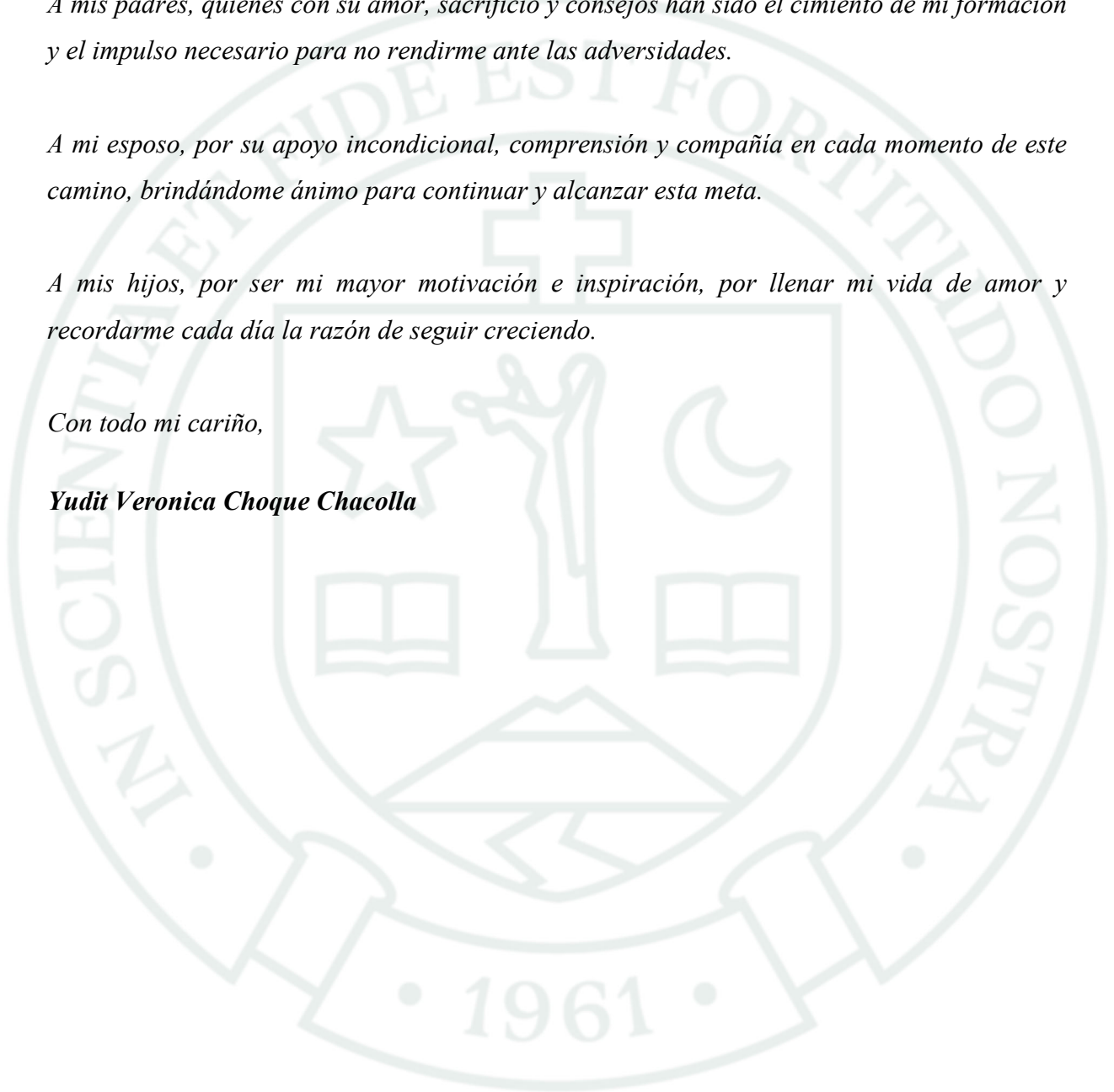
A mis padres, quienes con su amor, sacrificio y consejos han sido el cimiento de mi formación y el impulso necesario para no rendirme ante las adversidades.

A mi esposo, por su apoyo incondicional, comprensión y compañía en cada momento de este camino, brindándome ánimo para continuar y alcanzar esta meta.

A mis hijos, por ser mi mayor motivación e inspiración, por llenar mi vida de amor y recordarme cada día la razón de seguir creciendo.

Con todo mi cariño,

Yudit Veronica Choque Chacolla



AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profundo agradecimiento a mi asesor de tesis, Dr. Alexander Daniel Obando Sánchez, por su valiosa orientación, acompañamiento académico y permanente disposición durante el desarrollo de la presente investigación. Sus aportes, conocimientos y sugerencias fueron fundamentales para la culminación de este trabajo y para el fortalecimiento de mi formación profesional en el ámbito de la maestría.

Esta investigación fue desarrollada gracias al equipamiento subvencionado por el CONCYTEC a través del programa PROCIENCIA en el marco del concurso “E044-2023-01-BM Fortalecimiento de Laboratorios”, según contrato PE501085738-2023-BM. Desarrollado por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, a través del proyecto “Implementación de un laboratorio de bioenergética para el monitoreo y adaptación al cambio climático en sistemas de producción agropecuaria de la zona altoandina, templada y amazónica del Perú”; con quienes quedo eternamente agradecida.

A mis jurados dictaminadores: Dra. Muñoz Del Carpio Toia Agueda Rossangella, Dra. Roman Coyla Veronica Marianella, Dra. Ita Balta Yuma Aracely, por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo, así como por sus valiosos aportes, observaciones y sugerencias, los cuales contribuyeron a mejorar y fortalecer la calidad de la presente investigación.

Con profunda gratitud,

Yudit Veronica Choque Chacolla

RESUMEN

Se diseñó un estudio para determinar el perfil metabólico renal y hepático en alpacas (*Vicugna pacos*) sometidas a tres esquemas de alimentación, subalimentación (SubA), mantenimiento (M) y sobrealimentación (Sobre A). Cinco machos adultos Huacaya en mantenimiento (peso promedio de 63 kg) fueron sometidos a un periodo de adaptación de 10 días al manejo en jaulas metabólicas, seguido de una fase de acostumbamiento al alimento (concentrado y heno de avena), posteriormente se administró una ración del alimento en función al 75, 100 y 125 % de su requerimiento por 21 días, para cada esquema de alimentación; y finalmente se sometió a 5 días de colección del alimento consumido y colecta de sangre (día 5). El alimento suministrado correspondió al consumo para mantenimiento (50 g/MS/Peso metabólico). Las muestras sanguíneas se procesaron en un sistema Element RC (Element - Germany) analizándose los siguientes parámetros del perfil hepático, Gama glutamil transferasa (GGT), Aspartato aminotransferasa (AST), Fosfatasa alcalina (ALP), Lactato deshidrogenasa (LDH), y Bilirrubina total (BT); asimismo, se analizó los siguientes parámetros del perfil renal, Creatinina (CREA), Nitrógeno ureico sérico (NUS), Relación Creatinina/NUS (CREA/NUS), potasio (K) y sodio (Na). Los niveles de GGT (U/L) fueron de 29.90 ± 17.32 , 21.44 ± 6.37 y 23.67 ± 14.75 , para los esquemas implementados (SubA, M y SobreA), sin presentar diferencia ($P > 0.05$); respecto a la AST, los valores fueron de 556.04 ± 95.40 , 139.50 ± 41.75 y 143.49 ± 25.09 , donde el esquema SubA difirió de M y SobreA ($P < 0.05$). Los valores de ALP fueron 38.68 ± 11.82 , 40.06 ± 11.25 y 44.29 ± 15.10 , sin presentar diferencias. Respecto a la LDH los valores correspondieron a 205.86 ± 54.44 , 242.06 ± 22.39 y 212.99 ± 40.89 (U/L) con diferencias entre el esquema SubA con el M, el esquema SobreA fue común a ambos. Los valores de BT, correspondieron a 0.05 ± 0.1 , 0.0 y 0.01 ± 0.03 (mg/dL), y no fueron analizados estadísticamente. En cuanto a CREA, los valores fueron de 2.25 ± 0.27 , 1.85 ± 0.38 y 1.91 ± 0.28 (mg/dL) con diferencias entre el esquema SubA con los otros dos ($P < 0.05$). Para el NUS, se encontraron valores de 13.43 ± 2.75 , 12.03 ± 1.97 y 14.48 ± 1.84 (mg/dL), con diferencias entre el esquema M con el SubA, el esquema SubA fue común a ambos. La relación NUS/CREA fue de 5.97 ± 1.07 , 6.58 ± 0.80 y 7.70 ± 1.26 , el esquema SobreA fue diferente al SubA y el M ($P < 0.05$); respecto al Na, los valores fueron de 148.65 ± 1.99 , 148.99 ± 1.60 y 148.82 ± 0.97 (mmol/L) sin diferencia entre ellos. El K presentó valores de 5.39 ± 0.66 , 5.22 ± 0.49 y 5.32 ± 0.48 (mmol/L) sin diferencias entre ellos.

Palabras clave: alpacas, perfil bioquímico, esquemas alimentación.

ABSTRACT

A study was designed to determine the renal and hepatic metabolic profile of alpacas (*Vicugna pacos*) subjected to three feeding regimes: underfeeding (SubA), maintenance (M), and overfeeding (SobreA). Five adult male Huacaya alpacas at maintenance (average weight 63 kg) underwent a 10-day adaptation period to management in metabolic cages, followed by a feed acclimation phase (concentrate and oat hay). Subsequently, a feed ration was administered at 75%, 100%, and 125% of their requirements for 21 days for each feeding regime. Finally, the alpacas were subjected to 5 days of feed collection and blood sampling (day 5). The feed supplied corresponded to the maintenance intake (50 g DM/Metabolic Weight). Blood samples were processed using an Element RC system (Element - Germany). The following liver profile parameters were analyzed: Gamma-glutamyl transferase (GGT), Aspartate aminotransferase (AST), Alkaline phosphatase (ALP), Lactate dehydrogenase (LDH), and Total bilirubin (TB). The following renal profile parameters were also analyzed: Creatinine (CREA), Serum urea nitrogen (SUN), Creatinine/SUN ratio (CREA/SUN), Potassium (K), and Sodium (Na). GGT levels (U/L) were 29.90 ± 17.32 , 21.44 ± 6.37 , and 23.67 ± 14.75 for the implemented regimens (SubA, M, and SobreA), with no significant difference ($P > 0.05$). Regarding AST, the values were 556.04 ± 95.40 , 139.50 ± 41.75 , and 143.49 ± 25.09 , where the SubA regimen differed from M and SobreA ($P < 0.05$). ALP values were 38.68 ± 11.82 , 40.06 ± 11.25 , and 44.29 ± 15.10 , showing no differences. Regarding LDH, the values were 205.86 ± 54.44 , 242.06 ± 22.39 , and 212.99 ± 40.89 (U/L), with differences between the SubA and M regimens; the SobreA regimen was common to both. The TB values were 0.05 ± 0.1 , 0.0 , and 0.01 ± 0.03 (mg/dL) and were not statistically analyzed. For CREA, the values were 2.25 ± 0.27 , 1.85 ± 0.38 , and 1.91 ± 0.28 (mg/dL), with differences between the SubA regimen and the other two ($P < 0.05$). For SUN, values of 13.43 ± 2.75 , 12.03 ± 1.97 , and 14.48 ± 1.84 (mg/dL) were found, with differences between the M regimen and the SubA regimen; the SobreA regimen was common to both. The BUN/CREA ratio was 5.97 ± 1.07 , 6.58 ± 0.80 , and 7.70 ± 1.26 . The SobreA feeding scheme differed from SubA and M ($P < 0.05$). Regarding Na, the values were 148.65 ± 1.99 , 148.99 ± 1.60 , and 148.82 ± 0.97 mmol/L, with no significant differences between them. K presented values of 5.39 ± 0.66 , 5.22 ± 0.49 , and 5.32 ± 0.48 mmol/L, also with no significant differences between them.

Keywords: alpacas, biochemical profile, feeding schemes.

ÍNDICE

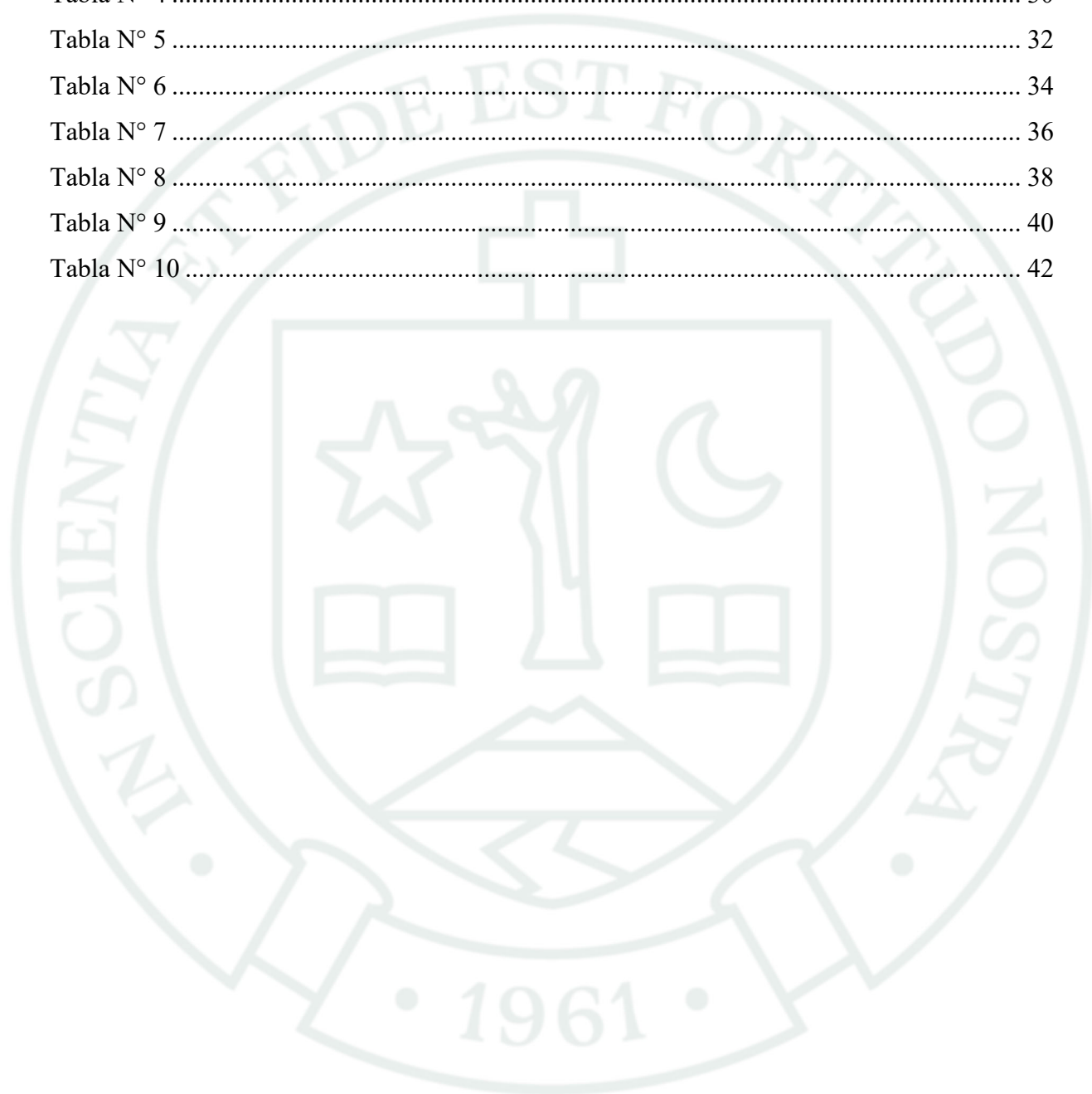
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
HIPÓTESIS	2
CAPÍTULO I.....	3
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 ANALISIS BIBLIOGRÁFICO.....	3
1.1.1. CARACTERÍSTICAS ANATOMÍCAS DEL SISTEMA DIGESTIVO DE LOS CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS.....	3
1.1.1.1. CAVIDAD ORAL Y ESTRUCTURAS ANEXAS.....	3
1.1.1.2. DENTADURA.....	3
1.1.1.3. GLÁNDULAS SALIVARES	4
1.1.1.4. CAVIDAD GÁSTRICA	4
1.1.1.5. GLÁNDULAS DE LA CAVIDAD ESTOMACAL.....	5
1.1.1.6. MOTILIDAD ESTOMACAL.....	6
1.1.2. PERIODO DE RETENCIÓN DEL ALIMENTO EN EL SISTEMA GASTROINTESTINAL.....	7
1.1.3. REUTILIZACIÓN DE UREA.....	8
1.1.4. CONSUMO VOLUNTARIO	9
1.1.5. DIGESTIÓN	10
1.1.6. SELECTIVIDAD.....	11
1.1.7. CONSUMO DE MATERIA SECA (MS)	12
1.1.8. CONSUMO DE AGUA EN CSA.....	15
1.1.9. PERFILES METABÓLICOS	16
1.2 ANÁLISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	17
CAPÍTULO II	20
2. METODOLOGÍA	20
2.1. CAMPO DE VERIFICACIÓN.....	20
a) Ubicación espacial.....	20
b) Ubicación temporal.....	20
c) Unidades de estudio	20
d) Estrategia de recolección de datos	20
2.2 Etapas experimentales.....	21
2.3 Dietas experimentales	21

a) Administración de agua, alimento y colecta de orina y heces	22
2.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO	22
2.5 ANÁLISIS DE DATOS	23
CAPÍTULO III.....	24
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
3.1 Determinación del perfil metabólico hepático en alpacas adultas (<i>Vicugna pacos</i>) sometidas a tres esquemas de alimentación (subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación)	24
3.2 Determinación del perfil metabólico renal en alpacas adultas (<i>Vicugna pacos</i>) sometidas a tres esquemas de alimentación (subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación).....	34
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46



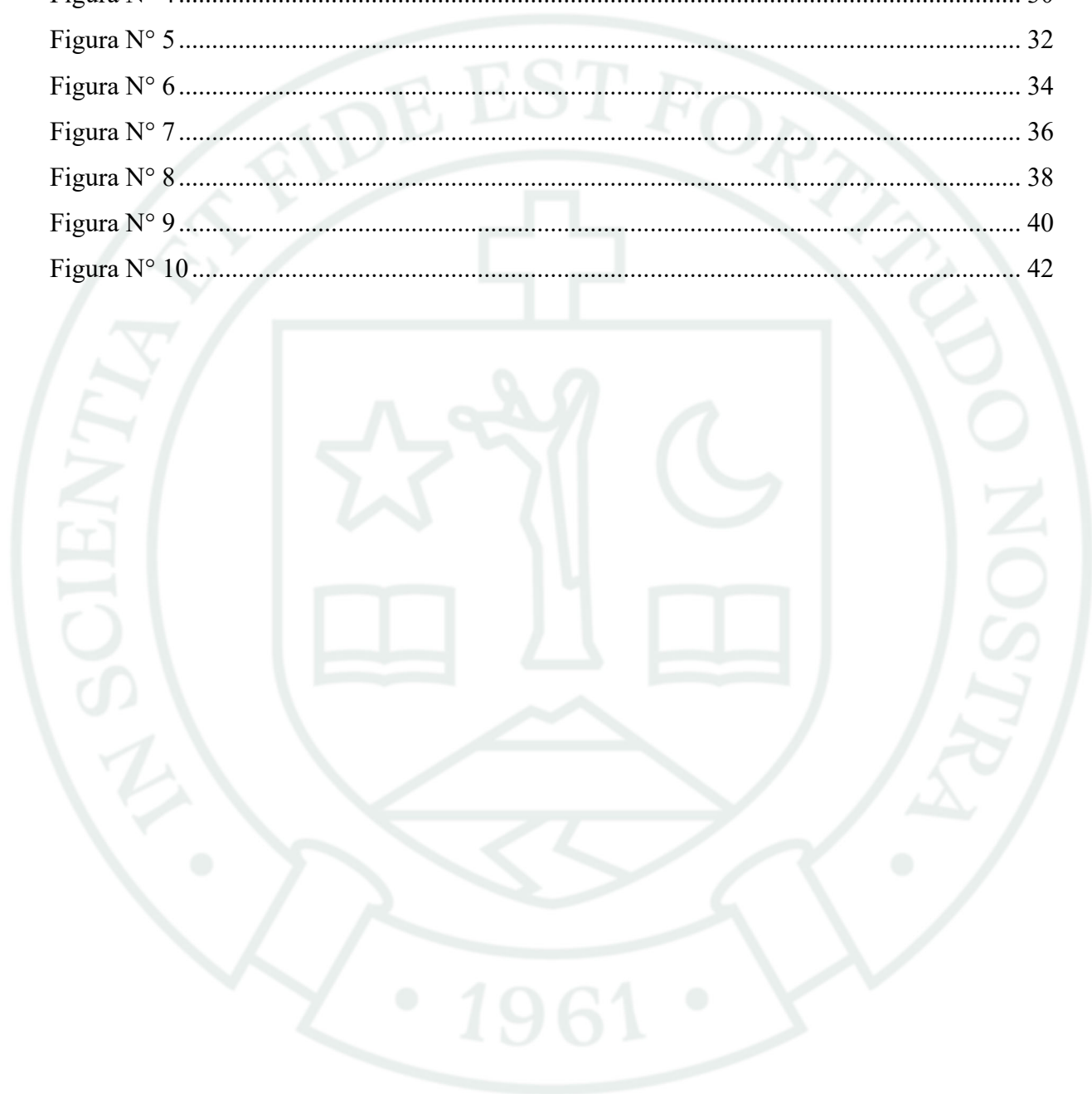
ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1	24
Tabla N° 2	26
Tabla N° 3	28
Tabla N° 4	30
Tabla N° 5	32
Tabla N° 6	34
Tabla N° 7	36
Tabla N° 8	38
Tabla N° 9	40
Tabla N° 10	42



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1	24
Figura N° 2	26
Figura N° 3	28
Figura N° 4	30
Figura N° 5	32
Figura N° 6	34
Figura N° 7	36
Figura N° 8	38
Figura N° 9	40
Figura N° 10	42



INTRODUCCIÓN

Los camélidos sudamericanos (CSA) son especies herbívoras que se encuentran adaptadas a las restricciones bióticas y abióticas que prevalecen en la zona altoandina donde se desarrolla su crianza; esta adaptación comprendería mecanismos fisiológicos que aún no han sido dilucidados completamente. En la literatura científica existen múltiples reportes relacionados al proceso reproductivo o a aspectos sanitarios que afectan a estas especies; sin embargo, la información relacionada a la nutrición y alimentación es limitada. Un aspecto relevante en el estudio de la nutrición animal se representa en la determinación del consumo de materia seca (MS) la cual aporta al mantenimiento de los diversos estados fisiológicos de un animal, así como al proceso productivo de la especie. Los perfiles metabólicos y sus analitos representan los productos finales de complejas interacciones que ocurren dentro de la célula y de procesos que suceden fuera de ella o en algún órgano del organismo, por ello la composición bioquímica de los fluidos corporales indica el estado metabólico de los tejidos animales con el fin de evaluar la existencia de daño en tejidos, las perturbaciones en las funciones orgánicas, la adaptación del individuo a los desafíos nutricionales y/o fisiológicos así como los desequilibrios metabólicos o nutricionales específicos, bajo tales precedentes los perfiles metabólicos es una valiosa herramientas de evaluación de la salud, manejo nutricional y otros aspectos del manejo en general de un animal. Estos estudios facilitan identificar cambios respecto a una condición estándar que se considera como referencia, facilitando la evaluación de la condición general de un animal.

En el caso de los estudios especializados de perfiles metabólicos relacionados a la nutrición en los CSA, son escasos y la información disponible se ha extrapolado de otras especies como los pequeños rumiantes (1), adicionalmente, existen vacíos en el conocimiento de los principios que regulan el uso de los nutrientes, así como los hábitos alimenticios en estas especies (2) bajo tales precedentes se hace imperativo actualizar la información con estudios específicos en CSA con respecto a su perfil metabólico en diversos escenarios.

Existen métodos para evaluar la utilización de los nutrientes presentes en los alimentos, lo que brinda un mayor entendimiento sobre su valor nutricional, en tal sentido la digestibilidad de un alimento representa una herramienta más precisa y de aplicación directa, estas metodologías se han aplicado y podría mejorarse su utilización para el caso de los CSA.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

- Determinar el perfil metabólico renal y hepático en alpacas adultas (*Vicugna pacos*) sometidas a tres esquemas de alimentación (subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación)

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar el perfil metabólico hepático en alpacas adultas (*Vicugna pacos*) sometidas a tres esquemas de alimentación (subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación)
- Determinar el perfil metabólico renal en alpacas adultas (*Vicugna pacos*) sometidas a tres esquemas de alimentación (subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación)

HIPÓTESIS

El perfil metabólico hepático y renal en alpacas adultas es influenciado por un esquema de sub y sobrealimentación.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO.

1.1 ANALISIS BIBLIOGRÁFICO

1.1.1. CARACTERÍSTICAS ANATOMÍCAS DEL SISTEMA DIGESTIVO DE LOS CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS.

1.1.1.1. CAVIDAD ORAL Y ESTRUCTURAS ANEXAS

En los labios de los CSA, este órgano presenta paredes delgadas, y el labio superior se encuentra dividido por un surco medial y un labio inferior tiene dimensiones mucho mayores; ambas estructuras presentan movilidad, y provee una gran funcionalidad para seleccionar sus alimentos al momento de pastorear y al consumir materia seca. Debido a que el labio superior se encuentra dividido, cada parte de este va a ejercer funciones a modo de dedo que aprehende los alimentos, las piezas dentarias incisivas son muy eficaces ya que cortan el pasto y de esa forma no son arrancados desde la base (3).

1.1.1.2. DENTADURA

Los camélidos sudamericanos muestran una variedad de formas para el procesamiento de los alimentos, así como para su defensa, el cual está relacionado principalmente con los caninos (3).

Las piezas incisivas se encuentran presentes al momento de nacer y son consideradas deciduos a una edad establecida y toda las piezas dentales permanentes es completada a los cuatro años y medio en general. Las piezas molares y premolares realizan una función fundamental para el corte y el molido eficiente del alimento consumido. El reemplazo de las piezas premolares se efectúa a los 3.5 y 4 años de edad aproximadamente, los cuales se terminan de completar con la aparición de los incisivos extremos a la edad de los 4 y 5 años (3). En el proceso masticatorio los movimientos mandibulares horizontales hacen que haya un triturado del alimento. Una característica particular lo representan los incisivos ubicados oblicuamente y poseen un crecimiento continuo, semejante al de los roedores. Por esta cualidad son muy longevos, favorecidos por este tipo de sistema dentario el cual les permite seguir consumiendo forraje a lo largo de la vida del animal. Los CSA tienen dientes incisivos y dientes caninos en ambos maxilares si los comparamos con los ovinos y bovinos que no tienen dientes caninos y tampoco incisivos en el maxilar superior (4).

Al momento de nacer, todos las piezas dentales temporales están presentes, a excepción

de los dientes caninos, a los 1.5 a 2 años se realiza el cambio de los dientes incisivos por las pinzas, estas se encuentran en la parte delantera de la mandíbula inferior y poseen bordes filudos como cuña que permite cortar el alimento al ejercer presión en conjunto con la almohadilla dentaria ubicado en la parte delantera de la mandíbula superior (3).

1.1.1.3. GLÁNDULAS SALIVARES

Las que se encuentran en los CSA son las serosas, mucosas y mixtas (5). Dichas glándulas tienen como función la segregación salival, y también pueden cumplir otras funciones que es la lubricación del alimento seco, segregación de bicarbonatos y fosfatos que sirve en la modulación del pH y sobre los efectos de los ácidos al momento de producirse la fermentación microbiana, así como durante el reciclado tanto de la urea como del fósforo (3).

Estas secreciones realizan un rol importante en el transcurso del proceso de la rumia, dicha actividad transcurre entre 7 a 12 horas por cada día, y se desarrolla en diversos tiempos. El proceso de la rumia posibilita la fermentación por la microbiota y destruye la pared de la célula de los pastos consumidos, ocasionando segregación refleja de la saliva (6).

En reportes previos, estos señalan que la cantidad salival de los CSA es mucho mayor con respecto al ovino. Este comportamiento complementado con la dimensión relativamente pequeña de los compartimentos 1 y 2 del estómago, favorezca que la cantidad de elementos moduladores por unidad de volumen del estómago en la alpaca fuera superior al presentado en ovinos (5).

1.1.1.4. CAVIDAD GÁSTRICA

El cavidad gástrica en los CSA presentan tres compartimentos, el Compartimento 1 semejante al rumen, el Compartimento 2 semejante al retículo y el Compartimento 3 semejante al abomaso (cavidad enzimática), dichos compartimentos abarcan el 83%, 6% y 11% del volumen total de la cavidad gástrica (3).

El compartimento 1 (C1) semejante al compartimento ruminal del suborden *Ruminantia*, abarca una microbiota compleja y está formado por protozoos, bacterias, hongos y arqueas; y representan la ubicación anatómica en donde se da los procesos de fermentación de los alimentos ingeridos, un proceso principal en la nutrición de los animales, el Compartimento 1

es el de mayor tamaño de los tres compartimentos y ésta se divide en dos partes, una parte craneal y otra parte caudal, éstos se encuentran divididos entre sí por un pliegue muscular transversal. El Compartimento 2 es el de menor tamaño y es la continuación del Compartimento 1. El Compartimento 3, el cual se origina en el Compartimento 2, está localizado al lado derecho del Compartimento 1 y posee una forma tubular y es alargada. Sólo en la parte final del Compartimento 3 se lleva a cabo la secreción del ácido clorhídrico. La presencia de sacos glandulares es evidente en el estómago que facilita un eficaz macerado, mezclado y absorción del alimento consumido (3).

En el Compartimento 1 y Compartimento 2 (especialmente en el C1) están involucrados en los procesos de fermentación y contienen una microbiota precisa para el aprovechamiento de los vegetales y de sus fibras. En los compartimientos 1 y 2, están recubiertos por zonas de sacos de tipo glandular con células epiteliales que presentan microvilli mientras que la cavidad gástrica del vacuno, ovino y caprino están conformados por 4 compartimentos que son el rumen, retículo, omaso y abomaso, los 3 primeros compartimentos se encuentran recubiertos por papilas de un epitelio estratificado y queratinizado; no obstante, dichos tipos de estómagos funcionan como cámaras de fermentación y cuentan con procesos análogos para llevar a cabo la realización del proceso de la rumia (3).

Los camélidos sudamericanos tienen una capacidad mayor con respecto al caprino, ovino o vacuno para utilizar los alimentos con alto contenido en fibra (4), característica atribuida principalmente a un periodo de tiempo mayor de conservación de los alimentos y una exposición mayor al proceso de la fermentación microbiana (7). Los camélidos sudamericanos consumen pastos y los convierten en energía debido a que poseen periodos superiores de rumia y una segregación superior de los jugos gástricos el cual facilita una mayor utilización de nutrientes. De otro lado, la absorción en CSA es mucho mayor, de dos a tres veces superior al reportado en el rumen de rumiantes como caprinos y ovinos. Esto es probablemente debido a la funcionalidad de las células de absorción ubicadas sobre el rumen en el caso de las especies del suborden *Ruminantia* (5)

1.1.1.5. GLÁNDULAS DE LA CAVIDAD ESTOMACAL

Se han registrado 02 tipos de epitelio mucoso, el cual tapiza la pared interna del Compartimento 1 y Compartimento 2 en los CSA, y los va a diferenciar con los miembros de *Ruminantia*; primero, existen sacos de tipo glandular que están recubiertos por una mucosa tipo

glandular y que se localiza en la parte ventral y la parte superficial expuesta se encuentra recubierta por un epitelio escamoso estratificado situado en la zona dorsal (7). La mucosa glandular de tipo mucinógena se encuentra en todos los compartimentos gástricos, a excepción de la quinta parte distal del tercer compartimento y tiene una estructura semejante a la de los rumiantes, con diferencias en su disposición anatómica. Los sacos de tipo glandular en el compartimento 1 y compartimento 2 poseen diferentes funciones, una función principal es la absorción rápida de agua y solutos; de la misma forma contribuyen cantidades de bicarbonato asociado con la ingestión del Compartimento 1, que facilitan la capacidad amortiguadora del contenido del Compartimento 1 y Compartimento 2 y la segregación de glicoproteínas, mucosidad y urea, quienes dan un lugar adecuado para la acción de la microbiota (5).

1.1.1.6. MOTILIDAD ESTOMACAL

La motilidad cumple un papel fundamental en el desarrollo del proceso de la fermentación continua. Esta motilidad continua facilita la exposición de los alimentos con la microbiota y su posterior descomposición, además garantiza una mezcla adecuada de las fases líquidas y sólidas de la digesta, favoreciendo así el vaciamiento de los compartimentos digestivos (1). Semejante a los rumiantes, en cuanto a la motilidad estomacal de los camélidos sudamericanos se realiza en 2 fases diferentes, la fase A y B, y comparando con los rumiantes, sus patrones convencionales de motilidad de los compartimentos son muy variables. La motilidad de los CSA se desarrolla de forma más continua y regular que la de los rumiantes (1).

En los CSA, el ciclo de motilidad comienza con una secuencia específica de contracciones tipo A, seguida por una serie de contracciones tipo B y un periodo de reposo antes del inicio del siguiente ciclo de motilidad. La fase A corresponde a la contracción del Compartimento 2, que continua con la contracción de la región distal del Compartimento 1. La fase B se produce cuando la zona craneal del Compartimento 1 se contrae luego de la contracción de Compartimento 2 y de la porción caudal del Compartimento 1. Esta fase B puede repetirse entre tres a seis veces dentro de un mismo ciclo, antes de un breve período de pausa y el comienzo de un nuevo ciclo de motilidad (1).

Las contracciones se producen cada uno a dos minutos. Cuando los camélidos sudamericanos están en descanso se contrae tres a cuatro veces por minuto, estos intervalos van disminuyendo durante la ingesta del alimento donde se va a incrementar de cuatro a cinco veces

por minuto. El eructo ocurre de 3 a 4 veces durante cada ciclo de motilidad (3). Los camélidos sudamericanos muestran una actividad gástrica más intensa que la contracción trifásica única por minuto observada en los rumiantes. Este patrón de motilidad aumentada podría explicar, además, por qué estos animales presentan mayor resistencia a la acumulación de gases en el estómago en comparación con los rumiantes (1).

1.1.2. PERIODO DE RETENCIÓN DEL ALIMENTO EN EL SISTEMA GASTROINTESTINAL

Se estableció que en los camélidos sudamericanos pueden retener el alimento en el sistema gastrointestinal por un tiempo mayor a diferencia de los rumiantes. Reportes realizados en alpacas indican un periodo de retención del alimento de 50.3 h y 43.2 h a diferencia del ovino. En llamas, otra investigación reporta un tiempo de retención del alimento de 63.2 h y 40.9 h en ovinos. A diferencia de los caballos y bovinos, las llamas pueden retener partículas de mayor volumen por más periodos de tiempo prolongados; de la misma forma se observó que en partículas de 0.2-1.0 cm de largo su tiempo de retención es de 52 h y las partículas de 2.5-4.0 cm de largo a 60 h de retención (3).

Este tiempo mayor de retención de las partículas en el tracto gastrointestinal de los camélidos sudamericano constituye un factor clave en la eficiencia de la digestibilidad a partir de dietas ricas en fibra. Un incremento en el tiempo de retención del alimento consumido se asocia con una mejora aparente en la digestibilidad de alimentos de pobre calidad y de la proteína cruda contenida en la dieta; en contraste, los alimentos de alta calidad no muestran variaciones significativas ante cambios de este parámetro (6). En relación con el tránsito de la fase líquida desde los compartimentos 1 y 2 en los CSA en comparación con los ovinos, se reportó un pasaje más elevado en llamas de 10.4 % por hora con respecto a las ovejas de 7.7 % por hora (3).

Otras investigaciones indican un tiempo de retención de los fluidos de 9.7 horas en los compartimentos 1 y 2, y de 36.2 horas en el total del tracto digestivo. Esta mayor velocidad de pasaje de la fase líquida en camélidos sudamericanos en comparación con los rumiantes puede atribuirse a una elevada proporción entre el volumen de los compartimentos 1 y 2 y el flujo salival. Revisiones previas sugieren que la cantidad de saliva ingerida sería el principal factor determinante de la tasa de pasaje de líquidos. El menor tiempo de retención del fluido ruminal

explicaría la capacidad de las llamas para sostener un mayor crecimiento microbiano en los compartimentos 1 y 2, lo que requiere un menor gasto energético para el mantenimiento y supervivencia de la microbiota (5).

1.1.3. REUTILIZACIÓN DE UREA

El nitrógeno, usualmente en la forma de amoníaco producido durante la fermentación, surge de una interacción compleja entre la cantidad de nitrógeno disponible en la dieta, la energía fermentable, las tasas de degradación y el paso de proteína (1)

Cuando la energía fermentable es limitada o la dieta presenta un contenido elevado de proteína, parte del amoníaco generado no es incorporado a la proteína microbiana. Este exceso es absorbido a través de la pared ruminal y transportado por la vena porta al hígado, donde se transforma en urea, y cuando es liberado en la sangre, esta puede ir por dos rutas: puede retornar al rumen por medio de la saliva o por la pared ruminal o excretarse también vía renal. Cuando la urea se reutiliza hacia el rumen, esta se convierte en amoníaco y es reutilizado por los microorganismos para aportar nitrógeno para que favorezca su desarrollo; en cambio, la urea excretada en la orina es eliminada (4). En programas de alimentación pobres en proteínas, se observa una elevada actividad ureolítica de la microbiota unida a la pared ruminal, lo que facilitaría el ingreso de urea sanguínea a través de las paredes del Compartimento 1.

La urea es hidrolizada por acción de la ureasa microbiana, produciendo dióxido de carbono y amoníaco. El amoníaco liberado contribuye a debilitar las paredes externas del alimento, favoreciendo la colonización de los microorganismos y mejorando la fermentación y la liberación de nutrientes de manera eficiente. En el rumen, la urea se descompone rápidamente y ocurre a una velocidad mayor a la capacidad de utilización del amoníaco por la microbiota.

En los camélidos, en el compartimento 1 la actividad de la ureasa es considerablemente mayor con respecto al compartimento 2, disminuyendo debido a la profundidad de los compartimentos. investigaciones realizadas señalan que estos animales pueden descomponer por hidrólisis mayores cantidades de urea por unidad de tiempo (mmol/h/kg) en el Compartimento 1, sin embargo, en el rumen de ovinos y vacunos, complementariamente se recicla una buena cantidad de urea por vía salival por reabsorción pasiva en los túbulos colectores e ingresan nuevamente a fermentación, y de esta forma aporta más nitrógeno disponible para la síntesis de proteína microbiana. Una reutilización superior de urea en dietas

con alimentos pobres en proteína entre camélidos y rumiantes, también pueden observarse en llamas alimentadas con dietas que posean la misma cantidad de calorías, un alimento con alto contenido de proteína y otra con pobre contenido de proteína, en la cual las llamas alimentadas con dieta pobre en proteínas reutilizaron de manera eficiente la urea hacia el tracto gastrointestinal y dicha urea fue usada en un 85% y eliminada por la orina en cantidades menores en comparación a ovinos y caprinos bajo el mismo plan de alimentación, permitiendo así tener una disposición mucho mayor de nitrógeno necesario para la formación de proteína de los microorganismos. El alto reciclaje de la urea por los camélidos podría ser utilizada como una fuente fundamental de nitrógeno para sostener el proceso de fermentación microbiana en el Compartimento 1, para asegurar una digestión eficiente y utilización de los alimentos con bajo valor proteico (1).

1.1.4. CONSUMO VOLUNTARIO

El conocimiento acerca del consumo voluntario es fundamental para el diseño de métodos adecuados de planificación alimentaria. El consumo de materia seca en promedio para las alpacas es de 1.8% de peso vivo y para las llamas alrededor de 2% de peso vivo, con respecto a los ovinos que es menor alrededor del 3% (5). Este menor consumo en los CSA se relaciona con su tamaño corporal, relativos bajos requerimientos energéticos, baja selectividad alimentaria, menor volumen estomacal por kilogramo de peso metabólico y un tiempo mayor de retención del alimento consumido (5).

Investigaciones acerca del consumo y tolerancia a la restricción hídrica, indican que las alpacas y llamas consumen menos cantidad de agua que los ovinos, esto es debido al bajo consumo de materia seca por parte de los camélidos, además, al comparar la relación del consumo de agua ingerida con el consumo de materia seca consumida, se observa que alpacas y ovinos presentan valores similares, mientras que las llamas presentan una relación menor, lo cual explica una mayor adaptación de las llamas a los ambientes áridos (8).

En bajo condiciones extensivas, el consumo de materia seca por kilogramo de peso metabólico en los camélidos, varían entre 36 y 67 gramos, dependiendo del tipo de pastos y del periodo estacional. Tanto las alpacas como las llamas presentan igual nivel de consumo en condiciones extensivas; comparando con el ovino este consumo es menor hasta en un 36 por ciento en pasturas cultivadas y en 26 por ciento en pasturas nativas (3). En el altiplano, el

consumo del forraje durante la estación lluviosa es similar o ligeramente inferior con respecto al consumo en la época seca. El similar o inferior consumo durante la época húmeda, incluso cuando la calidad de las pasturas durante esta estación es superior con respecto a la estación seca, se podría atribuir a que los animales durante la época seca aumentan su capacidad gastrointestinal como respuesta a la ingestión de pasturas de baja calidad, aumentando el tiempo de permanencia de los alimentos en el Compartimento 1 y consecuentemente un descenso del consumo (5).

1.1.5. DIGESTIÓN

Al margen del tiempo de retención, la mayor eficiencia digestiva observada en los camélidos es atribuido a una alta frecuencia de contracciones gástricas y a la presencia de los sacos de tipo glandular, estas características que favorecen procesos eficaces de maceración, mezclando la absorción de la digesta. En tanto, la superior digestibilidad de alimentos de baja calidad podría deberse a la capacidad de los CSA de mantener una mayor concentración de amoníaco en el Compartimento 1 y 2 en comparación con los ovinos. Por esto, en las llamas proveería más nitrógeno para la síntesis microbiana, incrementando así su digestibilidad (9).

En los camélidos se registra una digestibilidad de celulosa relativamente lenta por la degradación microbiana, estos animales presentan un tiempo mayor de retención de partículas y microorganismos en las cámaras fermentativas. El tiempo de retención digestiva es de 62 horas en las llamas y de 50.3 horas en alpacas frente a las 41 horas en ovinos. Este parámetro se modifica por el tamaño de partículas, por lo cual las partículas de 0.2 a 0.1 cm presentarán un tránsito de 52 horas, mientras que para partículas de 2.5 a 4.0 cm este será de 60 horas aproximadamente. Ensayos comparativos de digestibilidad *in vivo* fueron desarrollados entre ovinos y alpacas, así como entre ovinos y llamas. En una revisión de pruebas de digestibilidad *in vivo* comparativa entre ovinos y alpacas, mostraron que las digestibilidades en aquellos test en que el alimento administrado presentaba menos de 7, 5 % de proteína cruda, estos resultaron mayores y a favor de la alpaca y, en alimentos en que el contenido de proteína fue mayor al 10, 5 % no se evidenciaron diferencias. Complementariamente, se condujeron pruebas de comparación de la digestibilidad *in vivo* entre ovinos y llamas mostrando elevados coeficientes de digestión en llamas en comparación a ovinos cuando se usaron dietas de baja y mediana cantidad de proteína, así como valores similares de los coeficientes de digestibilidad entre ambas especies para la dieta de alta calidad valorada en base a su contenido proteico (5).

Se ha reportado una capacidad digestiva diferenciada entre ovinos y llamas, cuando se suministra dietas de diferente valor nutritivo en cuanto a energía y proteína; así como dietas con igual contenido proteico con niveles diferenciados de fibra, dando como resultado en ambos estudios, a excepción del tratamiento de alta calidad, que la llama presentó un mayor coeficiente de digestibilidad que la especie ovina. De otro lado, los datos obtenidos de un test de digestibilidad *in situ* para pastos naturales en el altiplano seco donde habitan llamas y ovinos, se evidenció una superior capacidad de la llama para digerir estos pastos. Para el caso de gramíneas fibrosas, los coeficientes de digestibilidad oscilan desde 36.6 hasta 65 % en llamas y desde 25.7 hasta 55 % para ovejas, observándose mayores diferencias cuando se utilizan pastos de baja digestibilidad.

La digestibilidad de los pastos nativos altoandinos consumidos por alpacas al pastoreo, y en diferentes sitios de la pradera natural, durante la época seca, muestran que esta fue menor con un valor correspondiente al 55.93%. Además de un mayor valor de retención, esta mayor respuesta en cuanto a la eficiencia digestiva de los CSA es atribuida a un incremento en la frecuencia de las contracciones y en los periodos de rumia, acompañada de una mayor amplitud con relación el flujo de la saliva con la amplitud del estómago, y complementariamente a la existencia de sacos glandulares en la cavidad fermentativa. Las particularidades del sistema gastrointestinal en estas especies facilitarían la maceración, mezcla y absorción de los nutrientes de los alimentos (3).

Estudios de autores precedentes (4), concluyeron que los CSA presentaron una superioridad frente a las ovejas en el empleo de alimentos de calidad media y baja. Asimismo, esta evidente eficiencia digestiva superior en los camélidos estaría asociada con un tiempo mayor de permanencia del alimento en el sistema gastrointestinal.

1.1.6. SELECTIVIDAD

Los camélidos son especies que han demostrado elevada eficiencia en su proceso digestivo cuando se alimentan con fuentes de nutrientes provenientes de una biomasa vegetal de baja calidad, la misma que se encuentra en su hábitat natural en la zona altoandina. Los CSA en pastoreo durante la época seca, enfrentan severas limitaciones de disponibilidad en calidad y cantidad de pastos naturales, durante esta época que corresponde de mayo a octubre, se presenta una baja a nula precipitación pluvial y por lo tanto la producción de forraje es la más

baja (3).

En estudios que investigaron la composición de nutrientes de la dieta que fue escogida por los camélidos durante la alimentación en pasturas, señala que, en los meses de temperaturas bajas, la calidad de los alimentos presenta valores restringidos en los porcentajes de proteína cruda y de digestibilidad (4).

De otra parte, las llamas no modifican su consumo y tampoco su selectividad, el valor proteico que consumen suele ser menor y presentan un bajo consumo de leguminosas (5). La composición botánica de la dieta consumida por la llama representa un porcentaje de hasta el 83% del consumo como gramíneas e inferior al 20% de leguminosas, a lo largo de los 12 meses. Dentro las gramíneas de mayor consumo de esta especie, este valor varía entre el 40% al 45% para las gramíneas altas y 40% al 55% para gramíneas bajas, con un porcentaje de 70% para la elección de hojas en estas plantas, con relación al consumo de otras partes de la planta. El alimento no seleccionado por un animal usualmente presenta un mayor contenido de partes dominadas por fibras vegetales (3).

1.1.7. CONSUMO DE MATERIA SECA (MS)

Con relación a este parámetro, el promedio en el consumo de materia seca en alpacas es de 1.8% y para las llamas de 2.0% con relación a su peso corporal. Bajo condiciones de confinamiento y de pastoreo, este consumo en alpacas y llamas corresponde alrededor del 30% por debajo que al de la oveja. En investigaciones relacionadas al consumo y tolerancia de restricción de agua, estos estudios señalan que el consumo de agua es inferior en llamas y alpacas cuando se compara con las ovejas. Las alpacas en condiciones extensivas se han registrado tasas de consumo de MS que varían entre 42 y 60 g MS/Kg PV de diferentes composiciones de las praderas naturales andinas (4).

El consumo de materia seca se interpreta como disponibilidad de nutrientes contenidos en los alimentos al que tiene acceso el animal; en la práctica, su importancia radica en evitar tanto la sobrealimentación como la subalimentación (7). Asimismo, hay datos donde se señala que la cantidad de alimento consumido voluntariamente por estas especies de camélidos, al considerarse como unidad de su peso metabólico, este valor sería inferior al de los rumiantes domésticos (8). Las diferencias anatómicas, como un menor volumen del estómago (7), al compararlos con los rumiantes, podrían explicar al menos parcialmente este menor consumo de

la MS.

Por otro parte, una de las particularidades fisiológicas del sistema digestivo de los CSA se representa por un tiempo mayor de retención de los alimentos consumidos, lo cual posiblemente pueda incrementar la digestibilidad de la materia seca según a estudios previos (5) (7); no obstante, la generación de compuestos finales de la fermentación presentan similitudes según lo informado para los animales rumiadores el cual estaría en concordancia con la actividad de las poblaciones microbiales que se alojan en los compartimentos 1 y 2, la cual es análoga al encontrado para animales rumiadores (5)

La materia seca consumida por la alpaca es variable y alcanza desde el 1.08% a 2.40% del peso corporal, con una media de 1.83 % de peso vivo, y semejante al de la llama al ajustarse al peso metabólico, y un 20% por debajo de la nivel de consumo de MS en ovejas (4); en mantenimiento, el consumo de la alpaca puede llegar al 1.25 % de peso vivo, en las alpacas preñadas aumenta a 1.5% y durante la lactancia llega a 2.0 a 2.75 % (1).

De otro parte, el consumo de MS de dependiente de la composición del alimento, por el contenido de proteína cruda (6); fibra detergente neutro, su disponibilidad, así como la digestibilidad del alimento consumido (7).

En la crianza confinada de las alpacas a nivel experimental, el consumo de heno de alfalfa en términos de materia seca fue de 23 g/kg de peso vivo durante un periodo de 24 horas, lo que representó 0.76 MJ de energía metabolizable y 262.2 g de proteína cruda; estos animales eligieron el 22.7 % para tallos y el 77.3 % para hojas; asimismo, se ha registrado, variaciones en el consumo entre el día y la noche (9).

En condiciones de confinamiento. las alpacas tienen un consumo de materia seca variable según el tipo de forraje suministrado; en comparación con los ovinos, muestran mayor eficiencia en la ingestión y masticación de forrajes largos y cuando tienen el alimento ad libitum ingieren menores cantidades de trébol y paja de trigo, sin embargo, ingieren mayores cantidades de festuca y ryegrass (7).

En un estudio anterior señalan que la composición botánica y la composición nutritiva de la dieta, puede cambiar según la estacionalidad anual, al igual que el lugar de los pastizales ya sea zona húmeda (humedal) o altiplano (lugares altoandinos planos). Según que la estación seca avanza, los humedales están mayormente formadas por juncáceas y ciperáceas en un 78 por

ciento, por otro lado, las dietas de altiplano son en su mayoría gramíneas un 68 por ciento (10).

Durante el transcurso del año, el consumo de malezas puede variar entre el 8 y 29 por ciento de la dieta. Los porcentajes de proteína cruda en las dietas en el altiplano es de 10.2% y en los humedales es de 12.3%, observándose datos más bajos en agosto de 6.1% en el altiplano y en los humedales un 8.0%. El consumo de materia seca en condiciones extensivas, calculado en alpacas provistos de cánula esofágica que consumían *Muhlenbergia fastigiata* y *Festuca dolichophylla*, en La Raya – Puno, Perú, a una altura de 4200 msnm, mostrando variaciones estacionales durante el año. Durante el mes de febrero que corresponde a la época húmeda el consumo fue de 53.7 g/ PV^{0.75} y durante el mes de octubre que corresponde a la época seca el consumo alcanzó 60.5 g/PV^{0.75}(4).

Las variedades de pastos naturales altoandinos, principalmente las que son denominadas como las más apetecibles para las alpacas, se caracterizan por su hábito de crecimiento postrado, especialmente las que se encuentran en los humedales con alta disponibilidad de agua. Las alpacas al poseer el labio leporino presentan una elevada eficiencia en utilizar estas especies. En un estudio (11) reveló que los ovinos poseían una mayor profundidad de pastoreo que las alpacas ya que estas tenían una profundidad de pastoreo entre 3 y 15 mm, cuando se utilizaron pasturas con diferentes densidades foliares.

Los CSA, y particularmente las llamas, poseen mayor capacidad para utilizar forrajes con alto contenido en fibra en comparación con los rumiantes (12), esta característica favorecería a condiciones más favorables para la fermentación, el paso de partículas de forma más lenta y el tamaño del compartimento 1, el cual abarcaría mayores cantidades de digesta que el rumen en base al peso corporal (13), y consecuentemente reflejaría en diferencias en la composición de poblaciones microbianas (14). No obstante, en dietas con bajo contenido en nitrógeno, los CSA contienen concentraciones superiores de amonio en el compartimento 1 que los rumiantes (13), lo que se asocia con una mayor síntesis de proteína microbiana.

En condiciones de pastoreo, la alpaca posee un alto grado de selectividad de alimentos, durante la época seca selecciona principalmente dietas a base de *Poa* spp., *Eleocharis albibracteata*, *Alchemilla pinnata*, *Carex* spp, *Muhlenbergia fastigiata*, *Calamagrostis heterophylla*, y *Calamagrostis vicunarum*. Otras especies menos abundantes, pero muestran una alta preferencia son *Trifolium amabile*, *Poa gymnantha*, *Ranunculus limoselloides*, *Muhlenbergia peruviana* y *Stipa brachiphylla*, mientras que la especie *Festuca dolichophylla*

tiene gran disponibilidad, pero se observa muy poca preferencia de selección, no obstante, se observa además un consumo considerable de semillas de gramíneas (15).

En un estudio comparativo de consumo entre alpacas y ovinos machos en confinamiento y al pastoreo, y alimentados en *ad libitum*, evidenció que las alpacas seleccionan dietas de menor calidad, y presentan un consumo menor de materia seca en comparación a los ovinos, esto se observó para el caso del trébol cornudo (*Lotus corniculatus*) y ryegrass/trébol blanco (*Lolium perenne/Trifolium repens*) de manera extensiva y en confinamiento al heno de alfalfa (*Medicago sativa*) (15).

Adicionalmente, al comparar directamente el consumo alimenticio entre CSA y rumiantes, es importante considerar las diferencias de la masa corporal entre estas especies. Generalmente, los camélidos son puestos en comparación con los caprinos y ovinos que poseen una baja masa corporal. Por ello, resulta muy necesario aplicar correcciones asociadas a este factor.

De manera tradicional, el consumo de alimenticio se mide en función a la masa corporal (kg, g o % de MC, MC-1), o en función de la masa corporal metabólica (g/kg MC^{-0.75}). La variación obtenida puede influir significativamente en el resultado (15). El proceso de decidir cómo mostrar los datos dependerá si el consumo de alimento se considera alométricamente o linealmente con la masa corporal. Estudios recientes sugieren que el consumo de materia seca podría escalar a 0.8 y 0.9 (15).

1.1.8. CONSUMO DE AGUA EN CSA

Respecto al agua consumida, se observó que los camélidos consumen menos cantidad de agua, tanto por unidad de peso metabólico como por unidad de ingestión de materia seca, en comparación a los ovinos, esto es debido a cantidad de agua excretada en la orina en relación con la cantidad de agua ingerida es menor en camélidos con respecto a las ovejas (12). En zonas áridas, una ventaja adaptativa se da con un metabolismo más lento, ya que no solo reduce los requerimientos energéticos, más bien minimiza la pérdida de agua en la respiración (16)

En Europa Central se realizó un estudio (17), se reportó que en las llamas su consumo total de agua varía considerablemente según las estaciones del año, de modo que los animales consumen más del doble de agua en verano que en el invierno, además, se consume más agua

en verano con respecto a la primavera, en esta última estación, el consumo hídrico supera al registrado en invierno.

Otros animales, como los que se desarrollan en zonas desérticas, han de perfeccionar su fisiología en lo que respecta al ahorro de recursos, estos mamíferos presentan concentraciones mayores de orina o pérdida reducida de agua en las heces, en ese sentido un estudio (18) ha reportado una disminución relevante con respecto a la eliminación del agua en orina y heces en las llamas en comparación a las ovejas.

1.1.9. PERFILES METABÓLICOS

El incremento en la frecuencia de enfermedades metabólicas o ligadas a la producción animal en rumiantes han sido relacionadas con el incremento de la intensificación en el sistema de producción y la mejora de la productividad mediante la selección genética (19)

Los metabolitos representan los productos finales de complejas interacciones que suceden al interior de la célula, así como eventos que ocurren al exterior de la célula o del sistema en general (20). La composición bioquímica del plasma sanguíneo refleja con precisión el estatus metabólico de los tejidos, de tal manera que puede evaluarse trastornos de la función orgánica, la adaptación del animal a los desafíos nutricionales y fisiológicos y los desequilibrios metabólicos o nutricionales específicos (21). Los trastornos metabólicos pueden afectar el estado de salud del rebaño generando elevadas pérdidas económicas.

En este contexto, una herramienta que podría aportar al estado en general de un individuo debería de pasar por el seguimiento de todos los factores que podrían tener una influencia sobre el metabolismo, como les a ración, las características de las instalaciones, el estado sanitario y de salud del rebaño, así como la condición corporal general y el consumo de alimento. A esta información se puede acceder cuantificando e interpretando algunos parámetros sanguíneos en un contexto clínico. El término conocido como “perfil metabólico” fue acuñado a fines de la década de 1960 como un procedimiento de diagnóstico para diversas formas de enfermedades de producción en vacas lecheras (22), de tal forma que su utilización se extendió rápidamente a todos los animales de producción, realizándose muchas modificaciones con respecto a la prueba propuesta originalmente. Payne (22) desarrollaron el Test de Perfil Metabólico Compton, indicando que el objetivo principal era indicar si un hato es propenso a sufrir

enfermedades de producción. El test se basaba en una evaluación estadística de la química sanguínea que revela signos tempranos de anormalidad, constituyendo una herramienta de diagnóstico presintomática capaz de dar una advertencia temprana de ciertos tipos de trastornos metabólicos. De hecho, los perfiles metabólicos son muy útiles para evaluar el riesgo de enfermedad. La utilización de estos perfiles en asociación con otras evaluaciones en los animales, aspectos como la dieta y el manejo en general, podemos obtener data muy valiosa tanto sobre el estado de salud como sobre el bienestar animal.

De tal forma que los perfiles metabólicos representan la herramienta que permite evaluar el estado de los animales respecto a la composición de su dieta (23), y permiten identificar posibles trastornos nutricionales e incluso antes de que se vea afectada la productividad del rebaño. Si se interpretan adecuadamente, los perfiles metabólicos, estos podrían responder a varias interrogantes importantes, como trastornos subclínicos o la inminente presentación de casos clínico de tal forma que se cuente con el suficiente criterio clínico para abordar estas alteraciones y proponer la mejor solución práctica y económica.

1.2 ANÁLISIS DE ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

En su estudio denominado “Physiological, endocrine, and biochemical indicators in alpacas at high altitude” indica que hoy en día la producción animal, al margen de cumplir con los estándares de calidad, debe comprometerse con el bienestar animal, en el caso de alpacas la información respecto a este tópico es limitada o inexistente con relación a los indicadores de bienestar en comparación con otras especies. Por lo cual el objetivo de esta tesis doctoral fue determinar los indicadores endocrinos, bioquímicos y fisiológicos en alpacas ubicadas a gran altitud. Se utilizaron 14 alpacas preñadas (6 Suris y 8 Huacayas), las cuales estuvieron localizadas en Punapampa en Sangarará del departamento de Cusco (se encuentra sobre los 4141 msnm), su alimentación se basó en pastos cultivados y las valoraciones se efectuaron en época seca y época lluviosa. Los indicadores fisiológicos fueron determinados con un termómetro digital, estetoscopio y la visualización directa; los indicadores bioquímicos y endócrinos se determinaron mediante la técnica de espectroscopía por absorción. Los datos fueron analizados a través de un análisis de la variancia organizado en un diseño completo al azar con arreglo factorial 2 x 2. De acuerdo con los resultados, existió efecto entre la época y la variedad sobre la temperatura corporal e inferior para las Suri; la variedad presentó efecto sobre la frecuencia cardíaca menor en Suris; no existió efecto para este indicador. De otro lado,

no se observaron efectos sobre las concentraciones de ACTH y cortisol. Hubo efecto de época sobre los valores de A/G, ALB, Ca, BUN y BUN/CREA; existió efecto de raza en GLOB, ALB, TP, A/G, CREA, ALP y BUN/CREA. Los datos registrados representan un inicio para nuevas investigaciones acerca de los indicadores de bienestar animal en alpacas (24)

Asimismo, en el estudio “*Valores bioquímicos sanguíneos en alpacas en dos épocas del año en condiciones de Huancavelica: aportes al perfil metabólico de la especie.*” evaluó el efecto de las épocas seca y húmeda, y los cambios sobre los valores séricos de metabolitos en alpacas adultas de la variedad Huacaya ubicadas en la zona altoandina del centro del Perú (Huancavelica), el estudio demostró los intervalos para el nitrógeno ureico sanguíneo (NUS), colesterol, triglicéridos y glucosa. Se hallaron efectos en los valores de glucosa, NUS y colesterol, originados probablemente por modificaciones en el flujo de nutrientes que estaría afectado por la disponibilidad de MS desde la pastura en cada época evaluada; para el caso de los triglicéridos no se encontró efecto (25).

En otro estudio se reportó que los parámetros bioquímicos séricos aportan información relevante relacionada al estado sanitario, nutricional, productivo y reproductivo. En el caso de alpacas no se han reportado si los cambios ambientales trascienden sobre estos parámetros. El objetivo de la investigación fue valorar los parámetros bioquímicos en la alpaca Huacaya de la zona altoandina como en la zona templada del departamento de Tacna -Perú. Los muestreos de sangre se realizaron considerando el sexo de las alpacas. Los parámetros bioquímicos fueron determinados aplicando un analizador bioquímico automatizado. Se desarrolló un ANOVA organizado en un diseño factorial de 2 x 2 (sexo y zona). Se encontró diferencias entre zonas para los valores sanguíneos de glucosa, fosfatasa alcalina (FA), aspartato aminotransferasa (AST), bilirrubina total, bilirrubina directa, bilirrubina indirecta y albumina, de otro lado; no se encontraron diferencias entre machos y hembras, a excepción de la albumina (P valor <0.05). No se observó interacción en los indicadores bioquímicos. Los valores sanguíneos de glucosa, FA, albumina, AST, bilirrubina indirecta, bilirrubina directa, bilirrubina total y fueron superiores en la zona altoandina (26).

En la otra investigación realizada se tuvo como objetivo comparar los niveles del nitrógeno ureico sanguíneo (NUS) entre alpacas y llamas destetadas, que habitaban sobre pastos cultivados. 63 alpacas y 64 llamas fueron utilizadas, distribuidas entre hembras y machos,

alimentadas por 21 días posteriores al destete sobre pasturas cultivadas (asociación de rye grass italiano [*Lolium multiflorum*] y trébol blanco [*Trifolium repens*]). La obtención de la muestra sérica se realizó el día 21 antes del pastoreo. Se registró la composición nutricional de la dieta, el NUS e índice de selectividad. La detección del nitrógeno ureico sérico se realizó por espectrofotometría UV con kit comercial. El índice de selectividad fue estimado entre la composición botánica del área de la pastura y la composición botánica de la materia seca ingerida. El análisis se realizó mediante el test de t de Student de 02 muestras con similitud de varianzas. La composición nutricional de las pasturas ofrecidas para MS, proteína total, fibra total, grasa cruda y ceniza fue de 18.09, 16.30, 19.20, 1.43 y 6.60%, respectivamente. Los valores de NUS en alpacas y llamas correspondieron a 19.04 ± 3.24 mg/dl (12.13 - 26.36 mg/dl) y 19.05 ± 3.93 mg/dl (8.80 - 25.69 mg/dl), sin reportar efectos entre las especies. No se encontró selectividad entre especies. Finalmente, los niveles de NUS fueron similares entre llamas y alpacas destetadas que habitaban en pastos cultivos sin presentar selectividad durante el consumo (27).

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. CAMPO DE VERIFICACIÓN

a) Ubicación espacial

La investigación se ejecutó en la Estación Maranganí perteneciente al Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura (IVITA) de la Facultad de Medicina Veterinaria de la UNMSM, ubicado en el distrito de Maranganí, provincia de Canchis, departamento de Cusco, de acuerdo a las siguientes coordenadas:

Latitud Sur: 14°21'23.7"
Longitud Oeste: 71°10'03.8"
Altitud: 3 727 m.s.n.m.

b) Ubicación temporal

La ubicación temporal del estudio comprendió los meses de enero 2025 a abril del 2025.

c) Unidades de estudio

Cinco alpacas macho adultos huacaya fueron utilizados, en un estado fisiológico de mantenimiento (peso corporal aproximado de 63 Kg.) estas alpacas se eligieron del rebaño del IVITA - Maranganí de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, para posteriormente ser sometidos al desarrollo de esta investigación.

d) Estrategia de recolección de datos

Para realizar este estudio se utilizaron 05 jaulas de metabolismo diseñada para la especie, construidas con material de acero inoxidable, estas estructuras poseen bebederos, comederos, y paneles metálicos, estos proporcionaron facilidad para el registro de la cantidad de ingesta.

Las jaulas presentaron las siguientes dimensiones, 60 centímetros de ancho, 200

centímetros de largo, 160 centímetros de altura y se encuentran a 60 centímetros del suelo; todas estas medidas obedecen a la biometría y a las características del comportamiento, comodidad y comportamiento ingestivo de esta especie (28).

2.2 Etapas experimentales

Para iniciar el estudio se registró el peso inicial de los animales quienes luego pasaron por un período de adaptación de 10 días a las jaulas de metabolismo seguido, de una fase de acostumbramiento al alimento que consistía en concentrado comercial y heno de avena durante otros 10 días, de acuerdo con su requerimiento para mantenimiento.

Luego los animales fueron sometidos a una etapa de adaptación a una nueva ración de suministro de alimento ajustada al 75, 100 y 125 % de su requerimiento de mantenimiento durante 21 días. Finalmente, se realizó un periodo de 5 días para recolectar datos sobre la cantidad de agua y alimento consumido. Al inicio y al final de esta etapa se controló el peso y se registró la condición corporal de los especímenes.

2.3 Dietas experimentales

La dieta experimental comprendió la inclusión de un alimento concentrado basado en contenido proteico y un forraje con alto contenido de fibra vegetal, que correspondieron a un pellet de concentrado comercial y heno de avena, la formulación se realizó considerando el requerimiento fisiológico de mantenimiento de esta etapa productiva y especie. Se estableció una relación aproximada de 30:70% para ambos alimentos, para el nivel de mantenimiento y esta relación varió de acuerdo con los niveles de subalimentación y sobrealimentación, respectivamente, hasta cumplir el requerimiento energético y proteico.

Los esquemas de alimentación fueron diferenciados de acuerdo con el nivel de subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación, tomando como referencia los requerimientos energéticos y proteicos para el nivel de mantenimiento en estudios (29) y (30), respectivamente. El nivel de subalimentación correspondió a alimentar con el 75% del valor de energía de mantenimiento con un aporte energético de $61.95 \text{ kcal/kg PV}^{0.75}$ de energía metabolizable y de aporte proteico correspondiente a $2.63 \text{ g PC/kg/PV}^{0.75}$

El nivel de mantenimiento correspondió a alimentar con el 100% del valor de energía de

mantenimiento correspondiente a 82.6 Kcal/kg PV^{0.75} de energía metabolizable y de 3.5 g PC/kg/PV^{0.75}.

El nivel de sobrealimentación correspondió al 125% del valor de energía de mantenimiento y comprenderá 103.25 kcal/kg PV^{0.75} de energía metabolizable y 4.38 g PC/kg/PV^{0.75}. Asimismo, se asumirá que el nivel de ingestión del animal será regulado hasta completar su requerimiento. La dieta experimental que recibieron los animales estuvo compuesta por Heno de avena 60%; Pellets 40%, con un aporte aproximado de 86.5 g de PC/día y 86.4 kcal/kg de energía metabolizable. La cantidad total de alimento suministrado ha sido calculado considerando el consumo de mantenimiento para esta especie (50 g/MS/PM), de acuerdo a lo sugerido por una investigación precedente (28), generalizando que el consumo de alimento ingerido será autorregulado para que cumplan con su requerimiento nutricional.

a) Administración de agua, alimento y colecta de orina y heces

Desde el día 20 que corresponde a la etapa de adaptación en las jaulas metabolismo y al suministro de la dieta correspondiente, e incluso al culminar la etapa experimental del estudio, se registró el consumo y rechazo al alimento, con un consumo estimado de materia seca del 1.5% del peso del animal (31). En este periodo, cada 2 días se retiró a la alpaca (07:30am) se retiró a la alpaca de la jaula de metabolismo, y durante un cuarto de hora se desplazaron en la zona contigua a la jaula metabólica (32) para evitar alteraciones musculares.

Las muestras de alimento se sometieron a congelación (-20°C) hasta su procesamiento en laboratorio.

2.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO

La composición nutricional de la dieta fue analizada tres veces, siguiendo los procedimientos oficiales del análisis inmediato de la AOAC (33) para cenizas (N° 942 05), materia seca (MS) (N° 934 01), proteína cruda (PC 968 06) y extracto etéreo (EE, N° 920 39). La fibra en detergente neutro (FDN) (N° 973-18) y la fibra detergente ácida (FDA) fue analizada de acuerdo Mertens (34).

Los análisis correspondientes al perfil hepático y renal se realizaron en el Laboratorio de

bioenergética de la Estación Maranganí del IVITA, empleando un sistema de análisis bioquímico automatizado (Element RC - Germany) el cual desarrolla el proceso mediante rotores y se fundamenta operativamente en el análisis por química húmeda por espectroscopía de absorción.

2.5 ANÁLISIS DE DATOS

En consideración a los datos generados en esta investigación (valores de consumo de alimento y concentraciones de metabolitos), se aplicó el procedimiento ANOVA, MEANS, FREQ, CORR y UNIVARIATE del software SAS 9.0 (35), a fin de determinar el comportamiento de los metabolitos evaluados en cada esquema de alimentación, así como las características de los mismo en términos de tendencia central y variabilidad.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Determinación del perfil metabólico hepático en alpacas adultas (*Vicugna pacos*) sometidas a tres esquemas de alimentación (subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación)

Tabla N° 1

Niveles de Gama glutamil transferasa (GGT) de acuerdo con cada esquema de alimentación en alpacas

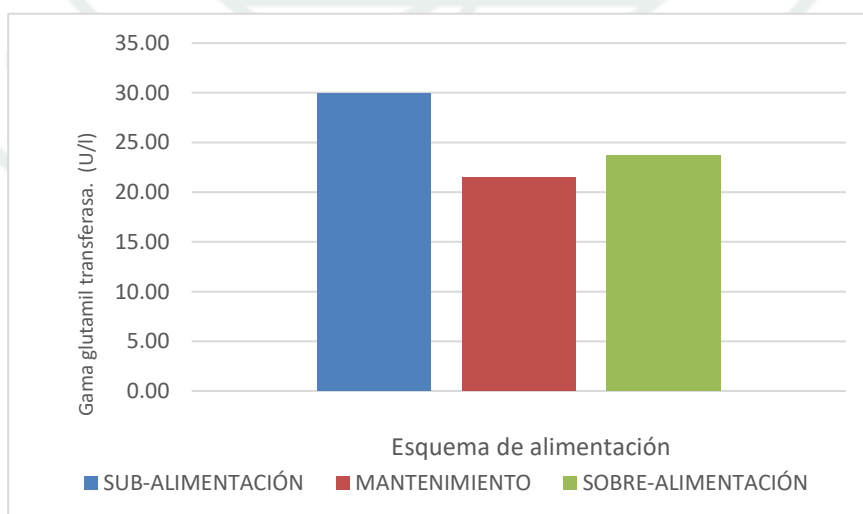
Esquema de alimentación		
Subalimentación	Mantenimiento	sobrealimentación
29.90 ^a ±17.32	21.44 ^a ±6.37	23.67 ^a ±14.75

Letras diferentes como superíndice entre columnas, denota diferencia estadística significativa (Duncan; P=0.05)

Nota: Elaboración Propia

Figura N° 1

Niveles de Gama glutamil transferasa (GGT) de acuerdo con cada esquema de alimentación en alpacas



Nota: Elaboración Propia

La tabla y figura N° 1 representa los niveles de gama glutamil transferasa (UI/L) de acuerdo con cada esquema de alimentación en alpacas, estos valores correspondieron a 29.90 ± 17.32 , 21.44 ± 6.37 y 23.67 ± 14.75 para los esquemas de alimentación, correspondientes a subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación, respectivamente. Luego del análisis estadístico no se detectaron diferencias entre estos esquemas de alimentación, lo cual indica que el consumo de alimento en cada esquema no influencia el nivel de este metabolito. Flores (36) reportaron valores similares a lo encontrados en este estudio correspondiente a 22.93 ± 6.8 UI/L para alpacas adultas de la sierra central del Perú, este valor es similar al esquema de alimentación correspondiente a mantenimiento donde el valor fue de 21.44 ± 6.37 UI/L. Los niveles de GGT muestran una amplia variabilidad en esta especie ($22,35 \pm 10,63$ UI/L). Según Yi (37), en alpacas jóvenes y gestantes se registran valores de 23,7 y 28,7 UI/L, respectivamente, mientras que en alpacas adultas se reportan 23 ± 11 UI/L. De otro lado, los glucocorticoides pueden incrementar la concentración de esta enzima (39).

En un estudio reciente (24) en alpacas gestantes, reportó valores de 35.5 ± 8.5 y 39.1 ± 13.3 UI/L, para la época seca y lluviosa, respectivamente; estos valores no presentaron diferencia estadística. Evidentemente estas cifras superan a los encontrados en la presente investigación, y ello se debería al efecto del estado fisiológico de mantenimiento en contraste al de gestación reportado por Benito (24). De acuerdo con la literatura especializada disponible para esta especie, existe un rango amplio en los niveles séricos de metabolitos que revelen función hepática, estos cambios se encontrarían en consonancia con factores como la edad, el estatus nutricional, y probablemente algún estado patológico no diagnosticado (40).

Aspartato amino transferasa (AST)

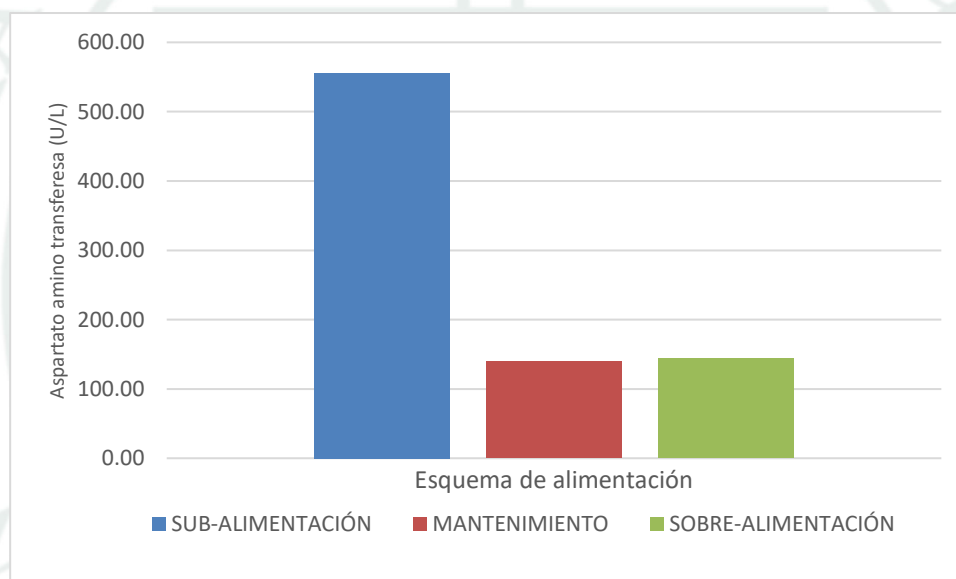
Tabla N° 2

Esquema de alimentación		
Subalimentación	Mantenimiento	sobrealimentación
556.04 ^a ±95.40	139.50 ^b ±41.75	143.49 ^b ±25.09

Letras diferentes como superíndice entre columnas, denota diferencia estadística significativa (Duncan; P=0.05)

Nota: Elaboración Propia

Figura N° 2



Nota: Elaboración Propia

Con relación a los niveles de aspartato amino transferasa (U/L), influenciados por los esquemas de alimentación implementados en esta investigación, se encontró que la subalimentación incrementó significativamente los valores de esta enzima hepática (556.04±95.40 U/L), en contraste al esquema de mantenimiento y sobre alimentación (139.50±41.75 y 143.49±25.09 U/L, respectivamente), en los cuales no se detectó valores diferentes (P>0.05).

Los niveles de AST encontrados en esta investigación para las alpacas en mantenimiento y sobre alimentación, son relativamente similares a los reportados por Flores (36) quien

encontró 187.7 U/L en alpacas adultas. Li (41) reportaron un valor para animales adultos de 164.43 ± 25.5 U/L respecto a esta enzima lo cual evidencia similitud con el valor obtenido en mantenimiento y sobre alimentación del presente estudio.

Los valores informados por Apiña (42) corresponden a 128.43 - 234.48 U/L, rango donde caen los niveles indicados por la presente investigación. En la literatura consultada no se hallaron reportes de los niveles de AST inducidos por subalimentación, sin embargo, investigadores precedentes indican que modificaciones en la ingestión de energía y proteína en la dieta de alpacas, que influyen sobre los niveles de AST han sido referenciada por Simons (43), que podrían sugerir un daño hepático, inducido por un bajo consumo de la relación energía/proteína en esta especie. Este bajo consumo de energía y proteína afectaría la funcionalidad de esta enzima que alcanza a varios tejidos como el tejido muscular cardíaco y esquelético, el hígado, e incluso sangre (44).

El aspartato aminotransferasa en rumiantes es un buen indicador de alteraciones hepáticas, la actividad elevada combinada con concentraciones de colesterol y albúminas reducidas, se observan alteraciones de la función del hígado, tal como es el caso de ovejas, donde la actividad plasmática del aspartato aminotransferasa puede incrementarse hasta ocho veces en casos de intoxicación crónica a causa del cobre y en hepatotoxicidad inducida por las plantas (45).

Fosfatasa alcalina (ALP)

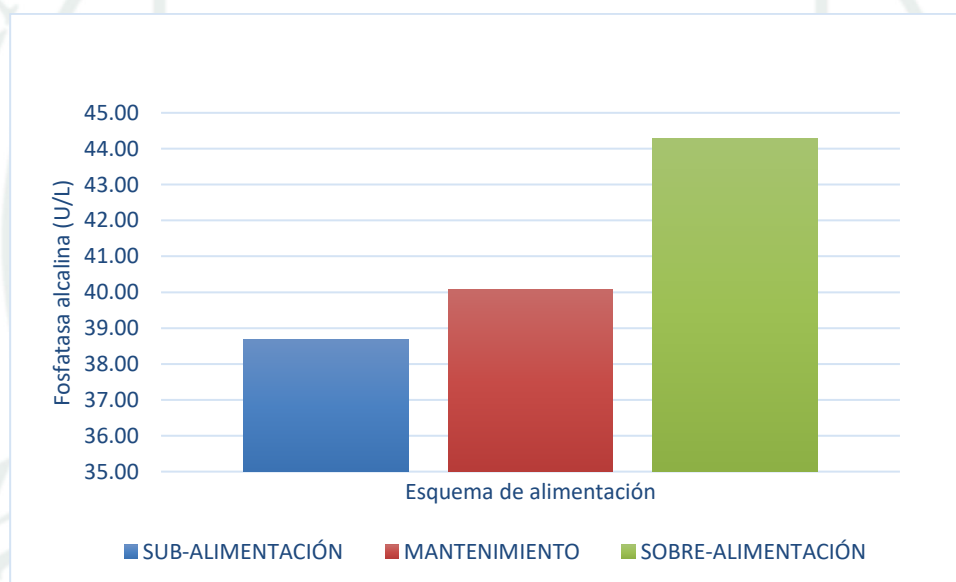
Tabla N° 3

Esquema de alimentación		
Subalimentación	Mantenimiento	sobrealimentación
38.68 ^a ±11.82	40.06 ^a ±11.25	44.29 ^a ±15.10

Letras diferentes como superíndice entre columnas, denota diferencia estadística significativa (Duncan; P=0.05)

Nota: Elaboración Propia

Figura N° 3



Nota: Elaboración Propia

La tabla y figura N° 3, representan los valores de fosfatasa alcalina (ALP), donde el esquema de subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación, correspondieron a 38.68±11.82, 40.06±11.25 y 44.29±15.10 U/l, respetivamente. Estos valores no denotaron diferencia estadística significativa (P>0.05), lo cual indicaría que el esquema de alimentación no altera los valores de la ALP. De acuerdo con la literatura existente, los valores de ALP son ampliamente variables, lo cual fue informado por Husakova (46), así como por Simons (43), estos autores encontraron un intervalo de 30,0 – 270,0 U/L para alpacas en Alemania y en República Checa; e intervalos de 35 – 198 U/L en alpacas hembra del sudeste de Australia,

respectivamente. En otra investigación, Guayán (47), informaron un intervalo que variaba desde 0,0 hasta 167,0 U/L en un estudio desarrollado con alpacas en Chile. De acuerdo a los resultados de esta investigación, los niveles detectados no son influenciados por los diferentes esquemas de alimentación, al respecto otro autor (48), ha indicado que la actividad de este metabolito es influenciada directamente por condiciones como la edad de los animales, y principalmente en animales jóvenes, donde este metabolito se encuentra relacionado directamente por procesos de calcificación y formación de estructuras óseas, e incluso puede afectarse en sus niveles por la intensa actividad física, y administración de ciertos fármacos (glucocorticoides, antibióticos y anticonvulsivos).



Lactato deshidrogenasa (LDH)

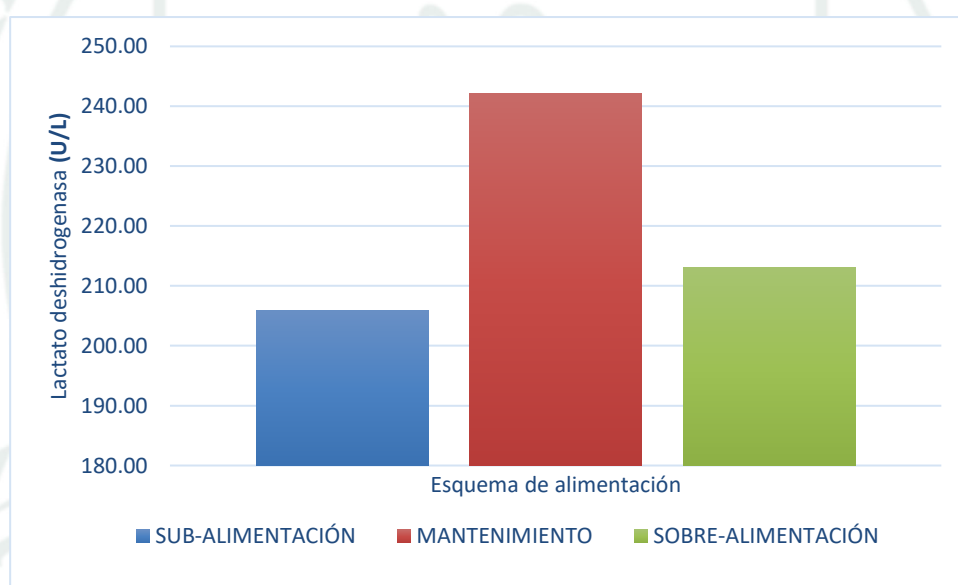
Tabla N° 4

Esquema de alimentación		
Subalimentación	Mantenimiento	sobrealimentación
205.86 ^a ±54.44	242.06 ^b ±22.39	212.99 ^{ab} ±40.89

Letras diferentes como superíndice entre columnas, denota diferencia estadística significativa (Duncan; P=0.05)

Nota: Elaboración Propia

Figura N° 4



Nota: Elaboración Propia

En la tabla y figura N°4, se aprecian los valores de lactato deshidrogenasa alcalina (LDH), obtenidos de alpacas en los tres esquemas de alimentación, estos valores corresponden a 205.86±54.44, 242.06±22.39 y 212.99±40.89 U/L, para el esquema de subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación, respectivamente, los valores de LDH presentaron diferencia estadística entre la subalimentación el mantenimiento (P<0.05), en cambio la sobrealimentación no presenta diferencia al comparar ambos esquemas (P>0.05).

Los valores reportados en investigaciones previas han informado intervalos muy amplios respecto a la LDH en alpacas; al respecto Foster (40) indican valores que varían entre 10 y 696 U/L. De otro lado, autores como Husakova (46) han reportado valores más estrechos que variaban entre 873, 757.2, 856.2 y 769.8 U/L, para alpacas macho y hembras, durante el verano e invierno, respectivamente. Los reportes de este metabolito para alpacas en estudios dentro de nuestro país son realmente escasos, Arellano (49) en un estudio realizado con alpacas infestadas naturalmente con macro y microquistes de *Sarcocystis*, revelaron incrementos significativos con valores que alcanzaron los 383.5 U/L.

Simons (43), ha reportado que alteraciones que originen relaciones bajas de energía metabolizable en la dieta con concentraciones de nitrógeno, podrían originar valores anómalos de marcadores sanguíneos asociados con la LDH, y eventualmente denotar daño hepático.

Con relación a la presente investigación valores diferenciados estadísticamente significativos han sido evidenciados en las alpacas bajo el esquema de subalimentación, estos hallazgos son consistentes con el reporte previo de Simons (43). En un estudio reciente, Benito (24) reportó valores de 191.8 ± 30.7 y 202.8 ± 31.9 para alpacas huacaya y suri durante la época seca, y 227.7 ± 31.8 y 207.0 ± 30.2 para las mismas variedades pero durante la época lluviosa, sin detectar diferencias significativas. Estos valores son muy similares a los reportados en esta investigación.

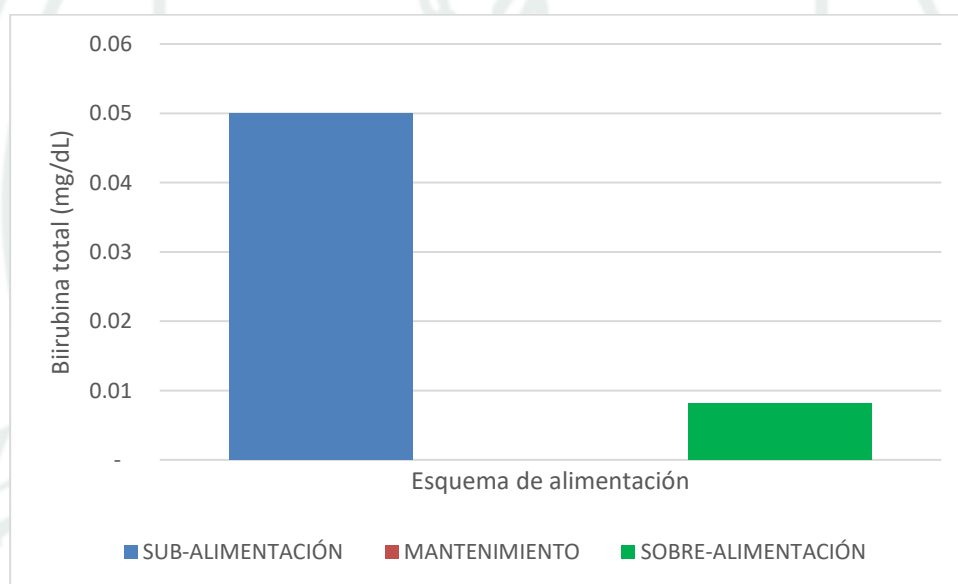
Bilirrubina total (BT)

Tabla N° 5

Esquema de alimentación		
Subalimentación	Mantenimiento	sobrealimentación
0.05 ± 0.1	0.00 ± 0.00	0.01 ± 0.03

Nota: Elaboración Propia

Figura N° 5



Nota: Elaboración Propia

En esta tabla y figura N° 5, se muestran los valores de bilirrubina total (BT), luego de someter a las alpacas a los diferentes esquemas de subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación, y de realizar el proceso analítico los valores correspondieron a 0.05 ± 0.1 , 0.0 ± 0.0 y 0.01 ± 0.03 , lo cual indica valores indetectables para el esquema de mantenimiento y casi imperceptibles para los otros esquemas de alimentación, bajo tales precedentes no se realizó análisis estadístico por los valores indetectables en las muestras séricas.

De acuerdo con otros autores, nuestros resultados son consistentes con Foster (40) quien reporta en alpacas, valores en el intervalo de 0.1–0.4 mg/dL; de otro lado, Husakova (46) hallaron valores de 0 – 0.25 mg/dL; de mismo modo Simons (43) reportó un intervalo de 0.01 – 0.21mg/dL. De acuerdo a nuestro estudio, los esquemas de alimentación no ejercieron un efecto relevante sobre los niveles de bilirrubina directa en alpacas.



3.2 Determinación del perfil metabólico renal en alpacas adultas (*Vicugna pacos*) sometidas a tres esquemas de alimentación (subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación)

Creatinina (CREA)

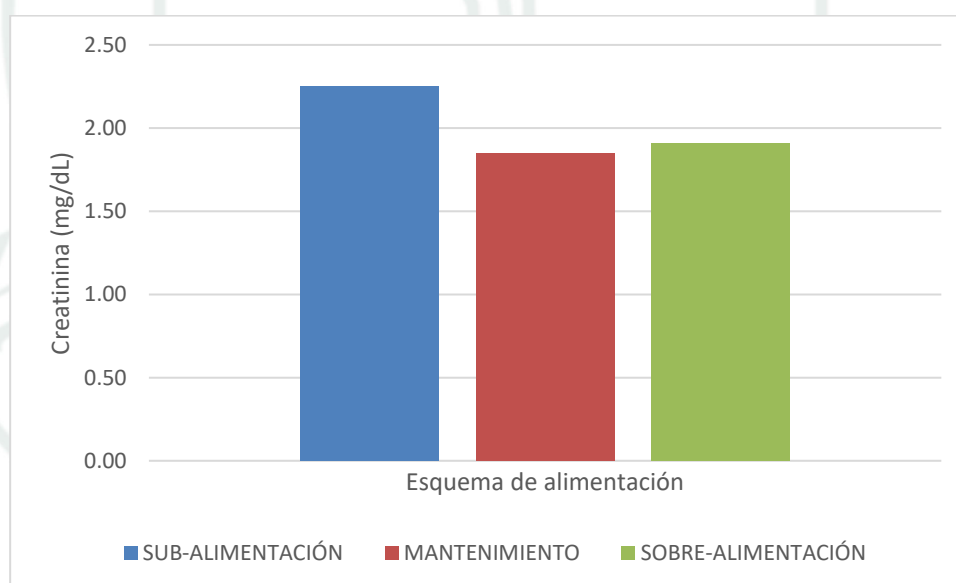
Tabla N° 6

Esquema de alimentación		
Subalimentación	Mantenimiento	sobrealimentación
2.25 ^a ±0.27	1.85 ^b ±0.38	1.91 ^b ±0.28

Letras diferentes como superíndice entre columnas, denota diferencia estadística significativa (Duncan; P=0.05)

Nota: Elaboración Propia

Figura N° 6



Nota: Elaboración Propia

La tabla y figura N° 6, representan los valores de creatinina (CREA), donde se puede observar que los valores de este metabolito del perfil renal para cada esquema de alimentación (subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación), correspondieron a 2.25±0.27,

1.85±0.38 y 1.91±0.28, mg/dL, respectivamente.

Estos valores denotaron diferencia estadística significativa, entre el esquema de subalimentación con los de mantenimiento y sobrealimentación ($P<0.05$). De acuerdo con estos resultados se puede inferir que la actividad de la creatinina se incrementa por un esquema de alimentación por debajo del mantenimiento. Autores precedentes han reportado valores similares al encontrado en el nivel de mantenimiento y sobrealimentación, Flores (36) encontró un valor de 2.11 mg/dL, Quispe (26), en un estudio para contrastar cambios en los parámetros bioquímicos de alpacas huacaya que habitaban la zona altoandina y a nivel del mar, en tal sentido, correspondiente a 1.39 y 1.29 mg/dL, respectivamente. De otro lado, Waitt (50) reportó un intervalo de 0.90-1.70 (mg/dL), de otro lado, Husakova (46) hallaron para el caso de alpacas en Europa, valores de 1.47 y 1.41 en animales macho y hembra muestreados en verano y 1.64 y 1.41 (mg/dL), respectivamente.

En este estudio el nivel de creatinina inducido por la subalimentación estaría fuera del rango de un nivel considerado como normal, y este corresponde a 2.25 mg/dL, valor superior a los reportes previos en diferentes escenarios; al respecto se puede indicar que la creatinina es un indicador fiable de los procesos catabólicos de la creatina muscular (44), originada por la movilización de proteína muscular (51) para responder a una restricción alimenticia.

Nitrógeno ureico sérico (NUS)

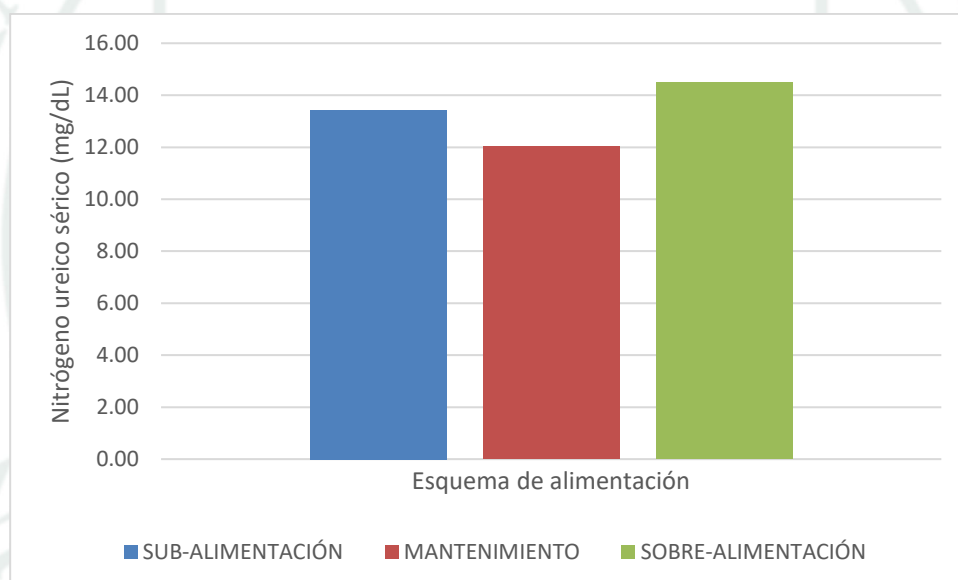
Tabla N° 7

Esquema de alimentación		
Subalimentación	Mantenimiento	Sobrealimentación
13.43 ^{ab} ±2.75	12.03 ^a ±1.97	14.48 ^b ±1.84

Letras diferentes como superíndice entre columnas, denota diferencia estadística significativa (Duncan; P=0.05)

Nota: Elaboración Propia

Figura N° 7



Nota: Elaboración Propia

Con relación a los niveles de nitrógeno ureico sérico (NUS), influenciados por los esquemas de alimentación implementados en este estudio, se encontró que la sobrealimentación incrementó significativamente ($P < 0.05$) los valores de este metabolito (14.48 ± 1.84 mg/dL), en contraste al esquema de mantenimiento y subalimentación (13.43 ± 2.75 y 12.03 ± 1.97 mg/dL, respectivamente), donde no se detectaron diferencias entre ellos ($P > 0.05$).

Este metabolito ha sido referenciado ampliamente en alpacas, Waitt (50), reportó valores similares a los encontrados en esta investigación (13-28 mg/dL), Benito (24), en un estudio

comparativo entre alpacas huacaya y suri en dos épocas del año (seca y lluviosa) indicó valores de 8.1 y 8.9 (mg/dL) para cada variedad en la época lluviosa, respectivamente, y 5.5 y 6.5 (mg/dL) para la época seca, respectivamente, por lo cual podría generalizarse que el consumo de materia seca y consecuentemente de la calidad y cantidad de proteína influenciada por la época del año, podrían modificar los niveles de NUS, al respecto en un estudio reciente (52), donde se administraron tres niveles divergentes de proteína en la dieta en alpacas huacaya, se evidenció que los valores de nitrógeno ureico sérico se elevaron de forma progresiva al aumentar la concentración de proteína cruda en la dieta, siendo más evidente en la dieta con un aporte del 12% de proteína cruda (3). Esto señala un impacto directo entre la cantidad de proteína consumida y el incremento en los valores de nitrógeno ureico en la sangre.

Relación Nitrógeno ureico sérico/Creatinina (NUS/CREA)

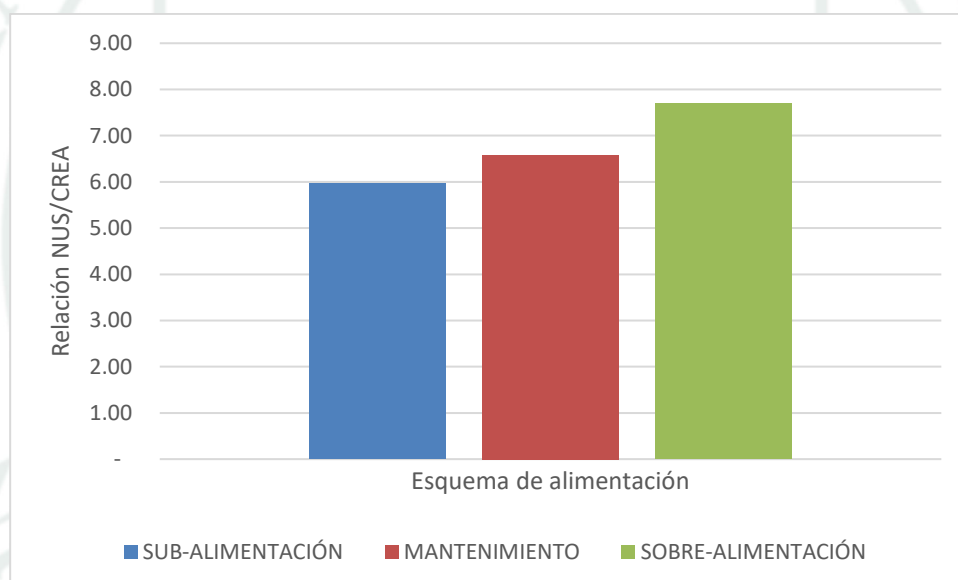
Tabla N° 8

Esquema de alimentación		
Subalimentación	Mantenimiento	sobrealimentación
5.97 ^a ±1.07	6.58 ^a ±0.80	7.70 ^b ±1.26

Letras diferentes como superíndice entre columnas, denota diferencia estadística significativa (Duncan; P=0.05)

Nota: Elaboración Propia

Figura N° 8



Nota: Elaboración Propia

Este parámetro (relación BUN/CREA) se presenta en la tabla y figura N° 8, donde se aprecia una tendencia similar a los niveles de NUS, donde el esquema de sobre alimentación obtuvo un valor de 7.70±1.26, para el caso de la subalimentación y el mantenimiento esta relación correspondió a 5.97±1.07 y 6.58±0.80, respectivamente.

Este parámetro que nos indica la relación del nitrógeno ureico sanguíneo con la creatinina ha sido muy poco reportado en alpacas, a excepción de los hallazgos de Benito (24) quien informó valores de 3.4 y 4.22 de esta relación para alpacas gestantes en pastoreo de la variedad

huacaya y suri durante la época seca respectivamente; para el caso de ambas variedades en la época lluviosa esta relación correspondió a 4.8 y 8.1 para huacaya y suri, respectivamente. De acuerdo con los resultados de esta investigación los valores que fueron registrados denotaron una disminución en animales sometidos a una restricción alimenticia (subalimentación) en comparación a los animales en mantenimiento y sobrealimentación; al respecto Moen y DelGiudice (53), reportaron que la relación BUN/CREA puede usarse como un indicador de restricción nutricional y si esta restricción se mantiene en el tiempo, los valores de esta relación seguirán una tendencia a disminuir, y de continuar un periodo muy prolongado de restricción alimenticia se podría observar un incremento sobre todo en dietas con bajos niveles de proteína y de aporte calórico.

Otro autor (54) relacionaron cambios en los valores de esta relación en animales que sufrieron deshidratación, condición que podría eventualmente relacionarse con la subalimentación inducida ya sea por un estado patológico o una grave deficiencia de manejo en general. Este metabolito podría representar un parámetro para evidenciar el historial de periodos prolongados de restricción alimenticia posteriores a un estado patológico o deficiente manejo.

Sodio (Na⁺ mmol/L)

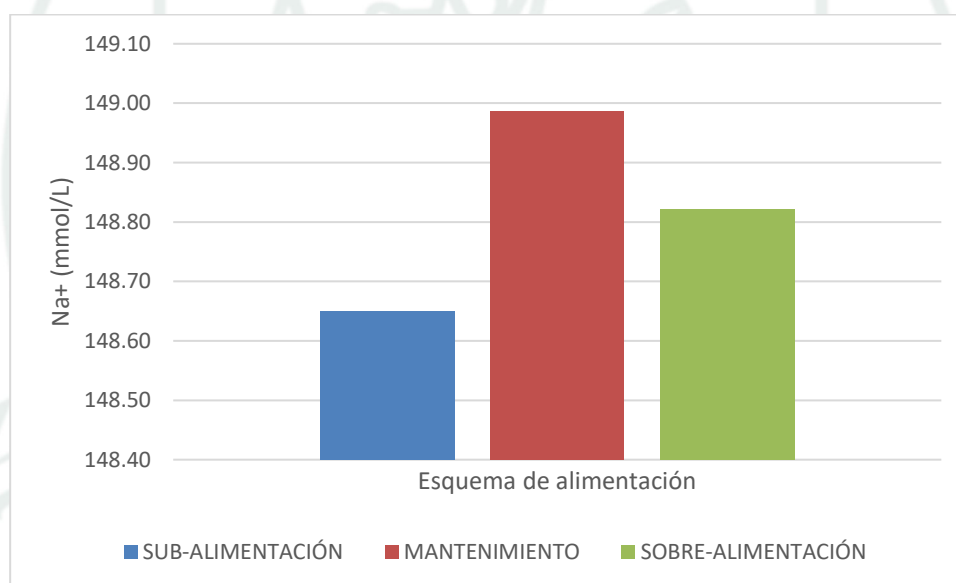
Tabla N° 9

Esquema de alimentación		
Subalimentación	Mantenimiento	sobrealimentación
148.65 ^a ±1.99	148.99 ^a ±1.60	148.82 ^a ±0.97

Letras diferentes como superíndice entre columnas, denota diferencia estadística significativa (Duncan; P=0.05)

Nota: Elaboración Propia

Figura N° 9



Nota: Elaboración Propia

La tabla y figura N° 9, representan los valores de sodio (Na), influenciados por los tres esquemas de alimentación donde se puede observar que los valores de este ion variaron para el esquema de subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación, entre 148.65±1.99, 148.99±1.60 y 148.82±0.97 mmol/L, Estos valores no denotaron diferencia estadística significativa (P>0.05).

En la literatura consultada se ha observado que existen escasos reportes relacionados a los niveles séricos de sodio. Niveles de 142–154 mmol/L representarían valores normales de acuerdo con Van Saun y Herdt (19), estos mismos autores mencionan que niveles menores a 135 mmol/L debería ser considerado como un estado deficiente. Asimismo, estos autores indican que una situación especial como la deshidratación pueden tender a disminuir los niveles de sodio, situación reportada por Van Saun y Herdt (19).



Potasio (K⁺ mmol/L)

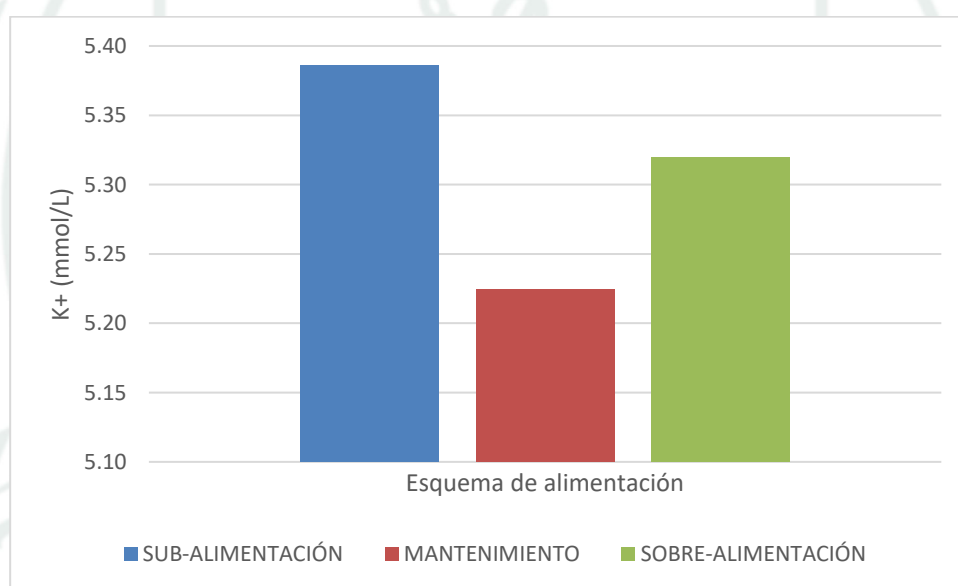
Tabla N° 10

Esquema de alimentación		
Subalimentación	Mantenimiento	sobrealimentación
5.39 ^a ±0.66	5.22 ^a ±0.49	5.32 ^a ±0.48

Letras diferentes como superíndice entre columnas, denota diferencia estadística significativa (Duncan; P=0.05)

Nota: Elaboración Propia

Figura N° 10



Nota: Elaboración Propia

La tabla y figura N°10 representan los niveles de potasio (K), donde se puede observar que los valores de este ion para cada esquema de alimentación (subalimentación, mantenimiento y sobrealimentación), correspondieron a 5.39±0.66, 5.22±0.49y 5.32±0.48 mmol/L, respectivamente. Estos niveles no denotaron diferencia estadística significativa entre los esquema de alimentación implementados (P>0.05).

Al respecto, es relevante indicar que, en la información científica relacionada a este ion,

es muy limitada. Van Saun y Herdt (19), informaron intervalos de 4.1 a 6.3 mmol/L como normales, bajo condiciones de esta investigación los niveles reportados se encuentran dentro del intervalo sugerido por los autores precedentes. Los mismos autores indican que un nivel sérico menor a 3.5 mmol/L debería ser considerado como deficiente. Condiciones especiales como deshidratación pueden disminuir los niveles de este ion, lo cual ha sido informado por Van Saun y Herdt (19).



CONCLUSIONES

1. En cuanto al perfil hepático, los esquemas de alimentación no modificaron los niveles de gama glutamil transferasa (GGT), fosfatasa alcalina (ALP), y no fueron detectados valores de bilirrubina total (BT) en todos los casos. Por el contrario, el esquema de alimentación influyó sobre los niveles de aspartato aminotransferasa (AST) y lactato deshidrogenasa (LDH) en alpacas adultas.
2. Con relación al perfil renal, los esquemas de alimentación no afectaron los niveles séricos de Sodio (Na) y Potasio (K); en cambio fueron afectados los niveles de Creatinina (CREA), Nitrógeno ureico sérico (NUS) y la relación NUS/CREA, en alpacas adultas.
3. De acuerdo con los resultados de esta investigación, la subalimentación incrementa significativamente los niveles de AST, y disminuye los de LDH en comparación al esquema de mantenimiento.
4. Los niveles de CREA son incrementados significativamente por la subalimentación, en el mismo orden la sobrealimentación incrementó los valores de NUS frente al mantenimiento, al igual que la relación NUS/CREA.
5. Los valores encontrados en los 10 parámetros reportados en esta investigación representan una referencia relevante para diferenciar estados normales de aquellos patológicos como aquellos que cursan con subalimentación o sobre alimentación en alpacas adultas macho.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios complementarios que revelen cambios en el perfil bioquímico de otros sistemas (perfil lipídico, proteínas séricas o biomarcadores de estrés) en alpacas y otros camélidos.
- Desarrollar estudios de perfil bioquímico en diversos estados fisiológicos en alpacas y otros camélidos.
- Realizar estudios analíticos comparativos del perfil metabólico determinado con diversas metodologías analíticas.
- Se recomienda realizar un convenio entre el Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura (IVITA Estación Experimental Marangani – Cusco) de la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos con la Escuela de Post Grado de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Van Saun RJ. Nutrient requirements of South American camelids: a factorial approach. *Small Rumin Res.* 2006;61(2–3):165–186.
2. Dittmann MT, Hummel J, Runge U, Galeffi C, Kreuzer M, Clauss M. Characterising an artiodactyl family inhabiting arid habitats by its metabolism: low metabolism and maintenance requirements in camelids. *J Arid Environ.* 2014;107:41–48.
3. San Martín F, Van Saun RJ. Applied digestive anatomy and feeding behavior. In: Anderson DE, editor. *Llama and alpaca care*. 1st ed. Canada: Elsevier Inc.; 2014. p. 51–58.
4. San Martín F, Bryant FC. *Nutrición de los camélidos sudamericanos: estado de nuestro conocimiento*. Artículo técnico T-9-505. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Texas Tech University; 1987. 67 p.
5. Sponheimer M, Robinson T, Roeder B, Hammer J, Ayliffe L. Digestion and passage rates of grass hays by llamas, alpacas, goats, rabbits, and horses. *Small Rumin Res.* 2003;48:149–154.
6. Arce PC, Arbaiza FT, Carcelén CF, Lucas AO. Estudio comparativo de la digestibilidad de forrajes mediante dos métodos de laboratorio. *Rev Investig Vet Perú* [Internet]. 2003;14(1):7–12. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/scielo>
7. Hintz HF, Schryver HF, Halbert M. A note on the comparison of digestion by New World camels, sheep and ponies. *Anim Prod.* 1973;16:30–35.
8. Dittmann MT, Hummel J, Runge U, Galeffi C, Kreuzer M, Clauss M. Characterising an artiodactyl family inhabiting arid habitats by its metabolism: low metabolism and maintenance requirements in camelids. *J Arid Environ.* 2014;107:41–48.
9. Van Soest PJ. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2nd ed. Ithaca (NY): Cornell University Press; 1994.
10. Reiner RJ, Bryant FC, Farfan RD, Craddock BF. Forage intake of alpacas grazing Andean rangeland in Peru. *J Anim Sci.* 1987;64:868–871.
11. Hongo A, Toukura Y, Choque JL, Aro JA, Yamamoto N. The role of a cleft upper lip of alpacas in foraging extremely short grasses evaluated by grazing impulse. *Small Rumin Res.* 2007;69:108–114.
12. Dulphy JP, Dardillat C, Jailler M, Ballet JM. Comparative study of forestomach digestion in llamas and sheep. *Reprod Nutr Dev.* 1997;37:709–725.

13. Dardillat C, Baumont R, Jouany JP. Contenus gastriques du lama et du mouton. *Ann Zootech.* 1994;43:279.
14. Pei CX, Liu Q, Dong CS. Microbial community in the forestomachs of alpacas (*Lama pacos*) and sheep (*Ovis aries*). *J Integr Agric.* 2010;12(2):314.
15. Bryant FC, Farfan RD. Dry season forage selection by alpaca (*Lama pacos*) in southern Peru. *J Range Manag.* 1984;37:330–333.
16. Raggi LA, Jiliberto E, Urquieta B. Feeding and foraging behaviour of alpaca in northern Chile. *J Arid Environ.* 1994;26:73–77.
17. Riek A, Brinkmann L, Gauly M, Perica J, Ruf T, Arnold W, et al. Seasonal changes in energy expenditure, body temperature and activity patterns in llamas (*Lama glama*). *Sci Rep.* 2017;7:7600.
18. Nielsen MO, Kiani A, Tejada E, Chwalibog A, Alstrup L. Energy metabolism and methane production in llamas, sheep and goats fed high - and low - quality Grass - based diets. *Arch Anim Nutr.* 2014;68(3):171–185.
19. Van Saun RJ, Herdt T. Nutritional assessment. In: Anderson DE, editor. *Llama and alpaca care*. Canada: Elsevier Inc.; 2014.
20. Castillo C, Hernández J. Afecciones metabólicas peripartales en ovino y caprino de producción lechera. *Ganadería.* 2016;(jul–ago):48–51.
21. Goldansaz SA, Guo AC, Sajed T, Steele MA, Plastow GS, Wishart DS. Livestock metabolomics and the livestock metabolome: a systematic review. *PLoS One.* 2017;12(5):e0177675. doi:10.1371/journal.pone.0177675
22. Payne JM, Dew SM, Manston R, Faulks M. The use of a metabolic profile test in dairy herds. *Vet Rec.* 1970;87(6):150–157. doi:10.1136/vr.87.6.150
23. Calamari L, Ferrari A, Minuti A, Trevisi E. Assessment of the main plasma parameters included in a metabolic profile of dairy cow based on Fourier transform mid-infrared spectroscopy: preliminary results. *BMC Vet Res.* 2016;12:4–10. doi:10.1186/s12917-015-0621-4
24. Benito LD. *Indicadores fisiológicos, endocrinos y bioquímicos en alpacas a gran altitud* [tesis doctoral]. Puno: Universidad Nacional del Altiplano; 2024. Disponible en: <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/22205>
25. Sigas O, Paucar R, Olazabal J, San Martín F, Vélez V. Valores bioquímicos sanguíneos en alpacas en dos épocas del año en condiciones de Huancavelica: aportes al perfil metabólico de la especie. En: XX Reunión ALPA, XXX Reunión APPA; 2007; Cusco, Perú. p. 496–497.

26. Quispe Quispe AE, Torres Hualla EA, Puma Iquise A, Rios Bobadilla RM, Manrique Espinoza LN, Gandarillas Espezua D. Evaluación de parámetros bioquímicos de alpacas Huacaya (*Vicugna pacos*) entre zonas altoandina y costa de Tacna, Perú. Cienc Amaz. 2022;10(1–2):1–10. doi:10.22386/ca.v10i1-2.357
27. Vivar HM, Olazábal LJ, San Martín HF. Comparación del nivel de nitrógeno ureico sanguíneo entre alpacas y llamas destetadas mantenidas en pastos cultivados. Rev Investig Vet Perú. 2019;30(1):193–200.
28. Vélez-Marroquín VM, Cabezas-García EH, Antezana-Julián W, Estellés-Barber F, Franco FE, Pinares-Patiño CS. Design, operation, and validation of metabolism crates for nutrition studies in alpacas (*Vicugna pacos*). Small Rumin Res. 2022;209.
29. Roque H, Bautista PJ, Beltrán BP, Calsín CB, Medina SJ, Aro AJ, et al. Requerimientos de energía metabolizable para mantenimiento y ganancia de peso de llamas y alpacas determinados mediante la técnica de sacrificio comparativo. Rev Investig Vet Perú. 2020;31(4):e16738. doi:10.15381/rivep.v31i4.16738
30. Huasasquiche A. *Balance del nitrógeno y digestibilidad en alpacas y ovinos* [tesis de licenciatura]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 1974.
31. López AJ, Maiztegui J, Cabrera R. Voluntary intake and digestibility of forages with different nutritional quality in alpacas (*Lama pacos*). Small Rumin Res. 1998;29:295–301.
32. Robinson TF, Roeder BL, Schaalje JD, 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. 2005;58:123–133.
33. AOAC. *Official methods of analysis*. 17th ed. Arlington (VA): Association of Official Analytical Chemists; 2000.
34. Mertens DR. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fibre in feeds with refluxing beakers or crucibles: collaborative study. J AOAC Int. 2002;85:1217–1240.
35. SAS Institute Inc. *SAS® user guide: version 9 for Microsoft® Windows®*. Cary (NC): SAS Institute Inc.; 2002.
36. Flores NS, Li EO, Gavidia CC, Hoyos SL, Barrios-Arpi M. Determinación del perfil bioquímico sanguíneo hepático y renal en alpacas (*Vicugna pacos*) aparentemente normales. Rev Investig Vet Perú. 2016;27(1):196–203. doi:10.15381/rivep.v27i1.11445
37. Yi P. *Rangos referenciales de algunos valores enzimáticos séricos de alpacas jóvenes y gestantes* [tesis]. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; 1993. 32 p.
38. Javier R. *Relación entre el nitrógeno ureico en sangre y nitrógeno ureico en orina influenciadas por tres dietas basadas en la concentración divergente de proteína en*

- alpacas (Vicugna pacos)* [tesis de licenciatura]. Sicuani: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco; 2025. 86 p.
39. Merck. *Manual Merck de veterinaria*. 5a ed. Barcelona: Ediciones Océano; 2000. 1343 p.
 40. Foster A, Bidewell C, Barnett J, Sayers R. Haematology and biochemistry in alpacas and llamas. In *Pract*. 2009;31(6):276–281. doi:10.1136/inpract.31.6.276
 41. Li EO, Navarrete M, Chávez RA, Santos RF, Barrios-Arpi M. Niveles de aspartato amino transferasa, gamma glutamil transpeptidasa, proteínas totales, albúmina y glucosa en alpacas aparentemente sanas. 2015. Disponible en: <http://infoalpacas.com.pe/>
 42. Apiña Pérez IM. *Perfil bioquímico sanguíneo de alpacas (Vicugna pacos)* aparentemente sanas de la serranía del Ecuador [tesis]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; 2018.
 43. Simons JA, Waldron DL, Hennessy DP. Clinical biochemical reference ranges for female alpacas (*Lama pacos*). *Comp Biochem Physiol B*. 1993;105(3–4):603–608.
 44. Nelson DL, Cox MM. *Lehninger principles of biochemistry*. 4th ed. New York: W.H. Freeman; 2006.
 45. Noro M, Vargas V, Pulido RG, Wittwer F. Effects of two types of concentrate on energy and protein blood metabolites in grazing dairy cows during spring. 2006:227–232.
 46. Husakova T, Pavlata L, Pechova A, Hauptmanova K, Pitropovska E, Tichy L. Reference values for biochemical parameters in blood serum of young and adult alpacas (*Vicugna pacos*). *Animal*. 2014;8(9):1448–1455.
 47. Guayán FO, Prieto RP, Menge FW, Lehnebach HB, Ackerman HL. Valores sanguíneos en alpacas (*Lama pacos*) reintroducidas en el sur de Chile. *Vet Mex*. 1998;29(4):411.
 48. Kaneko JJ, Harvey JW, Bruss ML, editors. *Clinical biochemistry of domestic animals*. 6th ed. San Diego: Academic Press; 2008. p. 45–80.
 49. Arellano P, Paredes D, Vélez V, Torres J. Niveles de lactato deshidrogenasa (LDH) en relación a quistes de *Sarcocystis* sp. en alpacas (*Vicugna pacos*). *Veritas*. 2005. Disponible en: <https://revistas.ucsm.edu.pe/>
 50. Waite LH, Cebra CK. Characterization of hypertriglyceridemia and response to insulin treatment in llamas and alpacas: 31 cases (1995–2005). *J Am Vet Med Assoc*. 2008;232(9):1362–1367. doi:10.2460/javma.232.9.1362
 51. Burton S, Robinson TF, Roeder BL, Johnston NP, Latorre EV, Reyes SB, et al. Body condition and blood metabolite characterization of alpaca (*Lama pacos*) pre- and postpartum. *Small Rumin Res*. 2003;48(2):69–76. doi:10.1016/S0921-4488(02)00257-2

52. Javier R. *Relación entre el nitrógeno ureico en sangre y nitrógeno ureico en orina influenciadas por tres dietas basadas en la concentración divergente de proteína en alpacas (Vicugna pacos)* [tesis de licenciatura]. Sicuani: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco; 2025.
53. Moen R, DelGiudice G. Simulating nitrogen metabolism and urinary urea nitrogen: creatinine ratios in ruminants. *J Wildl Manag.* 1997;61(3):881–894.
54. Cebra CK, Anderson DE, Tibary A, Van Saun RJ, Johnson LW. *Llama and alpaca care*. 1st ed. Philadelphia: Elsevier; 2014.

