

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIA ANIMAL



**“ESTATUS DE SELENIO Y ZINC EN ALPACAS (*Vicugna pacos*) AL
PASTOREO EN ZONAS ALTOANDINAS”**

Presentada por:

SERGIO ANTONIO VARGAS MENDIVIL

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR
DOCTORIS PHILOSOPHIAE EN CIENCIA ANIMAL**

Lima – Perú

2023

Tesis Doctorado- Vargas

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	6%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	www.researchsquare.com Fuente de Internet	1%
4	xdocs.net Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	1%
6	www.bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1%
7	link.springer.com Fuente de Internet	<1%
8	orcid.org Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad de Valladolid Trabajo del estudiante	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIA ANIMAL

**“ESTATUS DE SELENIO Y ZINC EN ALPACAS (*Vicugna pacos*) AL
PASTOREO EN ZONAS ALTOANDINAS”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR
DOCTORIS PHILOSOPHIAE**

Presentada por:

SERGIO ANTONIO VARGAS MENDIVIL

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Victor Guevara Carrasco
PRESIDENTE

Ph.D. Carlos Gómez Bravo
ASESOR

Ph.D. Mariano Echevarria Rojas
CO-ASESOR

Dra. María Elena Villanueva Espinoza
MIEMBRO

Ph.D. Gustavo Gutiérrez Reynoso
MIEMBRO

Dra. Doris Chirino Peinado
MIEMBRO EXTERNO

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	SELENIO	3
2.1.1	Funciones	3
2.1.2	Metabolismo de selenio	4
2.1.3	Requerimientos	8
2.1.4	Deficiencia	9
2.1.5	Toxicidad	10
2.2	ZINC	10
2.2.1	Funciones	11
2.2.2	Metabolismo de zinc	11
2.2.3	Requerimientos	14
2.2.4	Deficiencia	14
2.2.5	Toxicidad	15
2.3	VALORACIÓN DEL ESTATUS NUTRICIONAL DE SELENIO Y ZINC	16
III.	MATERIALES Y METÓDOS	26
3.1	CONCENTRACIONES DE ZINC Y SELENIO EN LOS PASTOS CONSUMIDOS EN ALPACAS AL PASTOREO EN CUATRO LOCALIDADES DEL PERÚ 26	
3.1.1	Localización	26
3.1.2	Metodología	27
3.1.3	Análisis de muestras	28
3.1.4	Análisis estadístico	29
3.2	CONCENTRACIÓN DE SELENIO EN SANGRE ENTERA Y DE ZINC EN SUERO SANGUÍNEO EN ALPACAS MADRES Y SUS CRÍAS	30
3.2.1	Localización	30
3.2.2	Animales experimentales	30
3.2.3	Metodología	31
3.2.4	Análisis de muestras	32
3.2.5	Análisis estadístico	33
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1	CONCENTRACIONES DE ZINC Y SELENIO EN LOS PASTOS CONSUMIDOS EN ALPACAS AL PASTOREO EN CUATRO LOCALIDADES DEL PERÚ 36	
4.1.1	Concentración de zinc en dietas seleccionadas por alpacas al pastoreo	37

4.1.2	Concentración de selenio en dietas seleccionadas por alpacas al pastoreo	40
4.2	CONCENTRACIÓN DE SELENIO EN SANGRE ENTERA Y DE ZINC EN SUERO SANGUÍNEO EN ALPACAS MADRES Y SUS CRÍAS	42
4.2.1	Concentraciones de selenio y zinc en dietas seleccionadas por alpacas al pastoreo.....	42
4.2.2	Concentraciones de selenio en sangre entera y zinc en suero sanguíneo de alpacas madres y crías	45
V.	CONCLUSIONES.....	54
VI.	RECOMENDACIONES	56
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
VIII.	ANEXOS	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Concentración de zinc en dietas seleccionadas por alpacas al pastoreo según época.	38
Tabla 2. Concentración de zinc en dietas seleccionadas por alpacas al pastoreo según localidad y época.	39
Tabla 3. Concentración de selenio en dietas seleccionadas por alpacas al pastoreo según localidad y época.	42
Tabla 4. Concentraciones de selenio y zinc en dietas seleccionadas por alpacas	43
Tabla 5. Concentraciones de selenio en sangre entera y zinc en suero sanguíneo de alpacas madres durante los tres estados fisiológicos.....	45
Tabla 6. Posibles concentraciones de selenio en sangre entera y zinc en suero sanguíneo, que podrían generar deficiencias:	45
Tabla 7. Concentraciones de selenio en sangre entera y zinc en suero sanguíneo de alpacas crías durante los dos estados fisiológicos.....	48
Tabla 8. Correlaciones entre concentración de zinc en suero sanguíneo entre madres y crías en dos estados fisiológicos.....	49
Tabla 9. Correlaciones entre concentración de selenio en sangre entera entre madres y crías en dos estados fisiológicos.....	50
Tabla 10. Concentraciones de selenio en sangre entera y zinc en suero sanguíneo en alpacas madres y crías durante los diferentes estados fisiológicos.	50

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Composición florística determinadas en las cuatro localidades.	72
Anexo 2.	Concentraciones de zinc, proteína cruda y fibra detergente acida en dietas seleccionadas en alpacas según localidad.	74
Anexo 3.	Resultados del análisis estadístico de la concentración de zinc en dietas seleccionadas por las alpacas.	74
Anexo 4.	Resultados del análisis estadístico de la proteína cruda en dietas seleccionadas por las alpacas.	75
Anexo 5.	Resultados del análisis estadístico de la fibra detergente acida en dietas seleccionadas por las alpacas.	76
Anexo 6.	Composición florística de la cancha durante el estado de preparto.	77
Anexo 7.	Composición florística de la cancha durante el estado de post parto.	77
Anexo 8.	Composición florística de la cancha durante la etapa de lactación tardía.	78
Anexo 9.	Concentraciones de selenio en sangre entera y zinc en suero sanguíneo de las alpacas madres durante los tres estados fisiológicos.	78
Anexo 10.	Análisis estadístico de la concentración de selenio en sangre entera de alpacas madres durante los tres estados fisiológicos.	79
Anexo 11.	Análisis estadístico de la concentración de zinc en suero de alpacas madres durante los tres estados fisiológicos.	80
Anexo 12.	Análisis estadístico de la concentración de selenio en sangre entera de alpacas crías durante los dos estados fisiológicos.	81
Anexo 13.	Análisis estadístico de la concentración de zinc en suero de alpacas crías durante los dos estados fisiológicos.	82
Anexo 14.	Concentraciones de selenio y zinc en alpacas madres y crías 10 días post parto.	82
Anexo 15.	Concentraciones de selenio y zinc en alpacas madres y crías durante lactación tardía.	83
Anexo 16.	Correlación de zinc en suero entre madres y crías 10 días post parto.	84
Anexo 17.	Correlación de zinc en suero entre madres y crías durante lactación tardía.	84
Anexo 18.	Correlación de selenio en sangre entera entre madres y crías 10 días post parto.	84
Anexo 19.	Correlación de selenio en sangre entera entre madres y crías durante lactación tardía.	85
Anexo 20.	Evidencia fotográfica del estudio.	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de muestreo de las alpacas madres y crías durante los diferentes estados fisiológicos según manejo productivo	31
---	----

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar el estatus de selenio y zinc en alpacas al pastoreo en los Andes Peruanos. En una primera parte, se obtuvieron muestras de los pastos que consumen las alpacas en cuatro localidades ubicadas en tres departamentos del Perú: Junín (Sociedad Agrícola Social Túpac Amaru), Pasco (Cooperativa Comunal San Pedro de Racco) y Puno (Estación Experimental Illpa-Puno y Centro de Investigación y Producción Chuquibambilla), no se encontraron diferencias en el contenido de zinc entre dichas localidades, no obstante, el contenido de zinc fue mayor durante la época húmeda (42.9 mg/kg) a comparación de la época seca (29.9 mg/kg) ($P < 0.05$), clasificándose en base al contenido como adecuado y marginal respectivamente. Con respecto a selenio, el contenido fue considerado como marginal y adecuado dependiendo de la época y la localidad. En una segunda parte, se obtuvieron muestras de sangre entera y suero sanguíneo de las alpacas hembra: preparto, 10 días post parto y lactación tardía, asimismo de sus respectivas crías (a 10 días de nacidas y lactación tardía), sumado a los pastos consumidos en dichos estados fisiológicos, llevándose a cabo en el departamento de Puno (localidad Quiswarañi). El contenido de las dietas seleccionadas no llega a suplir los requerimientos de las alpacas para los estados fisiológicos que atraviesan (preñez y lactación) para ambos minerales (Se y Zn). La concentración de zinc en suero sanguíneo de las alpacas madres varió entre los estados fisiológicos, siendo mayor pasados los 10 días de haber parido (0.26 $\mu\text{g/ml}$) ($P < 0.05$), a comparación de cuando estaban en preparto (0.154 $\mu\text{g/ml}$) y durante la lactancia tardía (0.05 $\mu\text{g/ml}$). A diferencia del zinc, en el caso del selenio, no se encontraron diferencias con respecto a su concentración entre los estados fisiológicos estudiados.

Palabras claves: Alpacas, selenio, zinc, estatus.

ABSTRACT

The objective of the present study was to determine the status of selenium and zinc in grazing alpacas at the Peruvian Andes. In a first part, samples of the pastures consumed by alpacas were obtained in four localities from three departments of Peru: Junín (Sociedad Agrícola Social Túpac Amaru), Pasco (Cooperativa Comunal San Pedro de Racco) and Puno (Estación Experimental Illpa- Puno and Chuquibambilla Research and Production Center), no differences were found in the zinc content between these localities, however, the zinc content was higher during the wet season (42.9 mg/kg) compared to the dry season (29.9 mg/kg) ($P < 0.05$), classified based on the content as adequate and marginal respectively. Regarding selenium, the content was considered as marginal and adequate depending on the season and locality. In a second part, blood samples were obtained from the female alpacas: prepartum, 10 days postpartum and late lactation, as well as their respective offspring (10 days old and late lactation), added to the pastures consumed in these physiological states, this second phase was in the department of Puno (Quiswarañi locality). The content of the selected diets doesn't meet the requirements of the alpacas for the physiological states they go through (pregnancy and lactation) for both minerals (Se and Zn). The concentration of zinc in blood serum of mother alpacas varied between physiological states, being higher after 10 days of giving birth (0.26 $\mu\text{g/ml}$) ($P < 0.05$), compared to when they were in prepartum (0.154 $\mu\text{g/ml}$) and during late lactation (0.05 $\mu\text{g/ml}$). Unlike zinc, in the case of selenium, no differences were found with respect to its concentration between the physiological states studied.

Key words: Alpacas, selenium, zinc, status.

I. INTRODUCCIÓN

Los camélidos Sudamericanos están representados por 4 especies: alpaca (*Lama pacos*), guanaco (*Lama guanicoe*), llama (*Lama glama*) y vicuña (*Lama vicugna*), siendo la alpaca y llama las especies domesticadas. La alpaca es criada principalmente para la producción de fibra, no obstante, también para el consumo de su carne, existen dos razas Huacaya y Suri, encontrándose masificada la crianza de la raza Huacaya (San Martín y Bryant 1989). Según CENAGRO (2012), la Sierra del Perú es la región natural con mayor porcentaje de alpacas, teniendo mayor concentración de estos ejemplares en el piso altitudinal Puna (77,3 por ciento del total de la población).

Los minerales cumplen funciones esenciales para la vida; siendo fundamentales en el desempeño productivo, reproductivo e inmunológico de todo ser vivo. El selenio está relacionado con la actividad antioxidante y el crecimiento animal, siendo parte de la enzima glutatión peroxidasa y de la enzima 5-monodesyodinasas. El zinc participa como cofactor y componente integral de moléculas (estructurales o funcionales), teniendo repercusiones inmunológicas, metabólicas y de desempeño. El estatus de un mineral se define como la determinación de la concentración de dicho mineral a nivel del suelo, dieta y sangre; así como la interpretación de los resultados a fin de obtener una vista panorámica de la repercusión de dicho mineral en el desempeño productivo del animal. Sin embargo, en algunos casos únicamente se realiza el análisis de los minerales en muestras de sangre, ya que las muestras de las dietas que consumen los animales son difíciles de determinar por la cantidad ingerida y la composición que poseen, así como los distintos factores que podrían alterar la concentración de un determinado mineral (fuente, composición e interacción) (Herdt y Hoff 2011).

Existen disponibles distintos informes y artículos, en los cuales se ha determinado el estatus de distintos minerales en distintas especies: bovinos (Thompson y Reid 1981; Ndebele *et al.* 2005; Slavík *et al.* 2007), caprinos (Vilallonga *et al.* 2012; Milczarek *et al.* 2018; Liu *et*

al. 2020), ovinos (Espinoza *et al.* 1982; Kojouri *et al.* 2011; Ademi *et al.* 2017) y camélidos (Herdt 1995; Seboussi *et al.* 2010). No obstante, es escasa la información en lo que respecta al estatus mineral de selenio y zinc en alpacas, siendo casi en su mayoría, información proveniente de Europa (Husakova *et al.* 2014; Pechová *et al.* 2018), Norteamérica (Van Saun y Herdt 2014) y Oceanía (Judson 1999; Judson *et al.* 2011).

En el Perú, son escasos los estudios relacionados al estatus mineral en alpacas (Quispe 2016; Quispe 2019), siendo la mayoría fraccionados, determinando las concentraciones de minerales en los pastos (Kalinowski 1970; Echevarria 1970; Gomez 1984; San martín 1991) o determinando las concentraciones de minerales en los tejidos proveniente de las alpacas (Rosales 1979; Davila *et al.* 2014; Rodriguez *et al.* 2016; Iquize 2017; Mollehuanca 2018; Soto 2019). Se desconocen las concentraciones de selenio y zinc en los pastos consumidos por las alpacas al pastoreo, asimismo, las concentraciones de estos en su sangre; desconociendo si ambos micro minerales se encuentran en niveles adecuados o deficientes y la repercusión que ello tendría en los distintos estados fisiológicos en las alpacas. Por lo tanto; los objetivos del presente estudio fueron: determinar las concentraciones de zinc y selenio en pastos consumidos por alpacas durante las épocas seca y húmeda en cuatro localidades altoandinas; y determinar el estatus de selenio y zinc en alpacas al pastoreo en los Andes Peruanos con estados fisiológicos críticos (gestación y lactación).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 SELENIO

El selenio se encuentra clasificado como un micro mineral, siendo considerado un no metal, es un anión o se encuentra formando parte de un grupo aniónico (selenito SeO^{-2}_3) (Georgievski 1982), con número atómico 34 y un peso atómico de 78.96, con una configuración electrónica de $(1s^2, 2s^2p^6, 3s^2p^6, 4s^23d^{10}4p^4)$, puede encontrarse en su forma reducida -2 estado de oxidación (selenuro, con el orbital p lleno), +4 (selenito, con el orbital p vacío) y +6 (selenato, con el orbital p vacío e incompleto el orbital d) (McDowell 2003).

2.1.1 Funciones

El selenio posee diversas funciones dependiendo de la proteína a la cual este asociada, forma parte de la enzima glutatión peroxidasa (GSH-Px), dicha enzima evita el daño en las membranas lipídicas (peroxidación de los ácidos grasos) de las células frente a especies reactivas de oxígeno (peróxidos), siendo la segunda línea de defensa, cuando la vitamina E falla en su acción (Church 2001; McDowell 2003), existen 8 tipos de glutatión peroxidasa, pero solo 4 son dependientes de selenio (GSH-Px-1, 2, 3 y 4) (Mehdi *et al.* 2013). También, el selenio es componente de la selenoproteína P, la cual se encuentra en el plasma o en el suero, esta proteína interviene en la homeostasis y el transporte de selenio en los tejidos, además forma complejos con metales pesados: mercurio, plomo y cadmio, evitando la toxicidad por parte de estos (McDowell 2003; Hall *et al.* 2012) y participa en la eliminación del peroxinitrito (combinación de radicales de procesos inflamatorios). Por otro lado, el selenio se encuentra asociado a la enzima mono desyodinasa (iodotironina 5' desiodinasa) que convierte la (L-tiroxina) tetratiroxina (T_4) en triyodotironina (T_3) (3,3',5 triiodotironina, forma activa, involucrada en el crecimiento, desarrollo de músculos y huesos, metabolismo de proteínas, grasas y carbohidratos, etc.). Dentro del organismo se pueden distinguir tres tipos de desyodinasa: Tipo I, II y III.

El tipo I está presente en el plasma y se distribuye en un amplio rango de tejidos (hígado, riñón, tiroides y grasa parda), además modula la expresión génica de la T₃. El tipo II se encuentra en el sistema nervioso central, grasa parda y músculo esquelético, cumpliendo un rol en la activación de la hormona tiroides. El tipo III posee actividad fetal y participa en la inactivación de la hormona tiroides, se encuentra presente en la placenta, útero, feto y en el sistema nervioso central (McDowell 2003; Mehdi *et al.* 2013; Van Saun 2014).

Además de lo ya mencionado, el selenio está formando parte de: La selenoproteína W, 15kd y 34 kd (relacionadas al testículo y próstata), la tiorredoxina reductasa (la cual es importante para la síntesis de deoxinucleótidos, inhibe la apoptosis celular y la disminución de las concentraciones de tiorredoxinas), la selenio fosfato sintetasa 2 (involucrada en el proceso de activación del selenio para la síntesis seleniocisteína), la metionina R sulfóxido reductasa y la cápsula mitocondrial selenoproteína (McDowell 2003; Herdt 2011; Mehdi *et al.* 2013; Mehdi y Dufrasne 2016).

Por otra parte, el selenio también está involucrado en la modulación de la expresión del ARN mensajero de los genes de la apoptosis y de la misma apoptosis de las células germinales durante la espermatogénesis (Shi *et al.* 2010) e influye en el sistema inmunológico, en la formación y la actividad de las células natural killer, citotóxica T y las T helper. La suplementación con selenio mejora la actividad del superóxido dismutasa y catalasa, aumenta los niveles α -tocoferol, disminuye los niveles del malondialdehído y mantiene niveles bajos de especies reactivas de oxígeno y peróxido de hidrogeno (Gong y Xiao 2018).

2.1.2 Metabolismo de selenio

Homeostasis

El equilibrio de selenio dentro del animal se va dar dependiendo del estado nutricional en el que se encuentre respecto a dicho mineral, a más requerimiento que exija el animal, más absorción y retención tendrá, no obstante, si el animal posee adecuados niveles de selenio y este es suplementado, aumentará la excreción de este mineral a nivel de heces y orina, cabe mencionar que dependerá de la fuente de suplementación, si es por vía oral será eliminado por heces y si es vía parenteral será eliminado a través de la orina (Church 2001; Seboussi *et al.* 2008). El órgano encargado de retener y liberar selenio, tanto en momentos de deficiencia como de toxicidad es el hígado. Sin embargo, Čobanová *et al.* (2016), mencionan que los riñones juegan un papel importante en el equilibrio de este mineral, siendo la corteza

renal participe en la producción de las enzimas glutatión peroxidasa del plasma y la yodotironina 5'-desyodasa tipo I. Asimismo, el riñón es el principal almacén de selenio cuando hay suplementación a baja concentración, sin embargo, cuando la suplementación es a alta concentración, el hígado se encarga de almacenarlo (Faye y Seboussi 2009; Seboussi *et al.* 2010).

Absorción y excreción

Dependiendo de la fuente: orgánica e inorgánica, el selenio puede estar como selenio metionina, selenio cisteína (ambas provenientes de plantas), selenato de sodio y selenito de sodio (provenientes de bloques minerales), una vez que es consumido y llega al rumen, dependiendo del estado de oxidación en que se encuentre (selenito o selenato), cierta cantidad es reducida a su forma elemental (Se^0) o a selenuro (Se^{-2}), a comparación de los aminoácidos con selenio: selenio metionina y selenio cisteína, los cuales no sufren alteración a nivel del rumen (Van Saun y Cebra 2014). No obstante, cualquiera de las formas en que se encuentre el selenio, puede ser utilizado por las bacterias ruminales incorporándolas en sus proteínas microbiales o formando selenio elemental (Galbraith *et al.* 2016). La formación de selenio elemental a nivel de rumen o en el caso de las alpacas en el primer compartimiento (C1, el cual actúa como rumen), se debe a la presencia de bacterias del género *Prevotella* (Carroll *et al.* 2019), las cuales reducen la disponibilidad del selenio en la dieta, transformándolo a selenio elemental (Čobanová *et al.* 2016). se ha demostrado que, en rumiantes, la incorporación de selenio y formación proteína microbial está a cargo de las bacterias del género *butyrivibrio* (Hudman y Glenn 1985; Hendawy *et al.* 2022), las cuales también se encuentran en el primer compartimiento (C1) de las alpacas (Chao *et al.* 2019). Asimismo, la incorporación de selenio por parte de las bacterias del rumen puede ser afectada por la presencia del azufre (sulfato cambia el pH, generando la formación de selenio no disponible) (Church 2001; Fowler 2010; Herdt 2011; Van Saun 2014). Las distintas formas de selenio siguen su ruta a través de los distintos compartimientos del estómago, siendo el selenio elemental, no absorbido y eliminado directamente a través de las heces. Los aminoácidos con selenio, los cuales fueron utilizados para su incorporación por parte de las bacterias son extraídos a partir de la lisis de dichos microorganismos a nivel del abomaso (Galbraith *et al.* 2016) o tercer compartimiento (C3) en alpacas.

Si bien el selenio es modificado a nivel del rumen o el C1, este no es absorbido en dicho compartimiento, siendo la mayoría de selenio absorbido a nivel del duodeno, a este nivel

puede existir una interacción antagónica con el hierro, elevadas cantidades de este mineral reducen la absorción de selenio (Semevolos *et al.* 2013), si el hierro se encuentra en un estado de oxidación (+3) este con el selenio, precipitaran en forma de un complejo no asimilable por los enterocitos (Mehdi y Dufrasne 2016). En el caso de no existir interacciones antagónicas, el selenio es absorbido en el duodeno y dependiendo del estado de oxidación en el que se encuentre (+4, +6), además de la fuente de la que provenga (orgánica e inorgánica), el mecanismo de transporte a través de las cerdas intestinales puede variar: difusión simple o a través del mecanismo transcelular combinado con el glutatión (selenito), mecanismo paracelular o sodio /selenato cotransportador e intercambio selenato hidroxilo (selenato) (Church 2001; McDowell 2003, Goff 2018), sistema de transporte activo aminoácido neutral dependiente Na^+ y mecanismo basolateral bomba de $3\text{Na}^+/2\text{K}^+\text{ATPasa}$ (selenio metionina y selenio cisteína) (Church 2001; McDowell 2003; Schrauzer 2003; Goff 2018).

Una vez ingresadas en el torrente sanguíneo, estas diferentes formas de selenio son transportadas en el plasma por la selenoproteína P y por la albumina, acoplándose más el selenuro, producto de la acción de GSH y GSH reductasa sobre el selenito (Mehdi *et al.* 2013). Siendo incorporadas en las proteínas de los tejidos, sobre todo la selenio metionina, debido a que el ARN de transferencia met no distingue entre el aminoácido metionina y la selenio metionina (Čobanová *et al.* 2016). Entre los diversos órganos que son suministrados de selenio. El hígado, realiza la transformación de selenio metionina a selenio cisteína, este último es transformado a selenuro (cabe mencionar, que las formas inorgánicas, también son transformadas, selenato \rightarrow selenito \rightarrow selenuro), después a fosfato de selenio para finalmente usarlo para la síntesis de selenio cisteína para la formación de proteínas (como la familia de las glutatión peroxidasas, yodotironina desionidasa y tioredoxina reductasa). Se ha encontrado mayor concentración de selenio a nivel hígado, riñón, corazón, mucosa intestinal, músculo, bazo, lana y pelo (Church 2001; McDowell 2003; Faye y Seboussi 2009; Čobanová *et al.* 2016). Por el contrario, el tejido nervioso posee menor concentración de dicho mineral (Church 2001; McDowell 2003). Se ha reportado que la seleniocisteína se encuentra en mayor concentración en hígado y riñón, por otro lado, en el músculo y corazón se ha determinado mayor concentración de selenio metionina (Čobanová *et al.* 2016). Si bien la leche no posee grandes cantidades de selenio, en leche de vacas la mayor fracción de selenio se encuentra incorporada en la caseína, una fracción intermedia se encuentra en el suero de leche y una menor fracción en la grasa de la leche. Por otro lado, en sangre, el

selenio se encuentra en eritrocitos (glutatión peroxidasa tipo I, GPx1), unido a la α y β globulinas, lipoproteínas de baja y muy baja densidad y la albúmina (Mehdi y Dufrasne 2016). Las alpacas con colores oscuros de pelaje poseen mayor depósito de selenio a nivel de pelo que las de pelaje claro (Holasová *et al.* 2017).

La eliminación de selenio se puede dar directamente degradando la seleniometionina (acción de la metionina α , γ liasas) o por la ruta de selenuro, formando compuestos como dimetilselenol y trimetilselenio. Siendo el dimetilselenol eliminado por exhalación, el trimetilselenio por micción y encontrándose en heces directamente el selenio elemental y seleniometionina (Schrauzer 2003). Si hay un exceso de selenio, el hígado elimina cierta cantidad a través de la bilis, es reabsorbido a nivel del intestino delgado y redistribuido hacia el suero sanguíneo (unido a la albumina), con la finalidad de eliminarlo en la orina (excreción renal) (Ensley 2020). La forma principal en que se elimina el selenio en rumiantes es por medio de las heces (en monogástricos la forma principal de eliminación es a través de la orina), siendo el producto de la combinación del selenio elemental formado en el rumen y el selenio debido a las secreciones pancreáticas, biliares y gastrointestinales (Church 2001; McDowell 2003; Faye y Seboussi 2009).

Biodisponibilidad

La forma inorgánica (selenito) es menos absorbida a nivel del rumen, debido a su reducción y formación de complejos insolubles (McDowell 2003). aparte de lo mencionado, las formas inorgánicas se eliminan más rápido y no se retienen en el organismo a comparación de las formas orgánicas (Schrauzer *et al.* 2003), estas últimas son depositadas en altas concentraciones (Faye y Seboussi 2009; Mehdi y Dufrasne 2016). Asimismo, las fuentes orgánicas mejoran la respuesta contra el estrés oxidativo, reduciendo la concentración de malondialdehído (Gong y Xiao 2018). No obstante, ambas fuentes aumentan la concentración en plasma de selenio y a su vez la transferencia transplacentaria hacia la cría (Juniper, Rymer y Briens 2019). Por otro lado, en tejidos con alta demanda metabólica (hígado y riñón), la concentración de selenio no se ve afectada sea la fuente orgánica o inorgánica (Čobanová *et al.* 2016).

2.1.3 Requerimientos

Las alpacas para mantener una buena homeostasis deben consumir cierta cantidad de nutrientes obtenidos a partir de dietas, siendo en Sudamérica netamente a partir de los pastos naturales. No hay hasta la fecha experimentos, que indiquen la cantidad a dar por día o por peso de animal para las diferentes etapas fisiológicas que atraviesan los camélidos sudamericanos, sin embargo, se toman de referencia los requerimientos recomendados para otras especies.

McDowell (2003), hace una recopilación de los requerimientos a partir de las recomendaciones dadas por la NRC, donde la concentración de selenio adecuada en dietas para rumiantes (ovino, bovino de carne y de leche) va desde 0.10 mg/kg hasta 0.30 mg/kg de materia seca. Por otro lado, se infiere de lo mencionado por Church (2001), que dietas con concentraciones de selenio menores a 4 mg/kg de materia seca son adecuadas.

Por otra parte, Van Saun (2006), realizó una aproximación factorial acerca de los requerimientos de los diversos nutrientes en alpacas y llamas, proponiendo que para estadios fisiológicos de mantenimiento y crecimiento el requerimiento promedio es de 5.3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ del peso corporal y para los estadios fisiológicos de lactación y preñez el requerimiento promedio es de 6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ del peso corporal, lo que equivale a la concentración de selenio en la dieta consumida por alpaca por día desde 0.35 mg/kg hasta 0.42 mg/kg de materia seca para los estadios de mantenimiento y crecimiento; y de 0.40 mg/kg hasta 0.48 mg/kg para los estadios de lactación y preñez.

En el NRC (2007), hacen revisión de los diversos minerales y proponen los requerimientos para los pequeños rumiantes y camélidos del nuevo mundo (alpacas y llamas), no obstante, consideran un nivel de suplementación general de selenio para las alpacas de 0.74 mg/día, el cual es equivalente a la concentración de selenio en la dieta de 0.19 mg/kg de materia seca, sin mencionar los requerimientos que necesita esta especie en sus diferentes etapas fisiológicas. Por otro lado, Van Saun (2012), menciona que una cantidad razonable a suplementar de selenio diariamente sería una concentración entre 0.74 y 1.0 mg/por día, lo cual equivale a una concentración de selenio en dieta desde 0.82 mg/kg a 1.33 mg/kg de materia seca. Este mismo autor, participando en otra publicación (Van Saun 2014) actualizó los requerimientos previamente mencionados en el 2006, siendo estos de 6.5 a 6.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ del peso corporal, para los estadios de mantenimiento y crecimiento; de 7 a 7.5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ del peso

corporal para los estadios de gestación y lactación. Los cuales equivalen a una concentración de selenio en la dieta de 0.42 mg/kg a 0.5 mg/kg o ppm de materia seca.

Si bien estos requerimientos son basados en modelos factoriales, en dromedarios se realizaron algunos estudios probando distintas concentraciones de selenio, si bien los camélidos sudamericanos y los camélidos del viejo mundo son distintos, ambos pertenecen al mismo taxon, Faye y Seboussi (2009), realizaron una recopilación de dichos experimentos, recomendando que la suplementación de selenio en camellos debe ser de 0.01 – 0.02 mg/kg de peso vivo, equivalente a 4 – 8 mg por día y a 0.5 mg/kg – 1 mg/kg concentración de selenio en la dieta expresado en materia seca.

2.1.4 Deficiencia

Las deficiencias ocurren cuando la alpaca no llega a suplir de forma adecuada las demandas de selenio, la mínima concentración de selenio en dietas para evitar la generación de alguna sintomatología es de 0.03 mg/kg de materia seca (McDowell 2003). No obstante, Fowler (2010), menciona que dietas con concentración de selenio menor a 0.1 mg/kg de materia seca son consideradas inadecuadas en la mayoría de los animales de granja.

Se han identificado enfermedades causadas por la deficiencia de este mineral, como la del músculo blanco (Church 2001), la cual es producida por una degeneración de los músculos, esta puede darse en los recién nacidos, o pasados los 4 meses de nacidos (enfermedad del músculo blanco retrasada), en el animal se observa debilidad, rigidez y deterioro del músculo, en el músculo esquelético y corazón se observan estriaciones blancas, degeneración y necrosis. Otra enfermedad reportada por una deficiencia de selenio es la escápula voladora (desplazamiento latero dorsal de la escápula), la cual se produce por la ruptura del músculo serratos ventralis, debido a una miopatía degenerativa. También se ha reportado el desarrollo de anemia con formación de cuerpos de Heinz, pobre desempeño reproductivo (degeneración testicular y producción espermática dañada), retención de placenta, metritis, mastitis y una menor respuesta inmunológica (McDowell 2003; Faye y Seboussi 2009; Herdt y Hoff 2011). Además de lo ya mencionado, la deficiencia de selenio produce un mal funcionamiento en el metabolismo de la tiroides, generando una reducción en la tasa de crecimiento, resistencia a enfermedades y otros signos ya mencionados líneas arriba (Mehdi y Dufrasne 2016).

2.1.5 Toxicidad

La toxicidad por selenio está asociada a la ingesta de alta concentración de dicho mineral. Church (2001), menciona que dietas con concentración de selenio mayor a 5 mg/kg de materia seca, generan en la mayoría de las especies efectos tóxicos. Sin embargo, en una actualización dada por la NRC, ahora se considera un margen de hasta 5 mg/kg de materia seca (NRC 2007), lo cual coincide a lo mencionado por Van Saun (2012), dicho autor afirma que los rumiantes podrían tolerar dietas con mayor concentración de selenio, debido a las alteraciones que sufre a nivel del rumen, lo cual se sospecharía que podría ser similar en las alpacas.

Se pueden distinguir tres tipos de toxicidad: toxicosis aguda, vértigo ciego y enfermedad crónica alkali (Herdt y Hoff 2011). En la toxicosis aguda se pueden observar signos clínicos como aumento del tamaño de los linfonodos cervicales inferiores, pérdida en la coloración del pelo y alopecia (Faye y Seboussi 2009), si no es corregida, esta puede progresar y desarrollar sintomatologías similares a las otras dos enfermedades (vértigo ciego y alkali). La enfermedad vértigo ciego se produce por la ingesta de plantas acumuladoras de selenio, como el *astragalus* (Church 2001), caracterizada por producir en el animal, ceguera, dolor abdominal, excesiva salivación, parálisis, falla respiratoria, laminitis, elongación de las pezuñas, la muerte se produce porque el animal muere por inanición y por deshidratación. Al haber toxicidad, el animal tiene una respiración con olor a ajo (McDowell 2003). La enfermedad crónica alkali, se debe a un consumo prolongado de dietas con alto contenido de selenio, se caracteriza por emaciación, falta de vitalidad, atrofia cardiaca, cirrosis hepática, anemia, erosión de los huesos largos, pérdida de lana, fisuras y necrosis en las pezuñas. (Faye y Seboussi 2009; Herdt y Hoff 2011).

2.2 ZINC

El zinc se encuentra clasificado como micro mineral, es un catión divalente (Zn^{2+}) perteneciente al grupo II b de la tabla periódica (Georgievski 1982), con número atómico 30 y un peso atómico de 65.37 (McDowell 2003). El zinc está considerado como metal, no es estrictamente un metal en transición debido a que el orbital d se encuentra lleno ($1s^2, 2s^2p^6, 3s^2p^6, 4s^23d^{10}$) forma enlaces covalentes con ligandos como proteínas (específicamente con los átomos de azufre), aminoácidos (cisteína, histidina, glutamato y aspartato) y agua; la formación de complejos es relativamente débil a comparación de otros metales de transición (O'dell y Sunde 1997).

2.2.1 Funciones

Al estar en estado de oxidación +2, el zinc posee la habilidad de formar complejos estables con la cadena lateral de las proteínas, interactúa con un amplio rango de geometrías de coordinación y resiste procesos de óxido - reducción, siendo estas propiedades importantes para cumplir su función biológica (Hambidge, Casey y Krebs 1986). Forma parte de diferentes enzimas, como la fosfatasa alcalina, anhidrasa carbónica, ADN polimerasa, ribonucleasa (Church 2001), superóxido dismutasa, alcohol deshidrogenasa, carboxipeptidasa A y entre otras (McDowell 2003).

Además de lo previamente mencionado, este micro mineral está implicado en distintos sistemas biológicos, está relacionado con la producción, almacenaje y secreción de hormonas (testosterona, insulina y corticoesteroides), a nivel molecular como factor de transcripción “dedos de zinc”, en la tasa de crecimiento del animal (biosíntesis de ácidos nucleicos), con la piel y cicatrización de heridas (permite la degeneración nuclear, síntesis de colágeno), respuesta inmunológica (forma parte de la timulina, la cual permite el desarrollo del timo), balance de agua y cationes (mantiene el equilibrio en la cantidad de Na extracelular e intracelular y del transporte del mismo por la membrana), utilización de la vitamina A (implicancia con la proteína unida al retinol y transformación en su forma activa), desarrollo del sistema nervioso (sinapsis, formación de neuronas y migración neuronal) (McDowell 2003).

Suttle (2010), aparte de lo ya mencionado líneas arriba; adiciona que el zinc participa en el control del apetito, ya que la privación de zinc indirectamente produce una disminución en la expresión de la piruvato quinasa; debido al aumento de la expresión de la leptina, disminuyendo el consumo de carbohidratos (señal de saciedad). También participa en la absorción de grasas, ya que el páncreas produce la fosfolipasa A₂, una enzima dependiente de zinc, la cual está implicada en la facilitación de la absorción y formación de quilomicrones.

2.2.2 Metabolismo de zinc

Homeostasis

El encargado de mantener los niveles adecuados de este mineral es la proteína metalotioneína, la cual se activa cuando los niveles de zinc en plasma son elevados, generando la captura del Zn⁺² previniendo su liberación y ralentizando la utilización de este

por parte de las proteínas transportadoras (a nivel del torrente sanguíneo) o su exportación hacia la luz intestinal y en el caso de los hepatocitos hacia las globulinas del plasma sanguíneo (Church 2001; Goff 2018). Si bien la metalotioneína se encarga de regular la cantidad de zinc en intestino e hígado, existen otras proteínas de transporte que se encargan de mantener el equilibrio de este: las ZIP4 (que importan zinc) y las ZnT (secuestran zinc internamente) (McDowell 2003; Goff 2018). Los primeros órganos en acumular zinc frente a una intoxicación son el hígado, los riñones y los huesos, antes que órganos como el páncreas fallen en su acumulación (NRC 2005).

Absorción y excreción

El zinc puede estar en el forraje en forma de catión (Zn^{2+}), combinado con moléculas orgánicas (zinc proteínato, zinc metionina, zinc glicina y zinc propionato) y si se habla de suplementos, el zinc generalmente está en forma inorgánica, formando complejos con otros iones (sulfato de zinc, cloruro de zinc y óxido de zinc) (Shahid Hassan Mir *et al.* 2020).

En rumiantes la utilización de zinc a partir de fitatos no es un problema como en el caso de los monogástricos, a nivel del rumen, el zinc es separado del calcio a partir de la acción de la fitasa, una vez que es liberado, este puede ser utilizado por los microorganismos del rumen o puede acumularse en dicho compartimiento pero no absorberse (Wright *et al.* 2008), cabe mencionar que dichos microorganismos utilizan en su mayoría las fuentes inorgánicas y mantienen intactas las fuentes orgánicas, una vez que llega al abomaso, el zinc es liberado en su forma de ion por acción del ácido clorhídrico, sin importar de qué fuente proceda (orgánica o inorgánica), se presume que dietas altas en azufre pueden perjudicar la utilización de zinc, debido a que el sulfato a nivel del rumen es reducido a sulfuro y este al interactuar con el zinc forma un complejo no absorbible, siendo eliminado, sin embargo, a nivel del abomaso este complejo puede ser disociado y permitir la disponibilidad del zinc (Goff 2018; Shahid Hassan Mir *et al.* 2020). Después de atravesar el abomaso el zinc llega al intestino delgado, donde se produce su absorción neta, a nivel de los enterocitos el proceso de absorción de este mineral se da por tres mecanismos, los dos primeros son a nivel de la membrana apical de los enterocitos por medio de proteínas transportadoras (ZIP4, ZIP11, ZIP14), siendo la principal la ZIP4, también puede darse por parte de la proteína de transporte metal divalente 1 (DMT1) y el último mecanismo es del tipo paracelular a través de las uniones estrechas, este mecanismo se da cuando existe alta concentración de zinc o cuando se encuentra en complejos con aminoácidos. Cabe mencionar, que en el caso de

aminoácidos con zinc estos son transportados por el sistema Na^+/AA simporte y por el tipo de absorción paracelular con gran cantidad de agua. En presencia de altas cantidades de hierro, el zinc compite con el hierro para ser transportado por parte de la DMT1 a través de los enterocitos (Georgievski *et al.* 1982; Goff 2018).

Una vez dentro del enterocito, el zinc es llevado hacia la membrana basolateral con el objetivo de liberarlo al espacio intersticial a través de las proteínas transportadoras de zinc (ZnT1, 2, 4 y 7), principalmente por la ZnT1 (Goff 2018), luego es liberado al torrente sanguíneo, donde es transportado por las α 2-macroglobulinas, transferrinas y albuminas. Teniendo las primeras mencionadas mayor fuerza de unión con el zinc y las últimas mencionadas menor fuerza de unión con el zinc. A partir de la albumina el zinc es liberado, permitiendo la captación de este por parte de los tejidos, el 70 por ciento del zinc es transportado por la albumina y se distribuye a los distintos órganos. A nivel de hígado, este órgano obtiene el zinc a partir de la vena hepática (30 a 40 por ciento) a través de la ZIP2/3 y sale nuevamente a la circulación gracias a la ZnT1, una vez asimilado, el zinc es acoplado a distintas metaloenzimas (Wu 2017). Los órganos que poseen mayor tasa de recambio (turnover) son el páncreas, hígado, riñones y bazo. Por el contrario, el sistema nervioso y óseo poseen tasas de recambio bajas.

Se considera a la metalotioneína como una reserva de zinc, no obstante, esta solo cumple este rol cuando hay un exceso de este mineral, ya que en casos de deficiencia no se encuentra presente en las células, además, esta proteína en presencia de cobre (cuando hay una relación 50:1, Cu:Zn) y cadmio, puede perjudicar la absorción de zinc, ya que produce mayor secuestro de este, quedándose en la mucosa intestinal (McDowell 2003; Goff 2018). Otra proteína como el superóxido dismutasa hepática es considerada como una fuente de zinc. A nivel celular, el zinc se encuentra en mayor proporción en el citosol (debido a la su unión a proteínas), con menor cantidad en el núcleo y mitocondria. A nivel de órganos, el zinc está presente en hígado, hueso, riñón, páncreas, piel, pelo, lana, próstata, ojo, músculo, glándula pituitaria y adrenal (Church 2001; McDowell 2003), existiendo mayores depósitos en el músculo y hueso. A comparación con otros minerales, el zinc posee mayor concentración a nivel del pelo (Holasová *et al.* 2017). Finalmente, la eliminación del zinc se da principalmente a través de las heces, siendo conformado por zinc no absorbido y zinc endógeno (secreciones gastrointestinales, pancreáticas y biliares), también puede eliminarse en la orina, pero es en poca cantidad. La excreción de este micro mineral está en relación con los requerimientos por parte del animal (Church 2001; McDowell 2003).

Biodisponibilidad

Existen diferentes presentaciones para el consumo de zinc, siendo algunas más biodisponibles a comparación de otras, por ejemplo, el óxido de zinc, sulfato de zinc son formas ligeramente menos biodisponibles a comparación de las formas orgánicas de zinc (zinc metionina, zinc proteínato y zinc aminoácido quelado) (NRC 2005; Judson *et al.* 2018). Judson *et al.* (2018), determinaron por medio de un dispositivo de liberación controlada intraruminal, que del 100 por ciento de óxido de zinc, solo el 20 por ciento es utilizado para funciones biológicas o excretado por otras rutas y que el 80 por ciento restante es excretado vía heces.

2.2.3 Requerimientos

Al igual que en el caso de selenio, los requerimientos de zinc para alpacas se han determinado por aproximaciones factoriales, no se han realizado ensayos probando distintas concentraciones, por lo tanto, se toman en consideración los requerimientos para rumiantes. McDowell (2003), recopiló información a partir de la NRC, donde la concentración adecuada de zinc en las dietas de los rumiantes (ovino, caprino, bovino de carne y leche) oscila desde 10 mg/kg hasta 55 mg/kg de materia seca. Van Saun (2006), realizó una aproximación factorial, proponiendo que para estadios fisiológicos de mantenimiento y crecimiento el requerimiento promedio es de 0.53 mg/kg del peso corporal; para los estadios fisiológicos de lactación y preñez el requerimiento promedio es de 0.67 mg/kg del peso corporal, lo cual equivale a la concentración de zinc en la dieta por día alpaca de 35.3 mg/kg hasta 42.4 mg/kg para los estadios de mantenimiento y crecimiento; y de 44.6 mg/kg hasta 53.6 mg/kg para los estadios de lactación y preñez. No obstante, estos requerimientos aumentaron en una nueva publicación (Van Saun 2014), siendo de 0.56 mg/kg del peso corporal, para los estadios de mantenimiento y crecimiento; de 0.8 a 1.3 mg/kg del peso corporal para los estadios de gestación y lactación, lo cuales equivalen a la concentración de zinc en las dietas de 45 mg/kg a 60 mg/kg o ppm expresado en materia seca.

2.2.4 Deficiencia

Para observar signos de deficiencia Fowler (2010), considera que el consumo dietario debería ser menor a 0.05 mg/kg del peso corporal en zinc, es decir si consideramos las mismas variables mencionadas por Van Saun (2006) (60kg de peso vivo, consumo de materia seca de 1.25 a 1.5 por ciento del peso corporal), la concentración mínima de zinc en

la dieta debería ser de 3.33 mg/kg a 4 mg/kg de materia seca. El signo más marcado de deficiencia de zinc en animales es el retardo en el crecimiento, pero hablando de rumiantes (ya que no se ha reportado en camélidos sudamericanos), se observa retardo en la cicatrización de las heridas, rigidez en las uniones de las patas, rompimiento de la piel alrededor de la banda coronaria de las pezuñas, a nivel de lana esta se ve suelta, frágil y puede llegar a que la zona que pierde esa lana no vuelva a crecer, se ve el manto áspero con lesiones eczematosas. También se ha observado el engrosamiento de las células epiteliales (hiperqueratinización) y en machos se produce un desarrollo defectuoso de las gónadas sexuales (hipogonadismo) (Church 2001; McDowell, 2003). Clauss *et al.* (2004) observaron lesiones a nivel del puente de la nariz y orejas en alpacas con deficiencia de este micro mineral.

2.2.5 Toxicidad

El zinc al ser un metal en transición y si se encuentra en su forma ionizada puede ser peligroso, ya que actúa como un donador o aceptor de electrones, generando peroxidación de lípidos, pudiendo generar daños a nivel de la membrana celular, ADN y otras moléculas. Esto ocurriría en caso de una toxicosis, cuando no se da abasto las proteínas que se unen a los metales, causando la lisis celular (Goff 2018).

En rumiantes la concentración de zinc en el rango de 900 mg/kg a 1700 mg/kg de materia seca en dieta, generan signos clínicos de toxicidad (Church 2001), coincidiendo a lo mencionado por McDowell (2003), ambos autores además coinciden que ciertas especies como los cerdos tienen más resistencia a dietas altas en concentración de zinc a comparación de los rumiantes. La NRC (2005), realizó una revisión de toxicosis en diversos animales, clasificándolas en dos: aguda y crónica. La toxicosis aguda en ovinos produjo irritación y cierre del surco esofágico, graves lesiones en el abomaso, pancreatitis fibrosante, lesiones abdominales y cambios renales leves. En la toxicosis crónica, los signos clínicos observados en diversas especies se explican en relación con una deficiencia de cobre (alta producción de metalotioneína, se une el cobre e inhibe su absorción a nivel del enterocito), generando disminución en la función inmune, las lipoproteínas de alta densidad y el colesterol. Toxicosis crónicas en becerros generaron neumonías, diarreas, timpanismo, arritmias cardíacas y a nivel de necropsia se observó infartos en hígado, corazón y riñones. Por otro lado, ovinos con toxicosis crónicas presentaron disminuciones en la actividad de ceruloplasmina, superóxido dismutasa hepática, citocromo c oxidasa cardíaca, en la

concentración de cobre en el plasma, además de lesiones en a nivel renal, abortos y recién nacidos muertos.

Se sospecha que el consumo de alimentos con alta concentración de zinc produce alteraciones a nivel de las articulaciones de los miembros (hiperextensión metacarpofalangeal) en las alpacas, debido a que altos niveles de zinc inhibe la absorción de cobre, no obstante, esto aún se encuentra en debate (Semevolos *et al.* 2013).

2.3 VALORACIÓN DEL ESTATUS NUTRICIONAL DE SELENIO Y ZINC

La valoración del estado nutricional del selenio y zinc se da en tres niveles: suelo, planta y animal y entre estos niveles existen interrelaciones (suelo con planta, planta con animal y procesos fisiológicos dentro del animal), Van Saun y Herdt (2014), mencionan que la piedra angular en la valoración de un mineral es la medición del consumo de materia seca por parte de una alpaca, ya que sin este dato fundamental no podríamos apreciar cuanto de ambos micro minerales es lo que consumen. Por otro lado, se tiene que realizar una evaluación minuciosa de que pastos naturales seleccionan para su consumo, ya que, por sus hábitos, las alpacas están clasificadas como alimentadores selectivos. A partir de la determinación del consumo diario de una alpaca, sumado con la identificación de las especies forrajeras que consume y el análisis de estas con respecto al contenido de selenio y zinc que poseen, podríamos darnos una idea de cuanto de lo que consume la alpaca suple sus demandas diarias. No obstante, esta metodología es complicada y no precisa, debido al hábito de consumo que posee la alpaca, es por esto, que se miden los analitos en sangre para complementar la información obtenida de los posibles pastos que consume. Los resultados obtenidos a partir del análisis de analitos en sangre se tienen que considerar como una referencia y no un diagnóstico definitivo, ya que dependiendo de la fuente biológica (sangre, plasma, suero, calostro, leche, tejido hepático, pelos, etc.) y el efecto de la dieta (corto y largo plazo) existen varias interacciones dentro de la misma alpaca, las cuales podrían afectar las concentraciones de dichos minerales.

En el caso de selenio, Van Saun y Cebra (2014), mencionan que para valorar si las alpacas poseen una deficiencia en este micro mineral, puede ser medido en sangre, suero, tejido hepático o medir la actividad de la enzima glutatión peroxidasa, si bien en rumiantes existen diferencias entre la concentración de selenio en sangre y suero, en el caso de las alpacas existe una menor diferencia entre ambas fuentes, debido a que se ha determinado una mayor actividad del glutatión peroxidasa en el suero, cosa que en rumiantes se da más en glóbulos

rojos. Se considera deficiencia, cuando los valores son menores a 120 ng/ml, 80 ng/ml y 0.4 µg/g de peso seco, en sangre entera, suero y tejido hepático respectivamente. Con respecto al uso de la enzima glutatión peroxidasa como un indicador del estatus de selenio en alpacas, este no es un buen indicador. Ya que Husakova *et al.* (2014), en un estudio realizado en Europa (Alemania y Republica Checa) determinaron que la concentración de esta enzima es muy variable en relación con la concentración de selenio en sangre, si bien determinaron una correlación significativa pero no alta ($r=0.35$), el efecto de la suplementación no se ve reflejada en la concentración de la enzima. Por otro lado, la concentración de selenio encontradas en las alpacas incluidas en el estudio, no todas estaban en los rangos que mencionan Van Saun y Herdt (2014), siendo una concentración más baja, pudiéndose atribuir a la localización diferente de ambos estudios. A pesar de no estar en el rango, estas alpacas no presentaban signos clínicos de deficiencia. Es por esto, que propusieron que alpacas mayores a un año pueden poseer una concentración límite baja de 70 ng/ml en sangre. Por otro lado, encontraron que si hay diferencias en la concentración de selenio en sangre entre edades de alpacas (adultas con mayor concentración a comparación de las crías), mas no entre géneros.

Respecto a la evaluación de sangre entera y la actividad de la enzima glutatión peroxidasa, se conoce que el mayor porcentaje se halla en los eritrocitos, obteniéndose a partir de esta medición información acerca del pasado de la alimentación del animal, de previas semanas. Esto se explica por la vida media de los eritrocitos en animales domésticos, siendo de 100 días aproximadamente, sumado a que estos no incorporan selenio a la enzima glutatión peroxidasa, es decir una vez que se forman los eritrocitos a través del proceso de eritropoyesis estos no son capaces de incorporar selenio a la enzima. Por parte del plasma y suero sanguíneo, estos nos proporcionan información a corto plazo sobre el consumo de selenio (suplementación, corrección de una deficiencia) debido al transporte de dicho mineral por parte de ciertas proteínas, sin embargo, procesos inflamatorios y hemolisis perjudicarían su evaluación (Herdt 1995; Faye y Seboussi 2009; Herdt y Hoff 2011; Dalir-Naghadeh *et al.* 2015; Ensley 2020). Dalir-Naghadeh *et al.* (2015) propusieron valorar el estatus de selenio a partir de la concentración de selenio y la actividad del glutatión peroxidasa en plaquetas, mencionando que da información intermedia (por la vida corta de las plaquetas 5 a 9 días) acerca del estatus de este micromineral en el animal. Aparte de medir la actividad del glutatión peroxidasa, concentración de selenio en sangre entera, plasma y suero, también se puede medir la concentración del malondialdehído (MDA), el

cual es producido por el estrés oxidativo (Shi *et al.* 2010; Čobanová *et al.* 2016). Herdt (2011), menciona que entre estas opciones la más adecuada es medir el selenio en sangre entera ya que te da una combinación entre corto y largo plazo.

El estado fisiológico también afecta la concentración de selenio, en vacas el selenio es particionado hacia el feto desde la gestación media hasta la gestación tardía. En la gestación tardía, la concentración en suero sanguíneo de la madre disminuye debido a la transferencia transplacentaria, sin que se afecte la concentración en la sangre entera, una vez que paren, la concentración de selenio va aumentando conforme va avanzando la lactación, ya que, durante la producción leche el selenio posee baja concentración. En los recién nacidos la mayor concentración de selenio son en los eritrocitos e hígado (debido a los bajos niveles en leche, requiriendo una fuente que provea selenio), la concentración en suero aumenta una vez que la cría empieza a consumir alimento sólido (Rowntree *et al.* 2004; Herdt 2011; Ensley 2020).

A continuación, se hace una recopilación de información pertinente a la valoración de estatus de selenio en alpacas y llamas:

Espinoza *et al.* (1982), determinaron el estatus de diferentes minerales en ovejas y llamas criadas en Bolivia (estación experimental Patacamaya). Para el caso de selenio, la concentración en el forraje fue de 0.06 mg/kg en ambas temporadas (húmeda vs seca), en este mineral, si bien no había diferencia entre temporadas, las llamas y ovejas presentaron mayor concentración de selenio en el hígado durante la época húmeda a comparación de la época seca, concluyendo que estos animales tenían forrajes deficientes en selenio.

Herdt (1995), determinó la concentración de selenio en suero sanguíneo de llamas tanto en crías como en madres, obteniendo que la concentración de selenio desde 85 hasta 143 ng/ml es adecuada para las crías. Por otro lado, llamas gestantes con concentración de selenio de 160 ng/ml, dan a luz crías con adecuada concentración de selenio y que en un rebaño de llamas el promedio de selenio en suero debe de ser mayor o igual a 190 ng/ml. En este estudio no se observó que la concentración de selenio en el suero disminuye de gestación hacia el parto, también se obtuvo una correlación directa entre la concentración de selenio en el suero de la madre durante gestación ($r^2=0.28$) y parición ($r^2=0.26$) con la de la cría.

Smith *et al.* (1998), observaron en granjas que criaban llamas las concentraciones de distintos minerales, entre estos el selenio, en Estados Unidos (Oregón). Primero

determinaron la concentración de selenio en el forraje que consumían, obteniendo una concentración promedio de 0.03 mg/kg, siendo esta concentración muy por debajo del valor sugerido. Por otro lado, la concentración de selenio en sangre entera estuvo oscilando desde 44 hasta 351 ng/ml, presentando menor concentración llamas de hasta 12 meses de edad (164 ng/ml) a comparación de llamas adultas (202 ng/ml), proponiendo que una concentración límite baja sería de 70 ng/ml de selenio, ya que llamas con concentración de selenio menor a 100 ng/ml no presentaron signo alguno de deficiencia.

Judson *et al.* (1999), determinaron las concentraciones de minerales en alpacas criadas en Australia (Australia Sur y Victoria), entre estos minerales, el selenio fue evaluado en sangre entera. Las alpacas se alimentaban en general de gramíneas y solamente en una ganadería se alimentaban principalmente de alfalfa, además de heno y suplementos minerales, la concentración de selenio en dietas durante diferentes épocas del año (invierno-primavera, verano - otoño), presento un rango desde 0.03 hasta 0.36 mg/kg de materia seca en pasturas, en el heno el rango estaba entre 0.02 hasta 0.17 mg/kg de materia seca, y en el suplemento era de 0.2 hasta 2.3 mg/kg de materia seca. Según los autores, basándose en requerimientos sugeridos en bovinos y ovinos, mencionan que estaban en niveles bajos de selenio (0.05 mg/kg). La concentración de selenio en sangre entera estaba en un rango de 0.038 a 0.198 ng/ml. A pesar de que la alimentación era deficiente, únicamente se vio reflejado en algunas granjas y no en su totalidad. Se observaron que la concentración de selenio en sangre va aumentando conforme va creciendo las alpacas (de cría hasta adulto). A su vez, proponen los siguientes rangos para concentración de selenio en sangre entera basándose en diferentes edades: crías (0.0387-0.175), destetados (0.041-0.210), tuis (0.046-0.264) y adultos (0.052-0.247) todos en ng/ml.

Ellison (2006), encontró la concentración de selenio en sangre y suero de alpacas en Nueva Zelanda, además obtuvo una alta correlación ($r^2=0.86$) entre ambas muestras, es decir ambas fuentes son confiables para medir el estatus de selenio en alpacas. A partir de los datos que obtuvo, propuso un rango de concentración de selenio en sangre entera de alpaca de 0.028 a 0.22 ng/ml, donde concentración menor o mayor a los extremos indicarían una deficiencia o toxicidad respectivamente, para alpacas criadas en Nueva Zelanda.

Seboussi *et al.* (2008), evaluaron la suplementación de selenito de sodio en grupos de dromedarios hembras, dividiéndolas en tres grupos (0, 2 y 4 mg/día), obteniendo que la concentración de selenio en plasma, suero, actividad del glutatión peroxidasa aumentaban

en los grupos suplementados, asimismo aumento la excreción de selenio en heces y orina, teniendo esta última vía de excreción mayor concentración del mineral. La concentración de selenio en suero en los dromedarios sin tratamiento fue de 0.1536 ng/ml y con suplementación desde 0.301 hasta 0.370 ng/ ml.

Judson *et al.* (2011), determinaron el estatus de diferentes minerales en alpacas y ovejas que se encontraban pastoreando en la misma zona, obteniendo primero la concentración de selenio en los pastos consumidos (0.07- 0.23 mg/kg expresado en materia seca), la concentración de selenio recomendada por Van Saun (2006) es más alta (0.35-0.42 mg/kg expresados en materia seca). Tal como mencionan los autores, este requerimiento es más alto, por lo tanto, es una alimentación deficiente y se esperaría que estos animales en algunos casos presenten signos de deficiencia. Muy por el contrario, los animales no presentaron signos de deficiencia, la concentración de selenio en plasma fue de 0.152-0.243 ng/ml y la concentración de selenio en sangre entera fue de 0.140 – 0.203 ng/ml, aparentemente por no presentar signos algunos de deficiencia y tomando en consideración a lo mencionado por Judson *et al.* (1999), estas alpacas poseen concentración adecuada de selenio y sin el requerimiento mencionado por Van Saun (2006).

Rosadio *et al.* (2012), encontraron en vicuñas criadas en Huancavelica (Huaytará, Ayaví y Santa Rosa del Tambo) las concentraciones en suero de cobre, selenio y zinc, además de la relación que pueden tener con la presencia de caspa en los vellones de estas, obteniendo que en las tres comunidades las vicuñas presentaban alta concentración de selenio en suero (280 hasta 3560 ng/ml), basándose en una concentración normal de (200 a 210 ng/ml).

Van Saun y Herdt (2014), mencionan que la concentración de selenio en suero sanguíneo de alpacas en Norte América dentro de los rangos de 127 a 270 ng/ml no responden a un incremento de selenio en la dieta, por lo cual se entienden que están en una concentración adecuada. Por el contrario, alpacas con concentración de selenio menor o igual a 93 y 137 ng/ml si responderán a un aumento de selenio en la dieta. En el mismo documento ambos autores, proponen rangos de concentración de selenio en suero sanguíneo adecuados según categoría de edad (neonatos hasta adultos), oscilando la concentración de selenio desde 60 hasta 160 ng/ml. Para la concentración de selenio en sangre el rango va de 150 a 220 ng/ml. A parte de estos valores, también proponen concentración de selenio hepático para alpacas adultas y estando en desarrollo fetal, siendo los rangos esperados de 1 a 3 mg/kg y de 0.83 a 5.25 mg/kg de peso seco, respectivamente.

Holasová *et al.* (2017), hallaron en el pelo de alpacas, distintos minerales siendo uno de estos el selenio, mencionando que el pelo es un material biológico que queda aislado de las actividades metabólicas e indica la concentración de los elementos en termino de largo plazo y provee información acerca de su acumulación intracelular. Obteniendo que la concentración de selenio en el pelo de alpacas va desde 0.07 hasta 1.23 mg/kg de materia seca, además determinaron que alpacas con colores oscuros de pelaje poseen mayor concentración de selenio en el pelo a comparación de las de pelaje claro. Por otro lado, Seboussi *et al.* (2010) coinciden en la idea que la medición de la concentración de selenio en pelo refleja la suplementación recibida en animales. En este caso, obtuvo un aumento en la concentración de selenio en el pelo de dromedarios, conforme aumentaba la suplementación del mineral.

Tal como se puede observar la concentración de selenio en distintas fuentes biológicas (suero, plasma, sangre entera, hígado y pelo) son variables, pero todas coinciden en que los animales utilizados en dichos estudios poseían concentración adecuada de selenio, es decir no manifestaron signos clínicos de deficiencia o toxicidad (en algunos casos no se detalla), considerándose como referencia para el presente estudio. No obstante, la concentración de selenio en sangre entera basada en dichos artículos presenta amplia diferencia, variando la concentración desde el límite inferior adecuado de 0.028 ng/ml hasta una concentración límite superior adecuado de 220 ng/ml, estas diferencias pueden atribuirse al lugar de crianza, al tipo de alimentación y al estado de salud del animal. Por lo tanto, aun no existe un rango universal de concentración de selenio en sangre entera de alpacas para evaluar si este animal experimenta deficiencia o toxicidad, sirviendo la información como datos de referencia.

Con respecto a zinc, Van Saun y Cebra (2014), mencionan que para valorar si las alpacas poseen una deficiencia en dicho mineral, este puede ser medido en suero y en tejido hepático. A comparación de los rumiantes, las alpacas poseen menor concentración de zinc en suero sanguíneo. Si bien hay una relación entre la ingesta de zinc y la concentración en suero sanguíneo, no obstante, alguna alteración funcional puede ocurrir antes que disminuya la concentración de zinc en el suero sanguíneo (Herdt y Hoff 2011). También, existe una complejidad en el proceso de valoración de este mineral, puede presentar problemas desde la toma de muestra (tiempo prolongado de contacto con coagulo, materiales con revestimiento de zinc), hasta factores internos de la misma alpaca (secuestro por una respuesta inflamatoria), hipoalbuminemia (dos tercios del zinc esta unido a la albumina)

coincidiendo con lo mencionado por Ensley (2020). Una opción a parte de medir la concentración de zinc en tejido hepático sería la medición de la enzima fosfatasa alcalina, ya que es directamente proporcional a la concentración de zinc en el suero sanguíneo (Herdt y Hoff 2011; Ensley 2020).

A continuación, se hace una recopilación de información pertinente a la valoración de estatus de zinc en alpacas y llamas:

Espinoza *et al.* (1982), evaluaron el estatus de zinc en ovejas y llamas criadas en Bolivia (estación experimental Patacamaya). En el forraje, la concentración de zinc en época seca y húmeda fue de 24.5 mg/kg y 49.1 mg/kg, respectivamente (valor referencial 35 mg/kg). Por otro lado, la concentración de zinc hepático reflejó diferencias entre las épocas (mayor concentración durante época húmeda a comparación de época seca) coincidiendo a lo realizado por Ogwang (1988), no obstante, ambas concentraciones de zinc hepático eran menores de lo adecuado. Por otro lado, el zinc en plasma no reflejó diferencias entre épocas.

Smith *et al.* (1998), midieron las concentraciones de distintos minerales, entre estos el zinc, en granjas que criaban llamas en Estados Unidos (Oregón). La concentración de zinc en el forraje que consumían las llamas tenía un promedio de 21.8 mg/kg de materia seca, dicha concentración fue muy por debajo de la concentración sugerida. Por otro lado, la concentración de zinc en sangre tuvo un rango de 0.217 a 4.135 µg/ml, considerándola baja; aun así, las llamas con concentración de zinc menor a 0.5 µg/ml no presentaron signos de deficiencia.

Judson *et al.* (1999), determinaron las concentraciones de distintos minerales en alpacas criadas en Australia (Australia Sur y Victoria), entre estos minerales, el zinc fue evaluado en plasma. Las alpacas se alimentaban en general de gramíneas y solamente en un criadero se alimentaban principalmente de alfalfa, además de heno y suplementos minerales. La concentración de zinc en las diferentes épocas del año (invierno-primavera, verano - otoño), oscilaban desde 11 hasta 119 mg/kg de materia seca en pasturas, en heno el rango estaba entre 10 hasta 29 mg/kg de materia seca, y en el suplemento era de 119 hasta 676 mg/kg de materia seca. Acorde a los autores, basándose en concentraciones obtenidas de ovinos y bovinos, mencionan que en ciertas granjas poseían niveles bajos de zinc (20-30 mg/kg). La concentración de zinc en el plasma estaba en un rango de 0.216 a 0.464 µg/ml. A pesar de que la alimentación no suplía los requerimientos sugeridos, no fue reflejado en este

componente sanguíneo. No se observaron diferencias entre las edades de las alpacas respecto a la concentración de zinc en el plasma. A su vez, proponen el siguiente rango adecuado para la concentración de zinc en plasma para las alpacas en general, de 0.190 a 0.418 $\mu\text{g/ml}$.

Clauss *et al.* (2004), observaron deficiencia de zinc en un conjunto de alpacas criadas en Alemania, estas eran alimentadas con heno y suplemento mineral (0.5 kg por día por animal), dicho heno y suplemento tenían una concentración de zinc de 15.8 y 51.3 mg/kg de materia seca, respectivamente. El heno no era suficiente fuente de zinc ya que lo mínimo recomendado es de 45 mg/kg y el suplemento ingerido tenía una concentración de 25.65 mg de zinc. El valor inicial de zinc en suero sanguíneo de una alpaca proveniente del rebaño fue de 0.20 $\mu\text{g/ml}$ y luego considerando a todo el rebaño el promedio fue de $0.17 \pm 0.03 \mu\text{g/ml}$, considerándose la concentración de zinc baja para ambas muestras, en este estudio únicamente las alpacas hembra de color presentaron lesiones en la piel, resolviéndose en una de ellas con una suplementación diaria de 4 gramos de zinc metionina.

Judson *et al.* (2011), determinaron el estatus de zinc en alpacas y ovejas que se encontraban pastoreando en la misma zona, obteniendo primero la concentración de zinc en los pastos consumidos (33 – 66 mg/kg expresado en materia seca), siendo los valores recomendados por Van Saun (2006), más altos (zinc 35-45 mg/kg expresados en materia seca). Tal como mencionan los autores, estos requerimientos son más altos, por lo tanto, es una alimentación deficiente y se esperaría que estos animales en algunos casos presenten signos de deficiencia. Muy por el contrario, estos animales no presentaron signo alguno de deficiencia, siendo la concentración de zinc en plasma de 0.261-0.392 $\mu\text{g/ml}$, tomando en consideración a lo mencionado por Judson *et al.* (1999), estas alpacas poseen concentración adecuada de zinc y sin los requerimientos mencionados por Van Saun (2006).

Rosadio *et al.* (2012), midieron en vicuñas criadas en Huancavelica (Huaytará, Ayaví y Santa Rosa del Tambo) las concentraciones en suero de cobre, selenio y zinc, además de la relación que pueden tener con la presencia de caspa en los vellones de estas, obteniendo que la concentración de zinc en suero sanguíneo estaba en algunas vicuñas mayor (1.23 a 1.78 $\mu\text{g/ml}$) y en otras menor (0.07 a 0.18 $\mu\text{g/ml}$) al rango esperado (0.3 a 0.5 $\mu\text{g/ml}$), no pudiéndose atribuir la relación de presencia de caspa por una deficiencia de zinc.

Semevolos *et al.* (2013), sospecharon que la toxicidad de zinc podría estar relacionada a problemas en las articulaciones de los miembros en las alpacas (hiperextensión

metacarpofalangeal). Sin embargo, al analizar la concentración de zinc en suero de alpacas afectadas (0.39 a 0.66 $\mu\text{g/ml}$) frente a las no afectadas (0.30 a 0.43 $\mu\text{g/ml}$), ambas tenían concentración de zinc por encima de lo recomendado (rango laboratorio 0.2 a 3 $\mu\text{g/ml}$). No obteniéndose una apreciación exacta si la expresión del problema articular era debido a una deficiencia de zinc.

Van Saun y Herdt (2014), mencionan que la concentración de zinc en suero sanguíneo de alpacas en Norte América dentro de los rangos de 0.19 a 2.05 $\mu\text{g/ml}$ no responden a un incremento de zinc en la dieta, por lo cual se entiende que animales con concentración de zinc dentro del rango tienen un nivel adecuado. Por el contrario, alpacas con concentración de zinc menor o igual a 0.15 y 0.2 $\mu\text{g/ml}$ si responderán a un aumento de zinc en la dieta. A parte de esta concentración en suero sanguíneo, también proponen concentración de zinc en el hígado para alpacas adultas y estando en desarrollo fetal, siendo los rangos esperados de 60 a 270 mg/kg y de 47 a 420 mg/kg de peso seco, respectivamente.

Ho *et al.* (2016), reportaron el caso de dos alpacas macho, las cuales presentaban lesiones a nivel de piel alrededor de ojos, miembros inferiores, donde determinaron que la concentración de zinc en suero sanguíneo era de 0.190 y 0.170 $\mu\text{g/ml}$, siendo una baja concentración. En este mismo artículo mencionan que la concentración adecuada de zinc propuesta por el laboratorio de la Universidad del estado de Michigan está en el rango de 0.2 a 3 $\mu\text{g/ml}$. Las lesiones ulcerativas, fueron diagnosticadas como producto de acción de dos patógenos: hongos (*candidiasis*) y bacterias (*staphylococcus*); las cuales se resolvieron tras el tratamiento con antibióticos. Sin embargo, lesiones en piel a nivel del cuello y en ojos se resolvieron tras varias semanas de suplementar zinc en la dieta, esto debido a una posible hipótesis de la inmunosupresión por bajos niveles de zinc. En este estudio se midió los niveles de albumina, ya que relacionan que si la albumina es baja, el zinc es bajo, siendo una relación directamente proporcional.

Holasová *et al.* (2017), determinaron distintos minerales a nivel del pelo, siendo uno de estos el zinc, mencionando que el pelo es un material biológico que queda aislado de las actividades metabólicas e indica la concentración de los elementos en termino de largo plazo y provee información acerca de su acumulación intracelular. Obteniendo que la concentración de zinc en el pelo de las alpacas iba desde 86.14 hasta 169.70 mg/kg de materia seca. Sugiriendo que la concentración de zinc en el pelo está influenciada por la concentración de zinc en el cuerpo.

Pechová *et al.* (2018), evaluaron el estatus de zinc en alpacas criadas en Alemania y República Checa, teniendo 3 grupos de animales: suplementados, medianamente suplementados y no suplementados, proyectando el consumo de estos animales con ciertas características: consumo de materia seca de 1.5 y 2 por ciento del peso vivo, pesos de las alpacas de 36.6 y 75 kg, la concentración de zinc en el suplemento, forraje y heno fueron de 632, 34.1 y 32.1 mg/kg respectivamente. Obteniendo al final que la concentración de zinc en sangre (0.847 µg/ml) es 3.5 veces más alta que la del plasma (0.237 µg/ml). La concentración de zinc en el plasma obtenido (0.102 a 0.524 µg/ml) en este estudio fue menor a comparación de otros trabajos realizados, a pesar de una sobre suplementación de zinc, en este mismo estudio sugieren que el suplementar con zinc solamente tendría efecto en alpacas con concentración de zinc en plasma de 0.12 a 0.18 µg/ml. Por otro lado, obtuvieron una débil correlación entre sangre entera y plasma para zinc ($r=0.384$), asimismo mencionan que la concentración de zinc en sangre entera no sería un dato que refleje el estado nutricional del animal, ya que factores relacionados a la anhidrasa carbónica, la concentración de eritrocitos y el superóxido dismutasa, podrían reflejar un cambio en este mineral más que por un efecto nutricional.

Los estudios mencionados líneas arriba, han valorado el estatus de zinc a partir de la concentración de este mineral en diversas fuentes biológicas: tejido hepático, pelo, sangre, plasma y suero sanguíneo. Con respecto al zinc en suero sanguíneo, las concentraciones observadas todas estaban dentro de un rango similar, por lo tanto, se puede considerar un rango adecuado de 0.19 µg/ml hasta 3 µg/ml

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CONCENTRACIONES DE ZINC Y SELENIO EN LOS PASTOS CONSUMIDOS EN ALPACAS AL PASTOREO EN CUATRO LOCALIDADES DEL PERÚ

3.1.1 Localización

La primera parte de la tesis se realizó en cuatro localidades ubicadas en tres departamentos del Perú:

- Localidad 1: Cooperativa Comunal San Pedro de Racco, ubicada en el departamento de Pasco, en la provincia de Pasco y en el distrito de Simón Bolívar. Ubicada a 22.2 km de la ciudad de Cerro de Pasco, a una altitud de 4343 m.s.n.m. presentando en el mes de marzo del 2018 una temperatura mínima de $-0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $15.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una precipitación de hasta 10.8 mm; en el mes de agosto del mismo año presentó una temperatura mínima de $-6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una precipitación de hasta 1.5 mm (SENAMHI 2020).
- Localidad 2: Sociedad Agrícola Social Túpac Amaru, ubicada en el departamento de Junín, en la provincia de Jauja y en el distrito de Canchayllo, la zona se encuentra ubicada a 29 km del Centro Poblado Pachacayo, con una altitud de 4064 m.s.n.m. presentando en el mes de marzo del 2018 una temperatura mínima de $2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $17.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una precipitación de hasta 19.5 mm; en el mes de agosto del mismo año presento una temperatura mínima de $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $16.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una precipitación de hasta 12.1 mm (SENAMHI 2020).
- Localidad 3: Estación Experimental Illpa-Puno anexo Quimsachata, ubicada en el departamento de Puno, en la provincia de Lampa y en el distrito de Santa Lucia, Ubicado a 13 km del distrito de Santa Lucia, a una altura 4186 m.s.n.m. presentaba

- en el mes de marzo del 2018 una temperatura mínima de -1.2 °C y una máxima de 15.3 °C, con una precipitación de hasta 24.4 mm; en el mes de agosto del mismo año una temperatura mínima de -6.1 °C y una máxima de 13.9 °C, con una precipitación de hasta 0.2 mm (SENAMHI 2020).
- Localidad 4: Centro de Investigación y Producción Chuquibambilla, ubicado en el departamento de Puno, en la provincia de Melgar y en el distrito de Umachiri. Ubicado aproximadamente a 16.4 km al distrito de Ayaviri, a una altitud 3921 m.s.n.m. presentando en el mes de marzo del 2018 una temperatura mínima de 0.5 °C y una máxima de 16.6 °C, con una precipitación de hasta 19.3 mm; en el mes de agosto del mismo año una temperatura mínima de -13 °C y una máxima de 17.2 °C, con una precipitación de hasta 5.6 mm (SENAMHI 2020).

3.1.2 Metodología

Con la finalidad de comparar las concentraciones de zinc y selenio en las dietas consumidas por las alpacas, la recolección de las muestras se dio en dos épocas (lluviosa y seca), siendo respectivamente en los meses de marzo y de agosto del 2018; utilizándose la técnica de simulación manual, la cual consiste en observaciones del pastoreo individual de los animales por 2 a 3 horas, cerca del área de pastoreo, para luego tomar muestras manuales representativas del pasto natural consumido por el animal (Austin *et al.* 1983). Dichas muestras, fueron tomadas a partir de la observación de dos alpacas provenientes de la punta, cada una con 30 estaciones alimentarias, cortando el forraje a una altura aproximada de 5 cm arriba del suelo (Burton *et al.* 2003), promediando estas 30 estaciones alimentarias como una sola muestra, teniendo al final dos muestras provenientes de las dos alpacas.

Para tener noción de las especies vegetales que consumían las alpacas en las localidades muestreadas, se realizó la determinación de la composición florística mediante el método de transección lineal permanente (Parker 1951), el cual consiste en recorrer una línea recta de aproximadamente 100 metros, siendo la lectura cada dos pasos mediante el uso de un anillo censador, anotándose las siguientes posibilidades:

- Área basal de especies.
- Suelo desnudo.
- Piedra.

- Mantillo orgánico.

3.1.3 Análisis de muestras

Una vez obtenidas las muestras en campo, estas en laboratorio fueron secadas a 60°C por 48 horas en los laboratorios de Nutrición de Rumiantes y de Ecología y Utilización de Pastizales de la Facultad de Zootecnia (UNALM), posteriormente entraron a la molienda (molino de cuchillas Willey de laboratorio con un tamiz de 1 mm) en el laboratorio de Nutrición de Rumiantes de la Facultad de Zootecnia (UNALM) y finalmente fueron almacenadas en bolsas con naftalina para evitar insectos y humedad, para la evaluación respectiva.

Previo al análisis de los minerales, se realizó la digestión húmeda de las muestras vegetales, tomando de sugerencia lo propuesto por Bazán (2018), siendo el procedimiento el siguiente:

- Se pesaron 0.5 g de muestra de tejido vegetal seco y molido, colocándose dentro de frascos de 50 ml, resistentes al calor.
- A estos frascos, se agregaron 5 ml de la solución nítrica-perclórica (relación 5: 1).
- Estas mezclas, fueron colocadas sobre una plancha de calentamiento, elevándose gradualmente la temperatura hasta alcanzar los 175 °C. Manteniéndose la digestión durante 1 hora y 30 minutos, tornándose clara la solución.
- Cabe mencionar, que, durante el proceso de calentamiento y digestión de la materia vegetal, es necesario evitar la resequedad o evaporación total de la mezcla, por tal motivo se colocaron embudos sobre los frascos de digestión para dar efecto de tubo de reflujo
- Pasado el tiempo de digestión, se retiraron los frascos de la plancha de calentamiento y se agregaron 15 ml de 0.1 N HCl, agitándose gentilmente para disolver las cenizas.
- Finalmente, se filtraron las soluciones obtenidas. Considerándose al filtrado obtenido una dilución de 30 veces (30x) con respecto al material vegetal.

Todos los filtrados fueron sometidos al análisis de espectrofotometría de absorción atómica en flama (GBC modelo SavantAA Σ) en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la Facultad de Zootecnia (UNALM). Para el zinc se trabajó a una longitud de onda de 213.9 nm, con un rango óptimo de trabajo de 0.4 a 1.5 $\mu\text{g/ml}$ y con una sensibilidad de 0.008 $\mu\text{g/ml}$, utilizando aire y acetileno para el tipo de flama, utilizando una curva de calibración con concentraciones de zinc de 0.5, 0.8, 1 y 1.2 ppm ($\mu\text{g/ml}$).

Con respecto al análisis de la concentración de selenio en las dietas seleccionadas, las muestras de pastos fueron remitidas a la Unidad de Servicios de Análisis Químicos de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Para el selenio se trabajó a una longitud de onda de 196 nm, utilizando aire y acetileno, con una curva de calibración con concentraciones de selenio de 1, 3 y 5 ppm ($\mu\text{g/ml}$). Cabe mencionar que, en el caso de selenio, únicamente se analizó una sola muestra para cada época perteneciente a cada localidad.

Para complementar la información con respecto a la interacción del selenio y zinc con otros minerales, se determinaron las concentraciones de azufre (S), hierro (Fe) y cobre (Cu) en las dietas seleccionadas, dicho análisis fue realizado por Cumberland Valley Analytical Services (Waynesboro, Pensilvania, EE. UU.), mediante ICP-MS (espectrofotometría de masas con plasma acoplado inductivamente) previa digestión húmeda de las muestras.

3.1.4 Análisis estadístico

El estudio realizado fue del tipo observacional, de corte transversal, considerándose dos factores, como la localidad y la estación. El factor localidad tuvo cuatro niveles, que fueron: primera, segunda, tercera y cuarta localidad. El factor estación tuvo dos niveles, estación seca y estación húmeda.

El modelo aditivo lineal fue:

$$Y_{ijk} = \mathbf{u} + L_i + E_j + (LxE)_{ij} + e_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} : Concentración de zinc medida en la $ijk^{\text{ésima}}$ muestra de pasto.

\mathbf{u} : Efecto de la media poblacional.

L_i : Efecto del $i^{\text{ésimo}}$ nivel de la localidad (i = primera, segunda, tercera y cuarta).

E_j : Efecto del $j^{\text{ésimo}}$ nivel de la estación (j = húmeda y seca).

$(LxE)_{ij}$: Efecto de la interacción entre el $i^{\text{ésimo}}$ nivel de la localidad y el $j^{\text{ésimo}}$ nivel de la estación.

e_{ijk} : Residual.

Para poder considerar los resultados obtenidos mediante la aplicación del análisis estadístico, a la par se evaluó que cumplan con los supuestos de homogeneidad de varianzas (mediante la prueba Welch) y la distribución normal de los residuales. El análisis estadístico se realizó mediante el uso del software Statistical Analysis System (SAS Institute Inc, versión 9.4 2013).

En el caso de la concentración de selenio en las muestras de pastos seleccionadas por alpacas solo se analizó mediante estadística descriptiva, debido a que solo se determinó el contenido de selenio en una sola muestra de pastos.

3.2 CONCENTRACIÓN DE SELENIO EN SANGRE ENTERA Y DE ZINC EN SUERO SANGUÍNEO EN ALPACAS MADRES Y SUS CRÍAS

3.2.1 Localización

La segunda parte de la tesis, se realizó en Quiswarañi, ubicada en el departamento de Puno, en la provincia de Lampa y en el distrito de Ocuvi, ubicado a 32.6 km del distrito de Llalli, a una altura de 4397 m.s.n.m. presentando en el mes de noviembre del 2018 una temperatura mínima de $-3.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $22.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una precipitación de hasta 20.4 mm; en el mes de febrero del 2019 presento una temperatura mínima de $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $16.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una precipitación de hasta 22.2 mm y en el mes de julio del 2019 presento una temperatura mínima de $-12.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una máxima de $19.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una precipitación de hasta 5.4 mm (SENAMHI 2020).

3.2.2 Animales experimentales

Se utilizaron 30 alpacas hembra gestantes de la raza Suri, que en promedio poseían una condición corporal de 2.86 ± 0.41 (con valores oscilando desde 2.25 a 3.5) y una edad estimada de 4.03 ± 0.93 años (con rango de edades desde los 2 hasta los 5 años), cabe mencionar que la condición corporal fue evaluada por lo sugerido por Van Saun (2009), y la edad estimada mediante la identificación dentaria según lo sugerido por Aragon

(2005). En esta segunda parte también se incluyeron a las crías paridas de sus respectivas madres.

3.2.3 Metodología

Para el análisis de las concentraciones de selenio y zinc, se colectaron muestras de sangre entera y de suero sanguíneo provenientes de alpacas madres y sus respectivas crías, abarcando diferentes estados fisiológicos, siendo en total 150 muestras (75 para cada mineral). La toma de muestras se realizó de la siguiente manera (Figura 1): en noviembre del 2018, se muestreo a las alpacas en parto, con una media y desviación de 37.33 ± 29.93 días para parir; en febrero del 2019, alpacas madres y sus crías, posterior a 10 días de haber parido y nacido, respectivamente y en julio del 2019, alpacas madres y sus crías, ambas en lactación tardía, con una media y desviación de 161.87 ± 7.72 días de haber parido.

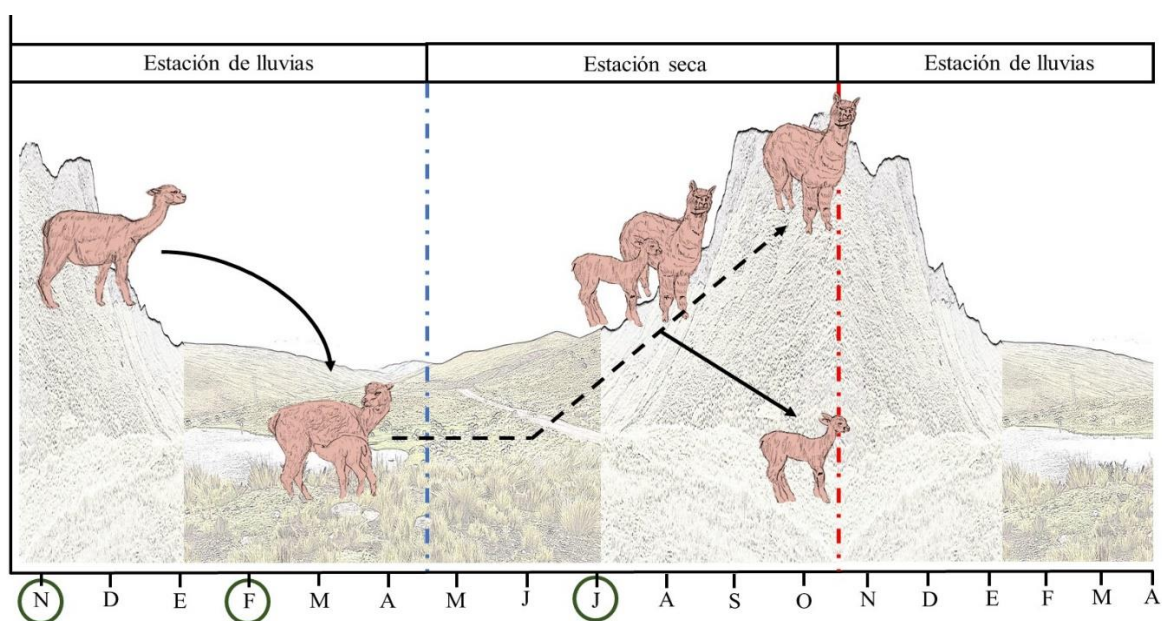


Figura 1. Esquema de muestreo de las alpacas madres y crías durante los diferentes estados fisiológicos según manejo productivo

Fuente: Tomado y adaptado de San Martín (1991). En enero las alpacas preñadas descienden de los cerros a terrenos más llanos, donde se mantendrán hasta la quincena de junio para luego retornar a los cerros nevados y en octubre son separadas, enviando a las crías hacia el llano y las madres manteniéndose en las alturas, generándose nuevamente el ciclo.

Con el objetivo de tener un mejor panorama para la evaluación del estatus nutricional mineral, se tomaron muestras de dietas seleccionadas por estos animales mediante el método de simulación a mano, tal como se mencionó líneas arriba (primera parte de la tesis), realizándose en los mismos meses que se colectaron las muestras de sangre y suero.

Al igual que la primera parte se realizó la estimación de la composición florística de las canchas donde pastoreaban las alpacas incluidas en esta segunda parte, con la diferencia que se utilizó el método de puntos en parcela lineal permanente, el cual consiste en la utilización de tres transectos de 30 metros de largo con marcas por cada 30 cm.

3.2.4 Análisis de muestras

- a) En las dietas seleccionadas por las alpacas:

Tal como lo detallado para la primera parte, lo mismo se realizó para las muestras obtenidas en esta segunda parte.

- b) En sangre:

Recolección:

La técnica que se utilizó para la extracción de sangre fue la vena punción de la yugular externa, extrayéndose 5 ml de sangre tanto de las madres como de las crías, estas muestras de sangre se recolectaron en tubos con anticoagulante (EDTA) y sin anticoagulante, para selenio y zinc respectivamente. Una vez colectadas las muestras, los tubos que eran destinados para el análisis de zinc, se esperó la formación del coagulo, posteriormente se centrifugó durante 10 minutos a 2500 rpm, con la finalidad de separar el suero del coagulo formado, finalizando con la extracción del sobrenadante (suero) con una micropipeta, colocándose en tubos Eppendorf de 2ml, codificándolos y guardándolos en la congeladora, similar actividad se realizó con los tubos que tenían la sangre con anticoagulante, omitiendo el paso previo de la centrifugación. Ambas muestras fueron almacenadas en una refrigeradora especial a -20 °C, en el laboratorio de Parasitología de la Facultad de Zootecnia (UNALM)

Desproteización en suero sanguíneo:

La digestión de las muestras de suero sanguíneo para la evaluación de zinc, fueron realizadas tomando de referencia lo realizado por Soltero *et al.* (2007):

- En tubos de centrífuga, con ayuda de una micropipeta se colocó la siguiente proporción: Suero (1.0 ml) y ácido clorhídrico 1N (1.0 ml)

- Se agrego 1.0 ml de ácido tricloroacético al 20 por ciento a la solución previamente hecha, mezclándolos y dejando reposar por 10 minutos a una temperatura ambiente entre 15 y 25 °C.
- Pasado el tiempo de reposo, se centrifugaron las muestras por 10 minutos a 3500 rpm, extrayendo únicamente el sobrenadante (aproximadamente 2.0 ml libre de proteínas).

Todas muestras desproteinizadas fueron sometidas al análisis de espectrofotometría de absorción atómica en flama (GBC modelo SavantAA Σ) en el laboratorio de Evaluación Nutricional para Animales de la Facultad de Zootecnia (UNALM). Para el zinc se trabajó a una longitud de onda de 213.9 nm, con un rango óptimo de trabajo de 0.4 a 1.5 $\mu\text{g/ml}$ y con una sensibilidad de 0.008 $\mu\text{g/ml}$, utilizando aire y acetileno para el tipo de flama, utilizando una curva de calibración con concentraciones de zinc de 0.05, 0.3 y 0.5 ppm ($\mu\text{g/ml}$).

Sangre entera:

En el caso de la medición de la concentración de selenio en las muestras de sangre entera, estas se mandaron a analizar a la Unidad de Servicios de Análisis Químicos de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. En breves líneas se resume el procedimiento realizado a las muestras: se sometieron a calcinación (550°C), después se realizó una digestión acida, finalizando la digestión se diluyeron con agua, estas diluciones fueron sometidas al análisis correspondiente en el equipo de absorción atómica (SHIMADZU, modelo AA6800), trabajándose con una curva de calibración de 1, 3 y 5 ppm, a una longitud de onda de 196 nm.

3.2.5 Análisis estadístico

En esta segunda parte, el estudio siguió siendo observacional, pero de corte longitudinal, los datos obtenidos son observaciones del mismo individuo en diferentes tiempos. Se considero un solo factor, el factor estado fisiológico teniendo tres niveles, parto, 10 días postparto y lactación tardía. Para determinar el efecto de los estados fisiológicos se consideró a cada alpaca madre adulta como bloque fijo. El mismo análisis fue aplicado

en el caso de crías, no obstante, el factor estado fisiológico tuvo solo dos niveles, 10 días postparto y lactación tardía y cada alpaca cría se consideró un bloque fijo.

Modelo en bloques fijos con un solo factor para alpacas madres adultas:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} : Variable respuesta medida en la $ijk^{\text{ésima}}$ unidad experimental (Concentraciones de zinc y selenio en alpacas hembra adultas).

μ : Media general.

α_i : Efecto del $i^{\text{ésimo}}$ nivel del estado fisiológico (preparto, 10 días post parto y lactación tardía).

β_j : Efecto fijo de la alpaca madre adulta $j^{\text{ésima}}$.

e_{ijk} : Error residual con media 0 y varianza σ^2

Modelo en bloques fijos con un solo factor para alpacas crías:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} : Variable respuesta medida en la $ijk^{\text{ésima}}$ unidad experimental (Concentraciones de zinc y selenio en alpacas crías).

μ : Media general.

α_i : Efecto del $i^{\text{ésimo}}$ nivel del estado fisiológico (10 días post parto y lactación tardía).

β_j : Efecto fijo de la alpaca cría $j^{\text{ésima}}$.

e_{ijk} : Error residual con media 0 y varianza σ^2

Para poder considerar los resultados obtenidos mediante la aplicación del análisis estadístico, a la par se evaluó que cumplan con los supuestos de homogeneidad de varianzas (mediante la prueba de Levene) y la distribución normal de los residuales, en caso de no cumplirse los supuestos, los datos fueron transformados en logaritmo. Se determinó diferencias significativas cuando $P < 0.05$, estas diferencias fueron evaluadas mediante la prueba de comparación de medias diferencia mínima significativa (LSD).

Para determinar las correlaciones de ambos minerales (selenio y zinc) entre madres y crías, se sometieron a los datos a una correlación de Pearson. El análisis estadístico se

realizó mediante el uso del software Statistical Analysis System (SAS Institute Inc, versión 9.4, 2013).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CONCENTRACIONES DE ZINC Y SELENIO EN LOS PASTOS CONSUMIDOS EN ALPACAS AL PASTOREO EN CUATRO LOCALIDADES DEL PERÚ

En esta primera parte se determinó la composición florística en las cuatro localidades que se incluyeron en el presente estudio, donde se realiza la crianza de alpacas, dicha información se muestra en detalle en el Anexo 1. Se observó durante la época húmeda un mayor predominio de las gramíneas (45 por ciento), no obstante, la especie con mayor número de conteos fue perteneciente a la familia de las juncáceas (*Distichia muscoides*, 26 por ciento); por otro parte, en la época seca predominaron los pastos pertenecientes a la familia de las gramíneas (66 por ciento), encontrándose una mayor cantidad de la especie *Aciachne pulvinata* (26 por ciento) para la primera localidad, siendo un pastizal del tipo Oqhonaes, caracterizados por poseer un buen suministro de agua y la predominancia de la especie *Distichia* (Tapia y Flores 1984). Por otro lado, para la segunda localidad, en ambas épocas predominaron la especie *Festuca rigescens* teniendo 34 y 25 por ciento de predominio para las épocas húmeda y seca respectivamente, considerándose una conformación vegetal del tipo herbazal erguido (Farfán y Farfán, 2012) y coincidiendo con lo reportado por Wilcox y Bryant (1984). Similar resultado se obtuvo para la tercera localidad, teniendo la misma familia (gramíneas) mayor predominio, no obstante, la especie varío, siendo para la época de seca la especie *Festuca dolichophylla* (40 por ciento) y para la época húmeda la especie *Muhlenbergia fastigiata* (26 por ciento), coincidiendo con lo reportado por Argote *et al.* (2013) los cuales determinaron que la vegetación predominante en Quimsachata pertenecían a los géneros *Festuca*, *Calamagrostis*, *Muhlenbergia*, entre otras. Finalmente, para la cuarta localidad, se determinó que predominaba la misma especie en ambas épocas (*Muhlenbergia fastigiata*), teniendo 37 y 36 por ciento para las épocas seca y húmeda, respectivamente; según Tapia y Flores (1984) pastizales con mayor predominancia de esta especie, son del tipo Chilliwa.

Mediante la determinación de la composición florística se puede tener noción de los forrajes que se encuentran en oferta y cuales son más susceptibles a ser consumidos por las alpacas (Giraldo 1993), siendo la mayoría de los predominantes palatables (desde muy deseables hasta poco deseables) para las alpacas, con excepción del *Aciachnne pulvinata* (no deseable) (Flórez 2005; Farfán y Farfán 2012; Rivera 2012; Ortiz 2014). No obstante, si bien estas especies son apetecibles para las alpacas, esto no indica necesariamente que estas sean consumidas, los patrones de consumo podrían ser alterados por la disponibilidad de pastizales durante las dos épocas, ya que las alpacas en época seca tienden a consumir especies de tallo alto que han sufrido procesos de lignificación, sumado a la desaparición de pastos de crecimiento corto (Clavo y Pérez 1988). Farfan (1982), determinó que las gramíneas son más consumidas en época seca y se reduce su consumo durante la época húmeda, lo inverso sucede con las juncáceas. Por otro lado, dependiendo de la zona del pastoreo, el consumo de las diferentes especies pueden variar así Reiner y Bryant (1986), determinaron la composición de las dietas de alpacas durante las épocas seca y húmeda, en dos sitios (altiplano y bofedales), observándose cambios en el consumo: mayor consumo de juncáceas durante la época seca y menor consumo de gramíneas (bofedales), siendo el consumo predominante en ambas épocas más de juncáceas; a comparación del altiplano donde la dieta fue predominante en plantas pertenecientes a la familia de las gramíneas para ambas épocas.

4.1.1 Concentración de zinc en dietas seleccionadas por alpacas al pastoreo

Al aplicar a los datos el diseño factorial estipulado, no se encontraron diferencias estadísticas significantes entre las localidades y entre la interacción de los factores (localidades y épocas) ($P < 0.05$), no obstante, si hubo efecto de la época. Es decir, la concentración de zinc determinada en las dietas seleccionadas por las alpacas fue influenciada por las épocas del año, teniendo mayor concentración durante la época húmeda y menor concentración durante la época seca (42.9 y 29.9 mg/kg respectivamente, Tabla 2), sin importar en qué localidad se encuentren las alpacas pastoreando.

Tabla 1. Concentración de zinc en dietas seleccionadas por alpacas al pastoreo según época

Variables	Seca	Húmeda
CP %MS	7.9 ± 2.98 ^b	11.7 ± 3.27 ^a
FDA %MS	43.3 ± 3 ^a	33.6 ± 7.26 ^b
Zinc (mg/kg)	29.9 ± 4.39 ^b	42.9 ± 13.63 ^a
Azufre (%MS)	0.16 ± 0.04	0.20 ± 0.06
Hierro (mg/kg)	596.5 ± 412.2	3994 ± 5484.1
Cobre (mg/kg)	7 ± 2.93	21.9 ± 21.4

Medias y desviaciones estándares están expresados ($\bar{x} \pm SD$). Donde CP: Proteína cruda, FDA: Fibra detergente acida expresados en porcentaje de materia seca, Letras con superíndice diferente en filas (a, b), indica diferencias significativas ($P < 0.05$)

Similares resultados fueron lo obtenido por Espinoza *et al.* (1982), acerca de la concentración de zinc en las pasturas que consumían llamas y ovinos en el altiplano de Bolivia, comparando épocas (seca y húmeda), no hallando diferencias estadísticas entre ambas épocas, aunque numéricamente se observan diferencias: 49.1 mg/kg versus 24.5 mg/kg, época húmeda y seca respectivamente. Sánchez *et al.* (1986), determinaron en la zona montañosa de Costa Rica la concentración de zinc en pastos que consumían bovinos en las mismas épocas, obteniendo que mayor concentración se da durante la época húmeda (38 mg/kg) a comparación de la época seca (29 mg/kg). Owang (1988), reportó la concentración de zinc en bovinos y en las pasturas que consumían en Swaziland durante las mismas épocas (seca-agosto y húmeda-febrero), observando que numéricamente la época húmeda posee mayor concentración (9.7 mg/kg) a comparación de la época seca (7.8 mg/kg). Judson (1999), determinó la concentración de zinc en el forraje que consumían las alpacas en Australia durante las estaciones invierno-primavera (época de lluvias) y verano-otoño (época seca), numéricamente se observó diferencias entre las épocas, siendo 19-42 mg/kg y 14-21 mg/kg para época de lluvias y seca, respectivamente. Shamat *et al.* (2009), determinaron la concentración de zinc en las pasturas que consumían los camellos en dos localidades (Eastern y Western de Sudan) y en las mismas épocas (húmeda y seca), obteniendo que la concentración no varía según la locación, pero si varía dependiendo de la época, siendo la época húmeda la que tiene mayor concentración, teniendo concentración de zinc de 30 mg/kg y 28.5 mg/kg para las épocas húmeda y seca respectivamente. Judson *et al.* (2011), también determinaron la concentración de zinc en las pasturas donde se alimentaban ovinos y alpacas en Australia durante tres años y muestreando en diferentes meses, obteniendo que la concentración fluctuaba desde 33 hasta 66 mg/kg, siendo mayor numéricamente en los meses que abarcaban la estación de invierno (época de lluvias). Como

menciona San Martín (1991) la época seca está marcada por una menor precipitación pluvial, reduciendo la producción de forraje, lo contrario ocurre con la época lluviosa donde el aumento de la precipitación pluvial genera una mayor producción de forrajes, lo cual se encuentra con relación a una mayor calidad nutritiva del forraje.

Con respecto a la concentración de fibra detergente acida, se puede observar mayores valores en las dietas durante la época seca esto debido a un proceso de lignificación de las plantas, por aumento de la lignina y celulosa, coincidiendo con lo ya mencionado por Clavo y Pérez (1988). Similar tendencia fue lo hallado por Burton *et al.* (2003), determinaron distintos nutrientes en las pasturas que consumían alpacas gestantes entre los meses de septiembre, noviembre, diciembre, enero y febrero en Chile, siendo septiembre (época seca) el mes donde posee mayor contenido de fibra detergente acida y menor contenido de proteínas, mencionando que cuando el forraje va madurando disminuye la concentración de proteínas y aumenta el contenido de fibra (neutra y acida).

Los valores determinados de proteína cruda y zinc calzan con lo descrito por McDowell *et al.* (1977), los cuales indican que los forrajes en Latinoamérica el 71 por ciento poseen valores de proteína cruda que van desde 0 hasta 15 por ciento y en el caso de zinc el 74 por ciento poseen concentración que van desde ser menor a 30 mg/kg hasta igual a 50 mg/kg. Siguiendo con el zinc, la concentración hallada también coincide a lo ya determinado por Zech y Feuerer (1984), en Bolivia, donde las distintas comunidades o asociaciones de pastos altoandinos que consumen alpacas y llamas oscilaban concentración de zinc desde 6 hasta 223 mg/kg, siendo la más baja las asociaciones de *festuca* y *stipa* (6 mg/kg). Por otra parte, respecto a la proteína cruda Reiner y Bryant (1986), determinaron que los valores de proteína cruda disminuyen durante los meses de seca y aumentan durante la época lluviosa (húmeda), siendo similar a lo obtenido por Sánchez *et al.* (1986), y coincidiendo con los datos del presente estudio.

Tabla 2. Concentración de zinc en dietas seleccionadas por alpacas al pastoreo según localidad y época

Localidad / Época	Primera		Segunda		Tercera		Cuarta	
	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda
CP %MS	7.8 ± 0.4	12 ± 2.3	11.4 ± 3.3	10.2 ± 1.4	4.35 ± 0.4	10.65 ± 6.4	8.1 ± 1.13	14.1 ± 3
FDA %MS	42.05 ± 2.3	37.8 ± 3	43.85 ± 5	34.2 ± 7.8	46 ± 0.85	24.3 ± 6.4	41.3 ± 2.8	38.15 ± 3
Zn (mg/kg)	29.5 ± 2.1	37 ± 24	31.5 ± 6.7	56.5 ± 7.8	33 ± 1.4	43 ± 9.9	25.5 ± 5	35 ± 0

Medias y desviaciones estándares están expresados ($\bar{X} \pm SD$). Donde CP: Proteína cruda, FDA: Fibra detergente acida expresados en porcentaje de materia seca

Finalmente, con respecto a la valoración de la concentración de zinc en las dietas seleccionadas por las alpacas (Tabla 2) y de acuerdo con lo mencionado por Van Saun y Herdt (2014), la primera y cuarta localidad durante la época seca caen en la clasificación de marginal (rango de 20-29.9 mg/kg), siendo lo contrario durante la época húmeda (≥ 30 mg/kg, adecuado). Por otro lado, la segunda y tercera localidad para ambas épocas poseen concentración adecuada de zinc.

Como ya se mencionó en la revisión de literatura, la interacción de zinc con otros minerales puede afectar su disponibilidad. Una mayor concentración de azufre puede perjudicar la absorción de zinc a nivel de rumen (Goff 2018), en el caso de la alpaca a nivel del primer compartimiento. En el presente estudio la concentración de azufre estuvo en el rango adecuado (0.15 - 0.20 por ciento de materia seca) (Tabla 1), por lo tanto, se podría descartar su rol antagónico. Por otra parte, el hierro si bien no inhibe todos los mecanismos de absorción de zinc, este compite a nivel de unión con la DMT1, además del transporte a nivel del plasma por la transferrina (Georgievski *et al.* 1982), en este estudio la concentración de hierro (Tabla 1) fue excesiva (>400 mg/kg), este mineral si puede alterar la absorción de zinc a nivel de la membrana apical de los enterocitos y a su vez en el transporte a nivel del plasma sanguíneo. Finalmente, con respecto a la interacción antagónica del cobre con el zinc, esta solamente se da si la relación es 50:1 (McDowell 2003; Goff 2018), en el presente estudio la concentración de cobre en promedio (Tabla 1) durante la época seca fue marginal (4-7 mg/kg), a comparación de la época húmeda donde fue excesiva (>20 mg/kg), no obstante, al comparar la relación cobre: zinc en época húmeda fue de 0.51:1 y en época seca fue de 0.23:1, por lo tanto, el cobre podría no intervenir en la absorción del zinc a nivel intestinal.

4.1.2 Concentración de selenio en dietas seleccionadas por alpacas al pastoreo

Para el caso de selenio, los datos obtenidos a partir de someter a las muestras de forraje al análisis correspondiente no se incluyeron en un análisis estadístico, debido a un menor número de muestras analizadas. No obstante, en la Tabla 3 podemos observar la concentración de selenio en las dietas seleccionadas por las alpacas criadas en estas cuatro localidades, además de la media y desviación estándar considerándose estas solo por época. Si bien estadísticamente no podemos mencionar diferencias entre la concentración de selenio obtenida, podemos observar variaciones numéricas. Para la primera y tercera localidad la concentración de selenio durante la época húmeda fue mayor a comparación de la época seca, similar resultado fue lo que obtuvo Judson (1999), donde la concentración de selenio

en las dietas consumidas por alpacas en Australia fue numéricamente mayor durante la época húmeda a comparación de la época seca. Caso contrario fue lo obtenido para la segunda y cuarta localidad, donde la concentración de selenio fue mayor durante la época seca a comparación de la época húmeda, similar resultado obtuvo Wittwer *et al.* (2002), en Chile, donde numéricamente la época seca (otoño) obtuvo mayor concentración de selenio a comparación de la época de lluvias (primavera), al igual que Khan *et al.* (2006), en Pakistan, invierno (época seca) mayor concentración de selenio a comparación de verano (época lluviosa). No obstante, Espinoza *et al.* (1982), no hallaron diferencias en la concentración de selenio en las dietas que consumían alpacas criadas en Bolivia entre las épocas húmeda y seca.

Con respecto a la valoración de la concentración de selenio en las dietas y de acuerdo a lo recomendado por Van Saun y Herdt (2014), para la localidad de San Pedro durante la época húmeda la concentración de selenio fue adecuada (>0.2 mg/kg) a comparación de la época seca donde se encontraba en el límite inferior marginal (0.1-0.2 mg/kg), similar tendencia se observó para la tercera localidad, donde la concentración de selenio fue adecuada durante la época húmeda, descendiendo a marginal en la época seca. Muy por el contrario, fue lo que se obtuvo en la cuarta localidad, durante la época húmeda la concentración de selenio fue marginal cambiando a adecuada en la época seca. Finalmente, para la segunda localidad en ambas épocas la concentración de selenio fue considerada adecuada. Acorde con lo mencionado, se esperaría que ninguna de las alpacas criadas en estas cuatro localidades presente algún signo de deficiencia por selenio al consumir los pastos naturales. No obstante, cabe mencionar las interacciones que puede tener el selenio con otros minerales, pudiendo no ser absorbido a causa de modificaciones a nivel del rumen por parte del azufre (Fowler 2010; Herdt 2011; Van Saun 2014) y del intestino delgado por parte del hierro (Semevolos *et al.* 2013; Mehdi y Dufasne 2016). Según reportes recopilados por parte de la NRC (2007) dietas con concentración de azufre de 0.24 y 0.40 por ciento disminuye la concentración de selenio en tejido de oveja, en el presente estudio la concentración de azufre en promedio está dentro del rango de adecuado (0.15-0.20 por ciento) (Tabla 1), también si consideráramos individualmente las localidades, a excepción de la época húmeda en la cuarta localidad, donde la concentración de azufre es de 0.25 por ciento. Se podría sospechar que la absorción de selenio se vería disminuida en alpacas criadas en dicha localidad durante la época húmeda. Finalmente, con respecto a la concentración de hierro, en ambas épocas los valores fueron excesivos (>400 mg/kg) (Tabla 1), el hierro para poder ser absorbido debe estar como

ferroso (Fe^{+2}), en la dieta generalmente se encuentra como ferrico (Fe^{+3}), en rumiantes a nivel del abomaso el ferrico puede ser reducido a ferroso debido a la acción de los ácidos y a nivel del duodeno por la acción de la ferrireductasa de los enterocitos (Goff 2018), al haber un exceso de este micro mineral, podría antagonizar la absorción de selenio, formando complejos a nivel del duodeno, generando una disminución en la absorción.

Tabla 3. Concentración de selenio en dietas seleccionadas por alpacas al pastoreo según localidad y época

Localidades					Media \pm Desv. Estand.
Época	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	
Húmeda	0.41	0.27	0.32	0.18	0.30 \pm 0.096
Seca	0.12	0.32	0.16	0.23	0.21 \pm 0.087

El contenido de selenio esta expresado en ppm (mg/kg). Medias y desviaciones estándares están expresados ($\bar{x} \pm \text{SD}$).

4.2 CONCENTRACIÓN DE SELENIO EN SANGRE ENTERA Y DE ZINC EN SUERO SANGUÍNEO EN ALPACAS MADRES Y SUS CRÍAS

4.2.1 Concentraciones de selenio y zinc en dietas seleccionadas por alpacas al pastoreo

La composición florística en las canchas donde pastoreaban las alpacas durante los diferentes estados fisiológicos se ubicaba en diferentes zonas tal como se observa en el Figura 1, las especies que predominaban en la época de parto (a meses de parir) fueron *Alchemilla pinnata* (42.78 por ciento), *Calamagrostis vicunarum* (14.11 por ciento) y *Festuca dolichophylla* (12.67 por ciento). Por otra parte, en los estados de parto (a días de parir) y a 10 días post parto, las especies que tuvieron mayor predominio fueron *Alchemilla pinnata* (52 por ciento), *Festuca dolichophylla* (13.67 por ciento) y *Trifolium amabile* (12.78 por ciento). Finalmente, durante la lactación tardía las especies con mayor predominio fueron *Calamagrostis vicunarum* (36 por ciento), *Plantago tubulosa* (21.89 por ciento) y *Festuca dolichophylla* (8.56 por ciento), tal como se observa en los anexos 4, 5 y 6.

Debido al patrón de predominio (*festuca*, *calamagrosti* y *alchemilla*), estas canchas entrarían en la clasificación de Césped de Puna (Tapia y Flores 1984) ocupando terrenos más o menos planos algo pedregosos y medianamente húmedos, siendo las especies vegetales encontradas en estos pastizales reconocidas para el mantenimiento de los camélidos (llamas y alpacas)

(Tapia y Flores 1984; Flórez 1991) entrando todas las especies en la clasificación de palatabilidad deseable (Flórez 2005; Farfán y Farfán 2012; Rivera 2012; Ortiz 2014).

Las concentraciones de selenio y zinc en las dietas seleccionadas por las alpacas madres durante los estados fisiológicos considerados en el presente estudio, se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Concentraciones de selenio y zinc en dietas seleccionadas por alpacas

Estados/Concentración	Preparto	10 días postparto	Lactación tardía
Zinc (mg/Kg)	39	32	21
Selenio(mg/Kg)	0.28	0.24	0.32

El contenido de zinc y selenio están expresado en ppm (mg/kg)

La concentración de zinc determinada en las dietas consumidas por las alpacas fue similar a lo hallado por Quispe (datos sin publicar), donde la concentración de zinc en promedio fue de 27, 25, 28 y 42 mg/kg para las regiones de Puno, Cusco, Junín y Pasco respectivamente. También a lo determinado en la primera parte, estando dentro del rango de 25.5 - 56.5 mg/kg y a las diferencias entre épocas, mayor concentración durante época húmeda (preparto y 10 días postparto) a comparación de la época seca (lactación tardía). Asimismo, a lo determinado por Espinoza *et al.* (1982), y Zech y Feuerer (1984), en Bolivia, Burton *et al.* (2003) en Chile, Judson *et al.* (1999), y Judson *et al.* (2011), en Australia.

La interpretación de la concentración de zinc en dietas seleccionadas por las alpacas para los dos primeros estados fisiológicos (preparto y postparto) se clasifican como adecuada y para la lactación tardía es clasificada como marginal (Van Saun y Herdt 2014). Si consideramos que los animales muestreados son alpacas que se encuentran atravesando dos estados fisiológicos críticos (gestación y lactación), los requerimientos recomendados de zinc por Van Saun (2014), para estas son de 0.8 a 1.3 mg/kg de peso vivo, considerando un peso medio de 47 kg de las alpacas madres, el consumo por día de zinc sería de 37.6 a 61.1 mg. Si a esto sumamos que el consumo de materia seca es aproximadamente el 1.5 por ciento de su peso vivo, estas alpacas consumen 0.70 kg de materia seca por día, teniendo al final que la concentración de zinc en la dieta es de 54 a 87 mg/kg. En este pequeño supuesto, las alpacas madres del presente estudio no llegan a suplir los requerimientos sugeridos. Según Fowler (2010), el consumo dietario de zinc debería ser mayor a 0.05 mg/kg de peso vivo, haciendo el mismo calculo, el alimento que consumen las alpacas debería tener una concentración mayor a 3.36 mg/kg, siendo la concentración de zinc en la dieta mayor a lo

simulado. También, McDowell (2003), menciona que los requerimientos en diversas especies domesticas está en un rango desde 40 a 100 mg/kg, siendo los requerimientos para la categoría de rumiantes desde 10 a 55 mg/kg, estando la concentración obtenida también dentro del rango. A partir de la estimación de la concentración de zinc en las dietas que consumen las alpacas y los requerimientos estimados para estos, se da una idea si las alpacas suplen o no sus demandas; si estas estuvieran en una clasificación de deficiente, se esperaría que la concentración de zinc en muestras biológicas sea disminuida o se reflejen en el estado de salud de la alpaca, sin embargo, lo hallado tanto por Smith *et al.* (1998), como por Judson *et al.* (1999), fueron lo contrario, si bien hubo una deficiencia en la concentración de zinc en la dieta consumida, esta no fue reflejada en los componentes sanguíneos y en la salud de las alpacas y llamas.

La concentración de selenio en las dietas seleccionadas por las alpacas fue similar a lo determinado en la primera parte del estudio estando entre los valores de 0.12 a 0.41 mg/kg, también a lo hallado por Judson *et al.* (1999), y Judson *et al.* (2011), en Australia, no obstante, la concentración de selenio hallada fue mayor a lo determinado por Espinoza *et al.* (1982), en Bolivia. En lo que respecta a la interpretación de la concentración de dicho mineral en las dietas consumidas durante los tres estados fisiológicos, esta se encuentra en una clasificación de adecuada (>0.2 mg/kg) (Van Saun y Herdt 2014). Sin embargo, al igual que en el caso de zinc, el requerimiento de selenio sugerido por Van Saun (2014) para los estados de lactación y preñez son de 7-7.5 μ g/kg de peso vivo, nuevamente considerando el peso medio de las alpacas 47 kg, el consumo por día de selenio debería de ser 0.33-0.4 mg. Si esperamos que estas alpacas consuman 1.5 por ciento de su peso vivo, estarán consumiendo 0.70 kg de materia seca por día, entonces la concentración de selenio en la dieta consumida por las alpacas sería de 0.47 a 0.6 mg/kg para que puedan suplir las necesidades de ambos estados fisiológicos; la concentración de selenio determinada en la dieta de acuerdo a lo mencionado no llega a suplir el requerimiento sugerido. No obstante, Fowler (2010), menciona que dietas con concentración de selenio menor a 0.1 mg/kg son consideradas inadecuadas, la concentración obtenida en el presente estudio fue mayor al mínimo sugerido, por otro lado, Church (2001), menciona que dietas con concentración de selenio mayor a 5 mg/kg caen en la clasificación de toxica, en el presente estudio la concentración de selenio no cae en dicha clasificación. Cabe mencionar, si bien estos requerimientos son sugeridos, estos han sido calculados por extrapolación de datos y no por pruebas en campo, si nos basáramos en los requerimientos recomendados por Van Saun

(2014) entenderíamos que las alpacas muestreadas en el presente estudio no llegan a cubrir el total de necesidades que implica la gestación y lactación, por lo que se tendría que suplementar, además se esperaría que la concentración de selenio extraída a partir de diversas fuentes biológicas provenientes de dichas alpacas sean bajas por el déficit. No obstante, Judson *et al.* (2011), observó lo contrario, ya que a pesar de que la concentración en el forraje de selenio no era la adecuada, la concentración en sangre y en plasma sanguíneo no lo reflejaron, sumado al buen estado de salud de las alpacas.

4.2.2 Concentraciones de selenio en sangre entera y zinc en suero sanguíneo de alpacas madres y crías

Lamentablemente, no todas las alpacas gestantes muestreadas llegaron a parir o en algunos casos se produjeron muertes de estas o abortos, con lo cual se trabajó al final con un número reducido de la muestra inicial, siendo 15 alpacas madres con sus respectivas crías (n=15 crías).

Tabla 5. Concentraciones de selenio en sangre entera y zinc en suero sanguíneo de alpacas madres durante los tres estados fisiológicos

Estados/Concentración	Preparto	10 días postparto	Lactación tardía
Zinc ($\mu\text{g/ml}$)	0.154 ± 0.11^b	0.26 ± 0.14^a	0.05 ± 0.04^c
Selenio (ng/ml)	53.6 ± 13.9^{ns}	56.87 ± 14.44^{ns}	48.2 ± 14.73^{ns}

Letras con superíndice diferente en filas (a, b, c), indica diferencias significativas ($P < 0.05$) y con superíndice (ns), indica no diferencias. Medias y desviaciones estándares están expresados ($\bar{X} \pm \text{SD}$)

Tabla 6. Posibles concentraciones de selenio en sangre entera y zinc en suero sanguíneo, que podrían generar deficiencias

Deficiencia potencial/ Fuente	Sangre entera [Se]
Husakova <i>et al.</i> 2014 ³	$< 70 \text{ ng/ml}$
Van Saun y Cebra. 2014 ²	$< 120 \text{ ng/ml}$
Judson <i>et al.</i> 1999 ¹	$< 0.052 \text{ ng/ml}$
Ellison. 2006 ¹	$< 0.028 \text{ ng/ml}$
	Suero sanguíneo [Zn]
Clauss <i>et al.</i> 2004 ³	$< 0.17 \mu\text{g/ml}$
Semevolos <i>et al.</i> 2013 ² , Ho <i>et al.</i> 2016 ²	$< 0.2 \mu\text{g/ml}$
Van Saun y Herdt. 2014 ²	$< 0.15 \mu\text{g/ml}$

Números con superíndice indican los continentes donde se obtuvieron la información acerca de los límites de potenciales deficiencias para Se y Zn: ¹Oceanía, ²Norte América y ³Europa

En el presente estudio se observó una mayor concentración de zinc en el suero sanguíneo de las alpacas madres pasado los 10 días de haber parido ($P < 0.05$), a comparación de cuando estaban en parto y durante la lactancia tardía (Tabla 5). El estado post parición coincide con la época húmeda, teniendo mayores niveles en el suero, a comparación de la lactación tardía, pudiéndose inferir que a mayor concentración de zinc en las dietas seleccionadas mayor concentración de zinc en el suero sanguíneo, no obstante, esto no se ve del todo reflejado, ya que la concentración de zinc fue mayor en las dietas durante el mes de noviembre, coincidiendo con la época de gestación de las alpacas, esperando que la concentración en el suero se vea reflejada, lo cual no sucedió.

Si bien no hay artículos referentes al tema en alpacas, resultados obtenidos a partir de otras especies podrían explicar dichas diferencias en la concentración de zinc, en vacas durante la gestación, la concentración de zinc en suero disminuye debido a que grandes cantidades son utilizadas para el desarrollo del feto, además de estar presente en el calostro y leche, disminuyendo las reservas de este mineral (Pavlata *et al.* 2018) este calostro puede llegar a poseer altísima concentración de zinc a comparación del suero sanguíneo de la madre, indicando una movilización del zinc desde la madre hacia la primera leche de la cría (Pavlata *et al.* 2004), ambos procesos coinciden a lo determinado por Badiei *et al.* (2011), donde además de lo ya mencionado, agrega que pasado un mes del parto, la concentración de zinc en suero sanguíneo tienden a aumentar nuevamente, coincidiendo a lo determinado por Meglia *et al.* (2004), Yokus y Cakir (2006), y Karatzia *et al.* (2016), Similares tendencias determinaron Akhtar *et al.* (2010), en búfalos, obteniendo que la concentración de zinc en el último tercio de preñez bajan a comparación de los estados iniciales de preñez y vuelven a subir durante la fase de lactación, al igual que en ovejas (Aliarabi *et al.* 2018).

Otra posible diferencia en las concentraciones de zinc halladas podría deberse al manejo previo de las alpacas, las cuales fueron sometidas a un gran estrés, ya que en el primer muestreo estos animales fueron descendidos del lugar donde se encontraban pastoreando (Figura 1), sumado al hacinamiento dentro de un corral pequeño para la esquila de estos, teniéndolos que tumbar para poder realizar el proceso, siendo finalizado con la extracción de sangre. En ratas Tao *et al.* (2013), y Tian *et al.* (2014), demostraron que el estrés fisiológico produce un aumento en la liberación de corticotropina, lo cual desencadena el aumento de los glucocorticoides y un aumento de la metalotioneína causando captura del zinc, disminuyendo la concentración en suero y aumentando su acumulación a nivel hepático (aumento de ZIP14), similar resultado fue lo obtenido por Wegner *et al.* (1973), en vacas.

Con lo mencionado líneas arriba, se podría explicar el por qué disminuye la concentración de zinc durante el último tercio de gestación en las alpacas madres (desarrollo del feto, transferencia transplacentaria, producción de calostro, manejo de animales) y luego como tienden aumentar después del parto (10 días post parición), sin embargo, esto no coincide del todo con las concentraciones halladas, específicamente durante la lactación tardía, pudiéndose atribuir que en los estudios mencionados las dietas de las cuales se alimentaban los animales no variaban en contenido nutricional, a comparación del presente estudio, donde la lactación tardía coincide con la época seca, siendo esta la época donde disminuye la concentración de zinc en los pastos altoandinos, no pudiendo suplir las necesidades requeridas por las alpacas madres, tal como se mencionó previamente (sección 4.2.1).

Con respecto a la concentración selenio en sangre entera, no se encontraron diferencias significativas entre los estados fisiológicos, no obstante, se puede observar que mayor concentración fue durante el estado postparto temprano, se esperaría que a mayor concentración de selenio en la dieta halla mayor concentración de selenio en sangre, no obstante, esto no se ve reflejado en el contenido de selenio obtenido a partir de las dietas seleccionadas, teniendo mayor concentración de selenio en las dietas durante la época seca, la cual coincide con el estado de lactación tardía. Similar tendencia (no diferencias significativas) fue lo determinado por Herdt (1995), en llamas, donde no encontraron diferencias entre la concentración de selenio en suero sanguíneo, durante la gestación y después de la parición, aunque aparentemente eran diferentes (230 vs 203 ng/ml), también a lo determinado por Kachuee *et al.* (2019), en cabras, donde midieron la concentración de selenio 4 semanas antes del parto y durante el parto, siendo los valores en sangre entera de selenio de 120 y 123 ng/ml, respectivamente.

Por otra parte, en vacas Pilarczyk *et al.* (2012), determinaron que en la lactación temprana la concentración en el suero sanguíneo de selenio es mayor a comparación de la lactación tardía y durante la preñez tardía, para este último estado se atribuye la baja de concentración debido a que el selenio es esencial para el desarrollo intrauterino de los terneros, pasando considerada cantidad a través de la barrera placentaria, coincidiendo a lo hallado por Rowntree *et al.* (2004), cuanto más se aproxima la fecha de parición la concentración de selenio en plasma van disminuyendo, debido a la transferencia transplacentaria, para luego ir aumentando posterior al proceso de lactación temprana (Meglia *et al.* 2004; Karatzia *et al.* 2016), similar tendencia se observó en ovejas por Aliarabi *et al.* (2018). Sin embargo, Hefnawy *et al.* (2014), observaron la fluctuación de la concentración de selenio en el plasma

sanguíneo, teniendo un descenso marcado en la parición, pero pasado una semana un aumento marcado (pico), y posterior a esto una disminución gradual, hasta ser la concentración muy baja pasada las 8 semanas post parto en ovinos; mencionando que la mayor concentración de selenio se da en el calostro, disminuyendo y no siendo gran aporte durante toda la lactación, coincidiendo con Stewart *et al.* (2012).

Si bien estas referencias se basan en distintas especies y muestras biológicas (plasma y suero) podríamos inferir que los resultados obtenidos poseen una misma tendencia, es decir durante el último tercio de gestación la concentración de selenio, tienden a disminuir por la transferencia transplacentaria y el calostro. Si bien se esperaría que aumente la concentración de selenio durante la lactación tardía, ya que este mineral pierde acumulación en la leche, generando que la madre no derive los depósitos de selenio hacia la glándula mamaria y los conserve para su propia homeostasis, sumado a la mayor concentración de selenio en dieta. No obstante, recordemos que los requerimientos simulados indican que las alpacas se encuentran en un déficit de selenio (sección 4.2.1).

Tabla 7. Concentraciones de selenio en sangre entera y zinc en suero sanguíneo de alpacas crías durante los dos estados fisiológicos

Alpacas	Concentraciones	Estado fisiológico	
		10 días postparto	Lactación tardía
Crías	Zinc (ug/ml)	0.23 ^a ± 0.15	0.07 ^b ± 0.04
	Selenio(ng/ml)	54 ^{ns} ± 14.09	53 ^{ns} ± 19.63

Letras con superíndice diferente en filas (a y b), indica diferencias significativas ($P < 0.05$) y con superíndice (ns), indica no diferencias. Medias y desviaciones estándares están expresados ($\bar{x} \pm SD$)

Al analizar la concentración de zinc en suero sanguíneo de las crías, se observó una mayor concentración pasado los 10 días de haber nacido ($P < 0.05$), a comparación de la lactancia tardía (Tabla 7). En el caso de la concentración de selenio en sangre entera, no se observaron diferencias entre ambos estados fisiológicos.

Las diferencias en la concentración de zinc en suero sanguíneo de las crías se pueden atribuir al consumo del calostro, si bien en este estudio no se determinó la concentración de zinc en el calostro. En vacas Pavlata *et al.* (2004), determinaron que la concentración de zinc en el calostro de las vacas posee un nivel altísimo a comparación del suero sanguíneo de estas (30 veces más alto), teniendo las crías mayor concentración a comparación de las madres (debido

a la ingesta de calostro), obteniendo la misma tendencia en otro experimento publicado en el 2018 (Pavlata *et al.* 2018). Similar tendencia se esperaría encontrar para la concentración de sangre entera de selenio en crías, ya que inicialmente el selenio transplacentario es la primera fuente para la cría antes de que ingiera calostro. Siendo, el calostro la segunda fuente de selenio, la cual disminuye conforme va pasando los días de lactación, ya que se pierde la forma de acumulación (Stewart *et al.* 2012), entonces, el estatus de las crías va a depender primero de la transferencia transplacentaria, luego de la ingesta del calostro y durante los primeros meses de vida, del selenio almacenado a nivel hepático.

Las diferencias encontradas en ambas concentraciones con respecto al estado fisiológico en las crías (tendencia a disminuir las concentraciones después de 5 meses de haber nacido), sumado a lo ya mencionado líneas arriba (transferencia transplacentaria, calostro y contenido hepático), puede explicarse debido a que los primeros meses las crías si bien consume poco alimento, estas dependen principalmente de la leche materna hasta los dos meses de edad, hasta que pasado los 5 a 6 meses de edad se realiza el destete de estos (FAO 1996), en el presente estudio el manejo de las alpacas crías al destete o separación de las madres se produce en el mes octubre (Figura 1), pasado 7 meses de nacimiento, el ultimo muestreo se realizó en el mes de Julio (lactación tardía), basándose más la alimentación en los pastos altoandinos que en la leche materna.

Tabla 8. Correlaciones entre concentración de zinc en suero sanguíneo entre madres y crías en dos estados fisiológicos

Estados/Variable	Zinc 10 días post parto		Zinc en lactación tardía	
	<i>Cría</i>	<i>Madre</i>	<i>Cría</i>	<i>Madre</i>
<i>Cría</i>	1	0.67 ***	1	0.075 n.s

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$, n.s: no significativo

Tabla 9. Correlaciones entre concentración de selenio en sangre entera entre madres y crías en dos estados fisiológicos

Estados/Variable	Selenio 10 días post parto		Selenio en lactación tardía	
	<i>Cría</i>	<i>Madre</i>	<i>Cría</i>	<i>Madre</i>
<i>Cría</i>	1	-0.15	1	0.02
		n.s		n.s

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$, n.s.: no significativo

Acerca de las correlaciones determinadas, tal como se muestra en las Tablas 8 y 9, únicamente se encontró una correlación positiva alta (< 0.05) entre las madres y crías pasado 10 días post parto para la concentración de zinc en suero sanguíneo, es decir las alpacas crías aparte de depender los depósitos de zinc en hígado, también van a depender de lo que aporte la madre a partir de la producción de leche. Durante la lactación tardía no hay una correlación, debido al mismo motivo explicado acerca de las concentraciones de selenio y zinc en crías.

Con respecto al selenio, se determinó una correlación baja negativa y no significativa para el estado 10 días post parto, se esperaría encontrar una relación positiva debido a que el selenio en sangre entera la mayor proporción se encuentra en los glóbulos rojos (Mehdi *et al.* 2013) y la duración en la sangre de alpacas es de 60 días (Husakova *et al.* 2014), es decir va estar influenciado por el consumo de calostro, no obstante, al examinar los datos de forma individual, algunas madres tenían menor concentración de selenio a comparación de sus crías, por eso se explicaría la baja correlación. Al respecto de la lactación tardía, ya las crías de alpacas no dependen de la leche materna (la cual no aporta mucho selenio) y depende más del consumo de los pastos altoandinos, similar a lo ya mencionado líneas arriba.

Tabla 10. Concentraciones de selenio en sangre entera y zinc en suero sanguíneo en alpacas madres y crías durante los diferentes estados fisiológicos

Estados/Concentración	Preparto	10 días postparto	Lactación tardía	Parentesco
Zinc ($\mu\text{g/ml}$)	0.154 ± 0.11	0.26 ± 0.14	0.05 ± 0.04	Madres
Selenio (ng/ml)	53.6 ± 13.9	56.87 ± 14.44	48.2 ± 14.73	
Zinc ($\mu\text{g/ml}$)		0.23 ± 0.15	0.07 ± 0.04	Crías
Selenio (ng/ml)		54 ± 14.09	53 ± 19.63	

Medias y desviaciones estándares están expresados ($\bar{X} \pm \text{SD}$).

Finalmente, con respecto a la valoración de la concentración de zinc en suero sanguíneo de alpacas hallado en el presente estudio, esta oscila desde 0.05 hasta 0.26 $\mu\text{g/ml}$ (Tabla 10). La concentración de zinc mayor a 0.05 $\mu\text{g/ml}$ es similar a lo obtenido por Rosadio *et al.* (2012), en vicuñas del Perú, donde algunos animales poseían concentraciones altas (1.23 a 1.78 $\mu\text{g/ml}$) y otras bajas (0.07 a 0.18 $\mu\text{g/ml}$). No obstante, Semevolos *et al.* (2013), en Estados Unidos halló mayor concentración de este mineral (0.30 - 0.66 $\mu\text{g/ml}$) al igual que Dwyer *et al.* (2019), en Nueva Zelanda (0.33 - 0.90 $\mu\text{g/ml}$.) y Van Saun y Herdt (2014), en Norte América (0.19 a 2.05 $\mu\text{g/ml}$). En otras especies, Herdt y Hoff (2011), establecieron rangos referenciales para bovinos y ovinos, siendo la concentración de zinc en suero de 0.6 a 1.9 $\mu\text{g/ml}$ (para adultos y crías en crecimiento) y de 0.6 a 1.75 $\mu\text{g/ml}$ (para neonatos) en bovinos y de 0.55 a 1.2 $\mu\text{g/ml}$ (para adultos y crías en crecimiento) en ovinos. Al observar la concentración de zinc en suero, uno entendería que las alpacas utilizadas en el presente estudio poseían concentración muy baja pudiendo haber expresado algún signo de deficiencia, no obstante, todas se encontraban en buen estado de salud, la concentración de zinc en suero guarda cierta relación si uno compara estudios realizados de zinc en plasma (Judson *et al.* 1999; Judson *et al.* 2011; Judson *et al.* 2018) donde los rangos oscilaban desde 0.20 hasta 0.46 $\mu\text{g/ml}$ o en sangre entera (Scoggings 2015; Chicaiza *et al.* 2016; Pechová *et al.* 2018) con concentraciones de 0.34 a 0.85 $\mu\text{g/ml}$. La sangre está constituida por los siguientes componentes: glóbulos rojos y blancos, plaquetas, enzimas, hormonas, minerales y proteínas. Las diferencias entre sangre, plasma y suero son debido a la presencia de los componentes celulares, fibrinógeno y protrombina principalmente. Pechova *et al.* (2018), mencionan que la concentración de zinc en sangre entera son 3.5 veces más alta que la del plasma, siendo influenciado por el contenido en los eritrocitos, serie blanca y plaquetas, siendo el principal contenido de zinc a nivel de los eritrocitos, por parte de las enzimas anhidrasa carbónica y superóxido dismutasa, en el plasma el zinc se encuentra unido a la albumina (2/3), alfa macroglobulinas y metalotioneina, como se mencionó en el marco teórico. La principal diferencia entre plasma y suero es la presencia de factores de coagulación y fibrinógeno, no obstante, Dawson *et al.* (2011), hallaron que las globulinas están en mayor concentración en plasma a comparación de suero, pero que en el caso de la albumina son iguales en ambas fuentes.

Se entendería que la fracción medida en el presente estudio incluye a la albumina, la cual es el principal transportador de zinc (Tian *et al.* 2014). No obstante, la baja concentración hallada puede atribuirse al protocolo de extracción utilizado, ya que, en el presente trabajo,

se realizó una eliminación (extracción) de la fracción proteica del suero, exenta de proteínas (Rosales *et al.* 1988; Soltero *et al.* 2007; Heredia *et al.* 2016) y no una digestión (liberación de los metales en la muestra), en algunos casos la medición se hace de manera directa (Milczarek *et al.* 2018), con una dilución con agua destilada (The Perkin-Elmer Corporation. 1996; Syed *et al.* 2012), o agregando ácido clorhídrico (Universidad de Otago), sin embargo, en otros casos se hace una desproteinización de las muestras, generando la solubilización de las proteínas, siendo estas también medidas (Fedor *et al.* 2017), así pudiendo atribuirse estos bajos resultados, debido posiblemente a la eliminación de la fracción proteica del suero (albumina y globulinas).

Con respecto a la concentración de selenio en sangre entera en alpacas hallado en el presente estudio, la concentración oscilaba desde 48.20 a 56.87 ng/ml (Tabla 10), siendo esta mayor a lo encontrado por Ellison (2006), en alpacas criadas en Nueva Zelanda, donde el rango adecuado es de 0.028 a 0.22 ng/ml, también a lo determinado por Judson *et al.* (1999), en alpacas criadas en Australia (0.04-0.25 ng/ml), asimismo por Judson *et al.* (2011), donde la concentración fue de 0.14-0.20 ng/ml. No obstante, la concentración de selenio en sangre entera hallada fue menor a comparación de lo determinado por Husakova *et al.* (2014), en alpacas criadas en Europa con concentración de selenio desde 50.4 a 101.8 ng/ml, también a lo hallado por Chicaiza *et al.* (2016), en Ecuador, donde la concentración oscilaba desde 330 hasta 340 ng/ml. Asimismo, en otras especies, como en llamas criadas en Estados Unidos (Smith *et al.* 1998) con rangos desde 44 hasta 351 ng/ml, también en dromedarios donde la concentración oscilaba desde 25 hasta 117.8 ng/ml (Faye y Seboussi 2009), y en ovinos y bovinos, con concentración desde 100 hasta 350 ng/ml (Herdt y Hoff 2011).

Como se puede observar, existe mucha variabilidad en los datos obtenidos a partir de diversos autores referente a la concentración de selenio en sangre entera en alpacas, cabe mencionar que todos aseguran que las alpacas incluidas en sus estudios se encontraban en buen estado de salud, no obstante, Fowler (2010), menciona que concentración de selenio en sangre entera mayor a 100 ng/ml es considerado adecuado para los animales de granja, asimismo Van Saun y Herdt (2014), mencionan que rangos adecuados en alpacas de Norte América para sangre entera son de 150 a 220 ng/ml, ambas referencias indicarían que la concentración encontrada en el presente estudio y de algunos estudios citados son deficientes, esperándose la aparición de algún signo clínico relacionado al déficit de selenio. Cabe mencionar, que, si bien esta concentración de selenio es adecuada para un país, esta no tiene que ser generalizada y más bien debe servir de referencia, ya que el tipo de crianza y

las condiciones medioambientales no son las mismas, es por esto que Smith *et al.* (1998), Judson *et al.* (1999), Ellison (2006) y Husakova *et al.* (2014), proponen rangos referenciales en base a la ubicación geográfica, en este estudio si bien las alpacas presentaban un buen estado de salud, no es posible proponer un rango de referencia, ya que el número utilizado fue limitado.

V. CONCLUSIONES

- La concentración de zinc en las dietas seleccionadas por las alpacas fue mayor ($P<0.05$) en la época húmeda a comparación de la época seca, no se hallaron diferencias significativas entre las localidades muestreadas.
- La concentración de zinc en las dietas consumidas por las alpacas se considera marginal durante la época seca para la primera y cuarta localidad, cambiando a adecuada durante la época húmeda; a comparación de la segunda y tercera localidad, en las cuales durante ambas épocas la concentración de zinc fue adecuada.
- La concentración de selenio en las dietas consumidas por las alpacas se considera adecuada durante la época húmeda para la primera y tercera localidad, disminuyendo a marginal durante la época seca. Caso contrario, fue lo determinado en la cuarta localidad siendo la concentración de selenio marginal durante la época húmeda y adecuada durante la época seca. La segunda localidad fue la única en presentar concentración de selenio adecuada en ambas épocas.
- La concentración de zinc en el suero sanguíneo de las alpacas madres varió entre los estados fisiológicos, siendo mayor pasados los 10 días de haber parido ($P<0.05$), a comparación de cuando estaban en parto y durante la lactancia tardía.
- La concentración de selenio en sangre entera de las alpacas madres no varió entre los estados fisiológicos, teniendo valores similares en parto, 10 días postparto y lactación tardía.

- No se encontró relación entre madres y crías con respecto a la concentración de selenio en sangre entera.
- No se encontró relación entre madres y crías con respecto a la concentración de zinc en suero sanguíneo, a excepción del estado 10 días postparto, donde si aumenta la concentración de zinc en la madre también aumenta la concentración de zinc en la cría.

VI. RECOMENDACIONES

- Para conocer la variación en concentraciones de selenio y zinc en sangre y suero de alpacas, se recomienda incluir mayor número de alpacas, más zonas del Perú y más estados fisiológicos.
- Aparte de la medición en dietas y en componentes sanguíneos con respecto a las concentraciones de selenio y zinc, incluir en futuros estudios la medición tanto en el hígado como en muestras de leche (calostro y durante la lactación) para tener mayor detalle y explicar los fenómenos de distribución de los minerales.
- Para evaluar el impacto del estado fisiológico en las alpacas, se recomienda el diseño de estudios con una misma dieta durante los diferentes estados.
- Se recomienda diseñar experimentos controlados que permitan definir niveles de selenio y zinc en sangre y suero de alpacas con relación a deficiencia y toxicidad.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akhtar, MS; Farooq, AA; Muhammad, SA; Lodhi, LA; Hayat, CS; Aziz, MM. 2010. Serum electrolyte and mineral variations during pregnancy and lactation in Nili-Ravi buffalo. *Biol Trace Elem Res.*137(3):340-3. doi: 10.1007/s12011-009-8581-9.

Ademi, A; Bernhoft, A; Govasmark, E; Bytyqi, H; Sivertsen, T; Singh, BR. 2017. Selenium and other mineral concentrations in feed and sheep's blood in Kosovo. *Transl Anim Sci.*1(1):97-107. doi: 10.2527/tas2016.0010.

Aliarabi, H; Fadayifar, A; Alimohamady, R; Dezfoulian, AH. 2018. The Effect of Maternal Supplementation of Zinc, Selenium, and Cobalt as Slow-Release Ruminant Bolus in Late Pregnancy on Some Blood Metabolites and Performance of Ewes and Their Lambs. *Biol Trace Elem Res.*187(2):403-410. doi: 10.1007/s12011-018-1409-8.

Aragon, O. 2005. Buenas prácticas en la producción de alpacas. AMDARES. Perú.

Argote, G; Aguirre, L; Flores, E. 2013. Frecuencia de *Trifolium amabile* kunth (Fabaceae) en dos sitios del altiplano de Puno, Perú. *Ecol. apl.*, Lima. v. 12, n. 2, p. 83-89.

Austin, D; Urness, P; Fierro, L. 1983. Spring livestock grazing affects crested wheatgrass regrowth and winter use by mule deer. *Journal of Range Management.*36:589-593.

Badiei, K; Orangi, H; Mostaghni, K; Pourjafar, M; Roushan, A. 2011. Serum trace minerals in different physiological states of high- and average-producing dairy cows. *Comp Clin Pathol* 20:427–431.

Bazán, R. 2018. Manual para el análisis químico. Fundación Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Laboratorio de Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía. Pp 51-52.

Burton, S; Robinson, T; Roeder, Bl; Johnston, NP; Latorre, EV; Reyes, SB; Schaaajle, B. 2003. Body condition and blood metabolite characterization of alpaca (*Lama pacos*) threemonths prepartum and offspring three months postpartum. *Small Ruminant Research*. 48: 69-76.

CENAGRO. (Censo Nacional Agropecuario).2012. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Perú.

Carroll, C; Olsen, KD; Ricks, NJ; Dill-McFarland, KA; Suen, G; Robinson, TF; Chaston, JM. 2019. Bacterial Communities in the Alpaca Gastrointestinal Tract Vary with Diet and Body Site. *Front. Microbiol.* 9:3334. doi: 10.3389/fmicb.2018.03334.

Chao, R; Xia, C; Pei, C; Huo, W; Qiang, L; Zhang, C; Ren, Y. 2020. Comparison of the microbial communities of alpacas and sheep fed diets with three different ratios of corn stalk to concentrate. *Journal of animal physiology and animal nutrition*. 105. 10.1111/jpn.13442.

Church, D; Pond, W y Pond, K. 2001. *Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales*. 2ª edición. Limusa.

Chicaiza, L; Arcos, C; Lascano, P; Usca, J; Henán, F; Armas, J; Bastidas, H; Martínez, M; Méndez, S; Soria, M; López, G; Guevara, R. 2016. Efectos de la suplementación con microminerales en indicadores de producción y su residualidad en sangre, heces y orina de alpacas (*Lama lama*) en pastoreo. *Revista de Producción Animal*, 28(2-3), 26-32.

Clauss, M; Lendl, CE; Schramel, P; Streich, WJ. 2004. Skin lesions in alpacas and llamas with low zinc and copper status - a preliminary report. *Veterinary Journal*, 167(3):302-305.

Clavo, N; Perez, Ch. 1988. Consumo Nutricional Comparativo entre alpacas y llamas en pasturas mejoradas durante la época seca. *IVITA: 30 años de ciencia y tecnología pecuaria peruana*. Martegraf E.I.R.L. Lima. 82 pp.

Čobanová, K; Faix, Š; Plachá, I; Mihaliková, K; Váradyová, Z; Kišidayová, S; Grešáková, L. 2016. Effects of Different Dietary Selenium Sources on Antioxidant Status and Blood Phagocytic Activity in Sheep. *Biol Trace Elem Res.* 175(2):339-346. doi: 10.1007/s12011-016-0794-0.

Dávila, R; Navarrete, M; Lira, B; Vásquez, M; Paredes, M; Rodríguez, J. 2014. Niveles de potasio sérico y estudio electrocardiográfico en crías de alpaca (*Vicugna pacos*). *Rev. investig. vet. Perú*, 25(3), 350-354.

Dalir-Naghadeh, B; Bahrami, Y; Rezaei, SA; Anassori, E; Janalipour, A; Khosravi, V. 2015. Platelet Indices of Selenium Status in Healthy and Selenium-Deficient Sheep: a Comparison with Selenium Indices in Plasma, Whole Blood, and Red Blood Cells. *Biol Trace Elem Res.* 168(1):74-81. doi: 10.1007/s12011-015-0332-5.

Dawson, DR; DeFrancisco, RJ; Mix, SD; Stokol, T. 2011. Reference intervals for biochemical analytes in serum and heparinized plasma and serum protein fractions in adult alpacas (*Vicugna pacos*). *Vet Clin Pathol.* 40(4):538-548. doi: 10.1111/j.1939-165X.2011.00361.x.

Dwyer, C; Whitfield, LK; Laven, RA. 2019. The effect of elemental Zn boluses on concentrations of Zn in serum and faeces of South American camelids. *N Z Vet J.* 67(4):210-213. doi: 10.1080/00480169.2019.1609382.

Echevarria, M; Soikes, R; Beeson, K; Kalinowski, J. 1970. Interrelación suelo-planta-nutrición-X. Composición química de los forrajes de Junín. *Anales Científicos. VH VIII.*179-194.

Ellison, R. 2006. Trace Mineral Reference Ranges for Alpaca. Disponible en: www.alpaca.org.nz/index.php/download_file/view/1075/319/.

Ensley, S. 2020. Evaluating Mineral Status in Ruminant Livestock. *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* 36(3):525-546. doi: 10.1016/j.cvfa.2020.08.009.

- Espinoza, JE; McDowell, LR; Rodriguez, J; Loosli, JK; Conrad, JH; Martin, FG. 1982. Mineral status of llamas and sheep in the Bolivian Altiplano. *J Nutr.* 112(12):2286-92. doi: 10.1093/jn/112.12.2286.
- FAO. 1996. Manual de prácticas de manejo de alpacas y llamas. Italia. ISSN 1014-1200, 1-130.
- Faye, B; Seboussi, R. 2009. Selenium in camel--a review. *Nutrients.* Jan;1(1):30-49. doi: 10.3390/nu1010030.
- Farfán, R; Farfán E. 2012. Producción de Pasturas Cultivadas y Manejo de Pastos Naturales Altoandinos. Moquegua: INIA-Gobierno Regional de Moquegua, 249 pp.
- Farfan, R. 1982. Dry season forage preferences of alpaca (*Lama Pacos*) in southern Perú. Tesis para optar el grado de Magister en Ciencia. Universidad técnica de Texas.
- Fedor, M; Socha, K; Urban, B; Soroczyńska, J; Matyskiela, M; Borawska, MH; Bakunowicz-Łazarczyk, A. 2017. Serum Concentration of Zinc, Copper, Selenium, Manganese, and Cu/Zn Ratio in Children and Adolescents with Myopia. *Biol Trace Elem Res.* 176(1):1-9. doi: 10.1007/s12011-016-0805-1.
- Flórez, A. 1991. Pastos y forrajes. En Producción de rumiantes menores: Alpacas. Rerumen. Lima. Perú: 31-70.
- Flórez, A. 2005. Manual de pastos y forrajes altoandinos. ITDG AL, OIKOS. 53p
- Fowler, M. 2010. Feeding and Nutrition en: Medicine and surgery of camelids. 3°Edi. BlackWell. 17-58.
- Galbraith, M; Vorachek, W; Estill, C; Whanger, P; Bobe, G, Davis, T; Hall J. 2016. Rumen Microorganisms Decrease Bioavailability of Inorganic Selenium Supplements. *Biol Trace Elem Res.* Jun;171(2):338-343. doi: 10.1007/s12011-015-0560-8

Georgievski, V; Annenkov, B; Samokhin, V. 1982. Mineral nutrition of animals. Butterworths, London, p 1- 475.

Giraldo, L. 1993. Estimación de la composición botánica en pasturas y en sistemas silvopastoriles, En: Manejo y utilización sostenible en pasturas. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: [https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250 / 583719](https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/583719)

Goff, JP. 2018. Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid-base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *J Dairy Sci.* 101(4):2763-2813. doi: 10.3168/jds.2017-13112.

Gomez, C.1984. Efecto de la suplementación con harina de pescado, urea y minerales sobre respuesta de ovinos en pasturas naturales altoandinas. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Gong, J; Xiao, M. 2018. Effect of organic selenium supplementation on selenium status, oxidative stress, and antioxidant status in selenium-adequate dairy cows during the periparturient period. *Biol Trace Elem Res.* 186(2):430-440. doi: 10.1007/s12011-018-1323-0.

Hambidge, K; Casey, C; Krebs, N. 1986. Zinc en: Trace Elements in Human and Animal Nutrition. Academic Press, 1-137, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-092469-4.50005-4>.

Hall, J; Van Saun, R; Bobe, G; et al. 2012. Organic and inorganic selenium: I. Oral bioavailability in ewes. *J. Anim. Sci.* 90: 568-576.

Hefnawy, AE; Youssef, S; Aguilera, PV; Rodríguez, CV; Pérez, JL. 2014. The Relationship between Selenium and T3 in Selenium Supplemented and Nonsupplemented Ewes and Their Lambs. *Veterinary medicine international.* <https://doi.org/10.1155/2014/105236>.

Hendawy, A.O.; Sugimura, S.; Sato, K.; Mansour, M.M.; Abd El-Aziz, A.H.; Samir, H.; Islam, M.A.; Bostami, A.B.M.R.; Mandour, A.S.; Elfadadny, A.; Ragab, R.F.; Abdelmageed, H.A.; Ali, A.M. 2022. Effects of Selenium Supplementation on Rumen

Microbiota, Rumen Fermentation, and Apparent Nutrient Digestibility of Ruminant Animals: A Review. *Fermentation* 8, 4. <https://doi.org/10.3390/fermentation8010004>

Herd, T; Hoff, B. 2011. The use of blood analysis to evaluate trace mineral status in ruminant livestock. *Vet Clin Food Anim.* 27: 255 – 283.

Herd, TH. 1995. Blood serum concentrations of selenium in female llamas (*Lama glama*) in relationship to feeding practices, region of United States, reproductive stage, and health of offspring. *J Anim Sci.* 73(2):337-44. doi: 10.2527/1995.732337x.

Heredia, Y; Machado, R; Mendoza, M; Jardines, D; Vázquez, A. 2016. Desproteínización de muestras de suero y plasma para el estudio analítico de carbamazepin. *Revista Cubana de Química*, 28(3), 870-889.

Ho, K; Cobiella, D; Walz, H; Kennis, R; White, A. 2016. Cutaneous candidiasis infection in two alpacas. *Vet Rec Case Rep Published Online.* doi:10.1136/vetreccr-2016- 000354.

Holasová, M; Pechová, A; Husakova, T. 2017. The evaluation of Cu, Zn, Mn, and Se concentrations in the hair of South American camelids. *Acta Vet. Brno*, 86: 141-149.

Hudman, J.F; Glenn, A.R. 1985. Selenium uptake by *Butyrivibrio fibrisolvens* and *Bacteroides ruminicola*, *FEMS Microbiology Letters*, Volume 27, Issue 2, May 1985, Pages 215–220, <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1985.tb00670.x>

Husakova, T; Pavlata, L; Pechova, A; Hauptmanova, K; Tichy, L. 2014. Assessment of selenium status in alpaca. *Small Ruminant Research* 117:176-182.

Iquise, V. 2017. “Metales pesados en carne y vísceras de alpacas de dos comunidades del distrito de Ananea”. Tesis para optar el grado de Médico veterinario y zootecnista. UNA. Puno.

Judson, G. 1999. Survey of blood mineral, trace element and vitamin concentrations of alpacas in Southern Australia. En *Australia alpaca fibre, improving productivity and marketing.* RIRDC. 55-69.

Judson, G; McGregor, B; Howse, A. 2011. Blood mineral, trace-element and vitamin concentrations in Huacaya alpacas and Merino sheep grazing the same pasture. *Animal Production Science*. 51: 873-880.

Judson, GJ; McGregor, BA; Ellis, KJ; Howse, AM. 2018. Evaluation of controlled-release devices for providing chromium sesquioxide and zinc in Huacaya alpacas at pasture. *Aust Vet J*. 96(11):458-463. doi: 10.1111/avj.12759.

Juniper, DT; Rymer, C; Briens, M. 2019. Bioefficacy of hydroxy-selenomethionine as a selenium supplement in pregnant dairy heifers and on the selenium status of their calves. *J Dairy Sci*. 102(8):7000-7010. doi: 10.3168/jds.2018-16065.

Kachuee, R; Abdi-Benemar, H; Mansoori, Y; Sánchez-Aparicio, P; Seifdavati, J; Elghandour, MMY; Guillén, RJ; Salem, AZM. 2019. Effects of Sodium Selenite, L-Selenomethionine, and Selenium Nanoparticles During Late Pregnancy on Selenium, Zinc, Copper, and Iron Concentrations in Khalkhali Goats and Their Kids. *Biol Trace Elem Res*. 191(2):389-402. doi: 10.1007/s12011-018-1618-1.

Kalinowski, J. 1970. Interrelaciones-suelos-planta-nutrición composición química de algunas especies forrajeras nativas del altiplano del departamento de Puno. Tesis para optar el grado de Magister Scientae. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Karatzia, MA; Katsoulos, PD; Karatzias, H; Zeyner, A. 2016. Blood selenium, copper, and zinc in dairy heifers during the transition period and effects of clinoptilolite administration. *Czech J. Anim. Sci.*, 61: 133-139.

Khan, Z; Hussain, A; Ashraf, M; McDowell, L. 2006. Mineral Status of Soils and Forages in Southwestern Punjab-Pakistan: Micro-minerals. *Anim Biosci* 19(8):1139-1147. doi: <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.1139>.

Kojouri, G; Aghajani, E; Jahanabadi, S; Kojouri, A. 2011. Mineral status of myocardial sarcocystosis. *Iranian journal of parasitology*, 6(2), 17–22.

Kumaresan, A; Bujarbaruah, KM; Pathak, KA; Brajendra; Ramesh, T. 2010. Soil-plant-animal continuum in relation to macro and micro mineral status of dairy cattle in subtropical hill agro ecosystem. *Trop Anim Health Prod.* 42(4):569-77. doi: 10.1007/s11250-009-9459-8.

Liu, H; Sun, Y; Zhao, J; Dong, W; Yang, G. 2020. Effect of Zinc Supplementation on Semen Quality, Sperm Antioxidant Ability, and Seminal and Blood Plasma Mineral Profiles in Cashmere Goats. *Biol Trace Elem Res.* 196(2):438-445. doi: 10.1007/s12011-019-01933-x.

Mehdi, Y; Dufrasne, I. 2016. Selenium in Cattle: A Review. *Molecules.* 21(4):545. doi: 10.3390/molecules21040545.

Mehdi, Y; Hornick, JL; Istasse, L; Dufrasne, I. 2013. Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules.* 18(3):3292-311. doi: 10.3390/molecules18033292.

Meglia, GE; Holtenius, K; Petersson, L; Ohagen, P; Waller, KP. 2004. Prediction of vitamin A, vitamin E, selenium and zinc status of periparturient dairy cows using blood sampling during the mid dry period. *Acta Vet Scand.* 45(1-2):119-28. doi: 10.1186/1751-0147-45-119.

McDowell, L. 2003. Selenium. *Minerals in Animal and Human Nutrition*, 397–448. doi:10.1016/b978-0-444-51367-0.50016-7

McDowell, L. 2003. Zinc. *Minerals in Animal and Human Nutrition*, 357–395. doi:10.1016/b978-0-444-51367-0.50015-5.

McDowell, LR; Conrad, JH; Thomas, JE; Harris, LE; Fick, KR. 1977. Nutritional composition of Latin American forages. *Tropical Animal Production* 2:273.

Milczarek, M; Czopowicz, M; Szara, E; Szara, T; Nalbert, T; Kosieradzka, I; Kaba, J. 2018. The concentration of copper, zinc, manganese and selenium in the serum and liver of goats with caprine arthritis-encephalitis. *Pol J Vet Sci.* 21(4):715-720. doi: 10.24425/124310.

Misurova, L; Pavlata, L; Pechova, A; Dvorak, R. 2009. Selenium metabolism in goats – maternal transfer of selenium to newborn kids. *Veterinarni Medicina*, 54, 2009 (3): 125–130.

Mollehuanca, J. 2018. “Niveles séricos de calcio, fosforo y magnesio en alpacas Huacaya, púberes y adultas post-parto en cuatro centros de producción del Perú”. Tesis para optar el grado de Médico veterinario y zootecnista. UNA. Puno.

National Research Council. 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11654>.

National Research Council. 2005. *Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11309>.

Ndebele, N; Mtimuni, JP; Mpofu, IDT; Makuza, S; Mumba, P. 2005. The Status of Selected Minerals in Soil, Forage and Beef Cattle Tissues in a Semi-arid Region of Zimbabwe. *Trop Anim Health Prod* 37, 381–393. <https://doi.org/10.1007/s11250-005-3864-4>.

O’dell, B; Sunde, R. 1997. *Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements*. CRC Press. 1-692.

Ogwang, B. 1988. The Mineral Status of Soil, Forage and Cattle Tissues in the Middleveld of Swaziland. *Experimental Agriculture*, 24(2), 177-182. [doi:10.1017/S0014479700015921](https://doi.org/10.1017/S0014479700015921).

Ortiz, R. 2014. "Estudio agrostodafológico y capacidad de carga animal en contadera-Tomas – Yauyos". Tesis para optar el grado de ingeniero zootecnista. UNALM. Lima.

Pavlata, L; Podhorsky, A; Pechová, A; Chomat, P. 2018. Differences in the occurrence of selenium, copper and zinc deficiencies in dairy cows, calves, heifers and bulls. *Veterinarni Medicina*, 50, 390-400.

Pavlata, L; Pechova, A; Dvorak R. 2004. Microelements in colostrum and blood of cows and their calves during colostral nutritions. *Acta Veterinaria Brno*, 73, 421–429.

Parker, KW. 1951. Method of measuring trend in range conditions on national forest ranges. USDA Forest Service, 26 p.

Pechová, A; Husáková, T; Pavlata, L; Holasová, M; Hauptmanová, K. 2018. Assessment of the Zinc and Copper Status in Alpaca. *Biol Trace Elem Res*. 181(2):242-250. doi: 10.1007/s12011-017-1043-x.

Pilarczyk, B; Jankowiak, D; Tomza-Marciniak, A; Pilarczyk, R; Sablik, P; Drozd, R; Tylkowska, A; Skólmowska, M. 2012. Selenium concentration and glutathione peroxidase (GSH-Px) activity in serum of cows at different stages of lactation. *Biol Trace Elem Res*. 147(1-3):91-6. doi: 10.1007/s12011-011-9271-y.

Quispe, C. 2016. “Estatus mineral de Ca y P en alpacas (*vicugna pacos*) hembras durante la estación de verano”. Tesis para optar el grado de Ingeniero zootecnista. UNH. Huancavelica.

Quispe, C. 2019. “Niveles de fosforo en la dieta y sus efectos sobre el crecimiento y performance reproductivo en alpacas hembras pos destete”. Tesis para optar el grado de doctor doctoris philosophiae en ciencia animal. UNALM. Lima.

Reiner, RJ; Bryant, FC. 1986. Botanical composition and nutritional quality of alpaca diets in two Andean Rangeland communities. *J.Range Manage*. 39: 424-42.

Rivera, I. 2012. Evaluación de praderas del Proyecto Conservación de Praderas. MINAM. 114p.

Rodríguez, J; Barrios, M; Lopez-Torres, B; Rodríguez, A; Revuelta, L. 2016. Relación entre los valores bioquímicos séricos fetal y maternal en alpacas. *Rev. investig. vet. Perú*, 27(3), 467-474. <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v27i3.11998>.

Rosales, A. 1979. Contribución al estudio del estado nutricional en minerales de los camélidos sudamericanos en el Altiplano. Tesis Prog. Acad. Med. Vet. Univ. Nac. Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Rosales, A.; Valdivia, R.; Clavo, N. 1988. El Calcio y fosforo en la nutrición de los Camélidos Sudamericanos". *Rev Camelid Sudamer IVITA*, Perú.

Rosadio, R; Yaya, K; Véliz, Á; Rodríguez, A; Castillo, H; Wheeler, J. 2012. Análisis microbiológico, patológico y determinaciones de microelementos en vicuñas afectadas con "caspa". *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 23(3), 357-368.

Rowntree, JE; Hill, GM; Hawkins, DR; Link, JE; Rincker, MJ; Bednar, GW; Kreft, RA. 2004. Effect of Se on selenoprotein activity and thyroid hormone metabolism in beef and dairy cows and calves. *J Anim Sci.* 82(10):2995-3005. doi: 10.2527/2004.82102995x.

Sánchez, J; Vargas, E; Campabadal, C; Fonseca, H. 1986. Contenido proteico y mineral en los forrajes de la zona montañosa central de costa rica. I efecto de la época climática y el estado vegetativo. *Agronomía Costarricense* 10 (1/2): 179-190.

San Martín, F. 1991. Nutrición y alimentación. En *Producción de rumiantes menores: Alpacas. Rerumen*. Lima. Perú: 72-93.

Schrauzer, GN. 2003. The nutritional significance, metabolism and toxicology of selenomethionine. *Adv Food Nutr Res* 47:73–112.

Scoggins, S. 2015. Copper Deficiency and Alpaca Disease, a Case Study. *Alpacas Magazine*, pp. 24-30.

Shamat, AM; Bakiker, IA; Mukhtar, AMS; Ahmed, FA. 2009. Seasonal and regional variation in mineral content of some important plants species selected by Camels (*Camelus dromedaries*) in Arid and Semi-arid Lands (ASAL) of Sudan. *J. Applied Sci. Res.*, 5: 1676-1684.

Shariff, MA; Krishnamurti, CR; Schaefer, AL; Heindze, AM. 1984. Bidirectional transfer of selenium across the sheep placenta in utero. *Can. J. Anim. Sci.* 64(Suppl.):252.

Shi, L; Yue, W; Zhang, C; Ren, Y; Zhu, X; Wang, Q; Shi, L; Lei, F. 2010. Effects of maternal and dietary selenium (Se-enriched yeast) on oxidative status in testis and apoptosis of germ cells during spermatogenesis of their offspring in goats. *Anim Reprod Sci.* 119(3-4):212-8. doi: 10.1016/j.anireprosci.2010.02.012.

Seboussi, R; Faye, B; Alhadrami, G; Askar, M; Ibrahim, W; Hassan, K; Mahjoub, B. 2008. Effect of different selenium supplementation levels on selenium status in camel. *Biol Trace Elem Res.* 123(1-3):124-38. doi: 10.1007/s12011-008-8107-x.

Seboussi, R; Faye, B; Alhadrami, G; Askar, M; Ibrahim, W; Mahjoub, B; Hassan, K; Moustafa, T; Elkhoully, A. 2010. Selenium distribution in camel blood and organs after different level of dietary selenium supplementation. *Biol Trace Elem Res.* 133(1):34-50. doi: 10.1007/s12011-009-8410-1.

Semevolos, S; Reed, S; Schultz, L. 2013. Evaluation of serum trace mineral, vitamin D, and sex steroid hormone concentration, and survey data in llamas and alpacas with metacarpophalangeal and metatarsophalangeal hyperextension. *Am J Vet Res.* 74: 48-52.

SENAMHI. 2020. Mapas de estaciones. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/mapas/mapa-estaciones/mapadepesta1.php>.

Shahid Hassan Mir, S; Hassan Mir, Veena Mani, V; Mani, Ravi Prakash Pal, R; Prakash Pal, Tariq Ahmed Malik, T; Ahmed Malik, & Hunny Sharma, H. Sharma. 2020. Zinc in Ruminants: Metabolism and Homeostasis. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India, Section B: biological sciences*, 90, 9-19.

Slavík, P; Illek, J; Zelený, T. 2007. Selenium status in heifers, late pregnancy cows and their calves in the Šumava Region, Czech Republic. *Acta Vet. Brno* 2007, 76: 519-524.

Smith, BB; Van Saun, RJ; Reed, PJ; Craig, AM; Youngberg, A. 1998. Blood mineral and vitamin E concentrations in llamas. *Am J Vet Res.* 59(8):1063-70.

Soto, P. 2019. “Efecto de la suplementación de fosforo sobre el crecimiento en alpacas desde el destete hasta la estación reproductiva en Pasco-2018”. Tesis para optar el grado de Médico veterinario y zootecnista. UPLA. Huancayo.

Soltero, D; Palafox, D; Herrera, I; Dávila, A; Cuéllar, J; González, M. 2007. Determinación de niveles de cobre en una población estudiantil por espectrofotometría de absorción atómica en flama. *Synthesis*. (40):1-6.

Stewart, WC; Bobe, G; Vorachek, WR; Pirelli, GJ; Mosher, WD; Nichols, T; Van Saun, RJ; Forsberg, NE; Hall, JA. 2012. Organic and inorganic selenium: II. Transfer efficiency from ewes to lambs. *J Anim Sci*. 90(2):577-84. doi: 10.2527/jas.2011-4076.

Suttle, N. 2010. Mineral nutrition of livestock. 4°Edi.CABI, Cambridge.14-38.

Syed, F; Nida, I; Syed, U. 2012. Analysis of Zinc in Human Blood Using Flame Atomic Absorption Spectroscopy (FAAS). ICMBPS'2012. Singapore April 28-29.

Tao, L; Zheng, Y; Shen, Z; Li, Y; Tian, X; Dou, X; Qian, J; Shen, H. Psychological stress-induced lower serum zinc and zinc redistribution in rats. *Biol Trace Elem Res*. 2013 Oct;155(1):65-71. doi: 10.1007/s12011-013-9762-0. Epub 2013 Aug 24. PMID: 23975576.

Tapia, M; Flores, J. 1984. Pastoreo y pastizales de los Andes del Sur del Perú. Instituto Nacional de Investigación y Promoción Agropecuaria.

The Perkin-Elmer Corporation. 1996. Analytical methods for atomic absorption spectroscopy. Estados Unidos de América.

Thompson, J; Reid, R. 1981. Mineral status of beef cows and sheep on spring pasture fertilized with kieserite. *J Anim Sci*. 52(5):969-76. doi: 10.2527/jas1981.525969x.

Tian, X; Zheng, Y; Li, Y; Shen, Z; Tao, L; Dou, X; Qian, J; Shen, H. 2014. Psychological stress induced zinc accumulation and up-regulation of ZIP14 and metallothionein in rat liver. *BMC Gastroenterol*.14:32. doi: 10.1186/1471-230X-14-32.

Toral Martínez, C. 2012. Determinación de macro y micro minerales en suero sanguíneo de alpacas, en la comunidad de Guangaje, cantón Pujilí. Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. UTC. Latacunga. 98 p.

University of Otago, Department of Nutrition. Laboratory protocol for the analysis of serum or plasma zinc by flame atomic absorption spectrophotometry. New Zealand.

Van Saun, R. 2009. Nutritional requirements and assessing nutritional status in camelids. *Vet Clin Food Anim.* 25: 265-279.

Van Saun, R. 2012. Selenium nutrition and therapy in small ruminants. *THE AABP PROCEEDINGS* Sept; (45)148-154.

Van Saun, R. 2006. Nutrient requirements of South American camelids: A factorial approach. *Small Ruminant Research.* 61: 165-186.

Van Saun, R. 2014. Nutritional Requirements. En *Llama and alpaca care: medicine, surgery, reproduction, nutrition, and heard health.* 1°Edi. Elsevier. 59-79.

Van Saun, R; Herdt, T. 2014. Nutritional Assesment. En *Llama and alpaca care: medicine, surgery, reproduction, nutrition, and heard health.* 1°Edi. Elsevier. 100-123.

Van Saun, R; Cebra, C. 2014. Nutritional Diseases. En *Llama and alpaca care: medicine, surgery, reproduction, nutrition, and heard health.* 1°Edi. Elsevier. 124-139.

Van Saun, RJ; Herdt, TH; Stowe, HD. 1989. Maternal and fetal vitamin E concentrations and selenium-vitamin E interrelationships in dairy cattle. *J Nutr.*119(8):1156-64. doi: 10.1093/jn/119.8.1156.

Vilallonga, D; Jiménez, A; Sánchez, J; Andrés, S. 2012. Evaluation of the mineral status of two ecosystems for sustainable goat rearing in the iberian peninsula. *Veterinary medicine international,* 853548.

Wu, Guoyao. 2017. Nutrition and metabolism of minerals en: Principles of Animal Nutrition. 1ª Ed. CRC Press. 585-589

Wegner, TN; Ray, DE; Lox, CD; Stott, GH. 1973. Effects of stress on serum zinc and plasma corticoids in dairy cattle. *J Dairy Sci.* 56(6):748-52. doi: 10.3168/jds.s0022-0302(73)85245-2.

Wilcox, BP; Bryant, FC. 1984. Asociaciones Vegetales en las Praderas Naturales de la Sierra Central del Perú. Inv. sobre Pastos y Forrajes Texas Tech University. Vol. I Eds. San Martín Felipe y Fred Bryant. Lima-Perú.

Wright, CL; Spears, JW; Webb, KE. 2008. Uptake of zinc from zinc sulfate and zinc proteinate by ovine ruminal and omasal epithelia. *Journal of Animal Science*, Volume 86, Issue 6, Pages 1357–1363.

Wittwer, F; Araneda, P; Ceballos, A; Contreras, P; Andaur, M; Böhmwald, H. (2002). Actividad de glutatión peroxidasa (GSH-Px) en sangre de bovinos a pastoreo de la IX Región, Chile y su relación con la concentración de selenio en el forraje*. *Archivos de medicina veterinaria*, 34(1), 49-57. <https://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2002000100005>

Yokus, B; Cakir, UD. 2006. Seasonal and physiological variations in serum chemistry and mineral concentrations in cattle. *Biol Trace Elem Res.* 109(3):255-66. doi: 10.1385/BTER:109:3:255.

Zech, W; Feuerer, T. 1984. Mineral content and food quality of plants on representative sites in the Callaway mountains, Bolivia. *Mountains Research and Development.* 4(4) pp.331-338.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Composición florística determinadas en las cuatro localidades

Especie/Localidad	Primera		Segunda		Tercera		Cuarta	
	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda
<i>Aciachne pulvinata</i>	26	0	6	0	0	0	0	0
<i>Adesmia spinosissima</i> Meyen ex Vog	0	0	0	0	4	0	0	0
<i>Alchemia pinnata</i>	2	5	3	8	0	20	1	0
<i>Aristida enodis</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Bromus uniolooides</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Bromus catharticus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Calamagrostis antoniana</i>	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Calamagrostis sp.</i>	0	0	0	0	8	0	0	0
<i>Calamagrostis vicunarum</i>	7	10	21	3	0	0	9	0
<i>Carex bonplandii</i>	0	0	0	6	0	0	0	0
<i>Carex ecuatoriana</i>	0	0	0	0	0	0	2	0
<i>Carex equadorica</i>	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Dactylis glomerata</i>	1	0	4	0	0	0	0	0
<i>Distichilis humilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Distichia muscoides</i>	0	26	0	0	0	0	0	0
<i>Festuca dolichophylla</i>	0	0	0	0	40	4	0	22
<i>Festuca orthophylla</i>	0	0	0	0	0	4	0	0
<i>Festuca rigescens</i>	14	9	25	34	0	0	0	0
<i>Gentiana sp.</i>	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Geranium sessiliflorum</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Hypochoeris taraxacoides</i>	0	0	0	0	0	0	6	0
<i>Kachi</i>	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Muhlebergia fastigiata</i>	0	0	4	0	6	26	37	36
<i>Muhlebergia ligularis</i>	0	12	0	0	0	6	0	0
<i>Lachemilla pinnata</i>	0	6	0	0	0	0	0	0
<i>Liabum ovatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>Lolium perenne</i>	10	9	11		0	0	0	0
<i>Luzula peruviana</i>	0	0	5	15	0	0	0	0
<i>Ourisia muscosa</i>	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Plantago rigida</i>	8	0	0	0	0	0	0	0
<i>Plantago sericea</i>	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Plantago tubulosa</i>	8	3	0	0	0	0	0	0
<i>Paspalum pygmaeum</i>	0	0	0	0	0	10	0	9
<i>Poa sp.</i>	0	0	0	20	0	0	3	0

<i>Scirpus rigidus</i>	6	0	7	0	6	1	5	2
<i>Stipa ichu</i>	0	0	0	0	7	3	14	6
<i>Stipa Brachyphylla</i>	7	5	0	0	0	0	0	0
<i>Trifolium amabile.</i>	0	0	0	5	0	7	0	13
Roca	0	1	0	0	1	1	0	0
Musgo	0	0	0	3	0	2	0	0
Mantillo	0	6	11	2	5	2	8	0
Suelo desnudo	7	2	3	4	22	9	15	0
Agua	0	6	0	0	0	0	0	0
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100

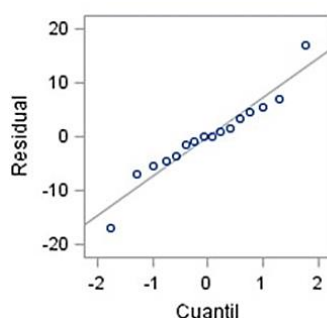
Anexo 2. Concentraciones de zinc, proteína cruda y fibra detergente acida en dietas seleccionadas en alpacas según localidad

Variables/Alpacas		Primera		Segunda		Tercera		Cuarta	
		Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda
Proteína cruda %MS	Alpaca 1	8.1	13.6	9.1	9.2	4.6	15.2	7.3	16.1
	Alpaca 2	7.5	10.4	13.7	11.2	4.1	6.1	8.9	12.1
FDA %MS	Alpaca 1	40.4	35.6	47.2	28.7	45.4	28.8	39.3	36
	Alpaca 2	43.7	39.9	40.5	39.7	46.6	19.8	43.3	40.3
Zinc (mg/kg)	Alpaca 1	31	54	36	62	32	50	22	35
	Alpaca 2	28	20	27	51	34	36	29	35
Azufre (%MS)	Alpaca 1	0.18	0.21	0.17	0.14	0.12	0.3	0.11	0.27
	Alpaca 2	0.17	0.18	0.24	0.16	0.12	0.11	0.16	0.22
Hierro (mg/kg)	Alpaca 1	328	329	1425	6140	440	4588	342	1692
	Alpaca 2	214	250	386	854	980	16528	652	1573
Cobre (mg/kg)	Alpaca 1	7	14	10	24	3	68	4	9
	Alpaca 2	9	8	9	7	10	37	4	8

Anexo 3. Resultados del análisis estadístico de la concentración de zinc en dietas seleccionadas por las alpacas

ANOVA de Welch para CON

Fuente	DF	F-Valor	Pr > F
T	6.0000	2.31	0.2669
Error	2.9340		



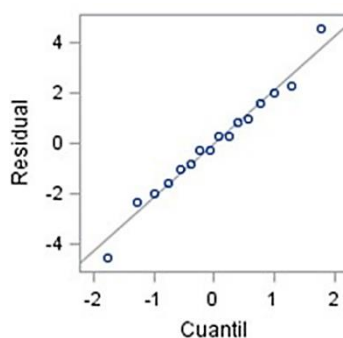
R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CON Media
0.617379	27.62852	10.04988	36.37500

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LOCA	3	432.2500000	144.0833333	1.43	0.3050
EPO	1	676.0000000	676.0000000	6.69	0.0323
LOCA*EPO	3	195.5000000	65.1666667	0.65	0.6074

Anexo 4. Resultados del análisis estadístico de la proteína cruda en dietas seleccionadas por las alpacas

ANOVA de Welch para PC

Fuente	DF	F-Valor	Pr > F
T	7.0000	8.98	0.0408
Error	3.2759		



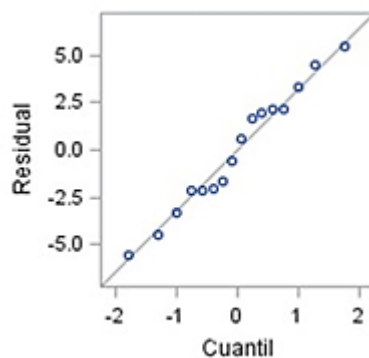
R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	PC Media
0.648483	29.82423	2.930230	9.825000

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LOCA	3	31.95000000	10.65000000	1.24	0.3573
EPO	1	58.52250000	58.52250000	6.82	0.0311
LOCA*EPO	3	36.24750000	12.08250000	1.41	0.3100

Anexo 5. Resultados del análisis estadístico de la fibra detergente acida en dietas seleccionadas por las alpacas

ANOVA de Welch para ADF

Fuente	DF	F-Valor	Pr > F
T	7.0000	3.35	0.1621
Error	3.2301		



R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	ADF Media
0.806883	11.48841	4.417296	38.45000

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
LOCA	3	59.7950000	19.9316667	1.02	0.4328
EPO	1	376.3600000	376.3600000	19.29	0.0023
LOCA*EPO	3	216.0650000	72.0216667	3.69	0.0620

Anexo 6. Composición florística de la cancha durante el estado de parto

Especie	Transecta									%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<i>Alchemilla pinnata</i>	22	34	38	49	52	41	46	55	48	42.78
<i>Festuca dolichophylla</i>	30	25	23	5	2	1	9	10	9	12.67
<i>Calamagrostis vicunarum</i>	7	18	18	7	26	21	8	12	10	14.11
<i>Trifolium amabile</i>	0	0	0	0	0	0	3	3	2	0.89
<i>Stipa ichu</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0.33
<i>Aciachne pulvinata</i>	0	0	0	0	3	0	4	6	9	2.44
<i>Scirpus rigidus</i>	8	4	5	6	8	10	6	3	12	6.89
<i>Belloa piptolepis</i>	5	1	13	2	1	11	0	3	1	4.11
<i>Azorella compacta</i>	2	0	0	1	0	0	3	0	0	0.67
<i>Geranium sessiliflorum</i>	1	4	0	0	0	0	0	7	0	1.33
<i>Plantago tubulosa</i>	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0.44
<i>Plantago lamprophylla</i>	0	0	0	4	0	5	1	0	0	1.11
Suelo desnudo	23	13	1	16	4	10	7	0	4	8.67
Roca	2	0	0	3	2	0	7	0	0	1.56
Mantillo	0	1	2	1	0	1	0	1	2	0.89
Musgo	0	0	0	2	2	0	6	0	0	1.11
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Anexo 7. Composición florística de la cancha durante el estado de post parto

Especie	Transecta									%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<i>Alchemilla pinnata</i>	54	48	56	64	63	51	52	52	28	52.00
<i>Festuca dolichophylla</i>	13	19	16	15	17	18	7	3	15	13.67
<i>Muhlebergia fastigiata</i>	0	0	9	3	0	0	0	0	0	1.33
<i>Calamagrostis vicunarum</i>	4	1	0	0	0	2	10	6	1	2.67
<i>Trifolium amabile</i>	8	19	8	1	1	16	9	17	36	12.78
<i>Stipa ichu</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.11
<i>Aciachne pulvinata</i>	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0.89
<i>Scirpus rigidus</i>	5	4	1	4	0	2	4	0	0	2.22
<i>Belloa piptolepis</i>	3	8	3	0	0	0	0	1	1	1.78
<i>Azorella compacta</i>	4	0	4	7	5	1	0	6	0	3.00
<i>Geranium sessiliflorum</i>	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0.33
<i>Paranephelium ovatus</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.11
<i>Bidens andicola</i>	0	0	0	0	0	0	10	9	17	4.00
Suelo desnudo	2	1	1	0	1	0	1	0	0	0.67
Roca	1	0	0	0	0	2	0	4	0	0.78
Mantillo	2	0	0	2	8	6	7	2	2	3.22
Musgo	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0.44
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Anexo 8. Composición florística de la cancha durante la etapa de lactación tardía

Especie	Transecta									%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<i>Alchemilla pinnata</i>	1	2	14	2	0	2	2	37	6	7.33
<i>Festuca dolichophylla</i>	7	8	21	2	0	3	9	13	14	8.56
<i>Azorella compacta</i>	0	1	5	0	0	0	6	0	4	1.78
<i>Calamagrostis vicunarum</i>	42	55	47	25	17	22	35	31	50	36.00
<i>Plantago tubulosa</i>	0	0	0	56	76	56	0	9	0	21.89
<i>Bidens andicola</i>	0	0	0	1	0	4	0	0	0	0.56
<i>Geranium sessiliflorum</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0.22
Suelo desnudo	49	31	12	12	7	11	27	3	14	18.44
Roca	1	3	0	0	0	0	18	2	6	3.33
Mantillo	0	0	0	2	0	0	3	5	6	1.78
Musgo	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.11
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

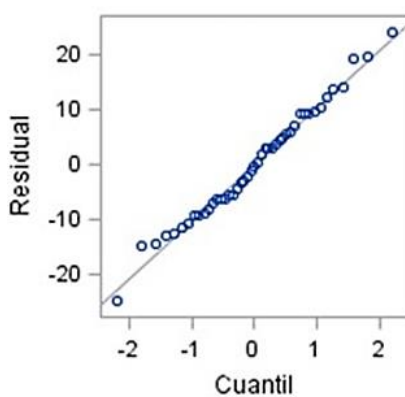
Anexo 9. Concentraciones de selenio en sangre entera y zinc en suero sanguíneo de las alpacas madres durante los tres estados fisiológicos

Estado fisiológico/ Concentración de micro mineral	Preparto		10 días postparto		Lactación tardía	
	Zinc en suero [µg/ml]	Selenio en sangre [ng/ml]	Zinc en suero [µg/ml]	Selenio en sangre [ng/ml]	Zinc en suero [µg/ml]	Selenio en sangre [ng/ml]
Alpacas madres (N=15)	0.096	82	0.174	71	0.084	32
	0.138	45	0.204	32	0.006	28
	0.108	71	0.234	68	0.036	67
	0.102	39	0.324	45	0.108	30
	0.03	72	0.192	50	0.126	35
	0.042	38	0.132	44	0.024	55
	0.048	72	0.204	42	0.018	28
	0.264	45	0.168	62	0.042	53
	0.114	44	0.582	64	0.06	61
	0.456	55	0.486	64	0.024	63
	0.204	51	0.294	71	0.102	38
	0.126	49	0.312	53	0.108	62
	0.138	53	0.306	77	0.006	62
	0.192	42	0.018	37	0.054	48
	0.252	46	0.3	73	0.018	61

Anexo 10. Análisis estadístico de la concentración de selenio en sangre entera de alpacas madres durante los tres estados fisiológicos

Test de Levene para homogeneidad de la varianza CON ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
EPO	2	3793.1	1896.6	0.06	0.9393
Error	42	1270007	30238.3		



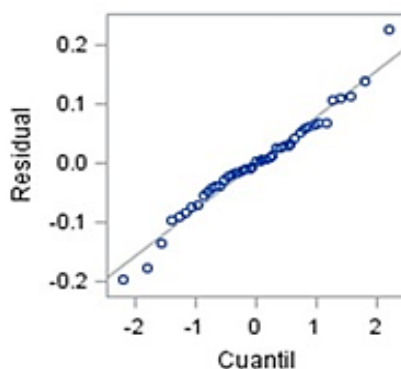
R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CON Media
0.488375	24.56586	12.99261	52.88889

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
EPO	2	574.711111	287.355556	1.70	0.2006
ALP	14	3937.111111	281.222222	1.67	0.1217

Anexo 11. Análisis estadístico de la concentración de zinc en suero de alpacas madres durante los tres estados fisiológicos

Test de Levene para homogeneidad de la varianza CON ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
EPO	2	0.00202	0.00101	2.18	0.1262
Error	42	0.0195	0.000465		



R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CON Media
0.657042	62.45517	0.097930	0.156800

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
EPO	2	0.32340960	0.16170480	16.86	<.0001
ALP	14	0.19103520	0.01364537	1.42	0.2069

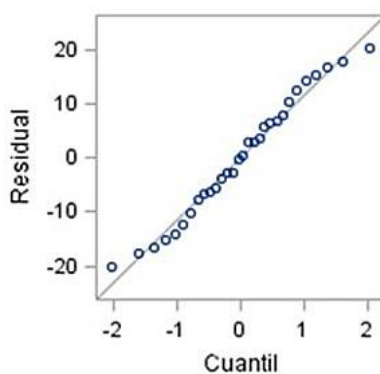
Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

t	Agrupamiento	Media	N	EPO
A		0.26200	15	2
B		0.15400	15	1
C		0.05440	15	3

Anexo 12. Análisis estadístico de la concentración de selenio en sangre entera de alpacas crías durante los dos estados fisiológicos

**Test de Levene para homogeneidad de la varianza CON
ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo**

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
EPO	1	227906	227906	2.54	0.1220
Error	28	2509619	89629.2		



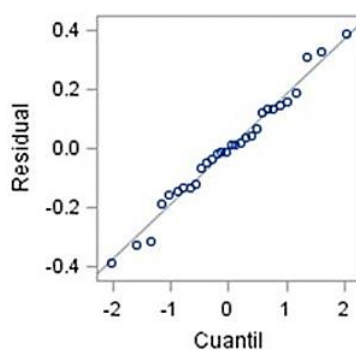
R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CON Media
0.535425	30.93803	16.48997	53.30000

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
EPO	1	17.633333	17.633333	0.06	0.8027
ALP	14	4369.800000	312.128571	1.15	0.4000

Anexo 13. Análisis estadístico de la concentración de zinc en suero de alpacas crías durante los dos estados fisiológicos

Test de Levene para homogeneidad de la varianza CON ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
EPO	1	0.00374	0.00374	0.12	0.7310
Error	28	0.8683	0.0310		



R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	CON Media
0.811851	-26.47781	0.265474	-1.002628

Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
EPO	1	2.06909060	2.06909060	29.36	<.0001
ALP	14	2.18831334	0.15630810	2.22	0.0742

Anexo 14. Concentraciones de selenio y zinc en alpacas madres y crías 10 días post parto

Concentración/ Estado fisiológico	Alpacas madres		Alpacas crías	
	Zinc en suero(µg/ml)	Selenio en sangre (ng/ml)	Zinc en suero(µg/ml)	Selenio en sangre (ng/ml)
10 días post parto	0.174	71	0.048	65
	0.204	32	0.198	76
	0.234	68	0.114	61
	0.324	45	0.336	30

0.192	50	0.174	66
0.132	44	0.132	54
0.204	42	0.324	47
0.168	62	0.348	45
0.582	64	0.504	52
0.486	64	0.486	66
0.294	71	0.162	58
0.312	53	0.09	74
0.306	77	0.36	36
0.018	37	0.084	44
0.3	73	0.078	37

Anexo 15. Concentraciones de selenio y zinc en alpacas madres y crías durante lactación tardía

Concentración/ Estado fisiológico	Alpacas madres		Alpacas crías	
	Zinc en suero($\mu\text{g/ml}$)	Selenio en sangre (ng/ml)	Zinc en suero($\mu\text{g/ml}$)	Selenio en sangre (ng/ml)
Lactación tardía	0.084	32	0.06	58
	0.006	28	0.03	90
	0.036	67	0.042	47
	0.108	30	0.084	28
	0.126	35	0.096	36
	0.024	55	0.072	83
	0.018	28	0.102	40
	0.042	53	0.06	32
	0.06	61	0.138	37
	0.024	63	0.138	40
	0.102	38	0.066	49
	0.108	62	0.006	39
	0.006	62	0.018	75
	0.054	48	0.06	63
	0.018	61	0.048	71

Anexo 16. Correlación de zinc en suero entre madres y crías 10 días post parto

Coefficientes de correlación Pearson, N = 15
Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0

	MDR	CR
MDR	1.00000	0.67883 0.0054
CR	0.67883 0.0054	1.00000

Anexo 17. Correlación de zinc en suero entre madres y crías durante lactación tardía

Coefficientes de correlación Pearson, N = 15
Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0

	MDR	CR
MDR	1.00000	0.07514 0.7901
CR	0.07514 0.7901	1.00000

Anexo 18. Correlación de selenio en sangre entera entre madres y crías 10 días post parto

Coefficientes de correlación Pearson, N = 15
Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0

	MDR	CR
MDR	1.00000	-0.15472 0.5819
CR	-0.15472 0.5819	1.00000

Anexo 19. Correlación de selenio en sangre entera entre madres y crías durante lactación tardía

Coefficientes de correlación Pearson, N = 15
Prob > |r| suponiendo H0: Rho=0

	MDR	CR
MDR	1.00000	0.02134 0.9398
CR	0.02134 0.9398	1.00000

Anexo 20. Evidencia fotográfica del estudio



Alpacas al pastoreo en la cuarta localidad



Alpacas al pastoreo en la tercera localidad



Alpacas al pastoreo en la segunda localidad



Alpacas al pastoreo en la primera localidad



Colección de muestras para valoración del contenido de los minerales traza en dietas seleccionadas de alpacas



Proceso de extracción del suero sanguíneo de alpacas



Alpacas a meses de parir (noviembre 2018)



Alpacas a días de parir (febrero 2019)



Alpacas durante las pariciones (febrero 2019)



Alpacas durante lactación tardía (julio 2019)