

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA

ESCUELA PROFESIONAL DE ZOOTECNIA



TESIS

**VALIDACIÓN DEL USO DE PULSÓMETROS CARDIACOS EN
ALPACAS, EN CONDICIONES CONTROLADAS**

**Presentado por: Bach. DIONE HUAMAN BORDA,
para optar al título profesional de INGENIERO
ZOOTECNISTA.**

ASESORES:

Ing. MSc. PhD. Walter Orestes Antezana Julián

Ing. MSc. Ayde Meza Chatata

PATROCINADO POR:

**Proyectos de Investigación tipo Avanzado-
FONDECYT-UNSAAC**

CUSCO - PERÚ

2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: Validación del uso de pulsómetros Cardíacos en alpacas, en condiciones controladas.

presentado por: Dione Huaman Borda con DNI Nro.: 77222847

presentado por: con DNI Nro.:

para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Zootecnista

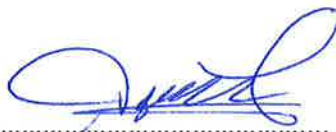
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 3 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 20 de Diciembre de 2023



Firma

Post firma Walter Antezana Julian

Nro. de DNI 23943240

ORCID del Asesor 0000-0001-9446-7338

ORCID 2º ASESOR: 0000-0001-8581-9987

DNI: 48207674

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: OIO: 27259 : 288917019

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS DIONE HUAMAN BORDA.docx

AUTOR

Dione Huamán Borda

RECUENTO DE PALABRAS

16180 Words

RECUENTO DE CARACTERES

87108 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

90 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

5.0MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 23, 2023 9:24 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 23, 2023 9:26 AM GMT-5**● 10% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos:

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 40 palabras)

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, fuerzas y el valor para no desmayar en todos los obstáculos que la vida pone en mi camino.

Dedicado a mis padres Sabino Huaman Torres y Dominga Borda Zea, por su apoyo incondicional a quienes debo mi formación profesional.

A mis hermanos Esther y Dennis por sus consejos y apoyo durante esta etapa de mi vida.

Gracias a su esfuerzo puedo seguir creciendo profesionalmente.

.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su amor incondicional y su constante apoyo en todos los desafíos de mi vida.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a mis docentes de la Escuela Profesional de Zootecnia, por haberme impartido sus conocimientos en mi formación profesional.

Al proyecto de investigación “Desarrollo y validación de metodologías de evaluación de la actividad metabólica (utilización energética y proteica) y la emisión de gases de efecto invernadero en alpacas” por su apoyo con equipos y materiales para la ejecución de la tesis.

Al Dr. Walter Orestes Antezana Julián, por su apoyo y asesoría en mi trabajo de tesis, a la Ing. Ayde Meza Chatata por sus acertados consejos, apoyo y su infinita amabilidad, les quedo muy agradecida.

A Uriel David por su apoyo en la parte experimental del presente trabajo de investigación.

A todos mis amigos de siempre que me brindaron su apoyo moral, con quienes compartí bellos momentos por el transcurrir en las aulas universitarias.

Al administrador del CICAS la Raya Ing. José Antonio Becerra Callo por darme las facilidades para la ejecución del presente trabajo de investigación, asimismo al personal que labora en el CICAS, al Sr. Francisco, Roberto, Fortunato, y a todo el personal que me apoyo durante la ejecución de este proyecto de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
GLOSARIO	x
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO	6
1.1. Desarrollo del problema	6
1.2. Planteamiento del problema	7
1.2.1. Problema general	7
1.2.2. Problemas específicos	7
CAPÍTULO 1	8
1. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN	8
1.1. Objetivo general	8
1.2. Objetivos específicos	8
1.3. Justificación	9
1.4. HIPÓTESIS	10
1.4.1. Hipótesis general	10
1.4.2. Hipótesis nula	10
1.4.3. Hipótesis alterna	10

CAPÍTULO II	11
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de la investigación	11
2.2. La alpaca	12
2.3. Hábitat	14
2.4. Anatomía y fisiología digestiva de los Camélidos Sudamericanos ...	15
2.5. Alimentación	15
2.6. Anatomía, Fisiología cardiaca de las alpacas	18
2.6.1. Anatomía y fisiología cardiaca de la alpaca	18
2.6.2. Aparato circulatorio	21
2.6.3. Frecuencia Cardiaca	22
2.6.4. Zonas de auscultación cardiaca en alpacas	22
2.6.5. Factores que afectan la frecuencia cardíaca	23
2.7. Gasto energético	24
2.8. Gasto energético de mantenimiento	25
2.9. Pulsómetros en el monitoreo animal	25
2.9.1. Usos y aplicaciones de pulsómetros cardiacos	26
2.9.2. Pulsómetro Polar Equine H10	27
2.9.3. Estetoscopio	30
2.9.4. Calorimetría indirecta	30
2.9.5. Registro de FC	31
2.9.6. Técnica de sacrificio comparativo	31
2.10. Jaulas metabólicas	32
2.11. Cámara dinámica	32
CAPÍTULO III	34
3. MATERIALES Y METODOLOGÍA	34

3.1. Ubicación	34
3.2. Periodo experimental	35
3.3. Materiales y equipos	35
3.3.1 Material biológico:	35
3.3.2 Dieta experimental	36
3.3.3. Instalaciones	36
3.4. Metodología	40
CAPÍTULO IV	49
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
CAPÍTULO V	57
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	58
CAPÍTULO VI	59
REFERENCIAS BIBLIGRAFICAS	59
ANEXOS	68

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Selección de animales.	69
Anexo 2 . Pesaje de animales	69
Anexo 3 . Rasurando zona de colocación de electrodos	70
Anexo 4. Esquila del Perimetro toraxico	71
Anexo 5 . Instalaciones usadas en el trabajo experimental	70
Anexo 6. Medición de FC con pulsómetro y estetoscopio.	71
Anexo 7 . Equipo analizador de gases	71
Anexo 8. Medición de FC en cámara dinámica.	71
Anexo 9. Medición de FC en pastoreo.	72
Anexo 10. Distancia recorrida en pastoreo por la Alpaca 3.....	73
Anexo 11. Distancia recorrida en pastoreo por la alpaca 4.	73
Anexo 12. Distancia recorrida en pastoreo por la alpaca 5.	73
Anexo 13 . Registro diario de consumo de alimento (pellet de alfaalfa y heno de avena) ofrecido, rechazado y consumo total, consumo de agua, producción de heces y orina, durante 5 días /animal (Etapa experimental jaula metabólica).	73
Anexo 14. Registro de consumo de alimento (pellet de alfaalfa y heno de avena) ofrecido, rechazado y consumo total, consumo de agua, producción de heces y orina, durante día/animal (Etapa experimental cámara dinámica).	74
Anexo 15. Frecuencia cardiaca (lpm) en alpacas Huacaya adultas, medida con estetoscopio y pulsómetro Polar equine H10, en condiciones controladas (cámara dinámica, 24 horas por animal).....	75
Anexo 16. Resumen del consumo de nutrientes, empleando una dieta de mantenimiento (40g/MS PV ^{0.75}).....	76
Anexo 17. Consumo de alimento y producción de gases de alpacas (CH ₄ , CO ₂ , O ₂) tratadas con una dieta mantenimiento /24 horas.....	77

Anexo 18. Excreción de nutrientes en heces y orina, empleando una dieta de mantenimiento (40 g/MS PV^{0.75}).....78

Anexo 19. Retención y digestibilidad de nutrientes, empleando una dieta de mantenimiento (40 g/MS PV^{0.75}).....79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Datos generales de las alpacas utilizadas en el estudio de validación del uso de pulsómetros digitales para la medición de la FC..... 35

Tabla 2 .Composición Química de los insumos empleados en la alimentación de alpacas durante la fase experimental..... 36

Tabla 3. Composición Química de la dieta ofrecida (g/kgPV^{0.75}) durante la fase pre experimental. 43

Tabla 4.Resultados de la medición de la frecuencia cardiaca en alpacas Huacaya macho adultos, medida con estetoscopio y pulsómetro Polar Equine H10, en condiciones controladas (jaulas metabólicas) durante 5 días. 49

Tabla 5. Promedio de la frecuencia cardiaca utilizando el pulsómetro Polar Equine H10, en alpacas adultas en condiciones de pastoreo controlado durante 2 días.. 51

Tabla 6. Promedio de la frecuencia cardiaca (lpm), consumo de oxígeno (L/minuto), producción de CO₂ (L/minuto) y coeficiente respiratorio (RQ), acumulado por cada media hora; de alpacas Huacaya adultas en condiciones controladas (24 horas)..62

Tabla 7. Correlaciones entre frecuencia cardiaca, CO₂ y O₂ en alpacas Huacaya adultas en cámara dinámica, alimentadas con una dieta de mantenimiento.....64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Corazón de la alpaca. 1: Vena ácigos derecha; 2: Tráquea; 3: Vena cava craneal; 4: Vena cava caudal; 5: Atrio derecho; 6: Surco interventricular subsinusal con sus vasos; 7: Ventrículo derecho; 8: Ventrículo izquierdo.	18
Figura 2.- Zonas de auscultación cardiaca en alpacas, Lado izquierdo de la pared torácica de la alpaca, donde se indican las válvulas: sigmoidea pulmonar (P), sigmoidea aórtica (A) y auriculoventricular izquierda o mitral (M). tercera costilla, cuarta costilla. , quinta costilla.	23
Figura 3.- Pulsómetro Polar Equine H10	28
Figura 4.- Ubicación de los electrodos.	28
Figura 5.- App polar Equine (previamente instalada en un smartphone.....	28
Figura 6.- Transmisor.	29
Figura 7.- Alpaca con pulsómetro colocado en el perímetro torácico de la alpaca.	29
Figura 8.- Jaula metabólica	32
Figura 9.- Ubicación del estudio (Centro experimental CICAS La Raya)	35
Figura 10.- Instalaciones.	37
Figura 11.- Dimensiones de Jaula metabólica para alpacas (vista lateral).	38
Figura 12 .- Posición topográfica del equipo Polar® Equine H10. (a) Transmisor	42

GLOSARIO

HR	Heart Rate
FC	Frecuencia Cardiaca.
lpm	Latidos por minuto
MS	Materia seca
FDN	Fibra Detergente Neutro
EB	Energía Bruta
PC	Proteína Cruda
MO	Materia Orgánica
C1	Compartimento 1
C2	Compartimento 2
C3	Compartimento

RESUMEN

El presente trabajo de tesis “Validación de pulsómetros cardiacos en alpacas en condiciones controladas”; fue realizado en el Centro Experimental “La Raya”, de septiembre a noviembre del 2021. Se utilizó 5 alpacas machos, con una edad promedio de 4 años, se midió la frecuencia cardiaca (FC) con pulsómetro Polar Equine H10 y estetoscopio.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la factibilidad del uso de pulsómetros digitales Polar Equine H10 en alpacas en condiciones controladas (jaulas metabólicas y pastoreo controlado), determinar la FC de alpacas adultas en condiciones controladas y correlacionarla con el consumo de oxígeno (O₂) y producción de CO₂.

Los animales fueron alimentados con dos insumos, heno de avena (*Avena sativa*) y pellet de alfalfa, ofreciendo una dieta de mantenimiento (40 g/MS PV^{0.75}). Los resultados de la medición de FC en jaula metabólica con pulsómetros tuvieron un promedio de 52.18 lpm (latidos por minuto), la medición con estetoscopio tuvo un promedio de 52.78 (lpm), la FC promedio en pastoreo controlado fue 63 (lpm) con pulsómetro Polar Equine H10. La correlación entre frecuencia cardiaca y producción de dióxido de carbono, consumo de oxígeno es baja, , para el caso de la correlación entre el consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono fue significativamente más alto , $r = 0.8067$ a 0.9202 .

A partir de los resultados se puede concluir que los pulsómetros digitales Polar Equine H10 brindan registros de frecuencia cardiaca, con la misma precisión que con un estetoscopio, en tal sentido el registro de la FC con el pulsómetro Polar Equine H10 resulta ser factible para el monitoreo de la FC en alpacas.

Palabras clave: pulsómetro, estetoscopio, Polar Equine H10, dióxido de carbono, oxígeno.

INTRODUCCIÓN

El Perú cuenta con la mayor población mundial de alpacas (87% de ejemplares), superando los 4.3 millones de alpacas, entre ejemplares de la raza Suri y Huacaya (MIDAGRI, 2022) Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego . En la región alto andina, la alpaca cumple un rol importante desde el punto de vista social, económico, cultural, geopolítica y científica para el Perú (de Castilla Marín, 2006).

La crianza de alpacas es una actividad de gran importancia en el altiplano andino, aportando a la economía familiar, así también contribuye a la seguridad alimentaria, esto gracias a la fibra y carne que las alpacas aportan a los productores alpaqueros (Larico, 2019).

En cuanto a su importancia ecológica ambiental, (Puccio, 2016) afirma que la crianza de alpacas y llamas no tiene un impacto significativo en el medio ambiente, pues además de generar productos como la carne y fibra de muy buena calidad, estos animales no requieren de una gran cantidad de forraje y agua, por sus características no provocan daños a las pasturas.

El aumento de temperatura en los Andes, por efecto del Cambio Climático (CC) es más acelerado que a menores altitudes (Haynes , et al 20149; (Michelutti, et al,2015).La evaluación del impacto del cambio climático en la ganadería altoandina ha perdido importancia, porque existen factores que agravan su efecto en la ganadería altoandina ; y por consiguiente, poniendo el riesgo la subsistencia de las familias más pobres del sector agropecuario , según el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (IFAD, 2007).

Teniendo en cuenta la importancia económica y ambiental de la alpaca se requiere optimizar su producción, para lo cual es necesario estudiar con precisión

el pulso cardíaco como un indicador de la actividad física para relacionar estos datos con el gasto energético del animal. Esta información resulta relevante para desarrollar modelos metabólicos energéticos en alpacas y optimizar la producción de esta especie y la utilización de recursos forrajeros por esta especie.

Diversos estudios de pulsometría en otras especies demuestran la importancia de esta medición. Montes de Oca Aznarez & Roguero Ventre (2014) plantea que, para el cálculo del gasto energético en bovinos, la FC es un método preciso y factible para determinar el gasto energético del animal. (Trevisi & Bertoni (2009) ; Romero & Sanchez (2011)) mencionan que la medición de la FC, es un indicador de estrés animal , la FC puede ser medida mediante el uso de un estetoscopio o pulsómetro.

Montes de Oca Aznarez & Roguero Ventre (2014) reportan que, para la estimación de la energía de mantenimiento en vacunos en pastoreo, utilizando el método de la FC , para medir la frecuencia cardíaca utilizo un pulsómetro digital marca (Polar RS400).

Según lo reportado por Arias, Maya, & Arango (2019) usaron con éxito pulsómetros para caballos marca Polar RX-800® para la medición de la FC y controlar la intensidad del ejercicio en caballos de paso fino.

Los pulsómetros cardíacos Polar poseen electrodos de plástico adhesivos los cuales en el caso del equino se ubican debajo de la almohadilla de la silla y la cincha del caballo. (Freeman et al, 2003).El pulsómetro permite determinar con precisión el pulso cardíaco ya sea en un individuo o en animales, además es considerado según la historia de la medicina el primer instrumento de precisión. (Serrano, 2018)

Los pulsómetros son instrumentos electrónicos que han sido desarrollados para monitorear la frecuencia cardíaca de manera permanente durante largas jornadas y a partir de esto estimar el gasto energético del animal. En alpacas es escasa la información al respecto, no se cuentan con reportes científicos del uso de estos dispositivos ni sus resultados.

PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO

1.1. Desarrollo del problema

El Perú cuenta con la mayor población mundial de alpacas (87% de ejemplares), superando los 4.3 millones de alpacas, entre ejemplares de la raza Suri y Huacaya (MIDAGRI, 2022). No obstante los índices productivos y reproductivos de esta especie son bajos, un factor determinante para este problema lo constituye la alimentación. (Herberht Mamani, et al 2021)

La relación de constantes fisiológicas, como la frecuencia Cardíaca (FC) y el gasto energético ha sido desarrollada para especies animales en pastoreo, este conocimiento permite establecer el gasto energético, las necesidades de suplementación alimentaria para optimizar la producción. Los enfoques de ganadería de precisión permiten ajustar el uso de nutrientes en la producción animal, la producción de alpacas requiere estudios detallados del metabolismo y gasto de nutrientes en condiciones de pastoreo además de implementar innovaciones tecnológicas para optimizar la producción alpaquera.

Es escasa la información sobre la FC y su relación con el gasto energético en alpacas, por ello es importante desarrollar ensayos de validación del uso de pulsómetros electrónicos para monitorear la frecuencia cardiaca de alpacas en condiciones controladas.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

Escasa información respecto a la medición de la FC en condiciones controladas en alpacas.

En los últimos años se viene usando pulsómetros para monitorear la FC y relacionarlo con el gasto energético, así como también un indicador de estrés en equinos, bovinos y ovinos (Trevisi & Bertoni ,2009) .La utilización de dicho dispositivo (pulsómetro) es simple, permitiendo obtener en pocos segundos y en tiempo real la FC del animal, además nos permite monitorear en dispositivos digitales (teléfonos celulares, tablets y laptops).

La frecuencia cardíaca es un método utilizado para la estimación del gasto energético en animales, debido a la alta correlación (hasta 0,95) entre ambas variables. (Montes de Oca Aznarez & Roguero Ventre , 2014) utilizaron la FC como dato base para estimar la energía de mantenimiento en vacunos en pastoreo, el registro de la FC lo realizaron con pulsómetro digital de la marca (Polar RS400).

1.2.2. Problemas específicos

- Escasa información sobre la factibilidad del uso de pulsómetros electrónicos en alpacas en condiciones controladas.
- Escasa información de la frecuencia cardíaca (FC) de alpacas adultas en condiciones controladas.

CAPÍTULO 1

1. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

1.1. Objetivo general

Validar la utilización de Pulsómetro digital Polar Equine H10 en el monitoreo cardiaco para estudios metabólicos en alpacas (*Vicugna pacos*).

1.2. Objetivos específicos

- Evaluar la factibilidad del uso de pulsómetro digital Polar Equine H10, en alpacas en condiciones controladas (jaulas metabólicas y pastoreo controlado).
- Determinar la frecuencia cardiaca de alpacas adultas en condiciones controladas y correlacionarla con el consumo de oxígeno y dióxido de carbono .

1.3. Justificación

El Perú cuenta con la mayor población mundial de alpacas (87% de ejemplares), superando los 4.3 millones de alpacas, entre ejemplares de la raza Suri y Huacaya (MIDAGRI, 2022).

Son grandes las extensiones con el fin de la actividad agropecuaria; la producción animal es considerada el principal sustento económico de los pobladores altoandinos; mismos que son los más expuestos y afectados por los efectos del cambio climático, se proyecta un aumento de temperatura, entre 2° a 5 °C, para el año 2100, dependiendo de las emisiones y ubicación (Urrutia & Vuille, 2009).

La alpaca recorre largas distancias en el proceso de cosecha de pasto natural, del mismo modo realiza desplazamientos desde sus dormideros hasta los pastizales para su alimentación. Este desplazamiento asociado a las condiciones climáticas particulares del ande ,pueden ser determinantes en las necesidades de nutrientes en especial de energía. El pulsómetro como herramienta de medición de gasto energético ha sido desarrollada para ovinos, vacunos, caprinos en pastoreo y para equinos de competencia, esta herramienta permite asociar el gasto energético a las pulsaciones. La estimación del gasto energético de animales en base a la frecuencia cardíaca ha sido estudiada por varios investigadores , El objetivo de estos estudios fue determinar si la tasa cardíaca en el ganado puede ser utilizada para estimar el gasto energético de mantenimiento bajo diferentes condiciones nutricionales y ambientales (Purwanto, et al (1990), Renecker & Hudson (1985) ,Richards & Lawrence (1984)).

En alpacas, por las características de los sistemas de producción, es necesario validar el uso de pulsómetros para controlar la FC y a partir de la seguridad que los registros de la FC son factibles con pulsómetros digitales se pueda continuar estudios que permitan relacionar esta variable con el gasto energético del animal.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. Hipótesis general

Los pulsómetros cardiacos Polar Equine H10, permiten medir con precisión la frecuencia cardiaca de alpacas en condiciones controladas.

1.4.2. Hipótesis nula

Los datos de frecuencia cardiaca de alpacas en condiciones controladas, es similar a la medición con el uso del estetoscopio.

1.4.3. Hipótesis alterna

Los datos de frecuencia cardiaca de alpacas en condiciones controladas, no es similar a la medición con el uso del estetoscopio.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Investigaciones acerca de FC camélidos sudamericanos

Cuichán Bravo & Pinzón Oña (2019) mencionan que la FC promedio en camélidos sudamericanos de carga, es de 60 lpm con una medición con estetoscopio, esta medición fue realizada en Las Salinas Ecuador a una altitud de 3600 m.s.n.m., utilizando animales con un rango de edad de 1 a 4 años.

Del mismo modo, Quispe Bonilla, et al (2018) utilizarón un pulsometro digital de la marca MOVILLE determinando de esta manera la FC de tres alpacas en pastoreo, reportan la FC para la Alpaca 1 (61.56 ± 0.58 lpm), Alpaca 2 (66.43 ± 0.59 lpm), Alpaca 3 (50.09 ± 1.82 lpm). De otra parte (Kraus et al ,2004), indican que la FC promedio de alpacas y llamas sanas fue de 80 lpm, la investigación se realizó en la Universidad Estatal de Ohio, haciendo uso de un electrocardiografo. De manera similar , (Ferasin et al ,2005), reportan que la frecuencia cardíaca de alpacas sanas varió entre 50 y 110 (lpm), con un promedio de 80 (lpm), el equipo utilizado fue un electrocardiografo ,el trabajo experimental se realizó aproximadamente a una altitud de 50 m.s.n.m.

Investigaciones en las que usaron el pulsómetro Polar Equine

Montes de Oca Aznarez & Roguero Ventre (2014), utilizaron el pulsómetro digital Polar RS400 para medir la FC y a partir de ella estimar el gasto energético en bovinos. De otra parte, la medición de la FC se ha relacionado con la evaluación

del bienestar en animales, siendo un indicador de estrés animal (Trevisi & Bertoni, 2009)

Según el trabajo de Arias et al, (2019) utilizó un pulsómetro para caballos marca Polar RX-800® para controlar la intensidad del ejercicio y registrar: frecuencia cardiaca inicial, frecuencia cardiaca máxima en cada etapa del ejercicio en caballos de paso fino.

2.2. La alpaca

El Perú ocupa el primer lugar del mundo en la tenencia de alpacas 4.3 millones de alpacas, entre ejemplares de la raza Suri y Huacaya., ubicadas entre los 3800 y 4800 msnm y el segundo lugar en llamas después de Bolivia. (MIDAGRI, 2022) El aprovechamiento racional de esta ventaja comparativa que incluye además a los Camelidos Sudamericanos silvestres (vicuña y guanaco) es el reto que el país encara como el medio más efectivo de lucha contra la pobreza y la seguridad alimentaria, que afecta a las comunidades campesinas que viven de la crianza de estas especies. (Dittmann ,et al .2014) .

La alpaca (*Vicugna pacos*), es considerada la especie más pequeña entre todos los camélidos domésticos (Marín, y otros, 2007); además, se le considera una buena productora de fibra y carne; estos productos son parte primordial para la subsistencia y el bienestar de sus criadores ((Engelhardt, et al, 1986) (San Martín & Bryant, 1989)).

Desde un punto de vista trófico, se le considera a la alpaca como un herbívoro selectivo y oportunista, además de manifestar una preferencia por las herbáceas (pudiendo sobrevivir con forrajes de baja calidad), y solamente ramonea

en casos de extrema necesidad, es de vital importancia que el consumo de agua sea diario (San Martín, 1991)

Su distribución territorial abarca una franja, desde el norte del Perú hasta el sur de Bolivia, con muy pocos animales en el norte de Chile y Noroeste de Argentina (Wheeler, 1995). El Perú cuenta con más del 80% de la población mundial de alpacas, que se encuentran principalmente en las zonas altoandinas de los departamentos de Puno, Cusco, Arequipa, Ayacucho, Huancavelica y Apurímac; estando el 20 % restante, en Bolivia y Chile, aunque también existen en algunos países de la Unión Europea y Estados Unidos; del total, aproximadamente el 86 % son de color blanco (Brenes, Madrigal, Pérez, & Valladares, 2001).

Existen dos razas de alpacas, Huacaya y Suri; la primera se caracteriza por su vellón compacto, esponjoso, de fibras suaves y onduladas; y, la segunda, por su vellón más suelto, sedoso y lacio (García, et al., 2002). La coloración del vellón es más uniforme que en la llama; debido a que fue seleccionada artificialmente para la producción de fibra con fines industriales (Wheeler, 1991).

Las alpacas nacen con peso promedio de 7 kg, alcanzando entre los 6 - 8 meses de edad los 28 kg; y, a los 2 años un promedio de 48 kg, con un 56 % de rendimiento de carcasa (García, et al., 2002).

La población de alpacas según el IV Censo Agropecuario (Cenagro), realizado el 2012, se estima que la población de alpacas se encuentra distribuida en 17 departamentos, siendo los de mayor producción Puno y Cusco con una población de 1 459 903 y 545 454 respectivamente (Carrasco, 2019).

2.3. Hábitat

Casi toda la población de camélidos sudamericanos se encuentra en los países de Argentina, Bolivia, Chile, Ecuador, y Perú. La población de especies silvestres se encuentra principalmente en Argentina (Guanacos), Perú (Vicuñas) y una menor cantidad en Bolivia y Chile, mientras que la mayor parte de especies domésticas se encuentran fundamentalmente en Bolivia (Llamas) y Perú (Alpacas) encontrándose poblaciones más pequeñas en Argentina, Chile y Ecuador. En general se podría decir que los camélidos sudamericanos pueden vivir desde el nivel del mar hasta los 5000 metros de altitud (Ruiz, Gutiérrez, & Velarde, 2004).

Si bien el hábitat de los CSA es prevalentemente de una orografía escarpada, se caracteriza también por poseer estratos semihúmedos y semi-áridos, afectados por un clima de tundra fría, húmeda en las partes altas y seca en las partes más bajas; además su temperatura promedio se encuentra entre 6°C y 8°C; con un nivel de precipitación entre 400mm y 700mm, concentrándose el 75 % de esta en los meses diciembre a marzo. En general, los CSA pueden vivir en zonas más altas de los 5000 metros; pero la alpaca prefiere zonas húmedas o bofedales (humedales o wetlands) y la vicuña las praderas altas; a diferencia de la llama, que habita en todos los niveles, aunque prefiere los lugares secos (Brenes, Madrigal, Pérez, & Valladares, 2001).

La hipoxia (baja concentración de O₂ se encuentra en una función inversa a altitud) y el frío son los factores estresantes más importantes; más aún, considerando que su migración a zonas de elevada altitud habría ocurrido en un periodo reciente (Monge & León-Velarde, 1991) esto se suma la variable disponibilidad de forraje, de gramíneas amacolladas de los géneros *Stipa*, *Festuca* y *Calamagrostis*, suficiente en la época húmeda (diciembre a marzo), pero escasa

en la época seca (mayo a octubre); a pesar de que los animales acumulan grasa subcutánea, muscular y retroperitoneal de reserva durante la época húmeda, que luego movilizan en las épocas de escasez, como uno de sus mecanismos adaptativos San Martín & Bryant (1989) , Fowler (1998).

2.4. Anatomía y fisiología digestiva de los Camélidos Sudamericanos

El estómago de los camélidos sudamericanos consta de tres compartimentos diferentes (Compartimento 1 o proximal , compartimento 2 o intermedio y Compartimento 3 o distal); que comprenden el 83% (rumen), 6 % (omaso) y 11% (abomaso), respectivamente, de su volumen total. (San Martín & Olazabal, 2005)

El primer compartimento (C1) posee un complejo ecosistema microbiano que incluye bacterias, protozoos y hongos, es en este lugar donde se produce la fermentación del forraje consumido, la fermentación es considerada como un proceso fundamental para la nutrición del animal; el C1 es considerado el compartimento más grande de los tres y está dividido por un pliegue muscular transversal en dos porciones, una craneal y otra caudal. El C2 es el más pequeño siendo este la continuación del C1. El C3 se origina en el C2, está situado al lado derecho del C1 y tiene forma tubular alargada. Solo en este compartimento es donde se produce la secreción por ácido clorhídrico. (Engelhardt, y otros, 1986)

2.5. Alimentación

En alpacas, el alimento principal proviene de la disponibilidad y calidad de los pastos naturales; el cual varía de acuerdo a la época del año (estación de lluvia y estiaje), carga animal y la selectividad individual; su dieta es generalmente de

alto contenido de fibra y baja proteína en función de la preponderancia de gramíneas frente a leguminosas. (Bustinza, 2001)

Las alpacas se caracterizan por su alta selectividad; con preferencias de algunos pastos, de acuerdo a la época del año; en época seca, priorizan las especies *Calamagrostis heterophylla*, *Calamagrostis vicunarium*, *Poa* spp. *Carex* spp, *Alchemilla pinnata*, y otras; como también especies de menor abundancia, pero de alta palatabilidad como: *Stipa brachiphylla*, *Poa gymnantha*, *Muhlenbergia peruviana*, *Trifolium amabile*, entre otras; excepto la *Festuca dolichophylla* por la que tienen baja preferencia. (Bryant & Farfan, 1984)

Hay una gran variación estacional tanto en la producción de biomasa como en el contenido de proteína, con relativa abundancia en la estación de lluvias y marcada escasez en la época seca. La precipitación pluvial varía de un año a otro, entre 900 a 1 200 mm y tiene una duración de 4 meses durante el año: diciembre a marzo; los ocho meses restantes son prácticamente de una sequía completa con un alto índice de evaporación. La temperatura ambiental varía de una máxima de 18 a 20° C en el día a -12° C durante la noche en los meses invernales. Con cierta frecuencia, la sierra alta es afectada por tormentas de nieve que al cubrir los pastos dejan sin alimento a los animales por varios días. Otros años hay sequías prolongadas que, igualmente, afectan la disponibilidad de forraje lo que repercute en el comportamiento productivo de los animales. (FAO, 2005)

Se ha logrado establecer exitosamente pastos cultivados en zonas ubicadas a altitudes de 4000 metros y más, con rendimientos excelentes, tal como demuestran los trabajos realizados en la Estación de Camélidos Sudamericanos de La Raya. Especies de gramíneas del género *Lolium* y de leguminosas del género

Trifolium, han dado excelentes resultados y son plenamente aceptados por las alpacas y llamas. Son notables también los logros obtenidos en el Departamento de Puno con el Proyecto de Cooperación de Nueva Zelanda en el Perú, que se llevó a cabo en la década de los 70s. Se obtuvieron excelentes respuestas en ganancia de peso de alpacas al pastoreo en una asociación de alfalfa y *Dactylis glomerata* con cargas de hasta 60 cabezas por hectárea, similar a lo obtenido con ovinos. Además, con la ventaja de que no se observaron problemas de timpanismo en alpacas debido al consumo de leguminosas, a diferencia de ovinos y vacunos en los que esta afección constituye un verdadero problema. Estas experiencias demuestran la factibilidad de establecer pastos cultivados a altitudes de 4 000 m o más, lo que constituye una alternativa importante para aliviar la presión sobre los pastos naturales y al mismo tiempo obtener una mayor productividad por unidad de superficie con los consiguientes beneficios económicos para los productores. (FAO, 2005)

En resumen, el consumo de alimento dependerá de su composición química, digestibilidad y disponibilidad (López, Maiztegui, & Cabrera, 1998), como también de su contenido de proteína (San Martín & Bryant, 1989); en el caso del forraje, este se tipifica en función de su fibra detergente neutro (López, Maiztegui, & Cabrera, 1998)) La alpaca para cubrir su demanda de un consumo de materia seca, requiere $60,5\text{g/kg PV}^{0.75}$ y de $53,7\text{g/kg PV}^{0.75}$, en estación seca y húmeda, respectivamente (Reiner, Farfan, & Craddock, 1987); que representa en promedio 1,80 por ciento del peso corporal (San Martín & Bryant, 1989); disponiendo 1,25 por ciento para su mantenimiento, y hasta 1,50 por ciento para su gestación; pudiendo llegar a 2,75 por ciento, cuando se incluye la lactación. (Van-Saun, 2006)

2.6. Anatomía, Fisiología cardíaca de las alpacas

2.6.1. Anatomía y fisiología cardíaca de la alpaca

Según Effinger Lamas (2016) divide el corazón de la alpaca en dos partes:

Parte externa:

El corazón está ubicado oblicuamente entre la tercera y la sexta costilla. La consistencia del corazón es firme a nivel de los ventrículos y más blanda a nivel de los atrios. El peso del corazón en animales adultos es de 400 ± 43 g. Externamente el corazón tiene dos caras, dos bordes, una base y un ápex. El corazón presenta una cara auricular y una cara atrial, reunidas por dos bordes, el borde ventricular derecho, y el borde ventricular izquierdo, la punta o ápex. El surco coronario delimitaba dos partes: una parte atrial y una parte ventricular. La parte atrial estaba constituida por las dos aurículas, la parte ventricular por dos ventrículos.

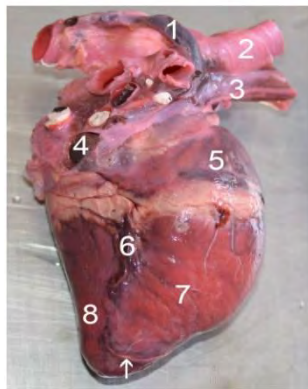


Figura 1.- Corazón de la alpaca. 1: Vena ácigos derecha; 2: Tráquea; 3: Vena cava craneal; 4: Vena cava caudal; 5: Atrio derecho; 6: Surco interventricular subsinusal con sus vasos; 7: Ventrículo derecho; 8: Ventrículo izquierdo.

Parte interna

Atrio derecho:

El atrio derecho recibe sangre de ambas venas cavas y del seno coronario, ventralmente tiene comunicación con el ventrículo derecho a través del ostium atrio ventricular cerrado por la válvula tricúspide. La cavidad del atrio derecho comprende dos partes netamente diferentes, una lisa, se situaba encima de la entrada del ventrículo derecho y recibe la desembocadura de las venas cavas y de las venas cardíacas, es la porción que correspondía al seno de las venas cavas; la otra, constituía un pequeño divertículo en fondo de saco dirigido hacia la izquierda, la aurícula izquierda. Estas dos partes estaban separadas por un relieve carnoso, la cresta terminal. Esta fuerte cresta semilunar formaba el borde craneal y derecho del orificio de la vena cava craneal, situado en el techo del atrio. (Effinger Lamas , 2016)

Ventrículo derecho

Recibe la sangre venosa del atrio derecho y la expulsaba al tronco pulmonar. Su pared es mucho menos espesa que la del ventrículo izquierdo. Se identificó para este ventrículo una pared marginal, cóncava y delgada; una pared septal, convexa y muy espesa; una punta que no alcanzaba la punta del corazón; una base provista de dos vastos orificios: el orificio atrio ventricular derecho y el orificio del tronco pulmonar separados por un relieve situado en el techo del ventrículo: la cresta. Esta cresta marcaba el límite entre las dos cámaras del ventrículo, la cámara de entrada o de admisión y la cámara de expulsión de la sangre, que comunicaban ampliamente entre ellas. La cámara de admisión de la sangre, estaba situada a la derecha y cranealmente, inmediatamente bajo el orificio atrio ventricular derecho. La cámara de expulsión de la sangre, o cono arterioso, estaba colocada más

caudalmente y a la izquierda. Los músculos papilares eran conos carnosos que sirven de punto de anclaje a las cuerdas tendinosas de las cúspides de la valva atrio ventricular derecha. Los músculos papilares se subdividían en: gran músculo papilar, siempre preponderante, situado sobre la pared marginal; músculo papilar subarterial, insertado sobre la pared septal bajo el cono arterioso; y los pequeños músculos insertados sobre la pared septal. (Effinger Lamas , 2016)

Atrio izquierdo

El atrio izquierdo presenta una conformación muy comparable y más simple que la del corazón derecho, lo que permite una descripción más rápida. Menos espacioso que el derecho y provisto de una pared un poco más espesa, el atrio izquierdo recibía la sangre hematosada de las venas pulmonares y la expulsaba por el orificio atrio ventricular izquierdo al ventrículo izquierdo. Había menos músculos pectinados en la aurícula izquierda que en la derecha. El piso del atrio estaba casi enteramente ocupado por el orificio atrio ventricular izquierdo y su valva. (Effinger Lamas , 2016)

Ventrículo izquierdo

Este ventrículo recibe la sangre oxigenada del atrio izquierdo por el orificio atrio ventricular izquierdo, y la expulsaba en la aorta Este ventrículo presenta como el derecho una pared septal; una pared marginal; una punta que forma el ápex del corazón; una base, provista de dos vastos orificios: el orificio atrio ventricular izquierdo y el orificio aórtico. La cavidad ventricular izquierda esta incompletamente dividida en dos compartimentos por la cúspide septal de la valva mitral. Se distinguía así una cámara de admisión de sangre, situada bajo el orificio atrio ventricular y que se continuaba hasta la punta del corazón; una cámara de

expulsión de la sangre, o cámara arterial, que alcanzaba al orificio aórtico. (Effinger Lamas , 2016)

2.6.2. Aparato circulatorio

La función del aparato circulatorio es bombear sangre a todas partes del cuerpo y consta de dos componentes principales: el sistema vascular sanguíneo y el sistema vascular linfático. El sistema vascular sanguíneo está formado por las siguientes estructuras:

a) El corazón impulsa la sangre por todos los vasos sanguíneos y éstos la transportan a todas partes del cuerpo. La sangre procedente del cuerpo entra al lado derecho del corazón y es bombeada hacia los pulmones. El lado izquierdo del corazón recibe la sangre de los pulmones y la distribuye a todos los demás órganos y tejidos del cuerpo. De esta manera, el corazón y los vasos sanguíneos forman dos circulaciones: la circulación sistémica y la circulación pulmonar. (Thibodeau & Patoon, 2008)

b) Las arterias, una serie de vasos eferentes que se hacen más delgados a medida que se ramifican y llevan sangre desde el corazón a las demás partes del cuerpo distribuyendo sustancias nutritivas y oxígeno. (Sosa, 2010)

c) Los capilares, una red de vasos muy finos que enlazan en el organismo las circulaciones: arterial y venoso. (Koning & Liebich, 2005)

d) Las venas, vasos aferentes al corazón que convergen en un sistema de vasos mayores que conducen los productos del metabolismo celular (Getty, 2005). El sistema vascular linfático que comienzan en los tejidos en forma de túbulos ciegos consta de capilares y vasos linfáticos de diversos calibres que regresan un líquido incoloro (linfa) de los espacios tisulares al torrente sanguíneos mediante las

grandes venas de cuello. A lo largo del trayecto de los vasos linfáticos están esparcidos ganglios linfáticos que añaden linfocitos a la linfa que pasa a través de ellos.

2.6.3. Frecuencia Cardíaca

La frecuencia cardíaca (FC) se define “como el número de veces que el corazón late o se contrae en un minuto” mientras que el pulso es “el número de veces por minuto que las arterias se expanden o contraen cada vez que el corazón bombea sangre”. (MacGill, 2017) . Es decir que: el pulso es igual a la frecuencia cardíaca y es medida mediante latidos por minuto o bpm por sus siglas en inglés (beats per minute). La frecuencia cardíaca se incrementa con el esfuerzo, con el objetivo de proveer de más oxígeno y energía para la actividad

De acuerdo al estudio realizado por Crossley, Mac-Niven, & Raggi (1990) , se comparó el registro de FC de alpacas de dos zonas, altiplano y zona central, obteniendo datos de $54.05 \text{ lpm} \pm 13.63$ y $67.82 \pm 12.20 \text{ lpm}$ respectivamente.

2.6.4. Zonas de auscultación cardíaca en alpacas

El área de auscultación de las válvulas cardíacas en la alpaca según (Espíritu E., 2019)

En el lado izquierdo:

- Válvula Atrio Ventricular Izquierda, se ubica entre el cuarto espacio intercostal y la quinta costilla, a nivel de la línea de la articulación escápulo - humeral.

- La Válvula Sigmoidea Pulmonar, se ubica en el tercer espacio intercostal, a la altura de la articulación del hombro y de la válvula atrio ventricular izquierda.
- La Válvula Sigmoidea Aórtica, se ubica en el cuarto espacio intercostal, ligeramente dorsal a la línea de la articulación escápulo humeral y dorsal a las dos válvulas atrio ventricular izquierda y sigmoidea pulmonar.

El corazón de la alpaca tiene mayor contacto con la pared torácica izquierda, que va desde la tercera costilla al sexto espacio intercostal.

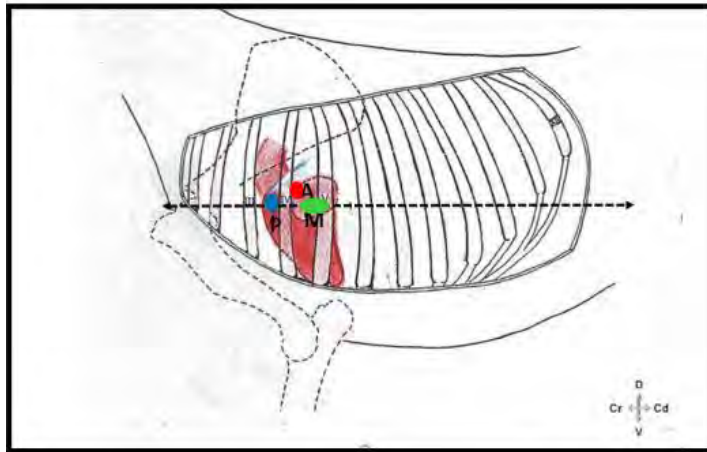


Figura 2.-Zonas de auscultación cardíaca en alpacas, Lado izquierdo de la pared torácica de la alpaca, donde se indican las válvulas: sigmoidea pulmonar (P), sigmoidea aórtica (A) y auriculoventricular izquierda o mitral (M). tercera costilla, cuarta costilla, quinta costilla.

FUENTE: Elvis Lorgio Espiritu Tello

2.6.5. Factores que afectan la frecuencia cardíaca

Según American Heart Association (2015) existen varios factores los cuales afectan la frecuencia cardíaca entre ellos se encuentran:

- Temperatura Ambiental: cuando la temperatura o la humedad incrementan, el corazón late ligeramente más rápido; entre cinco y diez latidos por minuto.

Posición del cuerpo: recostado, sentado, o de pie; generalmente el pulso es el mismo. A veces, al ponerse de pie el pulso se incrementará un poco en los primeros 15 a 20 segundos, pero después de unos pocos minutos debe normalizarse.

- Emociones: el stress, la ansiedad, la felicidad o tristeza pueden incrementar el pulso. Tamaño del cuerpo: el tamaño del cuerpo generalmente no cambia el pulso, excepto si hay mucho sobrepeso entonces el pulso Cardíaco incrementará, pero generalmente no más de 100.
- Uso de medicamento: los medicamentos que bloquean la adrenalina disminuyen el pulso, por otro lado, demasiado medicamento para la tiroides o en altas dosis elevara el pulso.

2.7. Gasto energético

Se le denomina gasto energético total (GET) al nivel requerido por el individuo para mantener equilibrado el consumo y el gasto energético. El GET comprende varios factores, como lo son: el gasto energético basal (GEB) (también llamado tasa metabólica basal (TMB), la actividad física (AF), y la termogénesis (TE); esto depende del estado corporal en el que se encuentre el individuo, más específicamente de la masa corporal magra (Esteves de Oliveira et al, 2008).

En el caso de las llamas, su GET es relativamente bajo, por ello estos animales cuentan con una gran capacidad de reducir sus requerimientos de mantenimiento utilizando una dieta baja en calidad y proteína a comparación de los ovinos y caprinos (Nielsen, et al 2014). A comparación de los rumiantes posee una gran ventaja, pues al presentar un gasto energético excepcionalmente bajo, en las mesetas altoandinas; la llama es una especie que, a pesar de haberla domesticado, mantiene su capacidad de ajustar su temperatura corporal, como un gasto de

energía frente a las condiciones de clima extremo que se presentan, respondiendo de manera similar a algunos herbívoros salvaje (Riek et al , 2019) .

2.8. Gasto energético de mantenimiento

El gasto energético de mantenimiento, mide cuanta es la cantidad que un organismo necesita para su sostenimiento, sin comprometerse a un cambio neto de la energía contenida en sus tejidos corporales (ARC, 1980). Cuando un animal ha completado en su totalidad su crecimiento, y no se encuentra en producción, no gana ni pierde peso; esto quiere decir que el animal se encuentra en una condición de mantenimiento. El requerimiento o necesidad de mantenimiento, se traduce como la medida de la cantidad de energía que el animal necesita consumir para mantener sus funciones vitales , sin tener excesos ni carencias (Hafez & Dyer, 1972).

Los diferentes ensayos en alimentación de los CSA en condiciones de altura, fueron hechos con una ración de alimento con diferentes niveles de consumo de MS; con $40 \text{ g/Wkg}^{0.75}$ para el nivel de mantenimiento (Ramírez, 2017).

2.9. Pulsómetros en el monitoreo animal

Según investigaciones de:

Montes de Oca Aznarez & Roguero Ventre (2014) Refiere que, para la estimación de la energía de mantenimiento en vacunos en pastoreo, utilizaron el método de la frecuencia cardiaca por lo que para las mediciones de FC se utilizó un pulsómetro digital modelo (Polar RS400).

Arias , Maya, & Arango (2019). usaron como equipo para la medición de la FC los pulsómetros para caballos marca Polar RX-800® para controlar la intensidad del ejercicio en caballos de paso fino.

Un método para la medición del estrés animal mediante la medición de una constante fisiológica, en este caso la FC usando un pulsómetro cardiaco o estetoscopio. Trevisi & Bertoni (2009) ;Romero, Uribe Velásquez, & Sánchez (2011)

Arias , Echevarria Sánchez, Coral Luque , Acosta Maya , & Zuluaga Becerra (2006) sostienen que, para la medición del desempeño atlético en caballos criollos, se utilizó un dispositivo especial para caballos (Polar S 810).

Durán Rúa (2018) ,En su trabajo de investigación midió la FC como un indicador importante de bienestar animal, utilizando un pulsómetro cardiaco Polar XP®.

Vergara Hernández (2014) evaluó indicadores fisiológicos de bienestar en los equinos en el trabajo de tiro, uno de los indicadores fue la FC, usando el pulsómetro Polar® Equine H2 Heart Rate Monitor.

2.9.1. Usos y aplicaciones de pulsómetros cardiacos

Monitoreo de la frecuencia cardíaca para detectar signos tempranos de lesión

Un método para dar seguimiento al estado físico, es observar la respuesta cardiaca del animal ante ejercicios de velocidad según sea el programa de entrenamiento del caballo. A medida que un caballo está en forma, la frecuencia cardíaca a una velocidad constante disminuye, en caso de que se produzca una lesión, la frecuencia cardíaca tiende a aumentar bruscamente durante un ejercicio específico. El control cuidadoso de la frecuencia cardíaca puede ayudar a la detección temprana de lesiones en el animal. (Freeman, Topliff, & Collier, 2003)

Respuesta inicial al inicio del ejercicio

Inicialmente, la frecuencia cardíaca generalmente aumentará esta respuesta se debe a la liberación de epinefrina en la sangre mediada por la excitación. La epinefrina es una hormona muy poderosa que provoca varias respuestas fisiológicas importantes en el ejercicio. Monitorear la frecuencia cardíaca después de aproximadamente dos minutos de ejercicio real, si la duración del ejercicio es tan larga, proporcionará una indicación precisa del tipo de carga de trabajo que se aplica al cuerpo del caballo en ese momento. (Freeman, Topliff, & Collier, 2003)

Mantenimiento de registros para evaluación

El mantenimiento de registros precisos es imprescindible si se va a utilizar el control de la frecuencia cardíaca como indicador de forma física. Gran parte del éxito de usar la frecuencia cardíaca es observar los cambios en la respuesta a lo largo del tiempo. La velocidad a la que ocurren estos cambios ayudará a tomar decisiones para modificar la intensidad de ejercicio la intensidad, la duración o el tipo de ejercicio para mejorar el nivel de condición física del caballo. (Freeman, Topliff, & Collier, 2003)

Estimación de la energía mediante frecuencia cardíaca

Brosh, y otros (1998) reportan la relación entre la energía de mantenimiento y la tasa cardíaca. Del mismo modo (Schutz & Deurenberg, 1996) (Derno , et al , 1997) indican que la frecuencia cardíaca se utiliza en la estimación del gasto de energía en los animales, así como en los seres humanos, debido a la alta correlación (hasta 0,95) que existe entre ambas variables.

2.9.2. Pulsómetro Polar Equine H10

El pulsómetro digital, Polar Equine H10 consta de una correa elástica regulable, en el reverso de la cinta encontramos una parte elástica el cual contiene

electrodos cuya función es detectar las señales eléctricas generadas por el corazón, los datos se transfieren vía Bluetooth® mediante un celular Android 10, se puede sincronizar con el la app Polar Beat para saber el recorrido del animal. (Polar, 2009)



Figura 3.-Pulsómetro Polar Equine H10

PIEZAS DEL SENSOR DE FRECUENCIA CARDÍACA

1. Las áreas de electrodos de plástico del reverso del elástico detectan la frecuencia cardíaca.



Figura 4.- Ubicación de los electrodos.

El transmisor envía la señal de frecuencia cardíaca al dispositivo receptor. El sensor de frecuencia cardíaca Polar H10 permite entrenar en grupo sin interferencias con otros sensores.

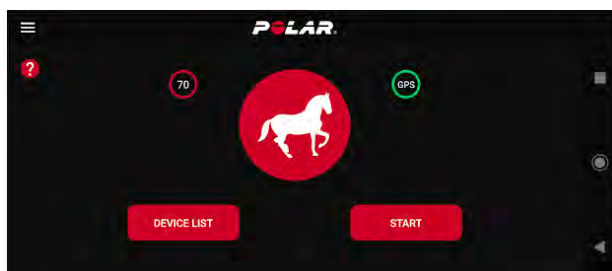


Figura 5.-App polar Equine (previamente instalada en un smartphone).



Figura 6.- Transmisor.

Colocación del sensor de FC

1. Humedece el área de los electrodos del elástico.
2. Fija el elástico alrededor del tórax y ajústalo para que quede ceñido, pero cómodo.
3. Coloca el transmisor.

Retira el sensor del elástico y enjuaga el elástico con agua corriente después de cada uso.



Figura 7.-Alpaca con pulsómetro colocado en el perímetro torácico de la alpaca.

2.9.3. Estetoscopio

El estetoscopio es un dispositivo acústico que amplifica los ruidos corporales para lograr su mejor percepción y por lo tanto la integración de diversos signos, los cuales se auscultan principalmente en corazón, pulmones y abdomen y también llamado fonendoscopio, en la actualidad los estetoscopios más utilizados son los littmann, es un aparato acústico usado para oír los sonidos internos del cuerpo humano o animal. Generalmente se usa en la auscultación de los ruidos cardíacos o los ruidos respiratorios, aunque algunas veces también se usa para escuchar ruidos intestinales o soplos por flujos anómalos sanguíneos en arterias y venas. El examen por medio del estetoscopio se llama auscultación (Bueso Pineda, 2008).

Métodos para determinar gasto energético

2.9.4. Calorimetría indirecta

La denominación de calorimetría indirecta señala que el gasto energético se determina por medio de los equivalentes calóricos del oxígeno (O_2) consumido y del dióxido de carbono (CO_2) producido, cuyas cantidades varían según el sustrato energético que esté siendo utilizado. El cociente respiratorio (RQ) es un componente importante en la determinación de la CI, el cual se entiende como la relación que existe entre la producción de CO_2 y el consumo de O_2 ; tiene un valor de 1,0 para la oxidación de carbohidratos, de 0,81 para la proteína, y de 0,71 para la grasa. El GE se calcula usando el consumo de O_2 y la producción de CO_2 .

La Calorimetría Indirecta en circuito abierto. Este método consiste en la circulación de aire de flujo y composición conocidos (O_2 14,978%, CO_2 : 5,004% y N_2 79,987%) y en la determinación del decremento de oxígeno y aumento de CO_2 en el aire espirado por el paciente. En este sistema el CO_2 producido es absorbido

dentro del sistema, y se adiciona O₂ para mantener constante el volumen del gas.
(Blasco Redondo , 2015)

2.9.5. Registro de FC

Estimación de gasto energético (EE) de animales grandes en libertad en función de la frecuencia cardíaca ,se ha sido examinado por varios investigadores (Richards & Lawrence (1983) ;Yamamoto (1989) ;Renecker & Hudson (1985))

Este método se basa principalmente en como FC se incrementa la actividad física; y está estrechamente relacionada con el consumo de oxígeno, dentro de un intervalo razonable. Para ello es necesario establecer individualmente una línea de regresión entre la FC y el volumen de oxígeno (VO₂). Este método tiene la ventaja de ser de bajo costo, es sencillo y con posibilidad de determinar el gasto energético total diario (GETD) en condiciones reales. (Brosh,y otros ,1998)

2.9.6. Técnica de sacrificio comparativo

Este método calcula la retención energética en el cuerpo de un animal luego de un periodo de alimentación. Se basa principalmente en suministrar alimento a un grupo de animales con una dieta estándar durante el primer periodo de estudio, para luego sacrificar un grupo, al cual se le determinará el calor de combustión corporal inicial, el resto de animales son distribuidos en diferentes grupos para ser alimentados con diferentes dietas, cada una con diferente contenido energético, al concluir el experimento todos los animales son sacrificados y se les determina el calor de combustión corporal final y la retención de energía se determina por diferencia. (Blaxter, 1966)

2.10. Jaulas metabólicas

Las jaulas metabólicas son estructuras que constan de un comedero, bebedero, un piso de malla el cual facilita la recolección de heces, se utiliza para un recojo eficiente de la orina y las heces ,además de presentar una ligera inclinación para que se evite la mezcla con la orina. Esta estructura está construida de acuerdo a las características biométricas de los animales, y nos permiten analizar datos como consumo de alimento, excreción de heces y orina (Roa Vega & Céspedes Sanabria, 2011).



Figura 8.- Jaula metabólica

2.11. Cámara dinámica

La cámara dinámica o circuito abierto de respirometría es un ambiente relativamente pequeño y no invasivo, el cual está condicionado para un análisis de gases, tapándose toda entrada y/o salida de aire, ambiente en el cual se encontrará una salida de aire conectada a un sistema analizador de gases, para cuantificar la

producción de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), así como también el consumo de oxígeno(O_2). (Machaca, y otros, 2015).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1. Ubicación

El trabajo de investigación se desarrolló en el Centro de Investigación en Camélidos Sudamericanos (CICAS) “La Raya”, de la Facultad de Agronomía y Zootecnia (FAZ), de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC); situado en el distrito de Layo, Provincia de Canas y Departamento del Cusco.

Se encuentra situado en:

•Latitud Sur:	14° 00' – 15° 45'
•Longitud Oeste:	69° 00' – 75° 00'
•Altitud:	4200 m.s.n.m.
•Promedio de precipitación pluvial:	519 mm.
•Temperatura promedio anual:	6 ° - 15.5 ° C

Límites

Norte: Marangani

Sur: Layo

Este: La Raya-UNA-PUNO

Oeste: Comunidad Campesina de Occobamba



Figura 9.-Ubicación del estudio (Centro de Investigación en Camélidos Sudamericanos (CICAS) “La Raya”)

3.2. Periodo experimental

El presente trabajo tuvo una duración de tres meses, iniciándose en septiembre del 2021 culminandose en noviembre del 2021.

3.3. Materiales y equipos

3.3.1 Material biológico:

Se trabajo con 05 alpacas macho de la raza Huacaya del hatu alpaquero del Centro de Investigación en Camélidos Sudamericanos (CICAS) La Raya – UNSAAC, con una edad promedio de de 4.4 años , con un peso promedio de 64.4 Kg.

Tabla 1.Datos generales de las alpacas utilizadas en el estudio de validación del uso de pulsómetros digitales para la medición de la FC.

Arete	Peso en Kg	Fecha de nacimiento	Edad
H8847	66.5	Feb-17	4 años
H8538	60.4	Ene-17	4 años
H8458	59.8	Ene-17	4 años
H8036	66.2	Feb-16	5 años
H8039	70.3	Feb-16	5 años
Promedio	64.4 kg		

3.3.2 Dieta experimental

La dieta experimental estuvo conformada por dos insumos:

Heno de avena. - El heno de avena, fue procesado con una picadora, con un tamaño de partícula de 12 mm, las actividades se realizaron en el Centro de Investigación en Camélidos Sudamericanos (CICAS) “La Raya”.

Pellet de alfalfa. - El pellet fue traído desde Arequipa, cuyo tamaño de partícula era de 2.2 ± 0.4 mm.

	Pellet de alfalfa	Heno de avena
Materia Seca ^a	89.06	81.94
Materia Orgánica ^b	91.08	95.99
Energía Bruta ^c	4.45	4.36
Proteína Cruda ^b	17.02	5.28
Fibra Detergente Neutra ^b	44.55	60.88
Carbono ^b	45.18	45.78
Nitrógeno ^b	2.72	0.85

Donde ^a: %; ^b: % de la MS; ^c: kcal /gMS

Tabla 2 .Composición Química de los insumos empleados en la alimentación de alpacas durante la fase experimental.

3.3.3. Instalaciones

Se adecuó un ambiente controlado se controló la humedad, ventilación para un desarrollo más adecuado del presente estudio.

Se emplearon 5 jaulas metabólicas con las siguientes características: Las dimensiones de las jaulas metabólicas fueron las siguientes 0.75 metros de ancho,

1.60 metros de largo, 2.0 metros de altura ,las jaulas fueron hechas de acuerdo a las medidas biométricas de las alpacas, etología, confort y hábitos alimenticios de las alpacas, asimismo estuvo constituido por una serie de laminas metálicas las cuales tienen la función de separar la orina y las heces, el material usado en la



Figura 10.- Instalaciones.

construcción de jaulas fue el acero ,la jaula metabólica también estuvo compuesta por un comedero y un bebedero desmontable.

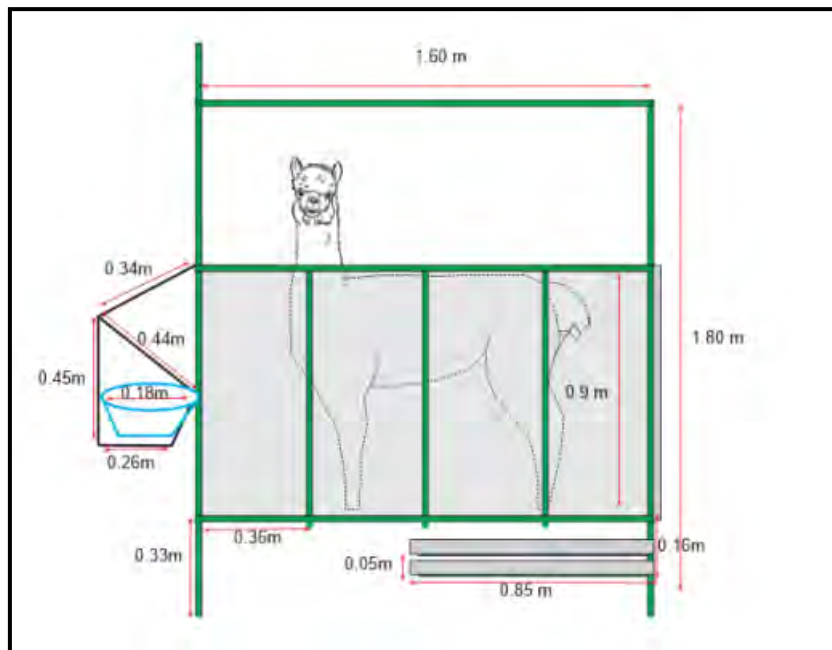


Figura 11.- Dimensiones de Jaula metabólica para alpacas (vista lateral).

3.3.4. Materiales de campo y laboratorio

- Sogas
- 01 recipiente para la colecta de alimento rechazado
- 05 bolsas de tela colectoras de heces impermeabilizadas de 25 a 35 cm.
- 05 recipientes de plástico para la colecta de orina
- 01 recipiente para el pesado de heces
- 02 embudos provistos de una malla para el filtrado de agua
- Guantes de látex.
- Gel de ecografía (ecogel).
- Frascos para colecta de heces.
- Frascos para colecta de orina.
- 01 probeta de vidrio graduada.
- 01 cuaderno de campo.

- 01 balanza analítica electrónica.
- 01 lapicero tinta indeleble
- 02 vaso de precipitado de 100 ml y 500 ml.
- 01 termohigrómetro digital.
- Barbijos (Para protegernos de las partículas de polvo)
- Estetoscopio de la marca **(RAPPAPORT STETHOSCOPE)**.

3.3.5 Insumos

- Heno de avena
- Pellet de alfalfa

3.3.6 Equipos

- Pulsómetro Polar Equine modelo H10 (5 unidades)
- App Polar® Equine
- App Polar® Beat
- Equipo analizador de gases de la marca ABB de modelo EL3020(cámara dinámica de sistema abierto)
- 5 celulares Android 10
- Balanza tipo plataforma PERUTRONIX SERIAL RS-232
- Congelador -10 a -25 °C (Biobase BXC-YL450)
- Estufa de secado (POL EKO APARATURA 750)
- Liofilizador (FREEZE Dryer)
- Horno Mufla (Protherm)
- Balanza electrónica de precisión de 0,0001 g (Sartorius modelo Quintix).
- Balanza de radiación infrarroja Sartorius
- Bomba Calorimétrica (Parr modelo 6400).

- Analizador elemental (Perkin Elmer modelo 2400 serie II).

3.3.7. Reactivos

- Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) al 10 %

3.3.8. Materiales de escritorio

- Papel A4
- Cuadernillos
- Lapiceros
- Plumones
- Laptop
- Impresora

3.3.9. Programas.

- Statgraphics Centurión
- Microsoft Office (Word, Excel y Power Point)

3.4. Metodología

El estudio corresponde a una investigación del tipo descriptiva ; se determinó promedios , maximos ,minimos ; desviación estandar , coeficiente de variación.

El estudio se llevó a cabo en dos etapas: Etapa pre-experimental, etapa experimental (jaula metabólica, cámara dinámica, pastoreo controlado)

3.4.1. Etapa pre- experimental (Duración 32 días)

Selección de animales. -Los animales fueron seleccionados aleatoriamente de acuerdo a la conformación del animal, de una población de 300 animales entre

llamas y alpacas de la majada de machos reproductores. La alimentación en esta etapa se basó en heno de avena y pellet de Alfaalfa

A la llegada al Centro de Investigación en Camélidos Sudamericanos (CICAS) "La Raya", se procedió a pesar a los animales en una balanza tipo plataforma. Asimismo, para la medición de FC se procedió a esquilarse el perímetro torácico de todos los animales seleccionados, también se rasuró la zona lateral derecha e izquierda de modo que haya un mejor contacto con la piel del animal con los electrodos del pulsómetro Polar Equine H10. En la etapa de adaptación, se fue mejorando el uso del Pulsómetro Polar Equine H10, en el que se usó gel de ecografía. El gel de ecografía garantiza una alta conductividad de las ondas ecosonográficas y los impulsos eléctricos, evita interferencias, óptimo para los procesos de todo tipo de ecografía, fijación de electrodos (Giraldo, 2003). En el manual de uso del pulsómetro especifica que la correa elástica debe humedecerse ya sea con agua o gel de ecografía .

Adicionalmente se evaluó el comportamiento animal, el consumo de alimento, agua, producción de heces y orina, asimismo la medición de frecuencia. Los animales pasaron por una etapa de adaptación a la dieta experimental (heno de avena y pellet de alfa alfa), pulsómetros, arneses, bolsas colectoras de heces, FC con pulsómetro (Polar Equine H10) y estetoscopio (RAPPAPORT STETHOSCOPE).

Se instaló el transmisor aproximadamente en la parte media de la paleta, el electrodo positivo (+) al costado derecho y el electrodo negativo (-) en el área de auscultación cardíaca ,ambos electrodos previamente humedecidos con gel de ecografía.

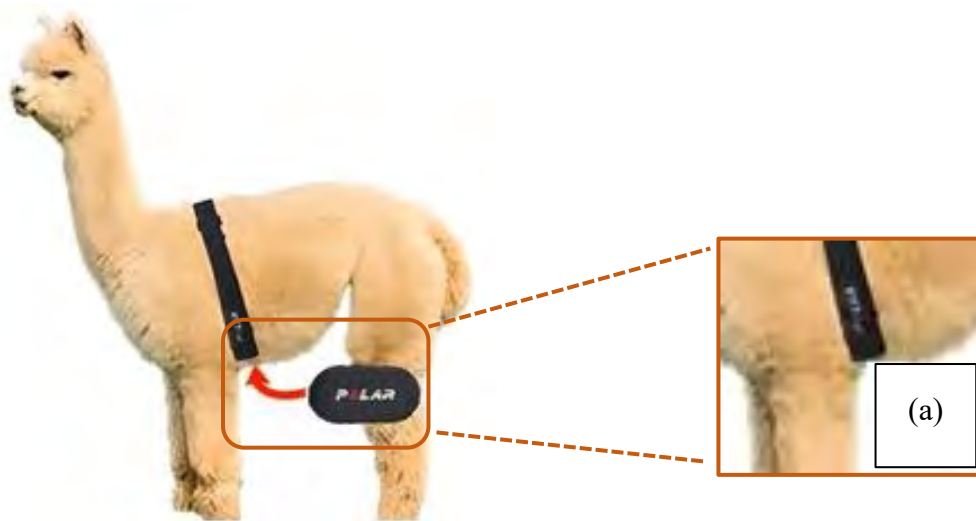


Figura 12 ,.Posición topográfica del equipo Polar® Equine H10. (a) Transmisor

3.4.2. Etapa experimental (Duración 20 días)

3.4.2.1 Evaluación en jaula metabólica

Duración: 5 días

Dieta experimental

La dieta estuvo compuesta por dos insumos (pellet de Alfaalfa y heno de avena) en una relación de 30% y 70% ,la formulación de la dieta experimental se hizo en base a una dieta de mantenimiento ($40 \text{ g/MS PV}^{0.75}$),según lo propuesto por (Ramírez, 2017).El requerimiento o necesidad de mantenimiento, se traduce como la medida de la cantidad de energía que el animal necesita consumir para mantener sus funciones vitales, sin tener excesos ni carencias. (Hafez & Dyer, 1972).

Tabla 3. Composición Química de la dieta ofrecida (g/kgPV^{0.75}) durante la fase pre experimental.

Dieta de mantenimiento	
Materia Seca ^a	42.04
Materia Orgánica ^a	27.54
Energía Bruta ^b	184.54
Proteína Cruda ^a	1.52
Fibra Detergente Neutra ^a	17.46
Carbono ^a	13.13
Nitrógeno ^a	0.243

Donde ^a: g/kgPV^{0.75}; ^b: kcal /kgPV^{0.75}

Control de peso vivo

Para el inicio de la etapa experimental de evaluación de jaulas metabólicas se pesó a los animales, asimismo se reformuló la dieta experimental puesto que los animales tuvieron un incremento de peso durante la etapa pre experimental . La hora de pesaje, se realizó a las 7 a.m. en ayunas. Se utilizó una balanza tipo plataforma de la marca PERUTRONIX de serie SERIAL RS-232 ,cuenta con un lector digital de peso, con una capacidad de 2 toneladas.

Control de consumo de agua

Diariamente se brindó 2.5 L de agua aproximadamente a las 6:00 a.m. cada recipiente era verificado a las 3:00 pm para controlar que el animal tenga agua a disponibilidad a toda hora, para ello se aumentó 1.5 L de agua, dependiendo al consumo del animal. Al día siguiente se midió el consumo total de agua.

Control de consumo de alimento

Se peso el alimento de acuerdo a los requerimientos de mantenimiento del animal, para luego suministrar el alimento a las 6:00 am, tras haber retirado y registrado el alimento rechazado del día anterior.

Control de producción de heces y orina

Se registró la producción de heces y orina durante los 5 días de evaluación en jaula metabólica, los 2 últimos días de la etapa de evaluación en jaula se tomaron muestras de heces y orina. Para la colección de heces se utilizaron bolsas colectoras de heces (Pfister, 1985) (Yiakoulaki & Nastis, 1968), con las siguientes medidas ,35 cm de largo por 25 cm de ancho, sujetadas por arneses de tela a la región pélvica, diseñadas específicamente para las alpacas.

Para la colección de muestras de orina se colocó 10 ml de solución de Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) al 10% en los recipientes de orina ; de esta manera evitando la volatilización del nitrógeno amoniacal (Reed, Moraes, Casper, & Kebreab, 2015).

Luego se tomó la muestra de orina (de cada alpaca) en frascos de 100 ml y se llevó a congelar a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Control de la FC (pulsómetro y estetoscopio)

Para la validación del uso de pulsómetro Polar Equine H10 , se usó un estetoscopio el cual nos ayudaba a ver si las mediciones de frecuencia cardíaca con pulsómetro y estetoscopio eran similares , y de esta manera validar el pulsómetro Polar Equine H10.

Después de colocar el pulsómetro, se colocó una cantidad suficiente de gel de ecografía en cada uno de los electrodos del pulsómetro, para garantizar una alta conductividad de los impulsos eléctricos.

La FC con estetoscopio fue obtenida por auscultación torácica izquierda que va desde la tercera costilla al sexto espacio intercostal. (Espíritu E., 2019)

Las mediciones de FC se realizaron cada 3 horas ,durante 3 minutos con 4 repeticiones haciendo un total de 12 minutos por animal, midiéndose la FC con pulsómetro y estetoscopio al mismo tiempo en los siguientes horarios.

- Primera medición 8.00 am
- Segunda medición 11.00 am
- Tercera medición 2.00 pm
- Cuarta medición 5.00 pm

3.4.2.2. Evaluación en Cámara Dinámica

Duración: 5 días

En el cada animal permaneció en la cámara dinámica durante 24 horas , para medir consumo de Oxígeno y producción de Dióxido de carbono.

Para el control de gases se utilizó el equipo analizador de gases infrarrojo (Continuous gas analyzers) de la marca ABB de modelo EL3020.Los equipos analíticos estuvieron conectados directamente a una PC que nos permitió procesar los datos.

Medición de producción de gases durante 24 horas

Se uso una cámara dinamica de circuito abierto .El animal estuvo en la cámara dinámica por 24 horas, donde el sistema analizador de gases registró los datos de consumo de O₂, producción de CO₂ y CH₄. Se utilizaron 5 animales, los animales subieron a la jaula metabólica para luego ingresar la cabeza y cuello en la cámara dinámica pasando por el capuchón el cual es asegurado para evitar la salida de gases y crear un ambiente parcialmente sellado.

Registro de la temperatura y humedad en cámara dinámica

Para la medición de la temperatura y humedad se utilizó un termohigrómetro de pantalla grande el cual midió la temperatura al interior de la cámara de gases, datos que fueron registrados diariamente por cada animal.

Control de consumo de alimento

Se suministró el alimento a las 6:00 am, el alimento rechazado se pesó al día siguiente.

Control de consumo de agua

Se brindó agua a las 6:00 am una cantidad de 2.5 L, luego se procedió a verificar cada recipiente a las 3:00 pm, para asegurarnos que el animal tenga agua a disposición, se aumentó 1.5 L, dato que será registrado al día siguiente.

Control de producción de heces y orina

Para el control de heces, las muestras fueron pesadas individualmente por animal, asimismo se registró el peso del animal. De igual manera la orina también fue medida y registrada diariamente en las horas de la mañana de cada uno de los animales.

Control de frecuencia cardiaca (FC)

La FC se midió por 12 minutos cada dos horas, iniciando a las 7.30 a.m. y culminando a las 9.30 p.m., al día siguiente una última medición a las 6.00 a.m. se midió con pulsómetro y estetoscopio al mismo tiempo.

3.4.2.3. Evaluación en Pastoreo Controlado

Duración: 10 días

Debido a que se había validado el uso del pulsómetro Polar Equine H10 en la etapa experimental de jaula metabólica y cámara dinámica, para el estudio en pastoreo solo se uso el pulsómetro Polar Equine H10

El pastoreo fue controlado, las alpacas pastorearon libremente en una cancha cercada de 4602.53 m². Se controló la distancia recorrida por día utilizando el aplicativo Polar Beat y la FC de cada animal, y el comportamiento de los animales durante el pastoreo.

Medición de la FC con Pulsómetro POLAR EQUINE H10

Se midió la FC de cada animal con el pulsómetro (Polar equine H10) por un periodo de 48 horas por animal, los datos fueron descargados diariamente para evitar inconvenientes (en la pérdida de datos puesto que los pulsómetros funcionaban por 48 horas).

Distancia recorrida por el animal

Para la medición de la distancia recorrida por el animal se utilizó la app Polar Beat. Con esta aplicación se determinó la distancia recorrida por el animal durante el día.

Etología

Se observó la actividad realizada por cada alpaca, que consistió en observar a los animales durante 15 minutos por cada hora, se hizo con el registro de actividades desde las 8 a.m. y culminando 5. p.m.

Colección de heces

Se usaron las bolsas colectoras de heces, las muestras fueron pesadas individualmente por animal, asimismo se registró su peso. Se tomaron muestras de heces de dos días .

3.4.2.4. Análisis Químico

Los análisis de composición química de alimento (heno de avena y pellet de alfa alfa), heces y orina , fueron realizados en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Escuela Profesional de Zootecnia. Donde se determinó el contenido de humedad, materia seca, proteína , cenizas , fibra detergente neutro y Energía bruta .

3.4.2.5. Evaluación estadística de los resultados

Los resultados fueron sometidos a una evaluación estadística descriptiva (promedios, DS, valores máximos, valores mínimos), para las variables, FC, Consumo, excreción de nutrientes.

Para la evaluación de los registros de FC, por los dos métodos (estetoscopio y pulsómetro), se utilizó un análisis de la varianza (ANOVA) .

Los resultados de la FC y el consumo de oxígeno (O_2) y la producción de dióxido de carbono (CO_2) fueron sometidos a un análisis de correlación de Pearson.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Factibilidad del uso de pulsómetro digital Polar Equine H10, en alpacas en condiciones controladas (jaulas metabólicas y pastoreo)

Tabla 4. Resultados de la medición de la frecuencia cardiaca en alpacas Huacaya macho adultos, medida con estetoscopio y pulsómetro Polar Equine H10, en condiciones controladas (jaulas metabólicas) durante 5 días.

		<i>N</i>	<i>Promedio</i>	<i>SD</i>	<i>CV (%)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>P-valor</i>
Alpaca 1	Pulsómetro	80	59.45	9.03	15.19	46	81	0.707
	Estetoscopio	80	59.98	8.62	14.37	45	81	
Alpaca 2	Pulsómetro	80	57.21	2.53	4.43	52	62	0.007
	Estetoscopio	80	58.30	2.46	4.21	53	63	
Alpaca 3	Pulsómetro	80	44.03	3.12	7.09	39	57	0.170
	Estetoscopio	80	44.70	3.07	6.88	40	57	
Alpaca 4	Pulsómetro	80	47.34	2.64	5.08	42	54	0.203
	Estetoscopio	80	47.85	2.43	5.57	43	53	
Alpaca 5	Pulsómetro	80	52.86	3.01	5.70	45	60	0.682
	Estetoscopio	80	53.05	2.76	5.20	46	60	
Total	Pulsómetro	400	52.18	7.41	14.04	39	81	
	Estetoscopio	400	52.78	7.51	14.38	40	81	

Como se demuestra en la **Tabla 4**. La frecuencia cardiaca promedio de alpacas en condiciones de jaula metabólica, medida con estetoscopio es 52.78 (lpm), CV :14.38 y la frecuencia cardiaca medida con pulsómetro Polar Equine H10 es 52.18 (lpm), CV :14.04 una FC máxima de 81 (lpm) tanto para la medición con

estetoscopio y pulsómetro , una FC mínima de 40 (lpm) con estetoscopio y 39 lpm con pulsómetro.

Los resultados obtenidos permiten señalar que, existe una similitud entre la frecuencia cardiaca medida con pulsómetro y estetoscopio en condiciones controladas (jaula metabólica).

Según lo descrito en el trabajo de Ferasin, et al (2005), la FC en alpacas adultas y sanas trabajo con un total de 40 alpacas (13 machos , 27 hembras) , obteniendo una FC con un rango de 50 y 110 (lpm), con un promedio de 80 (lpm), en este caso la FC fue medida por medio de un electrocardiograma, asimismo el trabajo fue realizado bajo condiciones del nivel del mar (50 m.s.n.m.),

Crossley, et al (1990) señalan que la FC de alpacas macho en el altiplano y zona central: $54,05 \pm 13.63$ vs. $67,82 \pm 12.20$, datos que se obtuvieron a través de una auscultación cardiaca, los datos de FC medidos en el altiplano numéricamente son similares a la FC obtenidos en presente trabajo de investigación, obteniendo un promedio de FC con estetoscopio de 52.78 ± 7.51 (lpm) y con el pulsómetro Polar Equine H10 de 52.18 ± 7.41 (lpm),.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se puede mencionar que la que la FC medida con pulsómetro Polar Equine H10 fue similar a la FC medida con estetoscopio, demostrando de esta manera la factibilidad del uso del pulsómetro Polar Equine H10 en alpacas .

Medición de FC con pulsómetro en pastoreo controlado

Tabla 5. Promedio de la frecuencia cardiaca utilizando el pulsómetro Polar Equine H10, en alpacas adultas en condiciones de pastoreo controlado durante 2 días.

Hora	Alpaca 1	Alpaca 2	Alpaca 3	Alpaca 4	Alpaca 5	Total	Actividad
	Promedio (n:2)	Promedio (n:2)	Promedio (n:2)	Promedio (n:2)	Promedio (n:2)	Promedio (10)	
Pastoreo							
8 a.m.	79±12.93	67±1.36	53±1.19	74±9.82	64±1.84	67±8.91	Comen y Caminan
9 a.m.	75±4.89	62±3.13	54±2.04	60±2.78	57±0.92	62±7.23	Comen
10 a.m.	73±0.82	61±2.60	52±0.68	58±2.13	57±2.38	60±7.03	Comen
11 a.m.	74±3.96	61±2.67	51±1.53	61±5.49	57±0.10	61±7.55	Caminan
12 p.m.	78±5.30	62±3.44	53±0.41	65±5.78	57±0.79	63±8.56	Descansando
13 p.m.	78±3.42	65±2.59	56±3.41	58±2.38	60±4.96	63±7.89	Comen
14 p.m.	73±0.87	65±1.69	52±1.23	51±0.27	52±3.93	59±8.87	Descansan, comen
15 p.m.	82±3.91	64±2.74	56±4.67	53±3.36	62±0.99	63±10.11	Comen y caminan
16 p.m.	82±4.53	66±1.47	59±5.75	54±4.05	62±2.11	65±9.54	Comen
Promedio	77±3.35	64±2.11	54±2.40	59±6.60	59±3.46	63±2.46	
Dormidero							
17 p.m.	86±2.26	66±0.70	56±2.11	54±5.67	65±5.47	65±11.24	Descansando
18 p.m.	84±0.75	66±1.12	53±3.53	56±3.83	62±1.59	64±10.84	Descansando
19 p.m.	83±6.21	71±3.73	59±1.95	59±5.48	63±3.08	67±9.01	Descansando
20 p.m.	69±2.03	76±4.88	45±0.96	67±8.00	61±3.10	64±10.44	Descansando
21 p.m.	68±5.49	57±0.87	43±0.48	63±7.03	61±0.98	58±8.43	Descansando
22 p.m.	60±5.75	58±3.73	45±1.35	68±2.11	63±2.13	59±7.67	Descansando
23 p.m.	59±2.27	53±2.91	40±0.78	70±0.24	65±3.33	58±10.39	Descansando
24 a.m.	60±2.46	52±0.58	41±0.19	73±3.85	66±2.90	58±11.12	Descansando
1 a.m.	59±1.69	53±0.41	38±0.49	76±5.38	69±0.40	59±13.16	Descansando
2 a.m.	60±6.46	50±0.01	39±0.53	79±4.98	65±1.18	59±13.54	Descansando
3 a.m.	63±0.15	47±0.52	38±3.14	78±8.06	60±5.72	57±13.75	Descansando
4 a.m.	63±6.59	49±0.17	41±2.59	80±6.09	63±3.02	59±13.37	Descansando
5 a.m.	68±4.24	46±0.42	45±4.83	76±1.62	69±4.18	61±12.75	Descansando
6 a.m.	63±4.05	49±0.39	43±3.95	80±9.43	74±9.96	62±14.13	Descansando
7 a.m.		53±2.67	45±1.99	72±0.01	79±12.34	62±13.77	Caminan
Promedio	67±9.37	56±8.89	45±6.21	70±8.43	66±5.04	61±2.98	
Distancia recorrida (km)	1.60	1.68	1.48	1.98	1.47	1.64	

Se observa el promedio de FC acumulada por hora en condiciones de pastoreo controlado, la frecuencia cardíaca durante la etapa de pastoreo es 63 ± 2.46 (lpm), en el día la FC es alta debido a que los animales caminaban, comían; según a la etología de las alpacas generalmente pelean, comen, corren durante el día, pero a partir de las 5 pm en el que los animales ingresaban a su dormitorio para descansar y la frecuencia tiende a disminuir a partir de las 7.00 p.m. Esto se fundamenta en que con el ejercicio se produce una taquicardia fisiológica (normal), de la misma forma, durante el reposo o la relajación tiene lugar la bradicardia fisiológica. (García Rubira, 2009)

Quispe Bonilla, Poma & Quispe, (2018), utilizaron el equipo MOVILLE, determinando de esta manera la FC de tres alpacas en pastoreo (con un rango de edad de 1 a 4 años). Obteniendo para: Alpaca 1: 61.56 ± 0.58 (lpm), Alpaca 2: 66.43 ± 0.59 (lpm), Alpaca 3: 50.09 ± 1.82 (lpm) teniendo un promedio total de los tres animales de 59.36 (lpm). Asimismo en el presente estudio se obtuvo una frecuencia cardíaca en pastoreo controlado de 63 ± 2.46 (lpm).

En cuanto a las actividades desarrolladas por las alpacas se observó que desde las 8 a.m. a 11 a.m. comen y en el medio día la mayoría de los animales descansa y continúan comiendo hasta las 5 p.m., a partir de las 5 p.m. hasta las 8 a.m. los animales permanecían en su dormitorio.

En la variable distancia recorrida en pastoreo, se observa que la distancia es independiente para cada uno de los animales experimentales, para la **alpaca 1** una distancia recorrida máxima de (1.98 km) y **la alpaca 5** una distancia recorrida máxima de (1.47 km).

4.2 Frecuencia cardiaca de alpacas adultas en condiciones controladas y correlacionarla con el consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono

Producción de gases

Tabla 6. Promedio de la frecuencia cardiaca (lpm), consumo de oxígeno (L/minuto), producción de CO₂ (L/minuto) y coeficiente respiratorio (RQ), acumulado por cada media hora; de alpacas Huacaya adultas en condiciones controladas (24 horas).

Variables evaluadas								
Hora	Frecuencia Cardiaca	SD	CO ₂	SD	O ₂	SD	RQ	SD
(promedio hora, n:300)								
7.30 a.m.	56	5.98	0.250	0.079	0.594	0.048	0.414	0.125
8.30 a.m.	50	8.28	0.219	0.061	0.566	0.042	0.382	0.112
9.30 a.m.	52	8.67	0.219	0.056	0.564	0.056	0.383	0.098
10.30 a.m.	48	4.53	0.206	0.037	0.548	0.051	0.372	0.072
11.30 a.m.	47	4.85	0.210	0.037	0.545	0.045	0.382	0.071
12.30 p.m.	47	2.97	0.195	0.057	0.535	0.037	0.365	0.115
13.30 p.m.	45	4.49	0.188	0.034	0.521	0.052	0.361	0.081
14.30 p.m.	43	4.68	0.174	0.033	0.507	0.052	0.344	0.078
15.30 p.m.	46	5.21	0.198	0.029	0.518	0.056	0.379	0.046
16.30 p.m.	45	5.28	0.175	0.031	0.507	0.049	0.345	0.077
17.30 p.m.	47	6.66	0.205	0.018	0.522	0.053	0.393	0.039
18.30 p.m.	47	5.91	0.217	0.026	0.532	0.056	0.406	0.047
19.30 p.m.	47	5.46	0.185	0.040	0.520	0.067	0.353	0.055
20.30 p.m.	44	5.23	0.213	0.027	0.537	0.065	0.393	0.027
21.30 p.m.	46	4.74	0.191	0.025	0.526	0.056	0.362	0.060
22.30 p.m.	45	3.53	0.211	0.046	0.543	0.047	0.391	0.094
23.30 p.m.	46	3.41	0.208	0.031	0.541	0.049	0.383	0.071
24.30 a.m.	44	4.09	0.186	0.046	0.528	0.029	0.355	0.102
1.30 a.m.	44	4.58	0.185	0.047	0.527	0.051	0.351	0.089
2.30 a.m.	43	4.30	0.195	0.029	0.534	0.050	0.364	0.071
3.30 a.m.	44	3.31	0.213	0.029	0.546	0.050	0.390	0.069
4.30 a.m.	43	2.95	0.202	0.031	0.537	0.041	0.375	0.074
5.30 a.m.	42	3.30	0.168	0.027	0.522	0.048	0.320	0.061
6.30 a.m.	41	2.50	0.164	0.022	0.502	0.051	0.313	0.055
Promedio	46		0.199		0.534		0.370	

Donde: SD: Desviación estándar, CO₂: Producción de dióxido de carbono, O₂: Consumo de oxígeno, RQ: Coeficiente respiratorio.

Se registro una frecuencia cardiaca máxima de 56 ±5.98 (lpm) ,se encontro a las 7.30 a.m. hora donde el animal ingresó a camara dinamica ,asimismo coincide con la mayor producción de dioxido de carbono 0.250 ± 0.079 L CO₂ y tambien mayor consumo de oxigeno 0.594 ± 0.048 L O₂ . En el ejercicio se produce una

taquicardia fisiológica (normal) , lo que implica que el animal tenga una respiracion mas acelerada , requiere mas oxigeno para los musculos , y a su vez se elimina el dioxido de carbono. (García Rubira, 2009)

Asi tambien se registro una FC minima de 41 ± 2.50 (lpm) a las 6.30 a.m del dia siguiente , coincide con una menor producción de dioxido de carbono 0.164 ± 0.022 L CO₂ y tambien un menor consumo de oxigeno 0.502 ± 0.051 LO₂ . Durante el reposo o la relajación muscular se da una bradicardia fisiológica, es decir una disminucion de la frecuencia cardiaca . (García Rubira, 2009)

Respecto al coeficiente respiratorio (RQ) en el presente trabajo se encontró un RQ de 0.370 ,no se encontro otros reportes en alpacas ,sin embargo se ha realizado una comparación con los coeficientes respiratorios de la llama , ovino y cabra.Según (Tejada et al , 2015),describen que para la medición de gases se usó una cámara respirometrica de calorimetria indirecta,donde se determino el RQ para llamas de 0.981 , ovinos 0.852 y en cabras 0.830 .

Correlación entre frecuencia cardiaca y producción de CO₂ (dioxido de carbono)- consumo de O₂ (oxigeno)

Tabla 7. Correlaciones entre frecuencia cardiaca, CO₂ y O₂ en alpacas Huacaya adultas en cámara dinámica, alimentadas con una dieta de mantenimiento.

		FC	CO ₂	O ₂
Alpaca 1	FC		0.2442	0.2939
			0.001	0.001
	CO ₂			0.9151
				0.001
Alpaca 2	FC		0.2017	0.0877
			0.001	0.0012
	CO ₂			0.8428
				0.001
Alpaca 3	FC		0.1083	0.2416
			0.001	0.001
	CO ₂			0.8614
				0.001
Alpaca 4	FC		0.1616	0.1054
			0.001	0.001
	CO ₂			0.8067
				0.001
Alpaca 5	FC		0.4095	0.4514
			0.001	0.001
	CO ₂			0.9202
				0.001

Donde: FC: Frecuencia cardiaca (lpm), CO₂: emisiones de dióxido de carbono (L/minuto), O₂: Consumo de Oxígeno (L/minuto).

Se encontró que para las alpacas Huacaya adultas, la correlación entre frecuencia cardiaca y producción de dióxido de carbono, consumo de oxigeno es baja , para el caso de la correlación entre el consumo de oxígeno y producción de dióxido de carbono fue significativamente más alto , $r = 0.8067$ a 0.9202 .

No se encontró reportes en animales , pero en el caso de humanos existe una elevada correlación entre los valores de frecuencia cardiaca y de consumo de

oxígeno en las pruebas de esfuerzo progresivo sobre una caminadora $R=0,97$ y $R=0,99$. (Diego & Rodríguez Guisado, 2006)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y los resultados obtenidos se expone las siguientes conclusiones.

1. Es factible el uso del pulsómetro Polar Equine H10, para medir la frecuencia cardiaca en alpacas en condiciones controladas ,obteniendo una frecuencia cardiaca con pulsómetro Polar Equine H10 de 52.18 (lpm) en jaula metabolica y en condiciones de pastoreo controlado,la frecuencia cardiaca es 63 ± 2.46 (lpm).
2. Existe correlación alta entre el consumo de oxígeno (O_2) y producción de dióxido de carbono (CO_2) de $r = 0.8067$ a 0.9202 .

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda seguir con el trabajo de investigación tomando otros métodos de muestreo, puesto que aún no se tiene información suficiente de la frecuencia cardiaca de camélidos sudamericanos domésticos (alpaca y llama).
2. Se sugiere realizar trabajos de investigación sobre la frecuencia cardiaca, tomando en cuenta la edad, estado fisiológico, raza y sexo del animal.
3. Usar el pulsómetro Polar Equine H10 para la determinación de frecuencia cardiaca en alpacas al pastoreo, ya que es una herramienta útil, de fácil manejo y así poder contribuir a la investigación científica en nuestro país y región. Finalmente, también se pueden usar la App Polar Beat que nos permite determinar la distancia recorrida por el animal durante el pastoreo.
4. Se recomienda realizar trabajos de estimación del gasto energético en alpacas, ya que el presente trabajo reporta datos de frecuencia cardiaca en condiciones de jaula metabólica y pastoreo, siendo este reporte un punto de partida para futuras investigaciones.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Heart Association. (2015). All About Heart Rate (Pulse). Obtenido de <http://www.heart.org/>
- ARC. (1980). Agricultural Research Council. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. *Technical Review by an Agricultural Research Council Working Party, Commonwealth Agricultural Bureau*. Farnham Royal, UK.
- Arias , M., Maya , J., & Arango, L. (2019). Efectos de dos protocolos de entrenamiento sobre el lactato sanguíneo en caballos de paso fino. *Revista Medicina Veterinaria Zootecnia*, 219-230. doi:10.15446/rfmvz.v66n3.84259
- Arias , M., Echevarria Sánchez, H., Coral Luque , E., Acosta Maya , L., & Zuluaga Becerra , J. (2006). Estimación de la intensidad de trabajo en un grupo de caballos criollos colombianos de diferentes andares. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, vol. 1.
- Blasco Redondo , R. (2015). Gasto energético en reposo. Métodos de evaluación y aplicaciones. *Revista Española de nutrición comunitaria*, 246-247. doi:10.14642/RENC.2015.21
- Blaxter, K. (1966). Nutrition balance techniques and their limitations. *One hundred and eighty-third Scientific Meeting. 75th Scottish Meeting*. Glasgow: Institute of Biochemistry, University of Glasgow. Symposium Proceedings.
- Brenes, E. R., Madrigal, K., Pérez, F., & Valladares, K. (2001). *El cluster de los camélidos en Perú: diagnóstico competitivo y recomendaciones estratégicas*. Instituto Centroamericano de Administración de Empresas INCAE.
- Brosh, A., Aharoni, Y., Degen, A., Wright, D., & Young, B. (1998). Estimation of energy expenditure from heart rate measurements in cattle maintained under different

conditions. *Journal of animal science*, 76(12), 3054-3064.
doi:10.2527/1998.76123054x

Bryant, F. C., & Farfan, R. D. (1984). Dry season forage selection by alpaca (*Lama pacos*) in Southern Peru. *J. Range Manage*, 37:330:333.

Bueso Pineda, A. (2008). El estetoscopio. *Revista medica Hondor*, 191-192. Obtenido de <https://www.revistamedicahondurena.hn/assets/Uploads/Vol76-4-2008-14.pdf>

Bustinza, V. (2001). “La alpaca: Conocimiento del gran potencial andino”. Puno, Perú: UNA-Puno.

Carrasco, J. C. (01 de Agosto de 2019). *Agraria.pe*. Obtenido de <https://agraria.pe/noticias/peru-alberga-al-87-de-la-poblacion-mundial-de-alpacas-19523>

Crossley, C. R., Mac-Niven, V., & Raggi, S. A. (Julio de 1990). Constantes fisiológicas de interés clínico de alpacas chilenas (*Lama Pacos*) en el altiplano y zona central. *Monografías de Medicina Veterinaria*, 12(1). Obtenido de <https://revistahistoriaindigena.uchile.cl/index.php/MMV/article/view/10457>

Cuichán Bravo, E. M., & Pinzón Oña, M. E. (2019). Determinación de parámetros fisiológicos ,Hematologicos ,bioquimicos y traccion animal de camelidos y mulares, en la parroquia de Salinas ,provincia de Bolívar -Ecuador. *Universidad de las Fuerzas Armadas ,Carrera de Ingenieria Agropecuaria.Tesis de Pre grado*.

de Castilla Marín, M. (2006). Domesticación y persistencia de los Camelidos en los andes del Cusco. *Ediciones INC- Cusco,Peru*, 26.

Derno, M., Loöhrke, B., Jentsch, W., & Matthes, H.-D. .. (1997). Effect of α 2-adrenergic stimulation and feeding on heat production of growing bulls. In: McCracken, K. J.; Unsworth, E. F.; Wylie, A.R.G. eds. *Energy metabolism of farm animals*. Wallingford, UK, CA.

Diego, S., & Rodríguez Guisado, F. (2006). Medición telemétrica de la frecuencia cardiaca y el consumo de oxígeno en competición amistosa». *Apunts. Educación física y deportes*, Vol. 1, 43-51. Obtenido de <https://raco.cat/index.php/ApuntsEFD/article/view/300689>.

- Dittmann , M. T., Runge, U., Lang, R. A., Moser, D., Galeffi, C., Kreuzer, M., & Clauss, M. (9 de Abril de 2014). Methane Emission by Camelids. (A. J. Munn, Ed.) *PLOS ONE*, 1. Recuperado el 22 de Junio de 2021, de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094363>
- Dittmann, M. T., Runge, U., Lang, R. A., Moser, D., Galeffi, C., Kreuzer, M., & Clauss, M. (2014). Methane Emission by Camelids. Obtenido de www.plosone.org
- Durán Rúa, V. (2018). CARACTERIZACIÓN DE LAS COMPLICACIONES CLÍNICAS Y LOS CAMBIOS BIOMECÁNICOS DERIVADAS DE LA INTERVENCIÓN “PICADA” DE LA COLA EN CABALLOS CRIOLLOS COLOMBIANOS . *Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad CES*.
- Effinger Lamas , M. V. (2016). ANATOMÍA CARDÍACA DE LA ALPACA (Vicugna pacos, Linnaeus 1758). *Universidad de la Republica Facultad de Veterinaria* .
- Engelhardt, W., Weyreter, H., Heller, R., Lechener-Doll, M., Schwartz, H. J., Rutagwenda, R., & Schultka, W. (1986). Adaptation of indigenous sheep, goats and camels in harsh grazing conditions. Vienna: International Atomic Energy Agency.
- Espiritu E. (2019). Descripción de la anatomía topográfica de las áreas de auscultación y percusión cardiaca y pulmonar de la alpaca (Vicugna pacos) .Tesis. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Medicina Veterinaria, Escuela Profesional de Medicina Veterinaria*.
- Esteves de Oliveira, F. C., de Mello Cruz, A. C., Gonçalves Oliveira, C., Rodrigues Ferreira Cruz, A., Mayumi Nakajima, V., & Bressan, J. (2008). Gasto energético de adultos brasileños saludables: una comparación de métodos. *Nutrición Hospitalaria*. 23(6), 554-561.
- FAO, L. O. (Junio de 2005). Proyecto de Cooperación Técnica en apoyo a la crianza y aprovechamiento de los Camélidos Sudamericanos en la Región Andina. *SITUACIÓN ACTUAL DE LOS CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS EN PERÚ*. Perú: FAO.Obtenido de https://tarwi.lamolina.edu.pe/~emellisho/zootecnia_archivos/situacion%20alpcas%20peru.pdf
- Fowler, M. (1998). Medicine and surgery of South American Camelids. Llama, Alpaca, Vicuña, Guanaco. Ames, Iowa: Iowa State University.

- Freeman, D., Topliff, D., & Collier, M. (2003). Monitoring Fitness of horses by Heart Rate. *OKLAHOMA STATE UNIVERSITY*.
- García Rubira, J. C. (2009). Fisiología cardíaca. *Libro de la salud cardiovascular*, 43.
- García, W., Martín, F. S., Novoa, C., & Franco, L. E. (2002). Engorde de llamas bajo diferentes regímenes alimenticios. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*.
- Getty, R. (2005). Anatomía de los animales domésticos.
- Giraldo, C. (2003). *Principios básico de la ultrasonografía veterinaria*. Córdoba.
- Hafez, E., & Dyer, I. (1972). *Desarrollo y Nutrición Animal*. Zaragoza, Esparta : Editorial Acribia.
- Haynes , Kung, Brandt, Yongping, & Waller. (2014). Accelerated climate change and its potential impact on Yak herding livelihoods in the eastern Tibetan plateau . *Climatic Change*. 123(2). doi:10.1007/s10584-013-1043-6
- Herberht Mamani, R., Gonzáles Castillo, M., Condori-Rojas, N., Huacani-Pacori, M., & Checalla Mamani, V. (2021). Parámetros productivos en camélidos sudamericanos. *Manglar*.
- IFAD. (2007). *Livestock and climate change*. Obtenido de <http://www.ifad.org/lrkm/factsheet/cc.pdf>
- INEI. (2012). *Instituto nacional de Estadística e Informática*. Obtenido de IV Censo Nacional Agropecuario 2012: <http://censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados/>
- Koning , E., & Liebich, G. (2005). Anatomía de los Animales Domésticos Organos, sistema circulatorio y sistema nervioso. *Editorial Médica*.
- Larico, H. (12 de mayo de 2019). Obtenido de LA ALPACA: Recurso genético del Perú, su importancia científica, crianza y potencial mundial de su fibra como emblema de Puno.: <https://sicreesinnovas.com/la-alpaca-recurso-genetico-del-peru-su-importancia-cientifica-crianza-y-potencial-mundial-de-su-fibra-como-emblema-de-puno/>
- López, A., Maiztegui, J., & Cabrera, R. (1998). Voluntary intake and digestibility of forages with different nutritional quality in alpacas (*Lama pacos*). *Small Ruminant Research* 29(3), 295-301.

- MacGill, M. (2017). What should my heart rate be ? Obtenido de <https://www.medicalnewstoday.com/articles/235710.php>
- Machaca, M., Quispe, C., Castro, A., Arroyo, G., Huanca, T., Roque, B., & Huanca, W. (2015). Efecto de Dos Dietas Fibrosas en la Producción de Metano en Alpacas. *VII Congreso Mundial en Camélidos Sudamericanos*, (págs. 441-444). Puno-Perú.
- Marca Choque, U. S., & Roque Huanca, B. (2018). Producción de metano en camélidos sudamericanos domésticos y su efecto en la salud pública. doi:10.26788/riepg.2019.2.122
- Marín, J. C., Zapata, B., Gonzáles, B. A., Bonacic, C., Wheeler, J. C., Casey, C., & Spotorno, A. E. (2007). Sistemática, taxonomía y domesticación de alpacas y llamas: nueva evidencia cromosómica y molecular. *Revista Chilena en Historia Natural*.
- Michelutti, N., P, A, Wolfe, Cooke, J.P. (2015). Climate change forces new ecological states in tropical Andean lakes. *PloS one*. doi:10.1371/journal.pone.0115338
- MIDAGRI. (1 de agosto de 2022). *Plataforma digital única del Estado Peruano*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/636546-midagri-el-87-de-la-poblacion-mundial-de-alpacas-se-encuentra-en-el-peru>
- Monge, C., & León-Velarde, F. (1991). Physiological Adaptation to High Altitude: Oxygen Transport in Mammals and Birds. 1135-1172.
- Montes de Oca Aznarez, D., & Roguero Ventre , F. (2014). Estimación de la energia de mantenimiento en vacas de cría en pastoreo de campo natural. *Tesis de Pre grado .Universidad de La República*. Obtenido de <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/8756/1/3950mon.pdf>
- Nielsen, M., Kiani, A., Tejada, E., Chwalibog, A., & Alstrup, L. (2014). Energy metabolism and methane production in llamas, sheep and goats fed high- and low-quality grass-based diets. *Archives of Animal Nutrition*, 68(3), 171-185.
- Pfister, J. (1985). Technical notes: An effective fecal harness. *Technical Notes*, 184-185. doi:10.2307/3899267
- Pinares Patiño , C., Ulyatt, M., Waghorn, G., Lassey, K., Barry , T., Holmes, T., & Johnson, D. (2003). Methane emission by alpaca and sheep fed on lucerne hay or grazed on

pastures of perennial ryegrass/white clover or birdsfoot trefoil.
doi:S002185960300306X

- Polar. (2009). *Sensor de Frecuencia Cardiaca Polar H10*. Recuperado el 2022, de POLAR:
<https://www.manual.pe/polar/h10/manual?p=4>
- Puccio, G. (22 de Agosto de 2016). Fomentan la producción de llamas y alpacas sin generar impacto ambiental. (A. Leloir, Entrevistador)
- Purwanto, B., Abo, Y., Sakamoto, R., Furumoto, F., & Yamamoto, S. (1990). Patrones diurnos de producción de calor y frecuencia cardiaca en condiciones termoneutrales en vacas Holstein Friesian con diferente producción de leche. *J.Agric.SCI*.
- Quispe Bonilla, M. D., Poma, A., & Quispe, E. C. (2018). Diseño y desarrollo de un monitor de signos vitales llevable (MOSIVILLE) para alpacas. *VIII Congreso mundial sobre Camélidos Oruro-Bolivia*, 132-133.
- Ramírez, J. (2017). Efecto del nivel de consumo de alimento sobre la retención de energía en llamas y alpacas. (Tesis de pregrado). Puno, Perú: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad Nacional del altiplano .
- Reed, K., Moraes, L., Casper, D., & Kebreab, E. (2015). Predicting nitrogen excretion from cattle. *Journal of Dairy Science, Volume 98, Issue 5*, 3025-3035. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022030215001472>
- Reiner, R. J., Farfan, F. C., & Craddock, B. F. (1987). Forage intake of alpacas grazing Andean rangeland in Perú. *Journal of Animal Science*, 64:868-871.
- Renecker , L., & Hudson, R. (1985). Frecuencia cardíaca teledada como índice del gasto energético en alces (Alces alces).
- Richards, & Lawrence. (Diciembre de 1983). The estimation of energy expenditure from heart rate measurements in working oxen and buffalo.
- Richards, J., & Lawrence, P. (1984). La estimación del gasto de energía a partir de mediciones de frecuencia cardíaca en bueyes y búfalos de trabajo. *Agric.SCI*.
- Riek, A., Stölzl, A., Marquina Bernedo, R., Ruf, T., Arnold, W., Hambly, C., & Gerken, M. (2019). Energy expenditure and body temperature variations in llamas living in the High Andes of Peru. *Scientific Reports*, 9(1), 1–11.

- Rios Rado, W. M. (2022). Diseño y validación de jaula metabólica y cámara dinámica para alpacas (Vicugna pacos).
- Roa Vega, M., & Céspedes Sanabria, D. (2011). Digestibilidad de forrajes arbóreos en bovinos utilizando jaulas metabólicas. *Revista Sistemas De Producción Agroecológicos*, 2(2), 25-36. doi:<https://doi.org/10.22579/22484817.578>
- Romero, M., & Sanchez, J. A. (2011). Biomarcadores de estrés como indicadores de bienestar animal en ganado de carne. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/317510898_Biomarcadores_de_estres_como_indicadores_de_bienestar_animal_en_ganado_de_carne (stress_biomarkers_as_indicators_of_animal_welfare_in_cattle_beef_farming)
- Ruiz, J., Gutiérrez, G., & Velarde, R. (2004). Producción y Comercialización de los Productos de los Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos en el Perú. *Comercialización de los Productos de los Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos en Latinoamérica*.
- San Martín, F., & Olazabal, J. (2005). *Nutrición y alimentación en camélidos sudamericanos domesticos*. Sicuani. Recuperado el 20 de Junio de 2021
- San Martín. (1991). Alimentación y Nutrición. Capítulo VII (213-262). En S. Fernández-Baca, *Avances y perspectivas del conocimiento de los Camélidos Sudamericanos* (pág. 429). Santiago, Chile: FAO.
- San Martín, F. S., & Bryant, F. C. (1989). Nutrition of domesticated South American llamas and alpacas. *Small Ruminant Research* 2, 191-216.
- Schutz, Y., & Deurenberg, P. (1996). Energy metabolism overview of recent methods used in human studies.
- Serrano, J. (2018). *Pulsómetro Polar OHI: estudio sobre su validez mediante un protocolo con distintos ejercicios e intensidades*. Universidad de Zaragoza.
- Sosa, A. (2010). *Manual Agropecuario*.
- Tejada, E., Nilsen, M., Icuña, S., & Estrada, M. (2015). Llamas y cambio climático; Intercambio de Oxígeno y emisión de gases de efecto invernadero comparados con ovinos y caprinos, por influencia de índices de consumo y

coeficientes respiratorios. *Congreso mundial de Camelidos Sudamericanos Puno*. Perú.

Thibodeau , G., & Patoon, K. (2008). Estructura y función del cuerpo humano.

Trevisi, E., & Bertoni, G. (2009). Some physiological and biochemical methods for acute and chronic stress evaluation in dairy cows. *Italian Journal of Animal*. doi:10.4081/ijas.2009.s1.265

Urrutia, R., & Vuille, M. (2009). Climate change projections for the tropical Andes using a regional climate model: Temperature and precipitation simulations for the end of the 21st century. En *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 114*. doi:<https://doi.org/10.1029/2008JD011021>

Van-Saun, R. J. (2006). Nutrient Requirements of South American Camelids: A Factorial Approach. *Small Ruminant Research*, 165–86.

Vergara Hernández, F. (2014). Estudio del efecto de la carga de trabajo en equinos de tiro urbano sobre variables fisiológicas y sanguíneas en condiciones de campo . *Universidad de Chile ,Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias* .

Wheeler , J. (1991). Origen, evolución y status actual. En S. Fernández-Baca, *Avances y perspectivas del conocimiento de los Camélidos Sudamericanos* (pág. 429). Santiago de Chile: FAO.

Wheeler , J. (1995). Evolution and present situation of the South American Camelidae. *Biological Journal of the Linnean Society*.

Yamamoto , S. (1989). Estimation of Heat Production from Heart Rate Measurement of Free Living Farm Animals. *Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University*.

Yiakoulaki, M., & Nastis, A. (1968). A modified faecal harness for grazing goats on mediterranean shrublands. *uthors are research scientist a professor, Department of Range Science (236), Aristotle University 54006 Thessaloniki, Greec. , 545-546.*

ANEXOS



Anexo 1. Selección de animales



Anexo 2 . Pesaje de animales



Anexo 3. Rasurando las zonas de colocación de los electrodos.



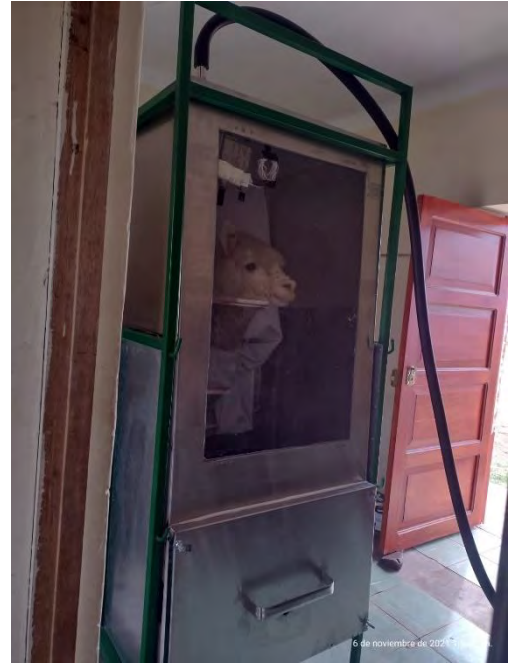
Anexo 4. Esquila de perímetro torácico



Anexo 5 .Instalaciones usadas en el trabajo experimental.



Anexo 6. Medición de FC con pulsómetro y estetoscopio.



Anexo 7 .Equipo analizador de gases



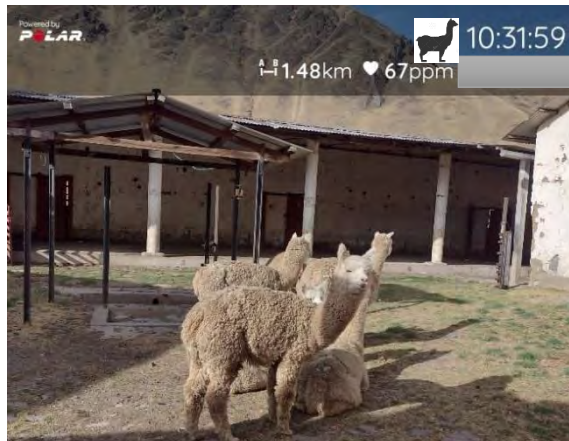
Anexo 8. Medición de FC en cámara dinámica.



Anexo 9. *Medición de FC en pastoreo.*



Anexo 11. Distancia recorrida en pastoreo por la Alpaca 3.



Anexo 12. Distancia recorrida en pastoreo por la alpaca 4.



Anexo 12. Distancia recorrida en pastoreo por la alpaca 5.



Anexo 13 . Registro diario de consumo de alimento (pellet de alfaalfa y heno de avena) ofrecido, rechazado y consumo total, consumo de agua, producción de heces y orina, durante 5 días /animal (Etapa experimental jaula metabólica).

JM	DÍA	Peso Vivo (kg)	Pellet ofrecido (kg)	Sobra de pellet (kg)	Consumo de Pellet (kg)	Heno ofrecido (kg)	Sobra de heno (kg)	Consumo de Heno (kg)	Consumo alimento (kg)	Consumo de agua (L)	Heces (kg)	Orina (L)
1	1	64.80	0.3426	0.1002	0.2424	0.7994	0.0081	0.7913	1.0337	1.8700	1.0407	0.2100
	2	64.80	0.3426	0.0400	0.3026	0.7994	0.0093	0.7901	1.0927	2.7000	0.9295	0.3100
	3	64.80	0.3426	0.0240	0.3186	0.7994	0.0130	0.7864	1.1050	2.7900	1.1563	0.2500
	4	64.80	0.3426	0.0345	0.3081	0.7994	0.0096	0.7898	1.0979	2.5800	1.1238	0.2400
	5	64.80	0.3426	0.0039	0.3387	0.7994	0.2231	0.5763	0.9150	3.8100	0.9263	0.2500
2	1	60.60	0.3258	0.1000	0.2258	0.7602	0.0000	0.7602	0.9860	2.2400	0.9523	0.2100
	2	60.60	0.3258	0.0000	0.3258	0.7602	0.0010	0.7592	1.0850	2.5500	0.8716	0.2900
	3	60.60	0.3258	0.0000	0.3258	0.7602	0.0000	0.7602	1.0860	2.4800	1.5620	0.2800
	4	60.60	0.3258	0.0000	0.3258	0.7602	0.0000	0.7602	1.0860	2.4000	0.9526	0.2100
	5	60.60	0.3258	0.0540	0.2718	0.7602	0.0005	0.7597	1.0315	1.0000	0.9826	0.2600
3	1	59.80	0.3226	0.1166	0.2060	0.7527	0.0461	0.7066	0.9126	1.9000	1.0282	0.1300
	2	59.80	0.3226	0.0466	0.2760	0.7527	0.1193	0.6334	0.9094	2.0000	1.0058	0.1400
	3	59.80	0.3226	0.0885	0.2341	0.7527	0.0383	0.7144	0.9485	2.1300	0.9666	0.1300
	4	59.80	0.3226	0.0310	0.2916	0.7527	0.1289	0.6238	0.9154	2.1000	0.9851	0.1400
	5	59.80	0.3226	0.0780	0.2446	0.7527	0.0202	0.7325	0.9771	2.2100	1.2303	0.1700
4	1	66.20	0.3481	0.0922	0.2559	0.8123	0.0626	0.7497	1.0056	1.8700	1.0378	0.5000
	2	66.20	0.3481	0.0585	0.2896	0.8123	0.0807	0.7316	1.0212	2.4700	0.7739	0.2500
	3	66.20	0.3481	0.0472	0.3009	0.8123	0.0599	0.7524	1.0533	2.6000	0.7231	0.1300
	4	66.20	0.3481	0.0772	0.2709	0.8123	0.1017	0.7106	0.9815	2.4000	0.9451	0.3200
	5	66.20	0.3481	0.1447	0.2034	0.8123	0.0206	0.7917	0.9951	2.2000	1.1750	0.3100
5	1	70.40	0.3646	0.0822	0.2824	0.8506	0.0172	0.8334	1.1158	2.4000	0.7761	0.3100
	2	70.40	0.3646	0.0003	0.3643	0.8506	0.0062	0.8444	1.2087	2.8700	1.0630	0.3900
	3	70.40	0.3646	0.0000	0.3646	0.8506	0.0040	0.8466	1.2112	2.7900	1.0108	0.4000
	4	70.40	0.3646	0.0000	0.3646	0.8506	0.0038	0.8468	1.2114	2.9610	1.0390	0.3400
	5	70.40	0.3646	0.0085	0.3561	0.8506	0.0000	0.8506	1.2067	2.5000	1.5895	0.1900

Anexo 14. Registro de consumo de alimento (pellet de alfaalfa y heno de avena) ofrecido, rechazado y consumo total, consumo de agua, producción de heces y orina, durante día/animal (Etapa experimental cámara dinámica).

DÍA	Animal	Peso Vivo (kg)	Pellet ofrecido (kg)	Sobra de pellet (kg)	Consumo de Pellet (kg)	Heno ofrecido (kg)	Sobra de heno (kg)	Consumo de Heno (kg)	Consumo alimento (kg)	Consumo de agua (L)	Heces (kg)	Orina (L)
	1	64.80	0.3426	0.2542	0.0884	0.7994	0.4201	0.3793	0.4677	1.1000	0.9442	0.5000
	2	60.60	0.3258	0.0042	0.3216	0.7602	0.1577	0.6025	0.9241	1.6000	1.1910	0.1000
1	3	59.80	0.3226	0.0646	0.2580	0.7527	0.2670	0.4857	0.7437	1.4000	0.4324	0.3000
	4	66.20	0.3481	0.1450	0.2031	0.8123	0.4954	0.3169	0.5200	0.2100	0.5083	0.2500
	5	70.40	0.3646	0.1660	0.1986	0.8506	0.1831	0.6675	0.8661	1.6000	0.8104	0.2900

Anexo 15. Frecuencia cardiaca (lpm) en alpacas Huacaya adultas, medida con estetoscopio y pulsómetro Polar equine H10, en condiciones controladas (cámara dinámica, 24 horas por animal).

		<i>n</i>	<i>Promedio</i>	<i>SD</i>	<i>CV (%)</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>P</i>
Alpaca 1	Pulsómetro	36	51.00	10.42	20.43	39	88	0.954
	Estetoscopio	36	50.86	9.86	19.39	38	85	
Alpaca 2	Pulsómetro	36	53.67	6.07	11.31	44	74	0.920
	Estetoscopio	36	53.81	5.68	10.56	45	73	
Alpaca 3	Pulsómetro	36	42.67	10.01	23.45	35	77	0.943
	Estetoscopio	36	42.83	9.61	22.43	36	76	
Alpaca 4	Pulsómetro	36	43.28	5.81	13.43	35	55	0.966
	Estetoscopio	36	43.33	5.24	12.10	36	55	
Alpaca 5	Pulsómetro	36	45.22	7.57	16.75	38	61	0.896
	Estetoscopio	36	45.00	6.75	15.01	38	62	
Total	Pulsómetro	180	47.17	9.23	19.56	35	88	0.499
	Estetoscopio	180	47.17	8.77	18.60	36	85	

Anexo 16. Resumen del consumo de nutrientes, empleando una dieta de mantenimiento (40g/MS PV^{0.75}).

Variables registradas	Promedio (n:5)	SD	CV (%)	Min	Max
Peso vivo,	64.36	3.87	0.060	59.80	70.40
Peso metabólico, kg	22.72	1.02	0.045	21.50	24.30
Consumo					
Materia Seca, g/ animal/ día	879.2	79.83	0.091	762.4	1018.5
Materia Seca, g/ kgPV ^{0.75 a} / día	38.67	2.59	0.067	33.88	42.04
Materia Orgánica, g/ animal/ día	831.2	75.10	0.090	722.1	961.8
Materia Orgánica, g/ kgPV ^{0.75} / día	12.91	0.830	0.064	11.23	14.23
Energía Bruta, kcal/ animal/ día	3858.0	351.0	0.091	3342.0	4471.4
Energía Bruta, kcal/ kgPV ^{0.75} /día	169.7	11.38	0.067	148.9	184.5
Proteína Cruda, g/ animal/ día	76.93	8.590	0.112	61.81	91.92
Proteína Cruda, g/ kgPV ^{0.75} /día	3.38	0.304	0.090	2.80	3.79
FDN ^b , g/ kgPV ^{0.75} / día	21.68	1.41	0.065	18.47	23.41
Carbono, g/ animal/ día	400.9	36.35	0.091	347.90	464.3
Carbono, g/ kgPV ^{0.75} / día	17.63	1.18	0.067	15.43	19.16
Nitrógeno, g/ animal/día	12.31	1.37	0.112	9.89	14.71
Nitrógeno, g/ kgPV ^{0.75} / día	0.541	0.049	0.090	0.449	0.606
Agua, L/animal/día	2.39	0.499	0.209	1.00	3.81
Agua, ml/ kgPV ^{0.75} /día	105.1	20.49	0.195	46.04	166.8

Donde ^a: Peso metabólico, ^b: Fibra Detergente Neutra

Tabla 17. Consumo de alimento y producción de gases de alpacas (CH₄, CO₂, O₂) tratadas con una dieta mantenimiento /24 horas.

	<i>Alpaca</i> 1	<i>Alpaca</i> 2	<i>Alpaca</i> 3	<i>Alpaca</i> 4	<i>Alpaca</i> 5	Promedio (n:5)	SD
Variables registradas							
Peso vivo (kg)	64.8	60.6	59.8	66.2	70.4	64.4	3.87
Peso metabólico (kg)	22.8	21.7	21.5	23.2	24.3	22.7	1.02
Consumo de alimento							
Materia Seca, kg/día	0.390	0.780	0.628	0.441	0.724	0.592	0.154
Materia Orgánica, kg/día	0.370	0.735	0.591	0.414	0.686	0.559	0.145
Proteína Cruda, kg/día	0.030	0.075	0.060	0.045	0.059	0.054	0.015
FDN ^b , kg/día	0.224	0.428	0.345	0.239	0.412	0.329	0.085
Energía Bruta, kcal/día	1706.1	3427.9	2758.3	1937.4	3172.9	2600.5	674.8
Producción de metano							
CH ₄ ^c , g/día	14.6	19.2	15.8	13.9	21.3	17.0	2.83
CH ₄ ^c , g/kgPM ^a	0.640	0.866	0.733	0.601	0.876	0.747	0.165
CH ₄ ^c , g/kg MO consumido	39.5	26.2	26.6	33.7	31.0	31.4	4.92
Producción de Dióxido de Carbono							
CO ₂ ^d , g/día	203.1	228.2	210.5	182.2	264.2	217.6	27.6
CO ₂ ^d , g/kgPM ^a	8.89	10.5	9.79	7.85	10.87	9.58	1.0
Consumo de Oxígeno							
O ₂ ^e , g/día	619.8	600.5	559.3	494.4	505.2	555.9	49.9
O ₂ ^e , g/ kgPM ^a	27.14	27.65	26.01	21.30	20.79	24.58	2.68

Donde ^a: Kilogramos de peso metabólico, ^b: Fibra Detergente Neutra, ^c: metano, ^d: Dióxido de Carbono, ^e: Oxígeno.

Anexo 18. Excreción de nutrientes en heces y orina, empleando una dieta de mantenimiento (40 g/MS PV ^{0.75})

Variables registradas	Promedio (n:5)	SD	CV (%)	Min	Max
Peso vivo, kg	64.36	3.87	0.060	59.80	70.40
Peso metabólico, kg	22.72	1.02	0.045	21.50	24.30
Excretado					
Heces					
Materia Seca, g/ animal/ día	308.3	59.64	0.193	236.0	483.4
Energía Bruta, kcal/ animal/ día	1382.4	265.1	0.192	1043.6	2137.4
Proteína Cruda, g/ animal/ día	36.50	8.08	0.221	24.38	56.73
FDN, g/ animal/ día	229.0	43.41	0.190	168.9	345.8
Carbono, g/ animal/ día	141.8	27.77	0.196	109.4	224.1
Nitrógeno, g/ animal/día	5.84	1.29	0.221	3.90	9.08
Orina					
Materia Seca, g/ animal/ día	25.19	8.05	0.319	12.15	46.72
Energía Bruta, kcal/ animal/ día	62.63	19.78	0.316	29.36	112.9
Proteína Cruda, g/ animal/ día	13.73	4.90	0.357	7.35	28.27
Carbono, g/ animal/ día	6.92	2.20	0.318	3.20	12.31
Nitrógeno, g/ animal/día	2.20	0.783	0.357	1.18	4.52

Donde ^a: Peso metabólico, ^b: Fibra Detergente Neutra

Anexo 19. Retención y digestibilidad de nutrientes, empleando una dieta de mantenimiento (40 g/MS PV^{0.75}).

Variables registradas	Promedio (n:5)	SD	CV (%)	Min	Max
Peso vivo, kg	64.36	3.87	0.060	59.80	70.40
Peso metabólico, kg	22.72	1.02	0.045	21.50	24.30
Retenido					
Materia Seca, g/ animal/ día	545.7	84.26	0.154	401.6	672.9
Materia Seca, g /kgPV ^{0.75} /día	23.99	3.29	0.137	17.31	29.17
Materia Orgánica, g/ animal/ día	512.5	79.27	0.155	380.1	640.0
Materia Orgánica, g /kgPV ^{0.75} /día	22.53	3.06	0.136	16.38	27.43
Energía Bruta, kcal/ animal/ día	2413.0	378.7	0.157	1774.1	3017.7
Energía Bruta, kcal/kgPV ^{0.75} /día	106.1	14.61	0.138	76.44	128.82
Proteína Cruda, g/ animal/ día	40.43	9.32	0.230	25.48	55.83
Proteína Cruda, g/kgPV ^{0.75} /día	1.78	0.380	0.214	1.10	2.41
FDN ^b , g/ animal/ día	263.8	55.87	0.212	166.8	358.9
FDN ^b , g/kgPV ^{0.75} /día	11.59	2.26	0.195	7.19	15.11
Carbono, g/ animal/ día	252.2	38.45	0.152	188.1	311.1
Carbono, g/kgPV ^{0.75} /día	11.09	1.49	0.135	8.11	13.45
Nitrógeno, g/ animal/día	4.27	1.51	0.354	1.27	7.43
Nitrógeno, g/kgPV ^{0.75} /día	0.188	0.066	0.350	0.055	0.320
Digestibilidad %					
Materia Seca	64.79	6.51	0.101	50.87	74.74
Materia Orgánica	63.87	6.69	0.105	49.36	74.05
Proteína Cruda	52.40	9.48	0.181	35.11	68.81
Energía Bruta	64.02	6.64	0.104	49.11	74.53
FDN ^b	53.30	8.79	0.165	35.07	68.00
C ^c	64.50	6.57	0.102	49.99	74.32
N ^d	52.39	9.48	0.181	35.10	68.81

Donde ^a: Peso metabólico, ^b: Fibra Detergente Neutra, ^c: Carbono, ^d: Nitrógeno.