

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**



**NIVELES SÉRICOS DE CALCIO, FÓSFORO Y MAGNESIO EN  
ALPACAS HUACAYA PÚBERES Y ADULTAS POST-PARTO EN  
CUATRO CENTROS DE PRODUCCIÓN DEL PERÚ**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**BACH. JOHN MAO MOLLEHUANCA PAREDES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2018**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

TESIS

NIVELES SÉRICOS DE CALCIO, FÓSFORO Y MAGNESIO EN ALPACAS  
HUACAYA PÚBERES Y ADULTAS POSTPARTO DE DIFERENTES  
CENTROS DE PRODUCCIÓN DEL PERÚ

PRESENTADA POR:

BACH. JOHN MAO MOLLEHUANCA PAREDES

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA

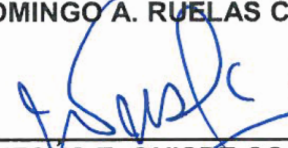


APROBADA POR:

PRESIDENTE DE JURADO

:   
DR. DOMINGO A. RUELAS CALLOAPA


PRIMER MIEMBRO

:   
M.SC. JESUS E. QUISPE COAQUIRA

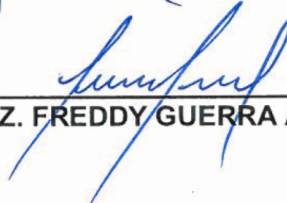
SEGUNDO MIEMBRO

:   
M.SC. BILO W. CALSIN CALSIN

DIRECTOR

:   
MG. PEDRO U. COILA AÑASCO

ASESOR

:   
MVZ. FREDDY GUERRA AGUILAR

Área : Fisiología de altura

Tema : Niveles séricos de metabolitos sanguíneos en alpacas

Fecha de Sustentación: 01/10/2018

## DEDICATORIA

*“A la mujer que me dio la vida mi madre Victoria Paredes de Mollehuanca”*

## AGRADECIMIENTO

*“A la formadora que me dio lo básico, la Gloriosa Facultad de Medicina  
Veterinaria y Zootecnia de la UNA – PUNO”*

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTO .....	4
ÍNDICE GENERAL .....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	7
RESUMEN .....	8
ABSTRACT .....	9
I. INTRODUCCIÓN .....	10
1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	12
1.1.1 Objetivo general .....	12
1.1.2 Objetivos específicos .....	12
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	13
2.1. Los minerales en el organismo animal .....	13
2.2. Calcio (Ca) .....	14
2.2.1 Calcio en el organismo .....	14
2.2.2. Funciones del calcio .....	15
2.2.3. Absorción del calcio .....	17
2.2.4. El calcio plasmático y su regulación .....	19
2.2.5. El calcio sérico en los animales .....	20
2.3. Fosforo (P) .....	22
2.3.1. Fosforo en el organismo .....	22
2.3.2. Funciones del fosforo .....	23
2.3.3. Absorción del fosforo .....	26
2.3.4. El fosforo plasmático y su regulación .....	27
2.3.5. El fosforo sérico en los animales .....	27
2.4. Magnesio (Mg) .....	29
2.4.1. Magnesio en el organismo y sus funciones .....	29
2.4.3. El magnesio plasmático y su regulación .....	33
2.4.4. El magnesio sérico en los animales .....	35
2.5. Relación Ca:P .....	36
2.6. Interrelación de calcio fósforo y magnesio .....	38
2.7. El calcio y fósforo en la gestación y lactancia .....	39
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	42

<b>3.1. Ubicación</b> .....	42
<b>3.2. Material experimental</b> .....	43
<b>3.2.1. Animales</b> .....	43
<b>3.2.2. Materiales y equipos</b> .....	43
<b>3.3. Métodos</b> .....	44
<b>3.3.1. Selección de animales</b> .....	44
<b>3.3.2. Obtención de sangre, suero y conservación</b> .....	45
<b>3.3.3. Determinación de minerales</b> .....	45
<b>3.3.4. Determinación de la relación Ca:P</b> .....	49
<b>3.3.5. Correlación Ca, P, Mg</b> .....	49
<b>3.4. Análisis estadístico</b> .....	49
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	51
<b>4.1. Determinación de minerales</b> .....	51
<b>4.1.1. Calcio</b> .....	51
<b>4.1.2. Fosforo</b> .....	56
<b>4.1.3. Magnesio</b> .....	60
<b>4.2. Relación Ca:P</b> .....	66
<b>4.3. Correlación Ca, P y Mg</b> .....	68
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	70
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	71
<b>VII. REFERENCIAS</b> .....	72
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de las alpacas según factores lugar de procedencia y condición fisiológica .....	43
Tabla 2. Niveles séricos de calcio (mg/dL) según condición fisiológica y lugar de procedencia .....	51
Tabla 3. Niveles séricos de fosforo (mg/dL) según condición fisiológica y lugar de procedencia .....	56
Tabla 4. Niveles séricos de magnesio (mg/dL) según condición fisiológica y lugar de procedencia .....	61
Tabla 5. Relación Ca:P según condición fisiológica y lugar de procedencia.....	66
Tabla 6. Correlaciones de Pearson entre Calcio, Fosforo y magnesio .....	68

## RESUMEN

Con el objetivo de determinar los niveles séricos de calcio, fósforo y magnesio, la relación Ca:P y la correlación entre los tres minerales, se utilizaron muestras de suero sanguíneo de 120 alpacas considerando los factores: condición fisiológica (púberes y adultas postparto) y lugar de procedencia (Cerro de Pasco, Junín, Cusco y Puno). El análisis bioquímico de las muestras se realizó en el Laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano utilizando métodos colorimétricos. El estudio se condujo bajo un diseño completamente al azar en arreglo factorial 2 x 4 para analizar la variación de los niveles séricos de Ca, P, Mg y la relación Ca:P, y para determinar el grado de asociación entre Ca, P y Mg la correlación de Pearson. Se analizaron los efectos principales al no existir interacción significativa entre los factores en estudio. Los resultados muestran un promedio general para Ca, P y Mg de  $8.44 \pm 0.97$ ,  $4.28 \pm 0.43$  y  $1.63 \pm 0.21$  mg/dL, respectivamente; en los tres casos existe diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) para el factor condición fisiológica pero no para el factor lugar de procedencia ( $p > 0.05$ ). El promedio general para la relación Ca:P es de  $1.99 \pm 0.30$ , no existiendo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) para ambos factores. Las correlaciones entre Ca y P es positiva y baja ( $r = 0.116$ ), entre Ca y Mg es negativa y muy baja ( $r = -0.009$ ) y entre P y Mg es positiva y baja ( $r = 0.209^*$ ), en los tres casos solo la correlación entre P y Mg muestra significancia ( $P \leq 0.05$ ). Se concluye que los niveles séricos de Ca, y Mg son afectados por el condición fisiológica, mas no así por el lugar de procedencia; la relación Ca:P no se afecta por el condición fisiológica ni por el lugar de procedencia.

**Palabras claves:** Alpaca, calcio, fósforo, magnesio, condición fisiológica, procedencia.



## ABSTRACT

In order to determine the serum levels of calcium, phosphorus and magnesium, the Ca: P ratio and the correlation between the three minerals, blood serum samples of 120 alpacas were used considering the factors: physiological condition (pubertal and adult postpartum) and place of origin (Cerro de Pasco, Junín, Cusco and Puno). The biochemical analysis of the samples was carried out in the Biochemistry Laboratory of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics of the Universidad Natcional del Altiplano using colorimetric methods. The study was conducted under a completely randomized design in a 2 x 4 factorial arrangement to analyze the variation of serum levels of Ca, P, Mg and the Ca:P ratio, and to determine the degree of association between Ca, P and Mg Pearson's correlation. The main effects were analyzed as there was no significant interaction between the factors under study. The results show a general average for Ca, P and Mg of  $8.44 \pm 0.97$ ,  $4.28 \pm 0.43$  and  $1.63 \pm 0.21$  mg/dL, respectively; in all three cases there are highly significant differences ( $p \leq 0.01$ ) for the physiological condition factor but not for the place of origin factor ( $p > 0.05$ ). The general average for the Ca: P ratio is  $1.99 \pm 0.30$ , there being no significant differences ( $p > 0.05$ ) for both factors. The correlations between Ca and P are positive and low ( $r = 0.116$ ), between Ca and Mg it is negative and very low ( $r = -0.009$ ) and between P and Mg it is positive and low ( $r = 0.209^*$ ), in the three only the correlation between P and Mg shows significance ( $P \leq 0.05$ ). It is concluded that the serum levels of Ca, and Mg are affected by the physiological condition, but not by the place of origin; the Ca:P ratio is not affected by the physiological condition or by the place of origin.

**Key words:** Alpaca, calcium, phosphorus, magnesium, physiological state, provenance.

## I. INTRODUCCIÓN

Los Camélidos sudamericanos constituyen uno de los recursos pecuarios altoandinos más importantes tanto en el ámbito social, cultural, ecológico estratégico, y económico, puesto que, en muchos de los casos representa la única fuente de sustento económico para muchos de los alpaqueros, debido a que los Camélidos transforman el pobre alimento que consumen en productos de primera necesidad para el hombre tales como carne de alta calidad desde el punto de vista físico, químico y organoléptico y vestido de gran poder térmico (Solís, 1997).

Todas las formas vivientes requieren elementos inorgánicos o minerales para sus procesos vitales normales; los minerales que tienen funciones orgánicas ya sea en forma elemental o en forma de complejos son: el calcio, fósforo, magnesio y otros. Estos minerales son esenciales para el crecimiento y la reproducción y sus concentraciones varían según el tipo tejido o fluido biológico analizado. En muchos casos, las deficiencias de uno o más minerales se presentan en forma subclínica, problema que demanda el estudio del perfil mineral mediante análisis de laboratorio (Roldán *et al.*, 2006).

Los problemas derivados del déficit de minerales son importantes para el desarrollo productivo de las especies domésticas o sometidas a crianzas: La disponibilidad de los minerales como calcio, fósforo y magnesio son fundamentales principalmente en la etapa de gestación de las alpacas hembras y sobre todo en el último tercio de gestación, varios factores se han relacionado para justificar la baja productividad de los camélidos domésticos como el clima, efectos nutricionales, fisiológicos y de manejo.

Hay que considerar que en la actualidad, la alimentación de alpacas se realiza en forma extensiva y tradicional utilizando las pasturas naturales, sin tener en cuenta sus requerimientos nutricionales. Sin embargo, en distintas regiones del mundo, se han iniciado y se vienen ejecutando estudios a fin de determinar los verdaderos requerimientos de estos animales que permitan cubrir sus demandas fisiológicas de mantenimiento, crecimiento, reproducción y producción. Por lo tanto, el conocimiento del uso de los nutrientes es indispensable para poder evaluar los alimentos o para definir los requerimientos en el desarrollo de patrones de alimentación para los animales.

En alpacas, existen pocos estudios con referencia a estos tres macroelementos; tampoco está bien establecido el perfil mineral en función a sus requerimientos fisiológicos y reproductivos de estos animales para su uso tanto en el diagnóstico como en la nutrición adecuada. Este problema ha sido objeto de estudio para ejecución de la presente investigación, cuyos resultados servirán como referencia del perfil hematológico mineral, así también será útil para el diagnóstico de enfermedades metabólicas y carenciales. El presente estudio se planteó con los siguientes objetivos específicos: a) Determinar los niveles séricos de Ca, P y Mg; b) Determinar la relación Ca:P; y, c) Determinar el grado de asociación existente entre los niveles de Ca, P y Mg en suero sanguíneo de alpacas hembras Huacaya púberes (tuis de un año) y adultas post parto de cuatro centros de producción de alpacas del Perú.

## 1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1.1 Objetivo general

- Evaluar los niveles de Ca, P, Mg, la relación Ca:P y la correlación entre los tres minerales en el suero sanguíneo de alpacas hembras Huacaya en función a su estado fisiológico (púberes y adultas post-parto) y procedencia (Cerro de Pasco, Junín, Cusco y Puno).

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar los niveles séricos de Ca, P y Mg.
- Determinar la relación Ca:P.
- Determinar el grado de asociación existente entre los niveles de Ca, P y Mg.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Los minerales en el organismo animal

Los minerales representan de 4,3 a 4,7% de la masa total de los animales superiores. Estos minerales se encuentran en el organismo en tres formas: como iones, en forma de sales no disociadas y en combinaciones de compuestos orgánicos. Estas tres formas presentan su importancia particular; sin embargo son las formas iónicas las de mayor importancia (Hernández, 1999).

De los 90 elementos, cerca de 40 son esenciales en el organismo animal. Algunos de estos elementos están en pequeñas cantidades ( $\leq 50$  mg/kg de materia seca), son los elementos traza. Otros se encuentran en mayores proporciones, son los macroelementos y comprenden la mayor parte de las cenizas, entre ellos se encuentran el calcio, fósforo, potasio, sodio y magnesio. Entre los factores que afectan la concentración de minerales en los tejidos animales incluyen: la especie, el tipo de tejido, tipo músculo, el sexo, la edad, el tipo de crianza y la dieta (Mahgoub *et al*, 2012).

Church y Pond (1978) afirman que los minerales desempeñan funciones muy importantes asociados con la salud de los animales, estas funciones se resumen en:

- Conformación de la estructura ósea y dental (Ca, P y Mg).
- Equilibrio ácido-básico y regulación de la presión osmótica (Na, Cl y K).
- Cofactores enzimáticos y transporte de sustancias (Zn, Cu, Fe y Se)
- Reproducción (P, Zn, Cu, Mn, Co, Se y I).
- Sistema inmunitario (Zn, Cu, Se y Cr).

- Producción de energía y reproducción celular (P).
- Activadores de enzimas microbianas (Mg, Fe, Zn, Cu y Mb)
- Producción de vitamina B<sub>12</sub> (Co)
- Digestión de la celulosa, asimilación de nitrógeno no proteico y síntesis de vitaminas del complejo B (S).

Las funciones de los minerales en el organismo animal son numerosas, algunos forman parte de la estructura de los tejidos (elementos plásticos) otros actúan como iones manteniendo el equilibrio iónico o electrolítico y otros en los procesos de biocatálisis actuando como cofactores enzimáticos. Además de estos aspectos, los minerales intervienen, prácticamente, en todas las funciones biológicas, (Hernández, 1999).

El calcio, fósforo y magnesio son elementos esenciales en muchos procesos biológicos, por lo que su homeostasis es esencial para la supervivencia (Albalate et al., 2017).

## **2.2. Calcio (Ca)**

### **2.2.1 Calcio en el organismo**

El calcio es uno de los macroelementos minerales más abundantes, junto al fósforo y magnesio en el organismo animal. Es un constituyente importante de los tejidos de sostén que vienen formando la estructura de los dientes y del esqueleto, en los que se encuentra el 99% del calcio total del organismo, siendo estos la reserva ó el acumulador del Ca y P; de tal manera que cuando la ingestión de alguno de ellos no es suficiente, el organismo los toma de esas reservas satisfaciendo momentáneamente los requerimientos. Además es un componente esencial de la mayoría de las células vivas y líquidos orgánicos, es así que casi la totalidad del Ca

que contiene la sangre se encuentra en el plasma; mientras que el  $PO_4$  y el Mg están localizados tanto en plasma como en las células (Mc Donald y Edward, 1995; Mufarrege, 1999; De Luca, 2003).

El calcio en el plasma de los mamíferos se encuentra en tres formas: aproximadamente el 50% se encuentra como iones libres, 45% se encuentra ligado a las proteínas del plasma y el 5% se encuentra quelado con citratos y fosfatos; además de ser un electrolito que varía muy poco en las concentraciones séricas y en sangre total de los animales clínicamente sanos (Dukes, 1955; Bondi, 1988).

Cuantitativamente, se encuentra más calcio en el organismo animal que cualquier otro elemento mineral, debido a que es un elemento principal en el hueso, representando un 9% del peso húmedo; en un hueso se encuentra el calcio en un cociente casi constante de 2:1 en relación al fósforo. Del aporte orgánico total de calcio se dice que el 99% se encuentra en los huesos y dientes estando el 1% distribuido en los tejidos blandos. El contenido de calcio en el organismo no es constante. Así en el ganado vacuno, puede esperarse en decline desde un 1.6% en los animales jóvenes, y 1% en los animales adultos, aunque el contenido en el calcio de hueso se puede incrementar con la edad, grado de engrasamiento y status mineral, entre otros factores pueden afectar a estos valores (Church, 1974).

### **2.2.2. Funciones del calcio**

El calcio es el mineral que en mayor proporción que se encuentra en el organismo animal. La mayor cantidad de calcio se encuentra en los huesos en forma de fosfatos y carbonatos es de allí la principal fuente de

obtención de calcio por parte del organismo animal en casos de déficit del organismo, dicho mecanismo regulado hormonalmente (Guyton, 2006).

En un 99% se encuentra en los huesos, el 1% restante se encuentra en los tejidos blandos y fluidos del cuerpo y es esencial en el funcionamiento del sistema nervioso, cardíaco y la actividad muscular. Alrededor del 1% existe en el estado iónico, involucrado en diversas funciones fisiológicas, tales como: contracción muscular, transmisión de impulsos nerviosos, la activación de las reacciones enzimáticas, el funcionamiento de las membranas celulares, coagulación de la sangre, puede jugar un papel importante el metabolismo del glucógeno al activar la enzima fosforilasa quinasa para la glucólisis. La carencia de este mineral provoca retardo del crecimiento, fracturas espontáneas, alteraciones en el tiempo de coagulación, etc. (Anderson y Guttman, 1988).

El calcio es esencial en la mayoría de las reacciones de la coagulación sanguínea y en la regulación de la excitabilidad de las fibras musculares. Su concentración en suero y orina está regulada por la acción de factores tales como niveles de parathormona, vitamina D y fósforo. Observándose fluctuaciones fisiológicas debido al sexo, edad, actividad física y cambios estacionales (Wiener, 2000).

En los tejidos el calcio es un ion básico, los disturbios del equilibrio de este mineral conducen a desplazamientos de la concentración de hidrogeniones (pH) y pueden manifestarse en la forma de trastornos metabólicos (osteomalacia, gota, etc.); el calcio interviene en la coagulación de la sangre extravasada (Hoffmann y Volker, 1968).



El calcio es un factor importante de la regulación de la permeabilidad celular, y para que la excitabilidad neuromuscular se mantenga normal (Kolb, 1979).

El calcio controla la excitabilidad de los nervios y músculos. Una concentración reducida produce un aumento en la excitabilidad de las fibras nerviosas pre y post ganglionares y su exceso produce el efecto contrario, al volverlos hipo excitables. El Ca restringe al movimiento iónico del Na y del K al interactuar con las estructuras superficiales de la célula (Concellón, 1978).

### **2.2.3. Absorción del calcio**

El ingreso del calcio al organismo se realiza mediante combinaciones orgánicas unido a las proteínas o a los ácidos grasos o en forma de sales, como carbonatos, fosfatos y cloruros de calcio. La absorción del calcio ocurre por el intestino delgado influyendo en ello varios factores, todos los elementos que favorecen el pH ácido del contenido intestinal incrementan la absorción del calcio. Esto está dado por el hecho de que a pH ácidos se producen sales ácidas de calcio que son más solubles y por ello más fáciles de absorber. Por el contrario cuando el pH se hace más alcalino se producen fosfatos y carbonatos neutros más insolubles y con ello menos calcio absorbido (Dukes, 2015).

Los iones de calcio se absorben activamente a lo largo de todo el intestino, pero especialmente en el duodeno y yeyuno donde lo hacen contra un gradiente de concentración de diez veces. La regulación del nivel del calcio plasmático se efectúa por medio de la parathormona (PTH), la

calcitonina (CT) y la vitamina D; las mismas que actúan en tres sitios: huesos, riñones e intestinos (Shimada, 2003; García et al., 1996).

Otro factor requerido para la absorción del calcio es la vitamina D, que incrementa el transporte activo, a nivel del intestino delgado, requerido para la absorción del calcio. De igual manera actúan los azúcares, las proteínas y las grasas favoreciendo la absorción del calcio, ya que por diversas vías actúan disminuyendo el pH intestinal. Una vez absorbido el calcio se localiza en todo el organismo, bien en forma iónica como  $\text{Ca}^{2+}$ , o bien en forma de complejos orgánicos unidos a proteínas o bien en forma de sales difusibles o no (Cunningham, 2003).

Se demostró que el transporte de calcio a nivel intestinal se realiza a través de transportadores (proteína), y dependientes de la cantidad y dependientes de la cantidad de complejos proteína – calcio en la luz intestinal, y la presencia de la vitamina “D”. La parathormona (hipercalcemiente) eleva los niveles de calcio por: favorecer la absorción a nivel del tubo digestivo, aumentar la reabsorción tubular y estimular la movilización del tejido óseo hacia el torrente sanguíneo, no siendo su efecto inmediato. La tirocalcitonina no parece tener ningún efecto en la absorción intestinal del calcio, mientras ocurre o contrario con la hormona de crecimiento, que la eleva la concentración sanguínea. Cuando los animales reciben una dieta pobre en calcio se estimula la paratiroides y la hormona producida moviliza el calcio del hueso para atender a las necesidades del organismo. Esto sucede sobre todo durante la lactación y la puesta de huevos, aunque el intercambio de calcio y fósforo entre el

hueso y los demás tejidos es un proceso continuo (Mc Donald y Edward, 1995; Gordillo, 1974).

La absorción intestinal de calcio se duplica durante el embarazo, particularmente en el último trimestre. La excreción urinaria de calcio también se incrementa en forma proporcional al filtrado glomerular, existiendo una correlación positiva con el clearance de creatinina, por lo cual el embarazo se ha denominado estado hipercalcémico absorbivo fisiológico. El incremento en la síntesis de metabolitos activos de la vitamina D, la secreción elevada de prolactina y la hipertrofia intestinal producida parecen contribuir a este estado de hiperabsorción intestinal e hipercalcemia. Se evaluó la respuesta de la calcemia a la ingestión de calcio oral en mujeres en su tercer trimestre de embarazo. En este estudio observó un aumento del 40 al 80% de los niveles de calcemia con respecto a las mediciones basales (Gertner y et al., 1986).

#### **2.2.4. El calcio plasmático y su regulación**

El calcio en el plasma de los mamíferos se encuentra en tres formas: aproximadamente el 50% se encuentra como iones libres, 45% se encuentra ligado a las proteínas del plasma y el 5% se encuentra quelado con citratos y fosfatos; es un electrolito que varía muy poco en las concentraciones séricas y en sangre total de los animales clínicamente sanos (Dukes, 2015).

El contenido normal de calcio en plasma sanguíneo de los mamíferos domésticos es de 9-11 mg/dL, su regulación está a cargo de la parathormona y la calcitonina. Cuando esta concentración decae se libera

parathormona y hay una movilización más intensa de minerales del hueso, el cual actúa como almacén en el metabolismo del Ca y P (Kolb, 1979).

En la mayoría de los animales la concentración sanguínea del Ca es de 10 mg/dL o 2.5mM (Shimada, 2003); encontrándose en mayor cantidad en el plasma sanguíneo, siendo los niveles normales en la mayoría de las especies de 9.0 – 11.0 mg/dL (Bondi, 1988).

El nivel de calcio sanguíneo depende del tipo de alimentación y es un reflejo del equilibrio entre la absorción, retirada o deposición en el hueso y excreción vía orina o heces, además los valores de calcio en el organismo no son constantes y varían según edad (Church, 1974).

La concentración de calcio en suero y orina está regulada por la acción de factores tales como niveles de parathormona, vitamina D y fósforo. Observándose fluctuaciones fisiológicas debido al sexo, edad, actividad física y cambios estacionales (Wiener, 2000).

En el organismo animal existe un complejo sistema regulador del metabolismo del calcio representado por la vitamina D y las hormonas calcitonina y paratohormona, las cuales intervienen destacadamente en todo el metabolismo del calcio (Cunningham, 2003).

#### **2.2.5. El calcio sérico en los animales**

El valor bioquímico del suero de los animales domésticos puede variar según los factores geográficos (altitudinal y latitudinal) y disponibilidad de alimentos (Fowler & Zinkl, 1989).

Estudios realizados en llamas y ovinos del altiplano boliviano, determinaron el valor promedio para el calcio plasmático en época de seca

de 9.02 mg/dL y 9.77 mg/dL; y para la época lluviosa de 9.24 mg/dL y 9.63 mg/dL para llamas y ovinos respectivamente (Espinoza et al., 1982).

En alpacas, los promedios de Ca sérico (mg/dL) en animales en pastura cultivada fue: 9.98 y 10.94, y en pasturas naturales de 10.78 y 10.17 en la época de lluvia y seca, respectivamente. (San Martín y Campos, 1977).

Los niveles de calcio en suero sanguíneo fueron:  $7.51 \pm 2.61$ ,  $6.58 \pm 2.09$  y  $8.05 \pm 1.74$  mg/100 mL para alpacas, llamas y vacunos, respectivamente (Rosales et al., 1988).

Algunos otros estudios que determinaron valores promedio de calcio en suero sanguíneo de alpacas (mg/dL) son: 7.26 (Garnica y Maquera, 1985); 11.60 (Kolb, 1979); 11.27 (Losno, 1976); 7.17 (Serna, 1985); 7.60 (Valdivia et al., 1980).

La concentración de Ca en las alpacas varía de acuerdo a la edad del animal, siendo en el recién nacido de 10.0 mg/dL, en juveniles (tuis) de 9.53 mg/dL y en el adulto de 8.8 mg/dL, siendo los animales más jóvenes los que posean mayor concentración de este mineral, descendiendo en función a la edad del animal (Smith *et al.*, 2001).

Se determinó el efecto de la condición reproductiva y condición fisiológica de la alpaca hembra sobre los niveles séricos de Ca, P y Mg en 120 muestras sanguíneas obtenidas de 60 alpacas hembras distribuidas en 30 primerizas y 30 multíparas; entre ellas 15 vacías, 15 en fase de parto (30 días), 15 en el momento del parto y 15 en fase de posparto (30 días). Utilizando técnica colorimétrica-espectrofotométrica se obtuvieron los siguientes resultados: El promedio general de los niveles séricos de Ca

fue de 8.33 mg/dL, no habiendo diferencias entre primerizas y múltiparas ( $p > 0.05$ ), pero sí hubo efecto de la condición fisiológica (gestación y lactación), siendo mayor en éstas que en alpacas hembras vacías ( $p \leq 0.01$ ) (Mamani, 2008).

En un estudio realizado en muestras de 182 llamas sin discriminación de sexo y mayores de 3 años de edad, determinados por el método Cresolft.-Complexona automatizado, se reportan valores promedio de calcemia de 8.76 mg/dL. (Marin *et al.*, 2016).

En humanos, la concentración de Ca plasmático se sitúa entre 8,9 y 10,3 mg/dL; sin embargo dentro de la célula la concentración de Ca es 10000 veces menor. El 40% del calcio plasmático está unido a proteínas, principalmente albúmina (por cada 1 g/L de descenso de albúmina el Ca sérico total disminuye 0,8 mg/dL) (Albalate *et al.*, 2017).

## 2.3. Fosforo (P)

### 2.3.1. Fosforo en el organismo

El Fósforo es un elemento multifuncional que forma parte del tejido óseo constituyendo la hidroxapatita, al igual que con el calcio, su mayor concentración se encuentra en los huesos y dientes, donde se localiza 85% del fósforo del organismo, participa en la composición del tejido nervioso y el resto se encuentra ampliamente distribuido en los tejidos blandos (Shimada, 2003; Mufarrege, 1999).

El fósforo está ampliamente distribuido en los tejidos vegetales y animales. El contenido en fósforo de las cenizas óseas está en el orden de 16-17%, aproximadamente el 4-4.5% del tejido óseo fresco y se

encuentra una relación casi constante Ca:P de 2:1. La cantidad de fósforo en los huesos de los animales jóvenes puede ser menor que la de los adultos, ya que sus huesos no están completamente mineralizados (Dukes, 1955).

Las pequeñas cantidades de calcio (1%) y fósforo (20%) existentes en los tejidos blandos y líquidos orgánicos, tienen funciones importantes, así como la regulación de la presión osmótica y el equilibrio ácido-básico de los tejidos y líquidos inorgánicos (Bondi, 1988).

### **2.3.2. Funciones del fosforo**

El fósforo es el segundo mineral más abundante del organismo y tiene más funciones conocidas en el organismo que cualquier otro elemento. Su mayor concentración se encuentra en los huesos, donde se localiza el 85% del fósforo del organismo. Además, tiene también una función especial en el crecimiento celular y juega un papel clave en muchas otras funciones metabólicas (Hernández, 1999).

El fósforo es un elemento multifuncional que forma parte del tejido óseo constituyendo la hidroxiapatita, al igual que con el calcio, su mayor concentración se encuentra en los huesos y dientes, donde se localiza 85% del fósforo del organismo, participa en la composición del tejido nervioso y el resto se encuentra ampliamente distribuido en los tejidos blandos (Shimada, 2003).

El fósforo se encuentra en las fosfoproteínas, en los ácidos nucleicos y en los fosfolípidos. Este elemento juega un rol importante en el metabolismo de los carbohidratos al formar los hexafosfatos y los adenosin di y trifosfatos. Funciona en el metabolismo energético como componente de

sustancias ricas en energía como el ADP, ATP y fosfocreatina. Las reacciones metabólicas de los carbohidratos, proteínas y lípidos se realizan a través de compuestos intermediarios fosforilados. El fósforo forma parte de los fosfolípidos, que son importantes en el transporte de lípidos y su metabolismo, y como componente de las membranas celulares. El fosfato forma parte del RNA Y DNA, componentes celulares vitales esenciales para la síntesis proteica (Mc Donald y Edward, 1999; Bondi, 1988).

Dentro de la célula el fósforo regula numerosos procesos enzimáticos y es un componente esencial de los ácidos nucleicos y las membranas. El 85% está en el hueso (en forma de hidroxapatita) y menos del 1% circula en una proporción de 4:1 de  $\text{HPO}_4^{2-}$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  a un pH de 7,4. Esta mezcla de aniones es lo que se conoce como fosfato sérico (Pi) (Albalate et al., 2017).

El fósforo es parte de la estructura cristalina de la hidroxapatita conjuntamente con el calcio. Forma parte del sistema amortiguar o tampón buffer del organismo y frente al pH normal se encuentra en un 20% como iones fosfato monobásico ( $\text{H}_2\text{PO}_4$ ) y el 80% como iones fosfato dibásico ( $\text{HPO}_4^-$ ). En forma general interviene en el metabolismo o intermediario de los carbohidratos y estructuralmente es parte de los ácidos nucleicos y nucleótidos. Como fosfatos solubles actúa como buffer en el líquido ruminal, integra el sistema enzimático como ATP y ADP y mantiene el balance ácido-base y la presión osmótica (Gordillo, 1974; Mufarrege, 1999).



Los tejidos blandos son capaces de contener entre un 0,15-0,20% de fósforo en forma de fosfoproteínas, nucleoproteínas, fosfolípidos, fosfato creatinina, ATP, glucosa-6-fosfato, etc. Un 75% de fósforo está presente en los huesos, el 25% restante en tejidos blandos como fosfoproteínas, nucleoproteínas, fosfolípidos, que son esenciales en la estructura orgánica, transporte de nutrientes y utilización de energía. La carencia produce crecimiento lento, apetito pobre, reducida utilización de energía huesos frágiles, conversión alimenticia baja y concepción baja. Es constituyente esencial de los tejidos óseo y muscular y participa en la composición del tejido nervioso. Su concentración en la circulación está regulada entre otros factores por los niveles de vitamina D y las glándulas endocrinas observándose variaciones fisiológicas de acuerdo a la edad, ingesta, actividad física, gestación, etc. (Wiener, 2000).

El fósforo está ampliamente distribuido en los tejidos animales. El contenido en fósforo de las cenizas óseas está en el orden de 16-17%, aproximadamente el 4-4.5% del tejido óseo fresco y se encuentra una relación casi constante Ca – P de 2:1. La cantidad de fósforo en los huesos de los animales jóvenes puede ser menor que la de los adultos, ya que sus huesos no están completamente mineralizados (Dukes, 2015).

La baja ingestión de fósforo se ha asociado con una disminución de la fertilidad. La aparente disfunción de los ovarios causa inhibición, depresión o irregularidad en la aparición de celo. Existen muchos casos en el mundo de que una suplementación con fósforo aumento la fertilidad del ganado vacuno en pastoreo (Mc Donald y Edward, 1999; Bondi, 1988).

### 2.3.3. Absorción del fósforo

La absorción del P ocurre en el intestino delgado en condiciones ácidas; siendo las pérdidas fecales altas, con lo que la digestibilidad verdadera de P es del orden del 60-70%, elevándose su absorción hasta un 90% cuando la ingesta alimenticia disminuye, que por el contrario su absorción desciende con la edad. También su absorción es favorecida por el sodio y perjudicada por altos niveles de hierro y aluminio por la formación de fosfatos insolubles. Además de la presencia de vitamina D la absorción de calcio y fósforo depende de los numerosos factores que afectan a su solubilidad en el punto de contacto con las membranas de absorción (Mufarrege, 1999; Bondi, 1988).

La absorción intestinal de los fosfatos es rápida y mediante un transporte activo, muy similar a la del calcio. Se lleva a cabo contra un gradiente de concentración; en estudios "in vitro" se ha demostrado que se requiere de la presencia del sodio en dicho sistema de transporte. A diferencia del calcio, la absorción de fosfatos se lleva principalmente en el yeyuno y la vitamina "D" no parece favorecerla de manera directa, sino indirectamente por el transporte de fosfato junto con el calcio; mientras tanto que la disminución de la concentración de fósforo sanguíneo incrementa la síntesis de 1,25-hidroxi-D<sub>3</sub>, aumenta la absorción de fosfatos a nivel intestinal y sube el nivel de calcio sérico, lo que causa un decremento de la parathormona; asimismo, se incrementa la retención renal de fosfatos (este último independiente de la vitamina D y PTH) (Shimada, 2003).

La baja ingestión de fósforo se ha asociado con una disminución de la fertilidad. La aparente disfunción de los ovarios causa inhibición,

depresión o irregularidad en la aparición de celo. Existen muchos casos en el mundo de que una suplementación con fósforo aumento la fertilidad del ganado vacuno en pastoreo. También puede verse afectada la producción de leche por una deficiencia de este elemento (Mc Donald y Edward, 1995; Bondi, 1988).

#### **2.3.4. El fósforo plasmático y su regulación**

El fósforo en el suero sanguíneo de los animales domésticos oscila entre 2 y 8 mg/dL. Su deficiencia tiende a desarrollar raquitismo debido a una falta de fijación de fosfato tricálcico en los huesos (Dukes, 2015).

El valor de fósforo sérico en los animales domésticos es de 4 mg/dL a 9 mg/dL y gran parte del fosfato del plasma esta ionizado, pero una pequeña cantidad se encuentra formando complejos con proteínas, lípidos y carbohidratos (Bondi, 1998).

El nivel plasmático de fosfato inorgánico y su concentración, no está tan estrechamente regulado como la del calcio. El efecto de la PTH es aumentar el calcio y reducir el fosfato sérico, mientras que la vitamina D es elevar el calcio y los fosfatos (Flórez, 2005).

#### **2.3.5. El fósforo sérico en los animales**

En los rumiantes, el nivel sérico del fósforo inorgánico es usualmente del orden del 4 – 9 mg/dL. Las oscilaciones pueden ser debidas parcialmente al hecho de que se presente hidrólisis de los complejos de fósforo orgánico si se deja reposar la sangre. La sangre completa contiene 35 – 45 mg de fósforo por mL en forma de ortofosfato, la mayor parte del cual se encuentra en las células. La gran parte de fósforo plasmático esta ionizado, pero parte de él está formando complejos con proteínas, lípidos

o carbohidratos. El fósforo en el plasma sanguíneo de los herbívoros domésticos varía entre 4.0 – 8.0 mg/100 mL, en la edad juvenil es mas alto y declina en adultos (Church, 1974; Shimada, 2003).

Se tiene valores normales de fósforo en el plasma sanguíneo en alpacas de 5.10 mg/dL, que fluctúa de 2 – 12.4 mg/dL, siendo estadísticamente significativo para las variables sexo (machos = 5.27; hembras = 4.93) y edad (crías = 5.80; tuis = 5.09; y adultos = 4.42 mg/dL) (Serna, 1985).

Se ha estudiado los niveles de fósforo sérico (mg/dL) en animales en pastura cultivada, obteniéndose un promedio de 6.54 y 7.29, y en pasturas naturales de 5.7 y 4.51 en la época de lluvia y seca, respectivamente (San Martín y Campos, 1977).

En alpacas el nivel de fósforo fue de 6.19 mg/dL de suero sanguíneo en alpacas (Rosales y Valdivia, 1983).

Los niveles séricos de fósforo fueron  $6.25 \pm 1.7$ ,  $5.74 \pm 0.7$  y  $4.94 \pm 0.9$  mg/100 mL para alpacas, llamas y vacunos, respectivamente (Rosales et al., 1988).

La concentración de fosforo en las alpacas varía de acuerdo a la edad del animal donde los recién nacidos poseen mayor concentración de P con una media de 8.1 mg/dL, los animales jóvenes (tuis) concentración de P con una media de 6.5 mg/dL y en los adultos poseen los valores de 5.3 mg/dL. En cuanto a diferencias entre especies la Llama adulta posee mayor concentración de P a diferencia de una Alpaca adulta (7.81 mg/dl vs 8.74 mg/dl) respectivamente (Smith et al., 2001).

Se determinó el efecto de la condición reproductiva y condición fisiológica de la alpaca hembra sobre los niveles séricos de Ca, P y Mg en 120 muestras sanguíneas obtenidas de 60 alpacas hembras distribuidas en 30 primerizas y 30 multíparas; entre ellas 15 vacías, 15 en fase de preparto (30 días), 15 en el momento del parto y 15 en fase de posparto (30 días). Utilizando técnica colorimétrica-espectrofotométrica se obtuvieron los siguientes resultados: El promedio general de los niveles séricos de fósforo fue de 4.73 mg/dL, no habiendo diferencias entre primerizas y multíparas ( $p>0.05$ ), pero sí hubo efecto del condición fisiológica (gestación y lactación), siendo mayor en éstas que en alpacas hembras vacías ( $p\leq 0.01$ ) (Mamani, 2008).

En un estudio realizado en muestras de 182 llamas sin discriminación de sexo y mayores de 3 años de edad, determinados por el método Cinético U.V automatizado, se reportan valores promedio de fosforo sérico de 6.6 mg/dL. (Marin et al., 2016).

En humanos, la concentración normal el fosfato sérico (Pi) es de 3 a 4,5 mg/dL. No obstante, estos valores se modifican en función a una serie de parámetros: edad (es más alto en niños que en adultos), momento del día (más baja al mediodía), estación del año, dieta, hormonas y otras condiciones físicas, como el pH (Albalate et al., 2017).

## **2.4. Magnesio (Mg)**

### **2.4.1. Magnesio en el organismo y sus funciones**

En el organismo, el magnesio va íntimamente ligado al calcio y al fósforo. Cerca del 70% se encuentra formando parte del esqueleto y el resto repartido entre los demás tejidos y líquidos orgánicos. El magnesio en la

sangre se distribuye en un 75% en glóbulos rojos (6.0 meq/L) y un 25% en el suero (1.5 - 2.0 meq/L), ligado a las proteínas, su concentración parece variar según las distintas especies de mamíferos. El Mg participa en el organismo de variados procesos enzimáticos. Juega papel importante en la catálisis intracelular y en la fosforilación oxidativa de las mitocondrias. Asimismo, en estudios realizados, su deficiencia en vacunos provoca tetania de la hierba en épocas de primavera; en corderos produce contracción muscular, tetania y muerte (Mc Donald y Edward, 1995; Church, 1977).

El magnesio está íntimamente relacionado con el metabolismo de calcio y fósforo. Cerca del 70% total orgánico forma parte del esqueleto, de ahí que se le considere también un mineral osteotrófico; el resto se encuentra distribuido en forma muy similar al fósforo, formando parte de más de 80 reacciones enzimáticas en el organismo. Tiene una destacada participación en la mayoría de las enzimas de fosforilación, principalmente en la hexoquinasa y la fructoquinasa cuya fuente de energía es el complejo ATP; en el mecanismo de la contracción muscular donde se inhibe la acción del ATP de la miosina, al contrario del calcio que la estimula, y en la transmisión del impulso nervioso, fundamentalmente como modulador de este sistema (Álvarez, 2001).

El 60% del magnesio del organismo se encuentra en los huesos y el resto está repartido entre músculos y otros tejidos blandos. El magnesio cumple un rol muy importante en la fisiología animal, participa en el metabolismo energético a través de la activación del ATP, en la transferencia de fosfatos de alta energía y es el ion activador de muchas enzimas

involucradas en el metabolismo de lípidos, carbohidratos y proteínas, el magnesio es un mediador en mecanismos de conducción y transporte a través de las membranas. Es esencial en la preservación de estructuras macro moleculares del DNA, RNA, ribosomas, en la formación del hueso y mantenimiento de la presión osmótica; la hipomagnesemia está muy asociada a la deficiencia de otros iones como el P, K, Ca (Wiener, 2000).

El magnesio es un cofactor de muchas reacciones enzimáticas que involucran al ATP y forma parte de la bomba de membrana que mantiene la excitabilidad eléctrica de las células musculares y nerviosas. Una de las características más significativas del magnesio es la distribución no uniforme del ion en los compartimentos, líquidos del organismo; más de la mitad de los depósitos corporales totales se localizan en el hueso y menos de 1% en el plasma (Morrison, 1977).

El Mg es el segundo catión intracelular más abundante tras el potasio. Está implicado en la mayoría de procesos metabólicos, tales como: función mitocondrial, procesos inflamatorios e inmunológicos y actividad neuronal, neuromuscular y vasomotora; formando parte del DNA y la síntesis proteica (Albalate et al., 2017).

El magnesio forma parte, o actúa como activador de numerosas enzimas importantes en el metabolismo energético de las células e interviene en la excitabilidad neuromuscular, como consecuencia de la carencia de magnesio se estaciona el crecimiento de los animales jóvenes, aumenta el metabolismo basal, disminuye el aprovechamiento de los alimentos y aumenta el depósito de calcio en el hueso (sobremeneralización), la

excitabilidad neuromuscular está aumentada y en los casos graves puede sobrevenir la muerte bajo contracciones tetánicas (Kolb, 1979).

El magnesio es un ion útil en diferentes funciones del organismo, se encuentra dentro de las células y sobre todo en el tejido óseo. Está unido en gran parte a las moléculas de ATP que tiene un papel muy importante en la vía de la fosforilación (que es una de las principales vías de producción de energía del organismo). También el Mg es esencial para la actividad de la bomba de Na y Ca (Reid y Horvath, 1980).

Además este micronutriente ayuda en la regulación de la transmisión neuromuscular, de la contracción muscular y de la síntesis de proteína. Es muy raro (al igual que el fósforo) la deficiencia de magnesio. Se observa en ciertas condiciones de salud, tal como la diarrea crónica. Esta condición puede contribuir a pérdidas excesivas de magnesio, lo cual resulta en debilidad y calambres musculares (Anderson y Guttman, 1988).

#### **2.4.2. Absorción de magnesio**

Actualmente, se admite la existencia de dos sistemas de transporte intestinal para el catión, uno mediado por transportador y saturable a bajas concentraciones, y una difusión simple que se da a altas concentraciones. La absorción intestinal del magnesio dietético ocurre según gradientes de concentración en el suero sanguíneo de modo que si los niveles séricos son bajos la absorción en el intestino es alta y viceversa. De todos modos, la absorción es baja (10 a 20% en adultos y cerca del 30% en jóvenes) y ocurre en mayor grado en intestino grueso 35% y en intestino delgado 25%. (MacIntyre y Robinson, 1969).



Los animales herbívoros ingieren magnesio con las plantas verdes, ya que éste forma parte de la clorofila y en la dieta suministrada (Álvarez, 2001). El principal lugar de absorción del magnesio es en todos los animales adultos es el intestino delgado, el magnesio absorbido se reparte rápidamente en los líquidos intracelulares (Kolb, 1979). Su absorción se produce, sobre todo, en yeyuno e íleon, por un sistema de transporte saturable y por difusión pasiva, y no es estimulada por la  $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$  (Flórez, 2005). Es importante indicar que el magnesio es un mineral sin depósito y cuyo nivel plasmático depende fundamentalmente de la ingesta diaria y que no está regulado por el sistema humoral (Kaneko, 1989).

Alrededor del 60% del Magnesio que se integra al organismo se localiza en el hueso. Una tercera parte de éste se combina con el fosfato y el resto está adsorbido débilmente a la estructura mineral ósea. Esta última fracción se puede movilizar hasta cierto grado en los animales jóvenes. Esta movilización no ocurre por control endocrino y en los animales adultos se da de una manera pobre. Debido a que no existen mecanismos hormonales para mantener la homeostasis del magnesio, el animal requiere del suministro constante de este mineral en la dieta para prevenir una hipomagnesemia. Los niveles normales en el plasma sanguíneo para el ganado lechero oscilan entre 1,8 y 2,4 mg/ 100 mL (Reinhardt y col. 1988).

#### **2.4.3. El magnesio plasmático y su regulación**

En los animales, la concentración promedio del magnesio en la sangre es de 2-3 mg/dL, parte del cual se encuentra en forma iónica y el resto unido a proteínas (Moe, 2005).

El nivel de magnesio en el plasma sanguíneo de los animales es de 1.8-3.2 mg/dL. Con valores inferiores a 1.0 mg/dL se observan síntomas clínicos de enfermedad como tetania, calambres violentos en distintos grupos de músculos (Kolb, 1979).

Este mineral no cuenta con mecanismo de control efectivo que regule sus concentraciones sanguíneas y mantenga eficientemente los valores constantes. No obstante, se conoce que el contenido de magnesio en el plasma sanguíneo, se encuentra, en parte ligado a las proteínas al igual que el calcio. La competencia por los mismos receptores proteicos ocasiona que disminuya los niveles de proteínato magnésico y aumente el calcio iónico cuando los niveles de calcio aumentan. La excreción renal y urinaria juega también un papel importante en la regulación de la magnesemia (Álvarez, 2001).

Pese a que la mayor parte del magnesio circulante es ultrafiltrable, el 95% de mismo es reabsorbido a nivel del túbulo renal, siendo el riñón el principal responsable de la regulación de los niveles de magnesio en el estrecho margen de sus valores de normalidad (1,8-2,2 mg/dL). La hipercalcemia, la depleción de fosfatos y la expansión de volumen disminuyen la capacidad de reabsorción. La aldosterona y la PTH también modulan la excreción renal de magnesio (Bushinsky, 1999).

El magnesio es un mineral sin depósito y cuyo nivel plasmático depende fundamentalmente de la ingesta diaria y que no está regulado por el sistema humoral (Kaneko *et al.*, 2008).

#### 2.4.4. El magnesio sérico en los animales

En cuanto a los niveles de magnesio en el suero sanguíneo de alpacas de la variedad Huacaya, se determinó por espectrofotometría de absorción atómica, obteniéndose un promedio de 3.06 mg en machos y 2.03 mg/100 mL en hembras (Losno, 1976).

En un experimento realizado sobre el grado de minerales en llamas y ovinos del altiplano boliviano, se hace un estudio comparativo en relación a especie y temporadas (lluviosas y secas) y obtienen un promedio de 2.21 mg en llamas y 2.15 mg/dL en ovinos todo esto en las temporadas o en estaciones lluviosas y en temporadas secas 2.11 mg/dL (Espinoza *et al.*, 1982).

En el ganado vacuno el contenido normal de magnesio en la sangre oscila entre 1.7 y 4.0 mg/dL de suero, aunque a menudo se registran niveles inferiores a 1.7 (Mc Donald y Edward, 1999).

La concentración de magnesio en vacas no presentó diferencias significativas entre la semana productiva y la cantidad de leche producida ( $p > 0.05$ ), Igualmente, no se observaron diferencias entre grupos de vacas en parto como en postparto (Ceballos *et al.*, 2004).

Se determinó el efecto de la condición reproductiva y condición fisiológica de la alpaca hembra sobre los niveles séricos de Ca, P y Mg en 120 muestras sanguíneas obtenidas de 60 alpacas hembras distribuidas en 30 primerizas y 30 multíparas; entre ellas 15 vacías, 15 en fase de parto (30 días), 15 en el momento del parto y 15 en fase de posparto (30 días). Utilizando técnica colorimétrica-espectrofotométrica se obtuvieron los

siguientes resultados: Con respecto al magnesio, el promedio general fue de 2.61 mg/dL, mientras que el valor más alto lo poseen las hembras en etapa de lactación o postparto (2.78 mg/dL) que hembras en otros estados fisiológicos ( $p \leq 0.05$ ). Tampoco se observó diferencias entre primerizas y multíparas ( $p > 0.05$ ). (Mamani, 2008).

En un estudio realizado en muestras de 182 llamas sin discriminación de sexo y mayores de 3 años de edad, determinados por el método colorimétrico automatizado, se reportan valores promedio de magnesio sérico de 2.4 mg/dL. (Marin et al., 2016).

En humanos, la concentración normal de Mg en plasma es de 1,8 a 2,4 mg/dL. El 30% está unido a proteínas y el 70% es difusible (Albalate *et al.*, 2017).

## 2.5. Relación Ca:P

El calcio y el fósforo en el organismo interactúan en numerosos procesos del organismo y existe una estrecha coordinación en la regulación de ambos minerales. Cuando la coordinación de su regulación se ve alterada, hay consecuencias importantes para la salud. Por ejemplo, la falta de regulación de los niveles de fósforo ocasiona un peligroso depósito de calcio en tejidos blandos, que puede elevar el riesgo de mortalidad (Kalantar-Zadeh *et al.*, 2010).

El Ca y el P son esenciales para la función y estructura de los tejidos; su fisiología y metabolismo están modulados e interrelacionados por otros nutrientes, por hormonas y por la vitamina D. Como el calcio y fósforo representan el principal componente mineral del hueso, ambos deben estar disponibles simultáneamente y en cantidades suficientes, para que

la mineralización ósea sea adecuada, la carencia de uno de ellos, de ambos o de la vitamina D da lugar a complicaciones, especialmente osteopenia, raquitismo y fracturas (Carbona *et al*, 1994).

Debido a la estrecha interdependencia del metabolismo del calcio y del fósforo en los mamíferos, se considera como óptima una proporción de Ca:P de 1,5:1, se puede considera variaciones de 2:1 (Kolb, 1979).

La relación del Ca:P debe encontrarse en relación casi constante 2:1. La cantidad de fósforo en los huesos de los animales jóvenes puede ser menor que la de los adultos, ya que no están completamente mineralizados (Dukes, 2015).

La relación Ca:P se mantienen a nivel constante por la acción reguladora de tres hormonas: hormona paratiroidea (PTH), calcitonina y el metabolito activo de la vitamina D3. Los rumiantes en crecimiento pueden tolerar un amplio intervalo en la relación calcio y fósforo, incluso de 7:1. El exceso de calcio en la relación reduce la absorción y utilización de los minerales, especialmente el fósforo y los minerales traza (Bondi, 1988).

Se determinó el efecto de la condición reproductiva y condición fisiológica de la alpaca hembra sobre la relación Ca:P en 120 muestras sanguíneas obtenidas de 60 alpacas primerizas y 60 multíparas en diferentes estadios reproductivos, encontrándose una relación Ca:P de 1.76:1, relación que es superior en alpacas en condición fisiológica de parto, parto y postparto que en vacías (1.58:1) ( $p \leq 0.05$ ), no hubo diferencia entre primerizas y multíparas ( $p > 0.05$ ) (Mamani, 2008).

## 2.6. Interrelación de calcio fósforo y magnesio

La interrelación entre el sistema hormonal y los niveles séricos de calcio, fósforo y magnesio son tan estrechas que, con frecuencia, la interpretación de los cambios debe ser realizada en conjunto para que tenga sentido fisiopatológico. Aunque la regulación de la cinética del magnesio no está tan clara como en el caso del calcio y el fósforo, circunstancias que aumentan los niveles de calcio y fósforo promoverían una pérdida renal de magnesio. El magnesio se ha involucrado en el mecanismo de sensor del calcio de la PTH y, a través de la misma, participaría de la regulación del calcio, siendo la hipermagnesemia una de las causas de hipocalcemia (Rodríguez et al., 2004).

Los cambios de estacionalidad producen fluctuaciones muy marcadas en la cantidad y calidad los pastizales y cultivos forrajeros, base de la alimentación del animal herbívoro. Estos cambios estacionales en el suministro de los alimentos en muchos casos están bien definidos para cada región. En la mayoría de los casos el animal deriva sus minerales a partir de su concentración en el forraje que consumen, por lo que es importante conocer los factores que determinan la concentración de estos elementos en las plantas. La concentración de los minerales en las plantas es afectada por varios factores tales como: género, especie o variedad, tipo de suelo y fertilizantes, estado de madurez. Con respecto a este último factor, el fósforo y potasio declinan a medida que avanza la madurez. Durante la época de sequía hay un menor contenido de proteína cruda, fósforo, cobre manganeso y calcio. Esta variación es mayor para el

calcio y magnesio, seguido por el fósforo, cobalto, molibdeno y cobre (San Martín, 1999).

Se determinó la correlación existente entre el Ca, el P y el Mg en alpacas hembras según su condición reproductiva y condición fisiológica, para lo cual se utilizaron 120 muestras sanguíneas obtenidas de 60 alpacas primerizas y 60 multíparas en diferentes estadios reproductivos. La correlación existente entre Ca y P fue positiva y significativa ( $r=0,364$ ) ( $p\leq 0.01$ ); positiva y significativa entre Ca y Mg ( $r=0.226$ ) ( $p\leq 0.05$ ); y, positiva no significativa entre P y Mg ( $r=0,117$ ) ( $p>0.05$ ) (Mamani, 2008).

## **2.7. El calcio y fósforo en la gestación y lactancia**

La gestación, parto y lactancia son considerados estados en los que el organismo está bajo un estrés metabólico y asociado a esto se han comunicado algunos cambios bioquímicos y hematológicos en distintas especies y razas de animales (Azab et al., 1999).

La gestación y lactancia son dos periodos de mayor demanda nutricional en la vida de la hembra, ya que tienen que cubrir las necesidades nutricionales de la madre, del feto en crecimiento y de la cría en los primeros meses de vida. Durante la gestación se producen una serie de cambios hormonales que dirigen los nutrientes hacia la placenta para favorecer su transferencia al feto y promover su crecimiento. En la sangre se produce hemodilución afectando su composición, disminuyendo la concentración proteínas, hemoglobina y otros (Díaz, 2013).

Durante la gestación y la lactancia en la madre se produce una combinación de adaptaciones metabólicas cuyo resultado final es

asegurar el adecuado desarrollo mineral del feto y la protección necesaria al esqueleto materno. Durante estas dos situaciones fisiológicas, los requerimientos de calcio se incrementan (Glerean y Plantalech, 2000).

Uno de los micronutrientes más estudiados en relación a la gestación es el calcio. En la gestación, el calcio depende de varios factores: ingesta, absorción intestinal, metabolismo óseo y excreción urinaria. En la mujer, durante la gestación la madre provee entre 25 a 30 g para el desarrollo del esqueleto fetal, llegando a alcanzar un pico de depósito de 350 mg por día en el tercer trimestre. Estos dos elementos se tratan conjuntamente dada la interacción que existe entre ellos, aunada a la vitamina D y sus precursores. Se postula que la actividad reproductiva está inversamente relacionada con la relación Ca:P y directamente relacionada con el fósforo (Díaz, 2013).

Diversas experiencias han demostrado que la concentración de calcio y fósforo inorgánico en la sangre fetal, suele ser de 1 a 3% más alta que la sangre materna, esto indica la existencia de transporte activo de moléculas e iones a nivel de la placenta (Stewart, 1981); así mismo algunos estudios histoquímicos han demostrado que durante la primera mitad de la gestación se almacena en la placenta cantidades considerables de proteínas, calcio, fosfatos, hierro y otras sustancias, para ser aprovechados durante los últimos meses de la gestación. Estas pasan a constituir depósitos para ser utilizados durante el periodo de crecimiento máximo del feto. En la segunda fase de la gestación es particularmente intenso el metabolismo del calcio y fósforo, pues en este momento crece rápidamente el esqueleto del feto. La carencia de cualquiera de estos dos



elementos (Ca y P), o desequilibrio en las proporciones de ambos macro nutrientes acarrea trastornos en la osificación que pueden atenuarse gracias a que las reservas fosfocálcicas del esqueleto materno que puedan mobilizarse (Dukes, 1955).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación

El estudio se realizó en cuatro centros de producción de alpacas del Perú:

- Cooperativa Comunal San Pedro de Racco, ubicada en la provincia de Pasco del departamento de Cerro de Pasco. Se localiza en la región natural puna o jalca y en la zona de vida páramo húmedo subandino, caracterizado por tener un clima frío y seco, con una precipitación pluvial anual de 700 a 900 mm, una temperatura anual promedio de 0 a 9°C y una altitud de 3980 a 4260 m.
- SAIS Túpac Amaru, ubicado en las provincias de Concepción, Yauli, Tarma y Jauja del departamento de Junín. La zona de estudio corresponde al clima subhúmedo y frío, comprendido entre los 3500 y 4100 msnm, su temperatura anual de 7,5°C y su precipitación anual de 650 mm.
- IVITA Maranganí, perteneciente a la UNMSM, ubicada a 3513 msnm en el distrito de Maranganí, Canchis, Cusco.
- CIP La Raya, de la UNA-Puno, ubicado en el distrito de Santa Rosa a una altitud de 4200 m en la zona agro-ecológica de puna húmeda, con clima tipo semiseco y frío, con temperaturas que varían de -4.2 a 9,5°C y una precipitación pluvial de 525.7 mm/año (SENAMHI, 2013).

En todos los casos, la cubierta vegetal está constituida por gramíneas de tipo forrajero, que le confiere valor económico para el desarrollo de la ganadería extensiva.

El análisis de las muestras sanguíneas se realizó en el Laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia perteneciente a la UNA-Puno.

### 3.2. Material experimental

#### 3.2.1. Animales

Se utilizaron 120 alpacas hembras de raza Huacaya de color blanco clínicamente sanos. La distribución de los animales tomando en cuenta los factores lugar de procedencia y condición fisiológica fisiológico, se detallan en la Tabla 1. El método para la determinación del tamaño muestral fue el no probabilístico de conveniencia, considerando que se trata de un estudio en sistemas biológicos en donde los mecanismos de regulación son muy finos.

Tabla 1. Distribución de las alpacas según factores lugar de procedencia y condición fisiológica.

Lugar de procedencia	Condición fisiológica		Total
	Púberes	Adultas postparto	
San Pedro de Racco (Pasco)	15	15	<b>30</b>
SAIS Túpac Amaru (Junín)	15	15	<b>30</b>
IVITA La Raya (Cusco)	15	15	<b>30</b>
CIP La Raya (Puno)	15	15	<b>30</b>
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>120</b>

#### 3.2.2. Materiales y equipos

##### De muestreo

- Tubos y agujas Vacutainer de 10 mL.
- Caja tecknoport con hielo.

- Alcohol yodado.
- Algodón.
- Cinta masking.
- Registros

#### **De laboratorio**

- Congeladora
- Centrífuga
- Espectrofotómetro UV
- Baño María
- Pipetas y micropipetas
- Material de vidrio diverso
- Gradillas
- Cronómetro

#### **Reactivos**

- Kits para determinación de Ca, P y Mg (Wiener Lab ®, Buenos Aires, Argentina)

### **3.3. Métodos**

#### **3.3.1. Selección de animales**

Los animales fueron seleccionados en forma aleatoria en las majadas correspondientes a los grupos de estudio establecidos. Los animales seleccionados de cada centro de producción, se encontraron bajo las mismas condiciones ambientales, de alimentación (pasturas naturales) y de manejo.

A los animales seleccionados se les realizó un examen clínico a fin de excluir animales con signos de enfermedad o anomalía congénita alguna, de este modo, los animales para el estudio estuvieron en aparente buen estado de salud.

### 3.3.2. Obtención de sangre, suero y conservación

Las muestras de sangre se obtuvieron a tempranas horas de la mañana mediante punción de la vena yugular utilizando agujas y tubos vacutainer rotulados y sin anticoagulante. Se obtuvo un volumen aproximado de 5 mL los que fueron colocados en caja tecknoport con hielo para su conservación y transporte hasta el laboratorio del centro de producción.

En el laboratorio las muestras fueron centrifugadas a 3000 rpm por 15 minutos, para luego decantarlos en viales de plástico de 2 mL con su rótulo respectivo. Los viales fueron congelados a (-20°C) hasta el momento de su procesamiento bioquímico.

### 3.3.3. Determinación de minerales

Las determinaciones de Ca, P y Mg se realizaron mediante técnicas colorimétricas- espectrofotométricas utilizando kits de Wiener lab ®.

#### Determinación de Calcio

**Fundamento.-** El calcio reacciona con la cresolftalein complexona (cfx) a pH 11, para formar un color púrpura que se mide fotocolorimétricamente a 575 nm de longitud de onda. La intensidad del color púrpura es proporcional a la concentración de calcio en la muestra (Wiener, 2000).

#### **Reactivos**

- Reactivo Cfx: solución de cresolftalein complexona 3.7 mmol/L.
- Buffer: solución de aminometil propanol (AMP) 0.2 mol/L. En metanol 35% v/v para pH final 11.
- Standard: solución de calcio 10 mg/dL.

### Procedimiento

- En dos tubos marcados con S (Standard) y M (Muestra) se colocó en cada una 25  $\mu$ L de reactivo cfk y buffer 1.7 mL.
- Se mezcló inmediatamente y se realizó la lectura de la absorbancia de ambos tubos en el espectrofotómetro a 570 nm de longitud de onda, llevado a cero el espectrofotómetro con agua destilada.
- Luego se agrega al tubo S 10  $\mu$ L de la solución estándar y al tubo M 10  $\mu$ L de muestra (solución ácida) mezclándolos inmediatamente.
- Después de 10 minutos se realiza una segunda lectura a 570 nm.

### Cálculo de resultados:

Para el cálculo de resultados se aplicó la siguiente fórmula:

$$[\text{Calcio}] = \frac{[\text{estándar}]}{A_s} \times A_m$$

Donde:

$A_m$  = Absorbancia de la muestra.

$A_s$  = Absorbancia del estándar.

[estándar] = Concentración del estándar (10 mg/dL)

### Expresión de resultados

Los resultados se expresan en miligramos de calcio por 100 mL de plasma (mg/dL).

### Determinación de Fósforo

**Fundamento.-** El fosfato inorgánico reacciona en medio ácido con el molibdato para dar un complejo fosfomolibdico que se mide espectrofotométricamente a 340 nm de longitud de onda (Wiener, 2000).

### Reactivos

- Reactivo de trabajo: solución de molibdato de amonio 2 mmol/L en ácido sulfúrico al 1%.
- Standard: solución estabilizada de fosfatos equivalentes a 4 mg/dL de fósforo inorgánico.

### Procedimiento

- Se dispusieron 3 tubos marcados con B (blanco), S (estándar), y M (muestra).
- Al tubo S se agregó 10 µL de la solución estándar y al tubo M 10 µL de muestra (solución ácida),
- Luego se agregaron a los 3 tubos 1 mL del reactivo de trabajo.
- Se mezclaron e incubaron 10 minutos a temperatura ambiente.
- Finalmente se realizó la lectura en espectrofotómetro UV a 340 nm de longitud de onda, calibrando previamente del espectrofotómetro con agua destilada.

### Cálculo de resultados

El cálculo de fósforo inorgánico se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$[Fósforo] = \frac{[estándar]}{A_s} \times A_m$$

Donde:

$A_m$  = Absorbancia de la muestra.

$A_s$  = Absorbancia del estándar.

[estándar] = Concentración del estándar (4 mg/dL)

### **Expresión de resultados**

Los resultados se expresan en miligramos de fósforo inorgánico por 100 mL de plasma (mg/dL).

### **Determinación del Magnesio**

**Fundamento.-** El magnesio forma un complejo coloreado, al reaccionar con la calmagita en solución alcalina. El EGTA, elimina la interferencia del calcio. El complejo coloreado es medido a 520 nm de longitud de onda (Wiener, 2000).

### **Reactivos**

- 2 Methyl - 2 Amino – 1 – propanol 10 ml/L.
- EGTA 210 µmol/L
- Calmagita 170 µmol/L
- Standard: Magnesio 2 mg/dL ó 0.82 mmol/L

### **Procedimiento**

- Se dispusieron 3 tubos marcados con B (blanco), S (estándar), y M (muestra).
- Al tubo S se agregó 10 µL de la solución estándar y al tubo M 10 µL de muestra (solución ácida),
- Luego se agregaron a los 3 tubos 1 mL del reactivo de trabajo.
- Se incubó 5 minutos a temperatura ambiente para luego realizar la lectura a 520 nm. de longitud de onda en el espectrofotómetro.

### **Cálculo de resultados:**

El cálculo de magnesio se hizo a través de la siguiente fórmula:

$$[\text{Magnesio}] = \frac{[\text{estándar}]}{A_s} \times A_m$$



Donde:

$A_m$  = Absorbancia de la muestra.

$A_s$  = Absorbancia del estándar.

[estándar] = Concentración del estándar (4 mg/dL)

### Expresión de resultados:

Los resultados se expresan en miligramos de magnesio por 100 mL de plasma (mg/dL).

#### 3.3.4. Determinación de la relación Ca:P

La relación Ca:P se determinó dividiendo la cantidad de calcio fueron determinados dividiendo los niveles de calcio sobre los niveles de fósforo obtenidos.

#### 3.3.5. Correlación Ca, P, Mg

Para determinar el grado de asociación entre los tres minerales se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson cuya fórmula es:

$$r = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2} * \sqrt{N \sum Y^2 - (\sum Y)^2}}$$

#### 3.4. Análisis estadístico

Los valores obtenidos para las variables niveles séricos de calcio, fosforo, magnesio y relación Ca:P en suero de alpacas fueron analizados en un diseño completamente al azar (DCA) bajo un arreglo factorial 2 x 4, donde el primer factor es condición fisiológica (alpacas púberes y adultas postparto) y el segundo factor lugar de procedencia (Cerro de Pasco, Junín, Cusco, Puno), cuyo modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ij}$  : son los niveles séricos de calcio, fosforo, magnesio y la relación Ca:P obtenidos con la i-ésima condición fisiológica en el j-ésimo lugar de procedencia, k-ésima repetición.

$\mu$  : es el efecto del promedio general

$\alpha_i$  : es el efecto de la i-ésima condición fisiológica

$\beta_j$  : es el efecto del j-ésimo lugar de procedencia

$(\alpha\beta)_{ij}$  : es el efecto de la interacción de la i-ésima condición fisiológica, j-ésimo lugar de procedencia

$\varepsilon_{ijk}$  : es el efecto del error experimental en la i-ésima condición fisiológica, j-ésimo lugar de procedencia, k-ésima repetición.

Para la comparación de medias de los efectos principales se utilizó la prueba de significancia de Tukey con un nivel de significancia del 0.05.

El procesamiento de datos y el análisis estadístico se realizó utilizando los software Excel y SPSS Versión 22©.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Determinación de minerales

#### 4.1.1. Calcio

Los niveles de calcio sérico obtenidos en el presente estudio se muestran en la Tabla 2, en donde se detallan sus estadísticos descriptivos, para los factores condición fisiológica y lugar de procedencia.

Tabla 2. Niveles séricos de calcio (mg/dL) según condición fisiológica y lugar de procedencia

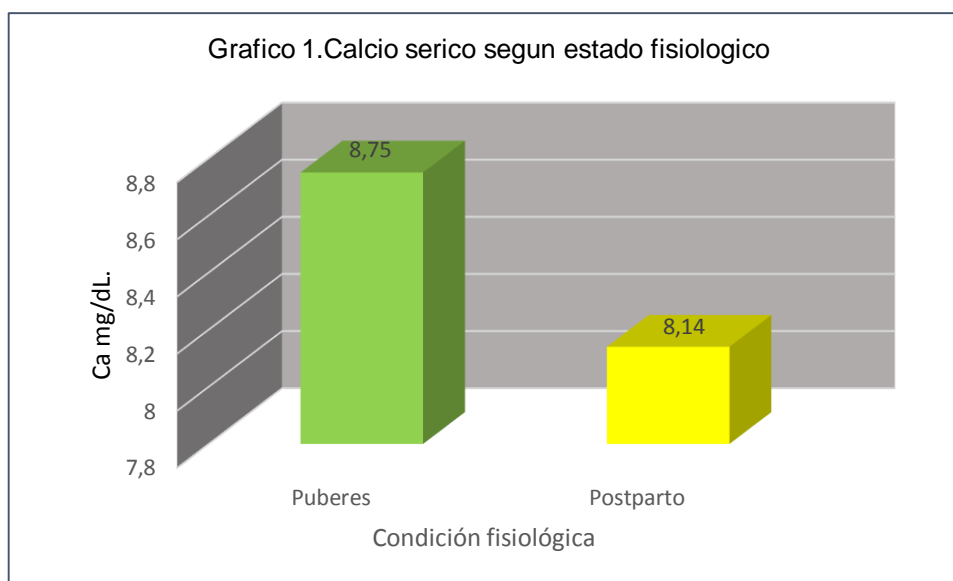
Lugar de procedencia	Condición fisiológica								Total
	Púberes				Postparto				
	Media ±	d.s.	Min	Max	Media ±	d.s.	Min	Max	Media ± d.s.
Pasco	8.69 ±	0.69	7.66	10.05	8.08 ±	1.34	6.15	9.67	8.39 <sup>a</sup> ± 1.09
Junín	8.70 ±	0.74	8.10	10.31	8.24 ±	0.39	7.49	8.78	8.47 <sup>a</sup> ± 0.62
Cusco	8.88 ±	0.34	8.58	9.44	8.12 ±	1.82	5.64	10.05	8.50 <sup>a</sup> ± 1.34
Puno	8.72 ±	0.56	7.66	9.67	8.10 ±	0.61	6.86	8.78	8.41 <sup>a</sup> ± 0.66
<b>Total</b>	<b>8.75<sup>a</sup> ±</b>	<b>0.59</b>	<b>7.66</b>	<b>10.31</b>	<b>8.14<sup>b</sup> ±</b>	<b>1.04</b>	<b>5.64</b>	<b>10.05</b>	<b>8.44 ± 0.97</b>

(a,b,c) medias con letras diferentes en la misma columna y fila, indican diferencias estadísticas significativas.

El análisis de varianza para los niveles séricos de calcio (anexo 5), se puede apreciar que no existe interacción significativa ( $p > 0.05$ ) para los factores condición fisiológica y el lugar de procedencia, por lo tanto los factores son independientes uno del otro, por lo tanto se procedió al análisis de los efectos principales.

#### a) Según condición fisiológica

El análisis de varianza (anexo 5) para el factor condición fisiológica muestra que existe diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) en los niveles séricos de calcio entre alpacas púberes y postparto (Gráfico 1).



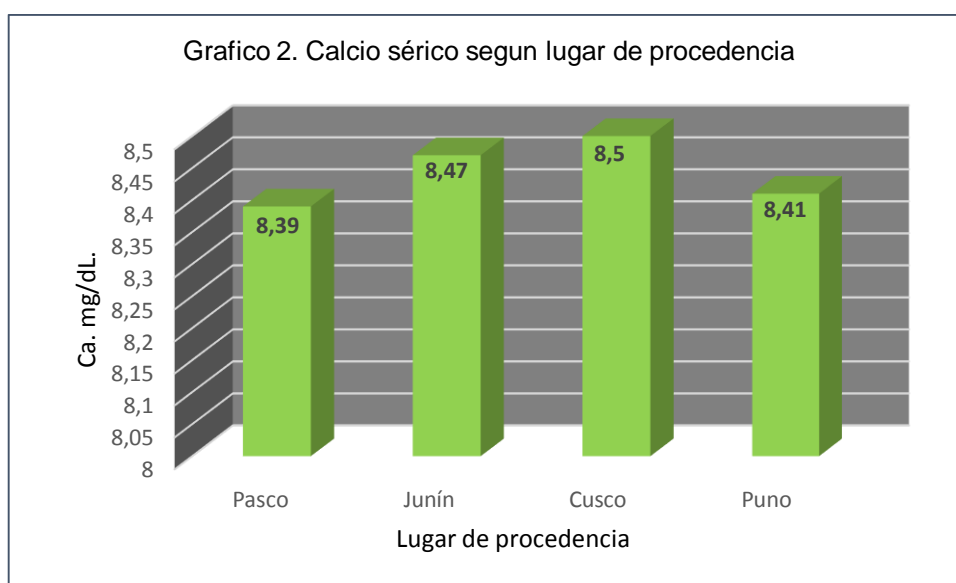
La diferencia existente para el factor condición fisiológica (Tabla 2 y Anexo 5), donde las alpacas púberes muestran niveles séricos de calcio más altos que las alpacas postparto, se debería a la edad de los animales; es decir, las alpacas púberes (juveniles) aún están en crecimiento y, por lo tanto, sus huesos no están completamente mineralizados, por lo cual sus niveles de calcio sérico son superiores a las alpacas postparto que son de mayor edad (adultos), tal como lo manifiesta Smith (2001), quien realizó un trabajo donde encontró variabilidad en la concentración de calcio según la edad del animal, siendo la concentración de calcio en los recién nacidos de 10.0 mg/dL, en juveniles (Tuis) de 9.53 mg/dL y en adultos de 8.8 mg/dL, concluyendo que los animales más jóvenes son los que poseen mayor concentración de este mineral, descendiendo en función a la edad del animal. Asimismo, Serna (1985) encontró un promedio de 7.17 mg/dL para alpacas del CIP La Raya y determinando que el sexo no es influyente pero sí la edad y procedencia del animal.

Por otro lado, Church (1974) indica que el nivel de calcio sanguíneo depende del tipo de alimentación y es un reflejo del equilibrio entre la absorción,

retirada o deposición en el hueso y excreción vía orina o heces, además los valores de calcio en el organismo no son constantes y varían según edad del animal, como el encontrado en el presente estudio. Por su parte Wiener (2000) señala que se han observado fluctuaciones fisiológicas de los niveles de calcio plasmáticos debido al sexo, edad, gestación, actividad física y cambios estacionales. Asimismo Repetto et al. (2004), indican que los requerimientos minerales en animales en crecimiento son mayores que animales adultos y que no están en producción, estos los requerimientos de minerales son relativamente bajos, requiriéndose sólo para compensar las pérdidas endógenas.

**b) Según el lugar de procedencia**

El análisis de varianza (anexo 5) para el factor lugar de procedencia nos indica que no existe diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), asimismo se puede apreciar en la prueba de comparación múltiple de Tukey (anexo 6) que no existe diferencias para los promedios de niveles séricos de calcio entre las alpacas provenientes de Cerro de Pasco, Junín, Cusco y Puno (Gráfico 2).



El factor lugar de procedencia no presenta diferencias significativas (anexos 5 y 6), esta similitud se debería probablemente a las condiciones medio ambientales similares en las que se crían las alpacas utilizadas en el presente estudio en los centros de producción, como lo indica Fowler & Zinkl (1989), el valor bioquímico del suero de los animales domésticos puede variar según los factores geográficos (altitudinal y latitudinal) y disponibilidad de alimentos.

Los niveles séricos para calcio encontrados en el presente estudio son similares a los reportados por Mamani (2008), quien reporta un promedio general  $8.33 \pm 1.01$  mg/dL en 120 muestras sanguíneas obtenidas de 60 alpacas hembras distribuidas en 30 primerizas y 30 multíparas; entre ellas 15 vacías, 15 en fase de parto (30 días), 15 en el momento del parto y 15 en fase de posparto (30 días), utilizando técnica colorimétrica-espectrofotométrica. Asimismo también concuerdan con los valores reportados por Quispe (2016), quien reporta niveles séricos de calcio promedio de  $8.50 \pm 1.14$  mg/dL en alpacas hembras, en la estación de verano, utilizando la técnica de espectrofotometría UV. Marin *et al.*, (2016) reporta niveles séricos de calcio promedio de 8.76 mg/dL, en muestras de 182 llamas sin discriminación de sexo y mayores de 3 años de edad, determinados por el método Cresolft-Complexona automatizado. Smith (2001), también reporta niveles séricos de calcio promedio de 8.8 mg/dL en alpacas adultas, similares a nuestro estudio. Asimismo Parker, (2002) citado por Quispe (2016), reporta niveles séricos de calcio de 8.6 mg/dL en alpacas machos castrados.

Los niveles séricos de calcio encontrados en el presente estudio son inferiores a lo reportado por diversos investigadores: San Martín y Campos (1977) reportan niveles séricos de calcio promedio de 9.98 y 10.94 mg/dL para alpacas alimentadas en pasturas cultivadas y de 10.78 y 10.17 mg/dL en pasturas naturales, en época de lluvia y seca respectivamente. También son inferiores a valores reportados para calcio sérico en alpacas de 11.60 mg/dL. (Kolb, 1979); 11.27 mg/dL (Losno, 1976). Copas et al., (2015) citado por Quispe (2016), reporta valores de calcio sérico de 9.30 mg/dL en llamas machos alimentados con pastos naturales en el altiplano de Bolivia.

Por otro lado los niveles séricos de calcio encontrados en el presente estudio son superiores a los valores reportados por distintos autores Rosales et al., (1988), reporta niveles de séricos de calcio promedio de  $7.51 \pm 2.61$ ,  $6.58 \pm 2.09$  y  $8.05 \pm 1.74$  mg/100 mL para alpacas, llamas y vacunos, respectivamente. También a lo reportado por autores para niveles séricos de calcio promedio en alpacas, 7.26 mg/dL (Garnica y Maquera, 1985); 7.17 mg/dL (Serna, 1985); 7.60 mg/dL (Valdivia *et al.*, 1980).

Estas variaciones de valores superiores o inferiores de niveles séricos de calcio, frente al presente estudio se deberían probablemente a factores medio ambientales, manejo, edad, sexo, estados fisiológicos, especie si se comparan con llamas y otros rumiantes y técnicas bioquímicas de laboratorio utilizadas.

Comparando el promedio con otras especies domésticas, Shimada (2003) indica que para la mayoría de animales la concentración sanguínea del

calcio fluctúa entre 9 y 11 mg/dL, rango ligeramente superior al encontrado (8.44 mg/dL.) en este estudio. Serna (1985); Simons et al. (1993) citado por Quispe (2016), indican que los niveles de Ca en alpacas son inferiores a vacunos, ovinos y caprinos.

#### 4.1.2. Fosforo

Los niveles de fosforo sérico obtenidos en el presente estudio se muestran en la Tabla 3, donde se detallan sus estadísticos descriptivos, para los factores condición fisiológica y lugar de procedencia.

Tabla 3. Niveles séricos de fosforo (mg/dL) según condición fisiológica y lugar de procedencia

Lugar de procedencia	Condición fisiológica								Total
	Púberes				Postparto				
	Media ±	d.s.	Min	Max	Media ±	d.s.	Min	Max	Media ± d.s.
Pasco	4.38 ±	0.23	4.11	4.78	4.11 ±	0.21	3.89	4.44	<b>4.25<sup>a</sup> ± 0.26</b>
Junín	4.58 ±	0.29	4.22	5.00	4.07 ±	0.87	3.00	5.22	<b>4.33<sup>a</sup> ± 0.69</b>
Cusco	4.41 ±	0.18	4.22	4.78	4.14 ±	0.20	3.89	4.56	<b>4.28<sup>a</sup> ± 0.23</b>
Puno	4.42 ±	0.34	4.00	5.00	4.08 ±	0.38	3.78	4.78	<b>4.25<sup>a</sup> ± 0.40</b>
<b>Total</b>	<b>4.45<sup>a</sup> ±</b>	<b>0.27</b>	<b>4.00</b>	<b>5.00</b>	<b>4.10<sup>b</sup> ±</b>	<b>0.49</b>	<b>3.00</b>	<b>5.22</b>	<b>4.28 ± 0.43</b>

(a,b,c) medias con letras diferentes en la misma columna y fila, indican diferencias estadísticas significativas

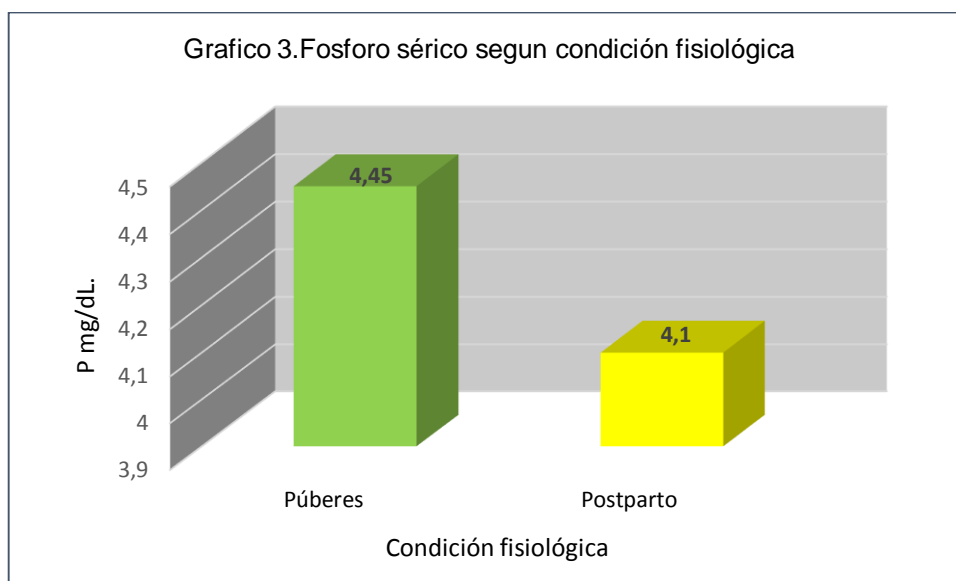
El análisis de varianza para los niveles séricos de fosforo (anexo 7), se puede apreciar que no existe interacción significativa ( $p > 0.05$ ) para los factores condición fisiológica y el lugar de procedencia, por lo tanto los factores son independientes uno del otro, por lo tanto se procedió al análisis de los efectos principales.

##### a) Según condición fisiológica

El análisis de varianza (Anexo 7) para el factor condición fisiológica muestra que existe diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) en los niveles séricos de



fosforo entre alpacas púberes y alpacas postparto. El gráfico 3 ilustra el resultado.

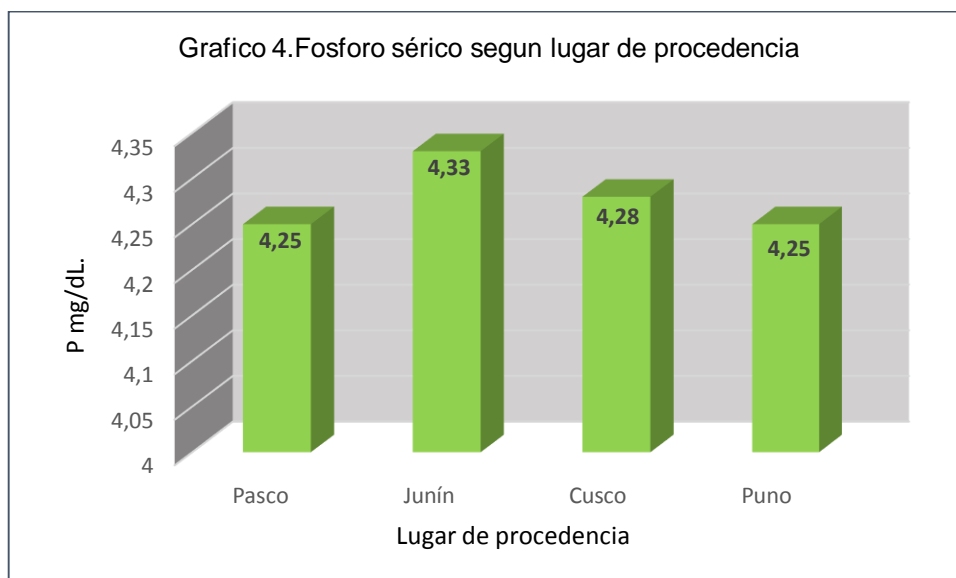


La superioridad de los niveles de fósforo en alpacas púberes que en adultas, se debería a la edad del animal., las alpacas púberes (juveniles) están en crecimiento y, por lo tanto, sus huesos no están completamente mineralizados, por lo cual sus niveles de fosforo sérico son superiores a las alpacas postparto que son de mayor edad (adultos), como lo manifiesta Smith (2001) la movilización de fósforo en los huesos se evidencia de mayor forma en individuos jóvenes, donde las hormonas del crecimiento incrementan la reabsorción de fósforo a nivel renal, además de conocerse que en las alpacas la concentración de fósforo tiene variabilidad en relación a la edad del animal decreciendo en los animales según la edad, donde los recién nacidos poseen mayor concentración de P con una media de 8.1 mg/dL, los animales jóvenes (tuis) concentración de P con una media de 6.5 mg/dL y en los adultos poseen los valores de 5.3 mg/dL. Serna (1985) reporta valores de fosfatemia de 5.80, 5.09 y 4.42 mg/dL en crías, tuis y adultos respectivamente en alpacas del CIP La Raya, determinando que el sexo y la edad influyen significativamente.

También corrobora estos resultados Church (1974) quien indica que el fósforo en el plasma sanguíneo de los herbívoros domésticos varía entre 4 y 8 mg/dL y que en la edad juvenil es más alto, declinando en adultos.

#### b) Según lugar de procedencia

El análisis de varianza (Anexo 7) para el factor lugar de procedencia nos indica que no existe diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). La prueba de comparación múltiple de Tukey (anexo 8) corrobora este resultado, con lo que se deduce que los niveles séricos de fósforo entre las alpacas provenientes de Cerro de Pasco, Junín, Cusco y Puno son similares (Gráfico 4).



Esta similitud estadística se debería probablemente a las condiciones medio ambientales similares en las que se crían las alpacas utilizadas en el presente estudio en los centros de producción, como lo indica Fowler & Zinkl (1989), el valor bioquímico del suero de los animales domésticos puede variar según los factores geográficos (altitudinal y latitudinal) y disponibilidad de alimentos.

Los niveles séricos para fósforo encontrados en el presente estudio son similares a lo reportado por Mamani (2008), quien reporta un promedio general  $4.73 \pm 0.62$  mg/dL en 120 muestras sanguíneas obtenidas de 60 alpacas hembras, no habiendo diferencias entre primerizas y multíparas ( $p > 0.05$ ), pero sí hubo efecto de la condición fisiológica (gestación y lactación), siendo mayor en éstas que en alpacas hembras vacías ( $p \leq 0.01$ ), utilizando técnica colorimétrica-espectrofotométrica. Asimismo concuerda con los niveles séricos promedio de fósforo reportados por Serna (1985) en alpacas hembras de 4.93 mg/dL y 4.42 mg/dL en adultas. Estos resultados corroboran los valores para fósforo sérico determinados en el presente estudio.

Los niveles séricos de fósforo encontrados en el presente estudio son inferiores a los reportados por diversos investigadores: San Martín y Campos (1977) reportan niveles séricos de fósforo promedio de 6.54 y 7.29 mg/dL para alpacas alimentadas en pasturas cultivadas y de 5.7 y 4.51 mg/dL en pasturas naturales, en época de lluvia y seca respectivamente. También son inferiores a valores reportados para fósforo sérico de 5.27 mg/dL en alpacas hembras en Australia (Simons et al., 1993) citado por Quispe (2016). En alpacas el nivel de fósforo fue de 6.19 mg/dL de suero sanguíneo en alpacas (Rosales y Valdivia, 1983). Asimismo Parker (2002) citado por Quispe (2016), reporta niveles séricos de fósforo de 5,84 mg/dL en alpacas machos castrados. Niveles séricos de fósforo  $6.25 \pm 1.7$ ,  $5.74 \pm 0.7$  y  $4.94 \pm 0.9$  mg/100 para alpacas, llamas y vacunos, respectivamente (Rosales et al., 1988). Copas et al. (2015) citado por Quispe (2016), reporta valores de fósforo sérico de 9.09 mg/dL

en llamas machos alimentados con pastos naturales en el altiplano de Bolivia. Marin et al. (2016) reporta niveles séricos de fosforo promedio de 6.6 mg/dL, en muestras de 182 llamas sin discriminación de sexo y mayores de 3 años de edad, determinados por el método Método Cinético U.V automatizado.

Esta variación de valores superiores de niveles séricos de fosforo, frente al presente estudio se deberían probablemente a factores medio ambientales, manejo, edad, sexo, estados fisiológicos, especie (si se comparan con llamas y otros rumiantes) y técnicas bioquímicas de laboratorio utilizadas.

El promedio general de fósforo sérico encontrado en el presente estudio es de 4.28 mg/dL, valor que se encuentra dentro del rango reportados por Dukes (2015) y Church (1974) quienes indican que el fósforo en el plasma sanguíneo de los herbívoros domésticos varía entre 4 y 8 mg/dL, Por su parte Shimada (2003) y Bondi (1998) establecen un rango de 4 a 9 mg/dL de fósforo sérico para los animales domésticos y agregan que gran parte del fosfato del plasma esta ionizado, pero una pequeña cantidad se encuentra formando complejos con proteínas, lípidos y carbohidratos.

#### **4.1.3. Magnesio**

Los niveles de magnesio sérico obtenidos en el presente estudio se muestran en la Tabla 4, donde se detallan sus estadísticos descriptivos, para los factores condición fisiológica y lugar de procedencia.

**Tabla 4.** Niveles séricos de magnesio (mg/dL) según condición fisiológica y lugar de procedencia

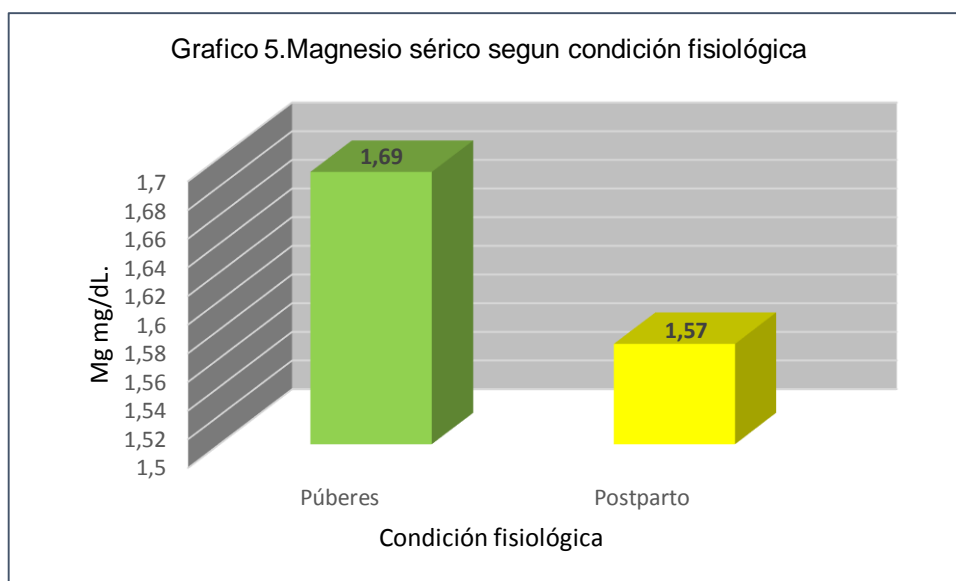
Lugar de procedencia	Condición fisiológica								Total
	Púberes				Postparto				
	Media ±	d.s.	Min	Max	Media ±	d.s.	Min	Max	Media ± d.s.
Pasco	1.75 ±	0.16	1.54	1.89	1.58 ±	0.18	1.21	1.86	<b>1.66<sup>a</sup> ± 0.19</b>
Junín	1.70 ±	0.24	1.39	2.03	1.61 ±	0.22	1.24	1.86	<b>1.66<sup>a</sup> ± 0.23</b>
Cusco	1.67 ±	0.14	1.48	1.89	1.54 ±	0.20	1.18	1.86	<b>1.61<sup>a</sup> ± 0.18</b>
Puno	1.65 ±	0.28	1.30	2.03	1.57 ±	0.23	1.24	1.93	<b>1.61<sup>a</sup> ± 1.24</b>
<b>Total</b>	<b>1.69<sup>a</sup> ±</b>	<b>0.21</b>	<b>1.30</b>	<b>2.03</b>	<b>1.57<sup>b</sup> ±</b>	<b>0.20</b>	<b>1.18</b>	<b>1.93</b>	<b>1.63 ± 0.21</b>

(a,b,c) medias con letras diferentes en la misma columna y fila, indican diferencias estadísticas significativas

El análisis de varianza para los niveles séricos de magnesio (anexo 9), se puede apreciar que no existe interacción significativa ( $p > 0.05$ ) para los factores condición fisiológica y el lugar de procedencia, por lo tanto los factores son independientes uno del otro, por lo tanto, se procedió al análisis de los efectos principales.

#### a) Según condición fisiológica

El análisis de varianza (anexo 9) para el factor condición fisiológica muestra que existe diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) en los niveles séricos de magnesio entre alpacas púberes y postparto (Gráfico 5).



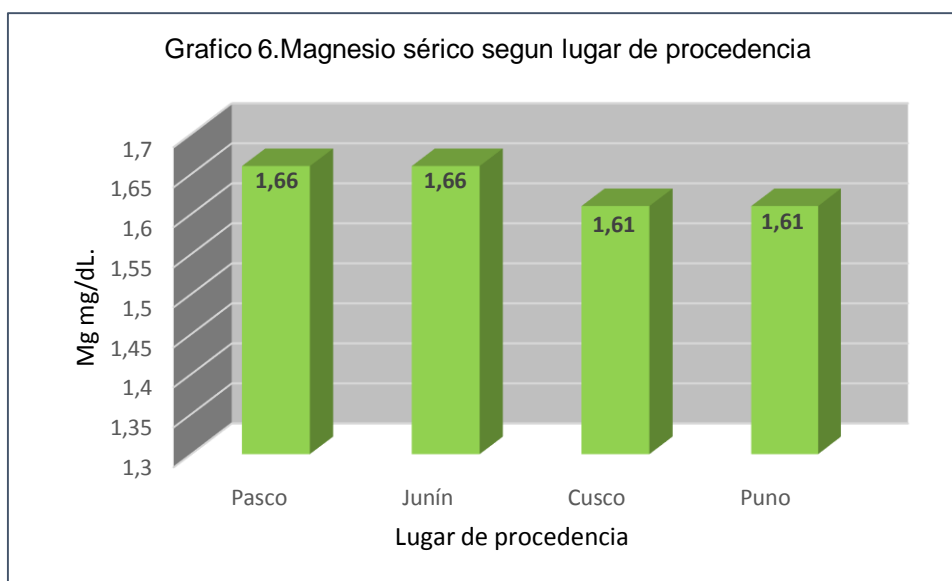
La diferencia existente para el factor condición fisiológica (Tabla 4 y anexo 9), donde las alpacas púberes muestran niveles séricos de magnesio más altos que las alpacas postparto, al igual que el calcio y el fósforo, se debería a las diferentes edades, las alpacas púberes (juveniles) están en crecimiento, y dado que sus huesos están en pleno crecimiento y su metabolismo es mayor que en adultos, por lo cual sus niveles de magnesio sérico son superiores a las alpacas postparto que son de mayor edad (adultos).

Mc Donald y Edwards (1995) señalan que el magnesio cumple un rol muy importante en la fisiología animal, participa en el metabolismo energético a través de la activación del ATP, es activador de muchas enzimas involucradas en el metabolismo de lípidos, carbohidratos y proteínas; el 60 - 70% del magnesio se encuentra en los huesos y el resto está repartido entre el músculo y otros tejidos blandos. El magnesio en el organismo actúa como factor que participa en el metabolismo, es decir que este elemento desempeña funciones metabólicas (Hoffmann y Volver, 1968) la diferencia estadística con respecto a los valores de magnesio

suero sanguíneo, para la variable condición fisiológica, se debería probablemente a que las alpacas púberes tienen un mayor metabolismo que las alpacas adultas postparto, sus requerimientos de magnesio son mayores y, por lo tanto, los niveles séricos de magnesio es mayor. También se debería probablemente a que las alpacas púberes reabsorben de manera más eficiente el magnesio a nivel renal, lo cual explicaría los niveles séricos de magnesio sean más altos frente a alpacas postparto de mayor edad, como lo señala Bushinsky (1999) al señalar que la mayor parte del magnesio circulante es ultrafiltrable, el 95% del mismo es reabsorbido a nivel del túbulo renal, siendo el riñón el principal responsable de la regulación de los niveles de magnesio en el estrecho margen de sus valores de normalidad (1.8-2.2 mg/dL).

#### **b) Según lugar de procedencia**

El análisis de varianza para el factor lugar de procedencia nos indica que no existe diferencias significativas ( $p > 0.05$ ); asimismo, se puede apreciar en la prueba de comparación múltiple de Tukey (anexo 10) que no existe diferencias para los promedios de niveles séricos de fosforo entre las alpacas provenientes de Cerro de Pasco, Junín, Cusco y Puno (Gráfico 6).



El factor lugar de procedencia no presenta diferencias significativas, esta similitud se debería probablemente a las condiciones medio ambientales similares en las que se crían las alpacas utilizadas en el presente estudio en los centros de producción, como lo indica Fowler & Zinkl (1989), el valor bioquímico del suero de los animales domésticos puede variar según los factores geográficos (altitudinal y latitudinal) y disponibilidad de alimentos. Asimismo, es importante indicar que el magnesio es un mineral sin depósito, y cuyo nivel plasmático en los animales depende fundamentalmente de la ingesta diaria y que no está regulado por el sistema humoral, así lo señala De Luca (2002). Todos los animales utilizados en el presente estudio fueron alimentados en base a pasturas naturales por lo que no se pudieron observar diferencias de magnesemia. Los valores de niveles séricos de magnesio son inferiores a los reportados por otros autores, Mamani (2008) reporta niveles de magnesemia promedio de  $2.61 \pm 0.02$  mg/dL. En cuanto a los niveles de magnesio en el suero sanguíneo de alpacas de la variedad Huacaya, se determinó por espectrofotometría de absorción atómica, obteniéndose un promedio de



3.06 mg en machos y 2.03 mg/100 mL en hembras (Losno, 1976). Asimismo, Espinoza *et al.*, (1982) reporta niveles séricos promedio para fosforo de relación a especie y temporadas (lluviosas y secas) y obtienen un promedio de 2.21 mg/dL en llamas y 2.15 mg/dL en ovinos todo esto en las temporadas estaciones lluviosas y en temporadas secas 2.11 mg/dL, Marin *et al.* (2016) reporta niveles séricos de magnesio promedio de 2.4 mg/dL., en muestras de 182 llamas sin discriminación de sexo y mayores de 3 años de edad, determinados por el Método colorimétrico automatizado. Esta inferioridad en la magnesemia en el presente estudio probablemente se debería a que los niveles séricos de Calcio promedio en el presente estudio, son ligeramente superiores a los reportes de autores. Álvarez (2001), señala que este mineral no cuenta con mecanismo de control efectivo que regule sus concentraciones sanguíneas y mantenga eficientemente los valores constantes. No obstante, se conoce que el contenido de magnesio en el plasma sanguíneo, se encuentra, en parte ligado a las proteínas al igual que el calcio y que la competencia por los mismos receptores proteicos ocasiona que disminuya los niveles de proteínato magnésico y aumente el calcio iónico cuando los niveles de calcio aumentan.

Espinoza *et al.* (1982) y Moe (2005) indican que en animales la concentración normal de magnesio es de 2 a 3 mg/dL de igual forma, Kolb (1979) indica que los valores normales de los animales oscilan entre 1.8 y 3.2 mg/dL, Mc Donald y Edward (1995) manifiestan que en el ganado vacuno, el contenido normal de magnesio en la sangre oscila entre 1.7 y 4.0 mg/dL de suero, aunque a menudo se registran niveles inferiores a 1.7

de modo que la magnesemia en alpacas estaría entre también dentro de este rango.

De igual modo, Underwood (1969) indica que los niveles de magnesio sanguíneo en vacunos y ovinos oscilan entre de 1.8 y 3.2 mg/100mL de suero. Harvey (1970) reporta valores de 2.76 mg/dL en bovinos y 2.28 mg/dL en ovinos. Resultados ligeramente superiores a los obtenidos en el presente estudio.

#### 4.2. Relación Ca:P

Los valores para la relación Ca:P obtenidos en el presente estudio se muestran en la Tabla 3, donde se detallan sus estadísticos descriptivos, para los factores condición fisiológica y lugar de procedencia.

Tabla 5. Relación Ca:P según condición fisiológica y lugar de procedencia.

Lugar de procedencia	Condición fisiológica								Total
	Púberes				Postparto				
	Media ±	d.s.	Min	Max	Media ±	d.s.	Min	Max	Media ± d.s.
Pasco	1.99 ±	0.22	1.64	2.44	1.97 ±	0.34	1.54	2.49	<b>1.98<sup>a</sup> ± 0.28</b>
Junín	1.91 ±	0.21	1.62	2.32	2.12 ±	0.50	1.43	2.86	<b>2.02<sup>a</sup> ± 0.39</b>
Cusco	2.02 ±	0.12	1.84	2.24	1.96 ±	0.44	1.24	2.51	<b>1.99<sup>a</sup> ± 0.32</b>
Puno	1.98 ±	0.18	1.76	2.28	2.00 ±	0.21	1.60	2.27	<b>1.99<sup>a</sup> ± 0.19</b>
<b>Total</b>	<b>1.97<sup>a</sup> ±</b>	<b>0.18</b>	<b>1.62</b>	<b>2.44</b>	<b>2.01<sup>a</sup> ±</b>	<b>0.38</b>	<b>1.24</b>	<b>2.86</b>	<b>1.99 ± 0.30</b>

(a,b) medias con letras diferentes en la misma columna y fila, indican diferencias estadísticas significativas

El análisis de varianza para la relación Ca:P (anexo 11), se puede apreciar que no existe interacción significativa ( $p > 0.05$ ) para los factores condición fisiológica y el lugar de procedencia, por lo tanto los factores son independientes uno del otro, por lo tanto se procedió al análisis de los efectos principales.

El análisis de varianza (anexo 11) para el factor condición fisiológica muestra que no existe diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) en los niveles séricos de fosforo entre alpacas púberes y postparto, por otro lado el análisis de varianza (anexo 11) para el factor lugar de procedencia nos indica que no existe diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), asimismo se puede apreciar en la prueba de comparación múltiple de Tukey (anexo 12) que no existe diferencias para los promedios de niveles séricos de fosforo entre las alpacas provenientes de Cerro de Pasco, Junín, Cusco y Puno.

La relación Ca:P se mantienen a nivel constante por la acción reguladora de tres hormonas: hormona paratiroidea (PTH), calcitonina y el metabolito activo de la vitamina D3. Los rumiantes en crecimiento pueden tolerar un amplio intervalo en la relación calcio y fósforo, incluso de 7:1. El exceso de calcio en la relación reduce la absorción y utilización de los minerales, especialmente el fósforo y los minerales traza (Bondi, 1988).

Los valores de la relación Ca:P son relativamente mayores a lo reportado por Mamani (2008), quien reporta valores promedio de 1.76:1, en alpacas hembras en diferentes estados fisiológicos, siendo mayor para alpacas primerizas postparto 1.87:1.

El promedio general de Ca:P obtenido en el estudio fue de 1.99:1, resultado que se encuentra dentro del rango establecido por algunos autores para animales domésticos. Así por ejemplo Mc Donald y Edward (1995) señalan que la relación Ca:P más adecuada para los animales de interés zootécnico oscila entre 1:1 y 2:1. Kolp (1979) considera debido a la estrecha interdependencia del metabolismo del calcio y del fósforo en los mamíferos, se considera como óptima una relación de Ca:P de 1,5:1,

se puede considera variaciones de 2:1. La relación del Ca:P debe encontrarse en relación casi constante 2:1, la cantidad de fósforo en los huesos de los animales jóvenes puede ser menor que la de los adultos, ya que no están completamente mineralizados (Dukes, 2015). Shimada (2003) agrega que un exceso de calcio con respecto al fósforo puede originar problemas de deficiencia de zinc.

#### 4.3. Correlación Ca, P y Mg

Las correlaciones de Pearson entre calcio, fosforo y magnesio se detalla en la Tabla 6, donde se muestran el grado de asociación y la significancia.

Tabla 6. Correlaciones de Pearson entre Calcio, Fosforo y magnesio

	Calcio	Fosforo	Magnesio
Calcio	1	0.116	-0.009
Fosforo		1	0.209*
Magnesio			1

Correlación significativa a un nivel de 0.05 (bilateral)

En la tabla 6 (anexo 13), se puede apreciar que existe una correlación positiva baja de 0.116 entre los niveles séricos de calcio y fosforo, pero que no muestra significancia ( $p > 0.05$ ), la correlación de los niveles séricos calcio y magnesio es negativa muy baja con un valor de -0.009 tampoco muestra significancia, existe una correlación positiva baja de 0.209 entre los niveles séricos de fosforo y magnesio que si muestra significancia ( $p > 0.05$ ).

Estas correlaciones indican que los tres minerales están relacionados, en cuanto a su movilización y metabolismo, la correlación positiva entre calcio y fosforo, la correlación negativa entre calcio y magnesio, la baja

correlación entre fósforo y magnesio encontradas en el presente estudio y corroboradas por Rodríguez et al. (2004) quienes mencionan que la interrelación entre el sistema hormonal y los niveles séricos de calcio, fósforo y magnesio son tan estrechas que, con frecuencia, la interpretación de los cambios debe ser realizada en conjunto para que tenga sentido fisiopatológico. Los mismos investigadores sustentan la baja correlación entre el P y Mg encontrada al señalar que la regulación de la cinética del magnesio no está tan clara como en el caso del calcio y el fósforo, circunstancias que aumentan los niveles de calcio y fósforo promoverían una pérdida renal de magnesio. El magnesio se ha involucrado en el mecanismo de sensor del calcio de la PTH y, a través de la misma, participaría de la regulación del calcio, siendo la hipermagnesemia una de las causas de hipocalcemia.

Los valores encontrados en el presente estudio son similares a los reportados en alpacas hembras por Mamani (2008) quien reporta correlaciones altamente significativa entre Ca y el P ( $r=0,364$ ) ( $p\leq 0.01$ ), significativa entre Ca y Mg ( $r=0.226$ ) ( $p\leq 0.05$ ) y no significativa entre P y Mg ( $r=0,117$ ) ( $p>0.05$ ), discrepamos en la correlación entre calcio y magnesio ya que en el presente estudio es negativa y en caso del autor en mención es positiva y significativa.

## V. CONCLUSIONES

- Los niveles séricos de calcio, fósforo y magnesio son superiores en las alpacas hembras púberes que en las alpacas adultas postparto. En cambio, los lugares de procedencia de los animales, no influyen en las concentraciones de los tres minerales.
- No existe diferencia significativa para la relación Ca:P entre alpacas hembras púberes y alpacas adultas postparto, ni entre lugares de procedencia.
- Existe una correlación positiva entre los niveles séricos de calcio y fósforo, fósforo y magnesio, y correlación negativa entre calcio y magnesio.

## VI. RECOMENDACIONES

- Proseguir estudios del metabolismo de Ca, P y Mg considerando otras variables y factores influyentes, como raza, sexo, edad, época del año, nivel de alimentación, y otros.
- Considerar dentro de los factores de estudio, el contenido de Ca, P y Mg en los pastos que consumen las alpacas.
- Realizar investigaciones que consideren factores como contenido de vitamina D, en los pastos, en diferentes épocas del año.

## VII. REFERENCIAS

- Albalate M., de Sequera P. y M. Rodríguez 2017. Trastornos del calcio, el fósforo y el magnesio. En Lorenzo V, López Gómez JM (Eds), Nefrología al Día.
- Álvarez, J. 2001. Bioquímica Nutricional y Metabólica del Bovino en el Trópico, 1º Ed., Editorial Universidad de Antioquia. Colombia.
- Anderson, R. Y H. Guttman. 1988. Trace minerals and exercise. En: E.S. Horton & R.L. Terjung (Eds). Exercise, nutrition, and energy metabolism (pp. 180-195). New York: Macmillan Publishing Company.
- Azab M.E., Hussein. A., Abdel-Maksoud. 1999. Changes in some hematological and biochemical parameters during prepartum and postpartum periods in female Bala di goats. Small Ruminant Research 34, pp 77-85.
- Bondi, A. 1988. Nutrición animal. Primera edición. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza – España.
- Bushinsky D.A. 1999. Calcium, magnesium and phosphorous: renal handling and urinary excretion. En: Primer on the Metabolic Bone Diseases and Disorders of Mineral Metabolism”. Editado por Favus MJ. 4ª ed. American Society for Bone and Mineral Research. Lippincott Williams and Wilkins.
- Carbona E., J. Maldonado, D. García, G. Galdo y J. Molina. 1994. Mineralización ósea del fémur en recién nacidos medida por absorciometría de rayos X de doble energía. An Esp Pediatr; 41: 267-270.
- Castillo, S. F. 1992. Niveles Séricos de Calcio, Fósforo y Cobre en alpacas. Tesis UNA-Puno.
- Ceballos, A.; A. Villa; T. Betancourth y D. Roncancio, 2004. Determinación de la concentración de calcio, fósforo y magnesio en el periparto de vacas lecheras en Manizales, Colombia. Departamento de Salud Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.
- CENAGRO. 2012. Censo Nacional Agropecuario de 2012. Disponible en: <http://censos.inei.gob.pe/Cenagro/redatam/>. Fecha de acceso: 15 abril del 2015.



- Church D. y Pond W. 1978. Fundamentos de la nutrición y alimentación de animales, Editorial LIMUSA, México.
- Church, C.D. 1993. El rumiante: fisiología digestiva y nutrición. Editorial Acribia. Zaragoza- España.
- Church, D.C. 1974. Fisiología Digestiva y Nutrición de los rumiantes. Vol II. Editorial Acribia. Zaragoza- España.
- Concellón, A. 1978. Nutrición Animal Práctica 1. 2da Edición, Editorial Aedos, Barcelona – España.
- Cunningham, J. G. 2003. Fisiología veterinaria. 3ªed. Elsevier. Bloque temático I-IV, temas 2-56 y trabajos dirigidos n°s 1-10.
- De Luca, L. 2003. Burnet Laboratorios S.A., Bs. As. Sitio Argentino de producción Animal - [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)
- Díaz J. 2013. Calcio y embarazo. Rev Med Hered. 2013; 24:237-241.
- Dukes, H.H. 1981. Fisiología de los animales Domésticos. 4ª edición. Editorial Aguilar. Madrid, España.
- Dukes, H.H. 2015 Physiology of domestic animals. 13th Edition. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Dukes, H. y Swenson M. J. 1983. Fisiología de los Animales Domésticos, 4ta Edición, Editorial Aguilar S. A., Ediciones Madrid, Zaragoza- España.
- Espinoza, J.E. Mcdowell, L.R., Loosli, Conrad, J.H..and Martin, F.G. 1982. Mineral Status of Llamas and Sheep in the Bolivian Altiplano. Instituto Boliviano de tecnología Agropecuaria. Enthe Lournal of Natutron, volumen 112 N° 12.
- Fernandez C.; Gonzalez P.; Abad G.; Reguera Dc. Reyero F.; Diez M. 2000. Niveles séricos de diversos minerales (Zn, Cu, Mn, Se, Ca, Mg y P) en ganado bovino de la montaña oriental de la provincia de León. Rev. Med Vet. Vol. 17 (4): 63-70. España.
- Flórez, J. 2005. Farmacología Humana. 4ª Edición. Editorial MASSON. Barcelona, España.

- Forchetti O., C. Maffrand, C. Vissio, C. Boaglio, Cufre G. 2006 Hipofosfatemia y fragilidad osmótica eritrocítica en cabras Universidad Nacional de Río Cuarto Fac. de Agr. y Veterinaria
- Fowler, W. and Zinkl, D. 1989. Reference ranges for hematologic and serum biochemical values in Llamas (*Lama glama*). Journal of Veterinary Research.
- García, A., Castejon, F., De La Cruz Gonzáles, J., Murillo, M.D. y Saudo, G. 1996. Fisiología veterinaria. 1ra edición. Mc Graw – Hill interamericana.
- Garnica, P. Y Maquera Z. 1985. Niveles de fibrinógeno y calcio sódico de alpacas (*Lama pacos*). En resumen de V convención Internacional sobre Camélidos Sudamericanos, Cusco - Perú.
- Gertner J, Coustan D, Kliger A. 1986. Pregnancy as a state of physiologic absorptive hypercalciuria. Am J Med; 81: 451-6.
- Glerean, M. Y Plantalech, L. 2000. Osteoporosis en el embarazo y lactancia. Medicina (Buenos Aires) 2000; 60: 973-981.
- Gordillo, P. 1974. Electrolitos en Pediatría Fisiología y Clínica. Edit. Asociación de Médicos del Hospital Infantil de México.
- Guyton, A. 1983. "Tratado de fisiología médica". VI Edición. Editorial Interamericana. México.
- Guyton, A. 1997. Tratado de fisiología médica, 9ª Edición, Editorial Interamericana S.A. México.
- Guyton, A. C. Y J. E. Hall. 2006. Tratado de fisiología médica. 11ª ed. Madrid: Elsevier.
- Harvey, D. G. 1970. Bioquímica para estudiantes de Veterinaria, 1ra Edición, Editorial Hispano-Americana, México.
- Hoffmann, G. Y Volker, H. (1968). Anatomía y fisiología de las aves domésticas. 1ra Edición. Editorial Acribia, Zaragoza – España.
- Kalantar-Zadeh, K., L. Gutekunst, R. Mehrotra, C. P. Kovesdy, R. Bross, C. S. Shinaberger, N. Noori, R. Hirschberg, D. Benner, A. R. Nissenson, J. D. Kopple. 2010. Understanding sources of dietary phosphorus in the

- treatment of patients with chronic kidney disease. *Clin J Am Soc Nephrol* 5(3):519-530
- Kaneko J., J. Harvey, M. Bruss. 2008. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. Sixth Edition. Elsevier Inc. California United States of America.
- Kaneko J., Harvey J., Bruss M.L. 1997. *Clinical biochemistry of domestic animals*, 5th ed. San Diego, Academic Press. 932p.
- Kaneko, J. 1989. *Clinical Biochemistry of domestic animals*. Academic Press.
- Kolb, E. 1987. *Fisiología Veterinaria*, 3º Edición. Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- Kolb, E. 1979. *Fisiología Veterinaria*, 1ra Edición, Editorial Acribia, Zaragoza España.
- Losno, W. 1976. "Terceras Jornadas Bioquímicas", Boletín N° 03 Imprenta de la UNMSM, Lima – Perú.
- Macintyre I., Robinson C. J. 1969. Magnesium and the gut: experimental and clinical observation. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 162, 865-873.
- Mahgoub, O., I. T. Kadim and E. C. Wobb. 2012. *Goat meat production and quality*. CAB International, UK.
- Mamani, P. E. 2008. Efecto del último tercio de gestación, parto y primer tercio de lactación sobre los niveles de calcio, fósforo y magnesio en alpacas hembras del CIP La Raya. Tesis Fac. Med. Vet. y Zoot., UNA-Puno.
- Marin, R.E.; D.D. Medina; P.A. Corregidor. 2016. Valores de Calcio, Fosforo, Magnesio y Proteínas en suero de Llamas (*Lama glama*) de la provincia de Jujuy. Fac. Ciencias Agraria, Universidad Nacional de Jujuy-Argentina. Documento en línea: (Consultado el 15 de junio del 2018). Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/310156664>
- Mc Donald P. y Edwards R. 1999. *Nutrición animal*. 5ta edición. Editorial Acribia, Zaragoza España.
- Moe, S. 2005. Disorders of calcium, phosphorus, and magnesium. *Am J Kidney Dis* 2005; 45: 213-8.

- Morrison, F. 1977. Compendio de alimentación de ganado, Cap. 6: Los Minerales en la alimentación del ganado. Editorial Hispano – América. México.
- Mufarrege, D. 1993. Distribución estacional de nutrientes minerales para el ganado en pastizales del nordeste Argentina. Informe Anual INTA Mercedes (Corrientes, Argentina), p.102-107.
- Mufarrege, D. 1999. E.E.A. INTA Mercedes, Corrientes. Trabajo de Divulgación Técnica. [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)
- Quispe, C.E. 2016. Estatus mineral de Ca y P en alpacas (*Vicugna pacos*) hembras durante la estación de verano. Tesis Fac. Ciencias de la Ingeniería. E,P. Zoot. UNH- Huancavelica.
- Reid, R. Y D. Horvath. 1980. Ciencia de Alimentos. Química del suelo y los problemas de mineral en la finca. Editorial Trillas, México.
- Reinhardt, T. A.; R. L. Horst; J. P. Goff. 1988. Calcium, phosphorus, and magnesium homeostasis in ruminants. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 4:331.
- Repetto, J.C.; Donovan, A. y García Mata, F. 2004. Motivar, Bs. As. 2(18): 6-7. Laboratorios Biotay. Sitio Argentino de Producción Animal - [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)
- Rodríguez, I.; Pérez, C.C.; España, F.; Dorado, J.; Hidalgo, M. y Sanz J. 2004. Departamento de Medicina y Cirugía Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad de Córdoba. Campus Universitario de Rabanales. 14014. Córdoba. España. 2Centro de Investigación y Formación Agraria “Alameda del Obispo”. Junta de Andalucía. Córdoba. España. Correspondencia: Dr. C.C. Pérez Marín. E-mail: [pv2pemac@uco.es](mailto:pv2pemac@uco.es)
- Roldán P.V; Gápel, C; Baravalle, A; Campagnoli, D; Beldoménico, H. 2006. Estudio del perfil mineral en bovinos lecheros de la provincia de Santa Fe, en distintos estados fisiológicos. *Revista Electrónica de Veterinaria REDVET*®, ISSN 1695- 7504, Vol. VII, nº 12, S.L. ® España.
- Rosales, A.; Valdivia, R.; Clavo, N. 1988. El Calcio y fosforo en la nutrición de los Camélidos Sudamericanos”. *Rev Camelid Sudamer IVITA*, Perú.

- Rosales, FA. Y Valdívía R. 1983. Estado nutricional en minerales de los Camélidos Sudamericanos en el Altiplano. Resum Proyect Invest Realizados por la Univ Nac Mayor de San Marcos, Período 1975 - 1979. Lima.
- San Martín H. F. 1996. Nutrición de camélidos sudamericanos y su relación con la reproducción Rev. Argentina de Producción Animal, 16(4):305-312. [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)
- San Martín, F. 1999. Nutrición de forrajes en: Alimentación y nutrición de Camélidos Sudamericanos. (VITA- UNMSM-Lima.
- San Martín, F.; Campos, L. 1977. Niveles séricos de calcio y fósforo inorgánico en alpacas. An y Cong Nac Ciencias Vet. Perú: Arequipa.
- SENAMHI, 2013. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Puno - Perú.
- Serna, C. 1985. Niveles plasmáticos de calcio, fósforo, magnesio y cobre en alpacas. Tesis Fac. Med. Vet. Y Zoot. UNA – PUNO.
- Shimada, A. 2003. Nutrición animal. Primera edición, Impreso en México.
- Solís, R. 1997. Producción de Camélidos Sudamericanos. Primera edición. Imprenta Ríos
- Underwood, E. 1969. Los minerales en la alimentación del ganado, Editorial Acribia, España.
- Underwood, E. 2003. Los Minerales en la alimentación del ganado” 3ª edición. Editorial Acribia, España.
- Underwood, E.J; 1983. Los minerales en la nutrición del ganado. 2ª edición. Editorial Acribia, España.
- Valdivia, R.; Rosales, A.; Huaman, H. 1980. Estado de la nutrición mineral (calcio, fósforo, cobre y hierro) de alpacas, llamas y vicuñas en el altiplano peruano. VI Congreso Nacional de Ciencias Veterinarias, Piura-Perú
- Van Saun, R.J. 1999. Valoración de los problemas de la vaca en transición: perfiles metabólicos modificados. 3ª Jornadas ANEMBE de Medicina Bovina. León. España.

Verastegui, S. 1984. Radiografía de la Nutrición Proyecto. IIDSA – UNA, Puno-Perú.

Wiener Lab. 2000. Información del producto, Métodos colorimétricos para fluidos biológicos. Rosario – Argentina.

# ANEXOS

Anexo 1. Niveles séricos de Calcio en mg/dL según condición fisiológica y lugar de procedencia en alpacas Huacaya.

Nº	PUBERES				POSTPARTO			
	JUNIN	PUNO	CERRO	CUSCO	JUNIN	PUNO	CERRO	CUSCO
1	9.10	9.10	8.38	9.44	8.58	6.86	7.66	7.66
2	8.10	8.10	9.21	8.58	8.29	8.10	9.67	9.67
3	8.58	7.83	8.68	8.58	7.66	7.66	6.15	6.15
4	8.38	9.10	8.78	9.10	8.38	8.38	6.49	5.64
5	8.10	8.58	10.05	8.89	8.78	8.78	9.10	9.44
6	10.31	8.89	8.10	8.58	8.10	8.58	7.92	9.92
7	9.10	9.10	7.66	9.44	8.58	8.58	7.66	7.66
8	8.10	8.29	8.58	8.58	8.29	7.66	9.67	9.67
9	8.78	7.66	8.19	8.58	7.49	8.38	6.15	6.15
10	8.58	9.10	8.78	9.10	8.38	7.01	6.49	5.64
11	8.10	8.38	9.67	8.89	8.58	8.10	9.10	9.21
12	10.31	8.78	8.10	8.58	8.10	7.66	9.67	10.05
13	8.10	9.10	9.67	8.89	7.66	8.38	8.10	5.64
14	8.29	9.67	8.10	8.58	8.10	8.78	9.67	9.67
15	8.58	9.10	8.38	9.44	8.58	8.58	7.66	9.67
<b>PROM</b>	<b>8.70</b>	<b>8.72</b>	<b>8.69</b>	<b>8.88</b>	<b>8.24</b>	<b>8.10</b>	<b>8.08</b>	<b>8.12</b>
<b>D.S</b>	0.74	0.56	0.69	0.34	0.39	0.61	1.34	1.82
<b>MIN</b>	8.10	7.66	7.66	8.58	7.49	6.86	6.15	5.64
<b>MAX</b>	10.31	9.67	10.05	9.44	8.78	8.78	9.67	10.05



Anexo 2. Niveles séricos de Fosforo en mg/dL según condición fisiológica y lugar de procedencia en alpacas Huacaya.

Nº	PUBERES				POSTPARTO			
	JUNIN	PUNO	CERRO	CUSCO	JUNIN	PUNO	CERRO	CUSCO
1	4.22	4.44	4.56	4.56	5.22	4.00	4.33	4.22
2	4.33	4.56	4.67	4.44	3.33	4.33	4.00	4.00
3	5.00	4.44	4.22	4.33	4.67	3.89	3.89	3.89
4	4.44	4.00	4.44	4.67	3.00	4.78	4.00	4.56
5	4.67	4.11	4.11	4.22	4.33	3.89	4.11	4.39
6	4.89	4.22	4.33	4.44	5.22	3.78	4.44	4.11
7	4.33	4.00	4.67	4.22	3.00	3.89	4.00	3.89
8	5.00	4.44	4.22	4.33	4.33	4.78	3.89	4.00
9	4.44	4.00	4.78	4.67	5.22	3.89	4.00	4.22
10	4.22	4.89	4.11	4.22	3.33	3.78	4.11	4.11
11	4.89	4.22	4.33	4.78	4.67	3.89	4.44	4.22
12	4.44	5.00	4.11	4.22	3.00	3.78	4.11	4.00
13	4.67	4.56	4.33	4.33	4.33	3.89	4.44	3.89
14	4.89	4.44	4.67	4.44	3.00	4.78	4.00	4.22
15	4.33	5.00	4.22	4.33	4.33	3.89	3.89	4.39
<b>PROM</b>	<b>4.58</b>	<b>4.42</b>	<b>4.38</b>	<b>4.41</b>	<b>4.07</b>	<b>4.08</b>	<b>4.11</b>	<b>4.14</b>
<b>D.S</b>	0.29	0.34	0.23	0.18	0.87	0.38	0.21	0.20
<b>MIN</b>	4.22	4.00	4.11	4.22	3.00	3.78	3.89	3.89
<b>MAX</b>	5.00	5.00	4.78	4.78	5.22	4.78	4.44	4.56

Anexo 3. Niveles séricos de Magnesio en mg/dL. según condición fisiológica y lugar de procedencia en alpacas Huacaya.

Nº	PUBERES				POSTPARTO			
	JUNIN	PUNO	CERRO	CUSCO	JUNIN	PUNO	CERRO	CUSCO
1	1.39	1.70	1.86	1.86	1.48	1.24	1.86	1.79
2	1.54	1.86	1.79	1.70	1.70	1.54	1.57	1.27
3	1.86	2.03	1.54	1.48	1.86	1.45	1.70	1.70
4	2.03	1.30	1.89	1.54	1.54	1.63	1.60	1.60
5	1.39	1.54	1.86	1.54	1.24	1.86	1.54	1.54
6	1.70	1.39	1.54	1.63	1.86	1.93	1.66	1.66
7	1.54	1.86	1.86	1.86	1.63	1.54	1.57	1.33
8	1.86	2.03	1.79	1.57	1.70	1.45	1.21	1.24
9	2.03	1.30	1.54	1.70	1.86	1.63	1.48	1.60
10	1.39	1.70	1.89	1.60	1.54	1.86	1.54	1.54
11	1.70	1.86	1.86	1.86	1.24	1.24	1.66	1.86
12	1.70	2.03	1.54	1.57	1.86	1.86	1.86	1.70
13	1.54	1.30	1.86	1.70	1.63	1.30	1.57	1.60
14	1.86	1.54	1.54	1.89	1.33	1.54	1.24	1.54
15	2.03	1.39	1.86	1.60	1.70	1.45	1.60	1.18
<b>PROM</b>	<b>1.70</b>	<b>1.65</b>	<b>1.75</b>	<b>1.67</b>	<b>1.61</b>	<b>1.57</b>	<b>1.58</b>	<b>1.54</b>
<b>D.S</b>	0.24	0.28	0.16	0.14	0.22	0.23	0.18	0.20
<b>MIN</b>	1.39	1.30	1.54	1.48	1.24	1.24	1.21	1.18
<b>MAX</b>	2.03	2.03	1.89	1.89	1.86	1.93	1.86	1.86

Anexo 4. Valores de la Relación Calcio:Fosforo según condición fisiológica y lugar de procedencia en alpacas Huacaya.

Nº	PUBERES				POSTPARTO			
	JUNIN	PUNO	CERRO	CUSCO	JUNIN	PUNO	CERRO	CUSCO
1	2.16	2.05	1.84	2.07	1.64	1.71	1.77	1.81
2	1.87	1.78	1.97	1.93	2.49	1.87	2.42	2.42
3	1.72	1.76	2.06	1.98	1.64	1.97	1.58	1.58
4	1.89	2.28	1.98	1.95	2.80	1.76	1.62	1.24
5	1.74	2.09	2.44	2.11	2.03	2.26	2.21	2.15
6	2.11	2.11	1.87	1.93	1.55	2.27	1.78	2.41
7	2.10	2.28	1.64	2.24	2.86	2.21	1.91	1.97
8	1.62	1.87	2.03	1.98	1.91	1.60	2.49	2.42
9	1.98	1.91	1.72	1.84	1.43	2.16	1.54	1.46
10	2.03	1.86	2.14	2.16	2.52	1.86	1.58	1.37
11	1.66	1.99	2.23	1.86	1.84	2.08	2.05	2.18
12	2.32	1.76	1.97	2.03	2.70	2.03	2.35	2.51
13	1.74	2.00	2.23	2.05	1.77	2.16	1.82	1.45
14	1.70	2.18	1.74	1.93	2.70	1.84	2.42	2.29
15	1.98	1.82	1.99	2.18	1.98	2.21	1.97	2.20
<b>PROM</b>	<b>1.91</b>	<b>1.98</b>	<b>1.99</b>	<b>2.02</b>	<b>2.12</b>	<b>2.00</b>	<b>1.97</b>	<b>1.96</b>
<b>D.S</b>	0.21	0.18	0.22	0.12	0.50	0.21	0.34	0.44
<b>MIN</b>	1.62	1.76	1.64	1.84	1.43	1.60	1.54	1.24
<b>MAX</b>	2.32	2.28	2.44	2.24	2.86	2.27	2.49	2.51

Anexo 5. Análisis de varianza para Calcio mg/dL.

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: Calcio mg/dL.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo	8561,793 <sup>a</sup>	8	1070,224	1211,055	,000
Condición fisiológica	11,304	1	11,304	12,791	,001
Procedencia	,270	3	,090	,102	,959
Condición fisiológica *	,330	3	,110	,125	,945
Procedencia					
Error	98,976	112	,884		
<b>Total</b>	<b>8660,769</b>	<b>120</b>			

a. R al cuadrado = ,989 (R al cuadrado ajustada = ,988)

Anexo 6. Prueba de medias de Tukey para Calcio para el efecto principal lugar de procedencia

Variable dependiente: Calcio mg/dL.

Departamentos	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Junín	8,469	,172	8,129	8,809
Puno	8,409	,172	8,069	8,749
Pasco	8,383	,172	8,043	8,723
Cusco	8,503	,172	8,163	8,843

	(I) Departamentos	(J) Departamentos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
HSD Tukey	Junín	Puno	,0597	,24272	,995
		Pasco	,0857	,24272	,985
		Cusco	-,0343	,24272	,999
	Puno	Junín	-,0597	,24272	,995
		Pasco	,0260	,24272	1,000
		Cusco	-,0940	,24272	,980
	Pasco	Junín	-,0857	,24272	,985
		Puno	-,0260	,24272	1,000
		Cusco	-,1200	,24272	,960
	Cusco	Junín	,0343	,24272	,999
		Puno	,0940	,24272	,980
		Pasco	,1200	,24272	,960

Anexo 7. Análisis de varianza para Fosforo mg/dL.

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: Fosforo mg/dL.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo	2197,446 <sup>a</sup>	8	274,681	1721,539	,000
Condición fisiológica	3,700	1	3,700	23,187	,000
Procedencia	,113	3	,038	,236	,871
Condición fisiológica * Procedencia	,302	3	,101	,630	,597
Error	17,870	112	,160		
<b>Total</b>	<b>2215,316</b>	<b>120</b>			

a. R al cuadrado = ,992 (R al cuadrado ajustada = ,991)

Anexo 8. Prueba de medias de Tukey para Fosforo para el efecto principal lugar de procedencia

Variable dependiente: Fosforo mg/dL.

Departamentos	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Junin	4,325	,073	4,180	4,469
Puno	4,252	,073	4,108	4,396
Pasco	4,247	,073	4,103	4,392
Cusco	4,277	,073	4,133	4,421

	(I) Departamentos	(J) Departamentos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
HSD Tukey	Junín	Puno	,0727	,10314	,895
		Pasco	,0773	,10314	,877
		Cusco	,0477	,10314	,967
	Puno	Junín	-,0727	,10314	,895
		Pasco	,0047	,10314	1,000
		Cusco	-,0250	,10314	,995
	Pasco	Junín	-,0773	,10314	,877
		Puno	-,0047	,10314	1,000
		Cusco	-,0297	,10314	,992
	Cusco	Junín	-,0477	,10314	,967
		Puno	,0250	,10314	,995
		Pasco	,0297	,10314	,992

Anexo 9. Análisis de varianza para Magnesio mg/dL.

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: Magnesio mg/dL.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo	321,363 <sup>a</sup>	8	40,170	923,959	,000
Condición fisiológica	,433	1	,433	9,964	,002
Procedencia	,076	3	,025	,583	,627
Condición fisiológica *	,034	3	,011	,258	,856
Procedencia					
Error	4,869	112	,043		
Total	326,232	120			

a. R al cuadrado = ,985 (R al cuadrado ajustada = ,984)

Anexo 10. Prueba de medias de Tukey para Fosforo para el efecto principal lugar de procedencia

Variable dependiente: Magnesio mg/dL.

Departamentos	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Junín	1,658	,038	1,582	1,733
Puno	1,612	,038	1,536	1,687
Pasco	1,663	,038	1,587	1,738
Cusco	1,608	,038	1,533	1,684

	(I) Departamentos	(J) Departamentos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
HSD Tukey	Junín	Puno	,0460	,05384	,828
		Pasco	-,0050	,05384	1,000
		Cusco	,0493	,05384	,796
	Puno	Junín	-,0460	,05384	,828
		Pasco	-,0510	,05384	,779
		Cusco	,0033	,05384	1,000
	Pasco	Junín	,0050	,05384	1,000
		Puno	,0510	,05384	,779
		Cusco	,0543	,05384	,744
	Cusco	Junín	-,0493	,05384	,796
		Puno	-,0033	,05384	1,000
		Pasco	-,0543	,05384	,744

Anexo 11. Análisis de varianza para Relación Calcio:Fosforo.

**Pruebas de efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: Relación Ca:P

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo	477,483 <sup>a</sup>	8	59,685	643,434	,000
Condición fisiológica	,047	1	,047	,505	,479
Procedencia	,022	3	,007	,080	,971
Condición fisiológica *	,329	3	,110	1,183	,319
Procedencia					
Error	10,389	112	,093		
Total	487,872	120			

a. R al cuadrado = ,979 (R al cuadrado ajustada = ,977)

Anexo 12. Prueba de medias de Tukey para Relación Calcio:Fosforo para el efecto principal lugar de procedencia

Variable dependiente: Relación Ca/P

Departamentos	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Junín	2,016	,056	1,906	2,126
Puno	1,991	,056	1,881	2,101
Pasco	1,979	,056	1,868	2,089
Cusco	1,990	,056	1,880	2,100

	(I) Departamentos	(J) Departamentos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
HSD Tukey	Junín	Puno	,0250	,07864	,989
		Pasco	,0373	,07864	,964
		Cusco	,0260	,07864	,987
	Puno	Junín	-,0250	,07864	,989
		Pasco	,0123	,07864	,999
		Cusco	,0010	,07864	1,000
	Pasco	Junín	-,0373	,07864	,964
		Puno	-,0123	,07864	,999
		Cusco	-,0113	,07864	,999
	Cusco	Junín	-,0260	,07864	,987
		Puno	-,0010	,07864	1,000
		Pasco	,0113	,07864	,999

Anexo 13. Correlaciones de Pearson para las variables Calcio, Fosforo y Magnesio

Estadísticos descriptivos			
	Media	Desviación estándar	N
Calcio mg/dL.	8,4409	,96528	120
Fosforo mg/dL.	4,2752	,42982	120
Magnesio mg/dL.	1,6351	,21326	120

Correlaciones					
		Calcio mg/dL.	Fosforo mg/dL.	Magnesio mg/dL.	Relación Ca:P
Calcio mg/dL.	Correlación de Pearson	1	,116	-,009	,683**
	Sig. (bilateral)		,208	,924	,000
	N	120	120	120	120
Fosforo mg/dL.	Correlación de Pearson	,116	1	,209*	-,631**
	Sig. (bilateral)	,208		,022	,000
	N	120	120	120	120
Magnesio mg/dL.	Correlación de Pearson	-,009	,209*	1	-,145
	Sig. (bilateral)	,924	,022		,114
	N	120	120	120	120
Relación Ca:P	Correlación de Pearson	,683**	-,631**	-,145	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,114	
	N	120	120	120	120

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

\* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).



**COLORES QUE SE TORNAN LOS TRES MINERALES A SUS REACTIVOS**



**Calcio (color azul brillante)**



**Fósforo (color amarillo brillante)**



**Magnesio (color violeta brillante)**