

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA**

**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR HABILITACIÓN  
PROFESIONAL MEDIANTE CURSOS DE ACTUALIZACIÓN DE  
CONOCIMIENTOS EN CIENCIAS VETERINARIAS**



**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**  
**METABOLISMO MINERAL EN BOVINOS DE CARNE Y  
LECHE**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE MÉDICO VETERINARIO

Presentada por la Bachiller

**Peggy Joyce Cerna Monzón**

Asesor

**M.V. M.Sc. Fernando Alberto Oblitas Guayán**

**CAJAMARCA – PERÚ  
2012**



**NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA**  
Fundada Por Ley N°14015 Del 13 De Febrero De 1962  
**UNIVERSIDAD LICENCIADA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS**  
**DECANATO**  
Av. Atahualpa 1050 – Ciudad Universitaria Edificio 2F – 205 Fono 076 365852



## **ACTA DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

En Cajamarca, siendo las ocho horas y dieciocho minutos de la mañana del diecinueve de diciembre del dos mil doce, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Veterinarias “ César Bazán Vásquez” de la Universidad Nacional de Cajamarca, los integrantes del Jurado Calificador, y el asesor, designados por el Consejo de Facultad, con el objeto de evaluar la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional Titulado: **“METABOLISMO MINERAL EN BOVINOS DE CARNE Y LECHE”**, asesorado por el docente: M.Sc. M.V. Fernando Alberto Oblitas Guayán y presentado por la Bachiller en Medicina Veterinaria: **PEGGY JOYCE CERNA MONZÓN**.

Acto seguido el Presidente del Jurado procedió a dar por iniciada la sustentación, y para los efectos del caso se invitó al sustentante a exponer su trabajo.

Concluida la exposición del Trabajo de Suficiencia Profesional, los miembros del Jurado Calificador formularon las preguntas que consideraron convenientes, relacionadas con el trabajo presentado.

Después de realizar la calificación, el Jurado Calificador acordó **APROBAR** por unanimidad la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional, para optar el Título Profesional de **MÉDICO VETERINARIO**, con el Calificativo Final obtenido de **QUINCE** (15).

Siendo las nueve horas con veintisiete minutos del mismo día, el Presidente del Jurado Calificador dio por concluido el proceso de sustentación.

  
Mg. GILBERTO FERNÁNDEZ IDROGO  
PRESIDENTE

  
M.Sc. JOSÉ FERNANDO CORONADO LEÓN  
SECRETARIO

  
M.V. FERNANDO APARICIO FRANCO CISNEROS  
VOCAL

  
M.Sc. FERNANDO ALBERTO OBLITAS GUAYÁN  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

A Dios que me ha dado la vida y la fortaleza para seguir adelante. A mis padres: Augusto y Ana y a mi hermanito Abraham, por su amor y por estar ahí cuando más los necesité.

A los amores de mi vida: William mi esposo y Ana Claudia mi hijita, por ser la fuerza para alcanzar mi meta y porque siempre confiaron en mí.

A mis pequeños: Marco, Billy, Ghadiana, Gael y Sophia por alegrar mis días y por entregarme su amor sincero.

Y a toda mi familia por brindarme su apoyo en todo momento.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, mi creador, por darme la existencia y sus bendiciones para obtener todos los logros en mi vida.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, por haberme permitido alcanzar una profesión al servicio de la sociedad.

A la Facultad de Ciencias Veterinarias, por haberme albergado en sus aulas y brindado los conocimientos inherentes a la formación profesional.

Así como, a todos y cada uno de los docentes, de manera especial a quienes ejercieron la docencia durante mi formación académica.

A mi asesor, M.V. M.Sc. Fernando Alberto Oblitas Guayán, por su apoyo en la redacción de la presente monografía.

Mi agradecimiento especial al M.V. Mg. Crisanto Juan Villanueva de la Cruz, por su apoyo en todo momento en la redacción de la presente monografía.

## RESUMEN

La presente monografía se ha realizado con el objetivo de conocer, analizar, y comparar el metabolismo mineral en bovinos de carne y leche. En la nutrición mineral de ganado bovino, se debe tener en cuenta elementos esenciales o probablemente esenciales, en los que su estructura química es responsable de su función, estos se clasifican como macrominerales o elementos mayores que se necesitan en grandes cantidades. Son esenciales para los procesos fisiológicos en los bovinos, se encuentran en el organismo en concentraciones altas (por encima de los 70 mg/kg peso vivo) y son: Fósforo (P), Calcio (Ca), Sodio (Na), Cloro (Cl), Azufre (S), Magnesio (Mg) y Potasio (K). Los microminerales u oligoelementos, se encuentran en el organismo animal en cantidades muy bajas (menos de 70mg/Kg peso vivo) y son: Cobre (Cu), Cobalto (Co), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), Iodo (I), Hierro (Fe), Selenio (Se), Molibdeno (Mo), Flúor (F), Cromo (Cr), Níquel (Ni) y Silicio (Si). Los minerales se absorben principalmente como iones. Los principales lugares de absorción hasta la circulación sanguínea son el intestino delgado y la porción anterior del intestino grueso. En los rumiantes cierta absorción se realiza a través de la pared del rumen. Las grandes cantidades de minerales que llegan al tracto digestivo con los jugos digestivos, se reabsorben con los procedentes directamente de los alimentos. La excreción de los minerales, por las heces o la orina, varía con la especie animal y la composición de la ración. Se concluye que los minerales para su aprovechamiento en el organismo animal necesitan pasar por procesos metabólicos y de esta manera influir en el rendimiento productivo.

**Palabras claves:** minerales, metabolismo, bovinos

## ABSTRACT

The present monograph has been realized by the aim to know, to analyze, and to compare the mineral metabolism in bovine of meat and milk. In the mineral nutrition of cattle, it is necessary to bear in mind essential or probably essential elements, in which his chemical structure is responsible for his function, these qualify as macrominerals or major elements that are needed in big quantities. They are essential for the physiological processes in the bovine ones, are in the organism in high concentrations (over the 70 mg/kg alive weight) and are: Phosphorus (P), Calcium (Ca), Sodium (Na), Chlorinate (Cl), Sulphur (S), Magnesium (Mg) and Potassium (K). And the microminerals, trace elements, they are in the animal organism in very low quantities (less of 70mg/Kg alive weight) and are: Copper (Cu), Cobalt (Co), Manganese (Mn), Zinc (Zn), Iodo (I), I Shoe (Faith), Selenium (Se), Molybdenum (Mo), Fluorine (F), Chrome (Cr), Nickel (Ni) and Silicon (Si), The minerals are absorbed principally as ions. The principal places of absorption up to the blood stream are the small intestine and the previous portion of the large intestine. In the ruminants certain absorption is realized across the wall of the rumen. The big quantities of minerals that come to the digestive tract with the digestive juices, are re-absorbed by the proceeding ones directly of the food. The excretion of the minerals, for the dregs or the urine, changes with the animal species and the composition of the share. One concludes that the minerals for his utilization in the animal organism need to happen for metabolic processes and hereby to influence the productive performance.

**Key words:** minerals, metabolism, bovine

## ÍNDICE

**Dedicatoria**

**Agradecimiento**

**Resumen**

**Abstract**

| <b>Capítulos</b> | <b>Contenido</b>                             | <b>Página</b> |
|------------------|--|---------------|
| <b>I.</b>        | <b>Introducción.</b>                         | <b>1</b>      |
| <b>II.</b>       | <b>Objetivos.</b>                            | <b>3</b>      |
| <b>III.</b>      | <b>Marco teórico.</b>                        | <b>4</b>      |
|                  | Minerales en el organismo.                   | 4             |
|                  | Fuentes de minerales en la ración.           | 5             |
|                  | Modo y lugares de absorción de los minerales | 6             |
|                  | Ciclos de los minerales.                     | 6             |
|                  | Metabolismo de los minerales mayores         | 8             |
|                  | ❖ Cloro y Sodio.                             | 8             |
|                  | ❖ Fósforo.                                   | 10            |
|                  | ❖ Calcio.                                    | 12            |
|                  | ❖ Magnesio.                                  | 14            |
|                  | ❖ Potasio.                                   | 16            |
|                  | ❖ Azufre.                                    | 18            |
|                  | Metabolismo de los minerales menores         | 20            |
|                  | ❖ Zinc.                                      |               |
|                  | ❖ Cobre.                                     | 22            |
|                  | ❖ Selenio.                                   | 24            |

|            |                                    |           |
|------------|------------------------------------|-----------|
|            | ❖ Manganese.                       | 25        |
|            | ❖ Cobalto.                         | 26        |
|            | ❖ Hierro.                          | 28        |
|            | ❖ Yodo.                            | 30        |
| <b>IV.</b> | <b>Conclusiones.</b>               | <b>32</b> |
| <b>V.</b>  | <b>Referencias Bibliográficas.</b> | <b>33</b> |

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCION**

Cualitativamente las exigencias de minerales del ganado bovino de carne son esencialmente las mismas que para el ganado lechero; cuantitativamente, sin embargo, generalmente son mucho menores que para las vacas lecheras de producción elevada (Merck, 1993).

Las pequeñas variaciones en la concentración de minerales en las raciones o en los forrajes pueden provocar trastornos metabólicos tanto por exceso como por deficiencias; como por ejemplo: reducción del crecimiento, descenso en la producción de leche, disminución de apetito, disminución de la fertilidad, anemia, cojeras, problemas de equilibrio, alopecia, decoloración del pelo, bocio, degeneración muscular, tetania, caries dentales, hipocalcemias, problemas osteoarticulares, partos distócicos, etc., y que se manifiestan afectando principalmente el crecimiento y la performance productiva y reproductiva (Bavera, 2006).

Por lo tanto, para obtener éxito en la nutrición de bovinos de carne y leche es necesario encontrar un balance de los minerales de acuerdo con la producción láctea, a la edad, al tipo de crianza (extensiva, intensiva) (Bavera, 2006).

Los minerales en general no solo juegan un papel fundamental en el metabolismo animal, son también en el ambiente ruminal al mejorar la digestibilidad y aprovechamiento de forrajes (Hernández, 2004).

El conocimiento de las funciones de cada uno de los minerales es de gran importancia, no solo para corregir las deficiencias y disminuir sus efectos

negativos en la salud y producción, sino también para evitar intoxicaciones que se pueden causar por forrajes con excesos de alguno de ellos, o al implementar estrategias de suplementación por las interacciones entre los minerales, especialmente cuando se trata de ciertos oligoelementos (Bavera, 2006).

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Conocer, analizar y comparar el metabolismo mineral en bovinos de carne y leche.

#### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Describir y analizar la vía metabólica de los principales minerales utilizados en bovinos de carne y leche.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Minerales en el organismo**

En la nutrición mineral de ganado bovino, se debe tener en cuenta elementos esenciales o probablemente esenciales, en los que su estructura química es responsable de su función, estos se clasifican como macrominerales o elementos mayores que se necesitan en grandes cantidades y los microminerales, oligoelementos, elementos menores o elementos traza que son necesarios en menor cantidad (Bavera, 2006).

##### **3.1.1. Los macroelementos o elementos mayores**

Son esenciales para los procesos fisiológicos en los bovinos, se encuentran en el organismo en concentraciones altas (por encima de los 70 mg/kg peso vivo) y son: Fósforo (P), Calcio (Ca), Sodio (Na), Cloro (Cl), Azufre (S), Magnesio (Mg) y Potasio(K). En general tienen una función plástica (forman parte de los tejidos: huesos, músculos, tendones) (Bavera, 2006).

##### **3.1.2. Los microelementos, elementos menores, oligoelementos o elementos traza**

Se encuentran en el organismo animal en cantidades muy bajas (menos de 70mg/kg peso vivo) y son: Cobre (Cu), Cobalto (Co), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Iodo (I), Hierro (Fe), Selenio (Se), Molibdeno (Mo), Flúor (F), Cromo (Cr), Níquel (Ni) y Silicio (Si), en general tienen una función reguladora en el metabolismo (Bavera, 2006).

**Tabla 1: Concentración promedio de minerales en el organismo**

| <b>MINERAL</b> | <b>%</b> |
|----------------|----------|
| Calcio         | 1,90     |
| Fósforo        | 0,90     |
| Potasio        | 0,25     |
| Azufre         | 0,20     |
| Sodio          | 0,15     |
| Cloro          | 0,10     |
| Magnesio       | 0,05     |
| Oligoelementos | 0,04     |

Estos minerales cumplen diversas funciones: estructurales (participan en diferentes reacciones bioquímicas), vitales, de regulación; así como en el sistema inmunitario. Los bovinos que no reciben alimentación con concentraciones minerales adecuadas padecen desordenes nutricionales, pudiendo presentarse enfermedades graves y agudas, o alteraciones leves y transitorias, difíciles de diagnosticar con exactitud y que se manifiestan afectando principalmente el crecimiento y la performance productiva y reproductiva (Hernández, 2004).

### **3.1.3. Fuentes de minerales en la ración**

Los animales domésticos obtienen la mayoría de los minerales de los concentrados y los forrajes que consumen. Otras fuentes son los suplementos minerales de origen animal (harina de huesos) o de origen geológico (fosfatos de calcio, cloruro sódico). El agua de bebida es una fuente de minerales de menor importancia. La contaminación con tierra de la hierba puede considerarse como fuente adicional para los animales en pastoreo (Bondi, 1988).

El contenido de los minerales en los vegetales depende de los factores siguientes: especie vegetal, composición del suelo en que crece la

planta, fase de madurez, condiciones climáticas, tratamientos agrícolas, como abonado o riego, etc. (Bondi, 1988).

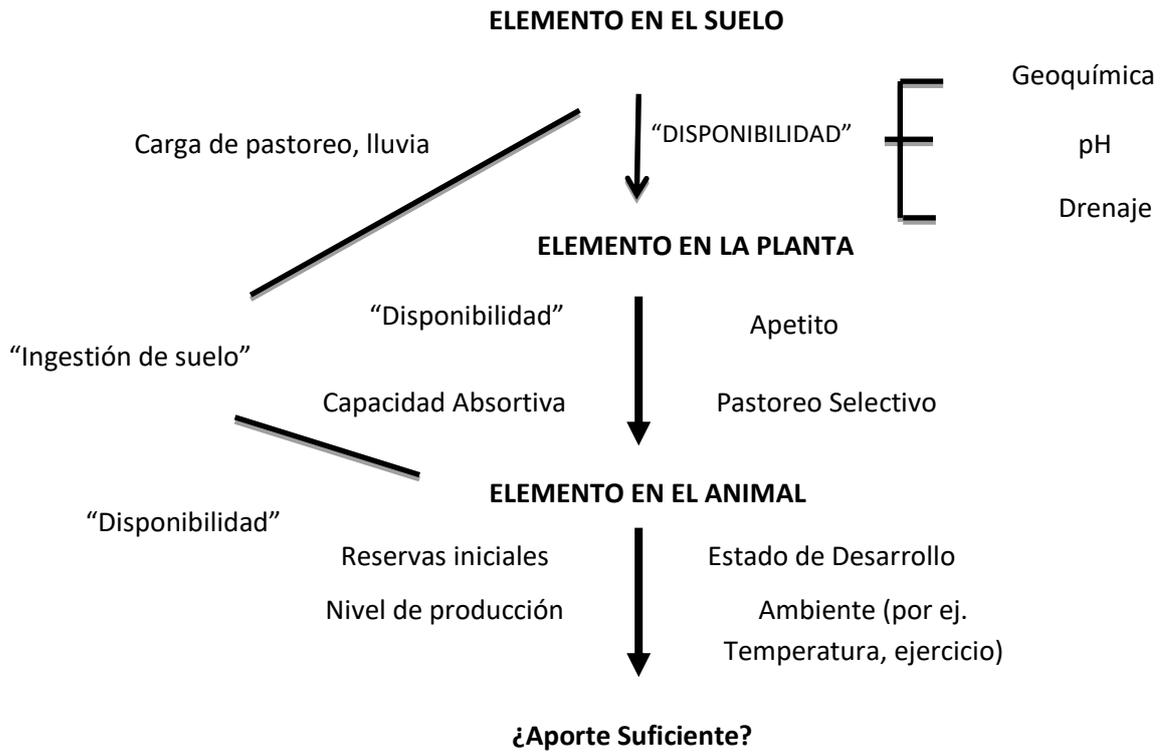
Las condiciones ambientales de las plantas en crecimiento ejercen mayor influencia sobre la composición de las partes vegetativas de las plantas que sobre los granos y semillas. Existen fluctuaciones mucho más amplias en los contenidos de microelementos en un mismo alimento, que en los contenidos en macroelementos. Se debe a la gran variación en el contenido en elementos traza en los suelos de las distintas áreas geográficas y a la influencia de las variables condiciones del suelo sobre la captación de los minerales por las plantas (Bondi, 1988).

#### **3.1.4. Modo y lugares de absorción de los minerales**

Los minerales se absorben principalmente como iones. Los principales lugares de absorción hasta la circulación sanguínea son el intestino delgado y la porción anterior del intestino grueso. En los rumiantes cierta absorción se realiza a través de la pared del rumen. Las grandes cantidades de minerales que llegan al tracto digestivo con los jugos digestivos se reabsorben con los procedentes directamente de los alimentos. La excreción de los minerales, es por las heces o la orina, varía con la especie animal y la composición de la ración (Bondi, 1988).

#### **3.1.5. Ciclo de los minerales**

El aporte de minerales al ganado es el resultado de una compleja cadena de procesos que se resumen en la Fig. 1, y la valoración del contenido mineral en el suelo, en las plantas y en los animales puede dar resultados contradictorios a la hora de establecer un aporte adecuado (Kiatoko *et al.*, 1982).



**Fig. 1:** Resumen de los muchos factores, además de la planta, que pueden influenciar el flujo de un elemento del suelo al animal en pastoreo, independientemente de que el aporte del elemento sea suficiente o no para satisfacer las necesidades del animal.

## 3.2. Metabolismo de los minerales mayores

### 3.2.1. Cloro (Cl) Y Sodio (Na)

#### Descripción

El sodio y el cloro se estudian juntos por la similitud de sus funciones y necesidades en el organismo animal, por sus interacciones y además porque ambos aparecen asociados en la sal común (ClNa). El cloruro de sodio es esencial en los bovinos. Son electrolitos que se encuentran en los fluidos corporales y no existen reservas importantes en el organismo. Estos elementos ayudan a mantener el volumen celular, pH y la osmolaridad (balance de agua) de los fluidos corporales como la sangre (Flores, 1986).

#### Apetecibilidad

La presencia de sal en los alimentos puede contribuir a mejorar su sabor (Grover y Chapman, 1988), mientras que la adición de sal a alimentos ricos en sodio puede disminuir su ingestión (Moseley, 1980) y puede utilizarse para restringir la ingestión de alimentos.

#### Absorción

Tanto el sodio como el cloro se absorben eficazmente, pero cada uno puede influir la absorción del otro (Henry, 1995). La captación de una molécula de sodio por el lumen intestinal se alcanza uniéndose a transportadores de glucosa y de aminoácidos o cambiándose por iones de hidrógeno ( $H^+$ ) mediante un sistema de intercambio  $Na^+H^+$ ; los  $H^+$  intracelulares se generan por la anhidrasa carbónica de los enterocitos de la mucosa intestinal (Harper *et al.*, 1997). La absorción de cloro procedente de la ración y endógeno (secreciones gástricas) también se alcanza mediante el cambio con otro anión, bicarbonato ( $HCO_3^-$ ), que también se genera intracelularmente mediante la anhidrasa carbónica y se secreta al lumen intestinal.

## **Transporte**

Sodio y cloro son muy lábiles en el organismo. A nivel celular, el cambio continuo entre sodio y potasio gracias a la bomba de  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATP-dependiente proporciona el sistema de absorción de la glucosa y los aminoácidos, mantenimiento elevadas concentraciones intracelulares de potasio; que son los responsables del consumo del 50% de la energía destinada al mantenimiento celular (Milligan y Summers, 1986).

## **Secreción**

La mayor parte de sodio en el tracto gastrointestinal proviene de la saliva, especialmente en rumiantes. El rumen puede contener el 50% del sodio corporal disponible y es una reserva importante (Bell, 1995), aunque en raciones ricas en K, éste sustituye al sodio (Suttle y Field, 1967). En una deficiencia de sodio, el sodio salival es reemplazado por potasio mol a mol (Blair *et al.*, 1963); esta adaptación es modulada por la aldosterona, una hormona secretada por la glándula adrenal. Los tres elementos, sodio, cloro, potasio se pierden a través de secreciones cutáneas, pero existen grandes diferencias entre especies (Morris, 1975).

## **Excreción**

La regulación del equilibrio del sodio, consecuencia de las fluctuaciones de la ingestión de sodio, se produce principalmente mediante el control de la reabsorción en los túbulos proximales del riñón. Esta acción se produce por transporte activo y por cambios en la permeabilidad de la membrana, la reabsorción de sodio en los túbulos distales se estimula por la presencia de aldosterona y se reduce por un exceso de potasio, por ello las pérdidas urinarias de sodio son insignificantes, cuando la ingestión es baja. El cloro también se reabsorbe en el riñón, pero por un proceso pasivo, los excesos de sodio y cloro se excretan predominantemente por vía renal (Harper *et al.*, 1997).

### 3.2.2. Fósforo (P)

#### Descripción

El fósforo es el segundo mineral más abundante del cuerpo y tiene más funciones conocidas en el organismo que cualquier otro elemento mineral, además de su rol vital en el desarrollo y mantenimiento en el tejido esquelético tiene también una función especial en el crecimiento celular y juega un papel clave en muchas otras funciones metabólicas (Hernández, 2004).

Todos los procesos fisiológicos que implican una ganancia o pérdida de energía se realizan mediante la formación o la destrucción de enlaces fosfatos que acumulan energía. Sumado a ello cumple con el mantenimiento de la presión osmótica y el equilibrio acido-base, la formación de fosfolípidos y en consecuencia en el transporte de ácidos grasos y en la formación de aminoácidos y proteínas. El fósforo también está implicado en el control del apetito y la eficiencia de la utilización de los alimentos (Flores, 1986; Hernández, 2004).

Interviene en numerosos sistemas enzimáticos microbianos (coenzima) en la fermentación de glúcidos y en la composición de materia celular como ácidos nucleicos de ribosomas (ARN), y en las paredes bacterianas como ácido teicoico.

El fósforo disponible para los microorganismos ruminales tiene dos orígenes alimentario y salival (Flores, 1986).

La saliva en condiciones normales de alimentación es rica en fosfatos (600-800 mg/de P por litro de saliva). Su presencia permite la neutralización de los componentes acidificantes del rumen indispensables para asegurar la función celulolítica y la producción de biomasa bacteriana (Flores, 1986).

## **Metabolismo**

Para alcanzar los requerimientos minerales de sus tejidos y órganos, los animales poseen una serie de mecanismos a su disposición para optimizar la provisión temporal de minerales esenciales en el caso de insuficiencia dietaria. Estos incluyen la capacidad de incrementar la absorción del aparato digestivo, tanto adaptando la actividad de las enzimas en el intestino, las cuales son necesarias para la transferencia de minerales, disparando las hormonas que activan las proteínas implicadas en el transporte de los minerales a través de la pared intestinal (Hernández, 2004).

La pérdida endógena de P fecal y urinaria puede ser reducida por la acción de la hormona secretada por la glándula paratiroides la cual aumenta la recirculación salival y la retención de P en los riñones. En caso de deficiencias severas de Ca y P el animal puede movilizar las reservas óseas de estos minerales bajo esta influencia hormonal (Hernández, 2004).

## **Absorción**

La relación entre el fósforo inorgánico absorbido e ingerido es lineal para un amplio rango de ingestión siendo la pendiente, indicadora de 0,74 para corderos y de 0,83 para terneros destetados (Challa *et al.*, 1989), Estos valores tan altos pueden obtenerse incluso con alimentos naturales poco digestibles, como la paja (Ternouth, 1989) y forrajes secos en verano, aunque son menores para el salvado (0,63). El fósforo presente en forma de tetra- penta- y hexa-fosfatos de inositol en paja y semillas es abundantemente hidrolizado en el rumen por las fitasas microbianas, y de este modo el fosfato es liberado, el fósforo se absorbe principalmente en la parte proximal del intestino delgado (Bown *et al.*, 1989).

### **Secreción**

Una diferencia importante entre los animales rumiantes y los no rumiantes es la gran cantidad de fósforo secretado en la saliva por los rumiantes durante la rumia, este flujo de fósforo al rumen es incluso superior al ingerido con la ración (Tomas *et al.*, 1973). El principal factor que influye en la cantidad de fósforo secretado en la saliva es la concentración plasmática de P, la relación entre estas dos variables es lineal por encima de 1-3 mmol P y equivalente al doble del fósforo secretado en la saliva en ganado vacuno (Challa y Braithwaite, 1988).

### **Excreción**

La excreción fecal de P es enorme y alcanza un 77% de la ingesta total de P dietario. En contraste a esto la excreción urinaria de P 1g por día es casi insignificante, representa solo alrededor del 1% de la ingesta de P dietario (Challa y Braithwaite, 1988).

La movilización de las reservas esqueléticas de P es inevitable al principio de la lactancia, especialmente en vacas de alta producción y es compensada luego del pico de la lactancia, cuando la producción de leche disminuye y la absorción de P excede la excreción. Esta movilización de las reservas óseas puede no ser detectadas, y prolongarse el balance negativo, producirse un determinado grado de desmineralización del esqueleto (Braithwaite, 1984).

### **3.2.3. Calcio (Ca)**

#### **Descripción**

El calcio es el elemento más abundante en el cuerpo. El calcio extracelular es esencial para la formación del tejido esquelético, transmisión de impulsos nerviosos, excitación de los músculos esqueléticos y contracción del músculo cardíaco y también es componente de la leche (Flores, 1986).

Más o menos el 98% del calcio en el cuerpo está localizado en el esqueleto, donde junto con el anión fósforo sirve para darle dureza y elasticidad al hueso.

La concentración del calcio en el plasma sanguíneo es de 9-10 mg/dl. En las vacas adultas. Entre el 40-45 % del calcio total en el plasma forman parte de las proteínas plasmáticas, principalmente la albumina y otro 5% como componente orgánico de la sangre tal como citrato (NRC 1996).

### **Metabolismo**

La prioridad de todos los mamíferos es mantener concentraciones de calcio en plasma y fluidos extracelulares (FEC) cerca de 2,5 mmol, contrarrestando las grandes fluctuaciones debidas a la demanda y a las pequeñas fluctuaciones derivadas de la ingestión (Hurwitz, 1996).

### **Absorción**

El calcio se absorbe según su demanda hasta los límites establecidos por la propia absorción del mineral en la ración (Bronner, 1987); la absorción varía entre cerca del 90 % para la leche hasta más de 50% en raciones sólidas. En el rumen puede absorberse pequeñas cantidades de calcio (Yano *et al.*, 1991), pero la mayor parte de absorción tiene lugar en el intestino delgado. La absorción es controlada por dos hormonas, la hormona paratiroidea y la forma fisiológicamente activa de la vitamina D<sub>3</sub>, 1,25-Dihidroxicolecalciferol. La glándula paratiroidea es extremadamente sensible a pequeñas desviaciones en la concentración iónica de calcio en FEC y, cuando las concentraciones caen, se excreta HTP (Brown, 1991) y se activa la vitamina D<sub>3</sub>.

### **Excreción**

La regulación de la excreción a través de la vía fecal y urinaria generalmente juega un papel poco importante en la homeostasis del calcio y en la determinación del riesgo de una disminución cálcica. La

excreción urinaria de Ca también tiende a permanecer baja y constante, independientemente del balance orgánico del calcio (Gilbert, 1983).

La concentración de calcio en el fluido extracelular puede ocurrir durante la formación del hueso, en secreciones digestivas y orina, y una gran pérdida de calcio ocurre durante la lactación (Bondi, 1988)

Las pérdidas de calcio pueden ser reemplazadas por el calcio de la dieta, la resorción de calcio en los huesos o por la reabsorción de calcio filtrado a través del glomérulo renal reduciendo la pérdida de calcio urinario (Bondi, 1988)

La glándula paratiroidea es la encargada de controlar la concentración de calcio sanguíneo.

La absorción de calcio puede ocurrir por transporte pasivo a través de las células epiteliales en cualquier porción del tracto digestivo especialmente en terneros, en vacas adultas ocurre el transporte activo el cual es controlado por la 1,25 hidroxycalciferol que es un derivado de la vitamina D (Bondi, 1988).

#### **3.2.4. Magnesio (Mg)**

##### **Descripción**

El magnesio ha sido reconocido desde hace unos 70 años como elemento esencial en la ración de los animales superiores (Leroy, 1926). Unos pocos años más tarde se describieron las principales manifestaciones de deficiencia de magnesio en animales de laboratorio, y entre estas se destacaron la irritabilidad y las convulsiones (Kruse *et al.*, 1932). Un desorden metabólico en vacas conocido como "kopziekte", lo asociaron a bajas concentraciones séricas de magnesio y lo bautizaron como tetania del pasto.

El magnesio está asociado íntimamente al Ca y al P, tanto en su distribución como en el metabolismo. Aproximadamente, el 70 % del

magnesio que tiene en el cuerpo se encuentra en el esqueleto. La cantidad restante aparece ampliamente distribuida en los líquidos y en los tejidos blandos del cuerpo.

Dependiendo de la especie el suero sanguíneo debe de contener entre 2 y 5 mg de este elemento por cada 100 ml.

La proporción importante que se encuentra fuera de los huesos, indica que su distribución en el cuerpo sigue los patrones del P más que del Ca, del mismo modo que el Ca y el P como el magnesio se excreta tanto por la orina como por las heces, la mayor excreción es a través de las heces, aunque el riñón puede ser un mecanismo homeostático muy importante.

El Mg es muy importante para el aprovechamiento de la energía, pues interviene en el metabolismo de lípidos y carbohidratos activando algunas enzimas como los fosfatos orgánicos, es requerido para la oxidación celular en las mitocondrias y ejerce una influencia potente en la actividad neuromuscular. Mantiene la integridad de los organillos de las células, interviene también en la biosíntesis de proteína del RNA. (McDowell *et al.*, 1993).

### **Metabolismo**

Este elemento es el tercero en importancia cuantitativa para el organismo. Al rededor del 50% del Mg corporal se encuentra en los huesos a una concentración del 0,5 al 0,7% de la ceniza ósea, en los tejidos blandos se encuentra a nivel intracelular, la mayor concentración se halla en hígado y músculo esquelético, alrededor del 35% del Mg se encuentra ligado a proteínas (McDowell *et al.*, 1993)

### **Absorción**

Se absorbe a través del intestino delgado, principalmente en íleon, con una eficiencia del 55 al 60 % del Mg contenido en la dieta. El riñón es el órgano responsable de su homeostasis, ya que aproximadamente el

95% del Mg absorbido es excretado en la orina, el resto se elimina por heces (McDowell *et al.*, 1993).

### 3.2.5. Potasio (K)

#### Descripción

A principios del siglo XIX, algunos experimentos demostraron la importancia del potasio en las raciones de los animales. Desde hace tiempo se sabe que el potasio mantiene una relación estrecha con la excitabilidad nerviosa y muscular y con el equilibrio hídrico y ácido-básico del organismo, aunque no es frecuente la aparición de deficiencias de potasio en el ganado (Ward, 1996).

El potasio se encuentra por encima del 1% en la mayoría de los forrajes. Este electrolito presente en los líquidos corporales y por tanto su almacenamiento es bajo. Si se suplementan dietas con altos niveles de concentrado se puede presentar deficiencia de potasio, ya que la mayoría de los granos de maíz y los subproductos contienen bajo contenido del potasio, pero el ensilaje de maíz es una buena fuente de este elemento (Schonewille *et al.*, 1997). El K es el catión principal del líquido intracelular. Participa en el equilibrio ácido-básico, la presión osmótica, y mantiene el balance del agua en el cuerpo. Asiste en la transmisión de impulsos nerviosos, tranquiliza los nervios, es esencial para mantener un sistema nervioso saludable, existe un balance iónico entre el K, Na, Ca y Mg (Michell, 1978).

Participa en el control de la actividad del músculo cardíaco, mantiene un latido cardíaco estable, ayuda a mantener estable la presión de la sangre (Bell, 1995).

Regula la excitabilidad neuromuscular, al igual que la transmisión nerviosa y la contracción de las fibras musculares (Bell, 1995).

Es esencial para el almacenamiento de N, como constituyente de las proteínas musculares, en la pérdida de tejido muscular se pierden

ambos, la reposición debe incluir, además de los aminoácidos, K para fijar el N (Bell, 1995).

Regula la transferencia de nutrientes a través de las membranas de las células, forma parte de los ribosomas, activa algunas enzimas intracelulares, contribuye a la formación de las células sanguíneas. Tiene que ver con un rápido crecimiento (Bell, 1995).

### **Absorción**

La absorción de los rumiantes se produce en el rumen. La entrada al torrente sanguíneo ocurre a través de canales conductores en la membrana basolateral de la mucosa intestinal (Peterson, 1997).

La absorción de iones de K, Na y Cl, (relacionados íntimamente por su función como reguladores de la presión osmótica y el equilibrio ácido-básico del organismo), se lleva a cabo principalmente en la primera porción del intestino delgado, aunque también se absorben algo en el resto del tubo digestivo. Es un componente de los jugos digestivos, y parte del K es reabsorbido, la secreción diaria de líquidos que se vierten en el tubo digestivo, provenientes de la saliva, jugo gástrico, bilis y jugo pancreático, aportan de 4 a 5 veces la ingestión diaria oral de estos iones, así la gran variación en la ingestión diaria de líquidos y electrolitos no tiene gran repercusión en el contenido intestinal. La privación total de K durante 5 días provoca una pérdida del 25 % del potasio muscular y del 54 % si persiste más de 20 días (Michell, 1978).

### **Transporte**

Existen más mecanismos para transportar el potasio a través de membranas que para cualquier otro elemento, reflejando lo difícil pero imprescindible que es mantener altas las concentraciones intracelulares de potasio. Además de la bomba de  $\text{Na}^+/\text{K}^+$   $\text{ATP}^{\text{asa}}$  y con transportadores (Peterson, 1997).

## **Excreción**

El principal problema de los rumiantes con el potasio son los excesos y no las deficiencias. La adaptación a una sobrecarga de K se cree que está regulada por sensores espláncnicos que proporcionan señales de alerta que impide la ingestión de cantidades potencialmente letales (Rabinowitz, 1988). La respuesta a estos sensores ocasiona un aumento en la actividad de la  $\text{Na}^+/\text{K}^+$   $\text{ATP}^{\text{asa}}$  y en el número de bombas de la membrana basolateral tanto en el túbulo renal distal como en el colon, que conduce a un aumento en la excreción de potasio por ambas vías, urinaria y fecal (Hayslett y Binder, 1982).

Cuando hay alteraciones del equilibrio ácido-base, el riñón se encarga de excretar más o menos K para compensarlas. La corteza suprarrenal por medio de la hormona Aldosterona, influye también en su excreción (Michell, 1978).

## **Secreción**

El potasio es el catión más abundante en el sudor, probablemente debido al alto cociente K:Na en su ración (Bell, 1995); las pérdidas aumentan con la temperatura ambiental, y a una misma temperatura son superiores para *Bos indicus* que para *Bos taurus* (Johnson, 1970), aunque la tasa de sudoración sea baja.

### **3.2.6. Azufre (S)**

#### **Descripción**

El reconocimiento que el azufre es un importante componente dietético procede del descubrimiento en la década de los 30 del aminoácido esencial, metionina, que contenían un átomo de azufre en su molécula (McCollum, 1956). Los rumiantes poseen una población microbiana importante en el rumen o estómago anterior, que puede incorporar a sus propias proteínas fuentes de azufre inorgánico degradable (Kandylis, 1984).

## **Metabolismo**

La mayoría de las bacterias ruminales necesitan azufre, pero cada una lo consigue de diferente modo, algunas desasimilatorias son capaces de degradar fuentes inorgánicas de azufre a sulfuro e incorporarlo a aminoácidos azufrados mientras otras asimilatorias utilizan solo el azufre orgánico, (Kandyliis, 1984). La proporción de azufre total que fluye hacia el rumen, que es incorporado a la proteína microbiana ruminal varía ampliamente y depende de varios factores, como la fuente de azufre y la codisponibilidad de otros sustratos, es decir depende de la sincronía ruminal.

## **Homeostasis**

En el rumiante las reservas son efectivas ya que el azufre secretado en saliva puede incorporarse a la proteína microbiana. No obstante, la secreción salival de azufre disminuye a medida que los aportes de azufre y las concentraciones plasmáticas de sulfato descienden; además no hay evidencia del aumento de la capacidad de las glándulas salivales para extraer y secretar azufre durante una deficiencia de este (Masters, 1996).

## **Excreción**

El azufre se secreta principalmente a través de la orina en forma de sulfato que deriva de la oxidación del sulfuro y del catabolismo de moléculas orgánicas ricas en azufre de los tejidos. El sulfato filtrado a través del glomérulo a ritmos que exceden la reabsorción tubular es excretado rápidamente en la orina (Grace y Suttle, 1979).

### 3.3. Metabolismo de los minerales menores

#### 3.3.1. Zinc (Zn)

##### Descripción

Ayuda a las enzimas que forman el DNA y el RNA. Fomenta el desarrollo de los órganos reproductores, y la producción de espermatozoides. Importante en la fabricación de colágeno que engruesa la piel y fortalece el pelo, cuernos y pezuñas. Participa en la cicatrización de heridas y quemaduras. Mantiene en buen estado el sistema inmune. Aumenta el sentido del gusto y el olfato. Es necesario para mantener el nivel de vitamina "E" en la sangre. Aumenta la absorción de vitamina "A" e interviene en la formación de Retinol, indispensable en los procesos de la vista. Colabora con la enzima que remueve la vitamina "A" almacenada en el hígado. Ayuda en la digestión y metabolismo del P, y en la digestión de los carbohidratos. Forma parte de la enzima anhidrasa carbónica la cual interviene en el transporte de bióxido de carbono (CO<sup>2</sup>), de los tejidos a los pulmones. Asiste a una enzima que interviene en la formación de Hemoglobina (Tucker y Salmon, 1955).

Los depósitos de zinc en el organismo son bajos. La utilización de formas orgánicas como zinc metionina mejora la ganancia de peso en bovinos en pastoreo. Este compuesto también se utiliza para tratar problemas podales en bovinos. Una elevada concentración de hierro en la dieta afecta la absorción de zinc y aumenta los requerimientos. En los forrajes, los niveles de zinc son relativamente bajos 25 ppm, mientras que en los granos de cereales tienen en promedio 35 ppm. Los bovinos en pastoreo y bajo condiciones de estrés se deben suplementar con zinc. Tiene reacción cruzada con: Calcio (Ca), Fósforo (P), Magnesio (Mg), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Aluminio (Al), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) (Underwood, 1977).

## **Absorción**

De la ingestión del Zn se absorbe sólo del 5 al 40 %, 1/3 en abomaso y el resto en intestino delgado, después es transportado al hígado en donde se metaboliza, se almacena por saturación intracelular; primero en músculos, después en hígado, páncreas y riñón, se excreta principalmente por las secreciones del páncreas, en heces, y en el sudor. Participa en el metabolismo de los ácidos nucleicos, consecuentemente en la reproducción celular, por ello forma parte importante de las células con mayor desgaste (piel, pelo, cuernos, pezuñas, cornea del ojo, mucosa del tracto digestivo, entre otras). Es componente indispensable en más de 100 enzimas. La utilización de aminoácidos en la síntesis de proteínas es incompleta en deficiencia de Zn (Davies, 1980).

## **Transporte**

Mayoritariamente, el Zinc es transportado a través de la circulación sanguínea portal unido débilmente a la albúmina plasmática, lo que representa 2/3 de la cantidad total de zinc plasmático (Bremner, 1993). El zinc también se presenta en el plasma sanguíneo en forma de alfa2-macroglobulina y en forma de restos de metalotioneína (MT). La inducción de la síntesis hepática de MT en función del zinc que llega al hígado juega un papel importante en la renovación del zinc plasmático y en su reparto a través de diferentes vías. De este modo, los glucocorticoides y las citoquinas reducen el zinc plasmático y aumentan el zinc hepático tras la síntesis de MT.

## **Excreción**

La excreción del zinc ocurre predominantemente con las secreciones pancreáticas y las heces, siendo pequeña la cantidad eliminada en orina.

### 3.3.2. Cobre (Cu)

#### **Descripción**

Este elemento hace parte de múltiples sistemas enzimáticos en el cuerpo. Es importante para el crecimiento adecuado, el correcto funcionamiento de los glóbulos rojos, el desarrollo del colágeno, la reproducción y la inmunidad. En conjunto con el molibdeno (Mo) y el azufre inorgánico hace parte de sistemas enzimáticos relacionados con el metabolismo de vitaminas y nucleótidos; por esto para bovinos en pastoreo, es importante mantener un balance de cobre y molibdeno de 2:1 a 4:1. Si los bovinos se exponen a niveles elevados de zinc, hierro y fósforo, la absorción de cobre disminuye. Los signos de deficiencia de cobre incluyen anestro posparto, reabsorción embrionaria, disminución de las tasas de concepción, diarrea severa y disminución de la respuesta inmune. Como el cobre interactúa con muchos minerales (Fe, Mo, S, Se, Zn) se puede presentar deficiencia cuando la concentración de estos elementos supera los siguientes valores: S (> 0,4%), Zn (> 500 ppm) y Mo (> 150 ppm) (Suttle, 1991).

#### **Metabolismo**

El recién nacido obtiene el cobre necesario gracias al mineral almacenado en el hígado del feto. Si el aporte de cobre durante la gestación es el adecuado, las concentraciones de cobre en el ternero, cordero, cerdo y potro recién nacido son las adecuadas, una restricción en el aporte materno de cobre puede reducir drásticamente las reservas neonatales (Underwood, 1977).

El metabolismo del Cu se comporta de manera semejante entre las diferentes especies de rumiantes domésticos, con excepción de los borregos, que tienen una alta predisposición a sufrir intoxicación, esto se debe a que su capacidad de síntesis de metalotioneínas en hígado es baja, y al saturarse, el resto del Cu ingerido se comporta como tóxico (Bremner, 1993).

El Cu es indispensable durante el metabolismo de Fe. Necesario para la formación de hemoglobina, proteína encargada de transportar oxígeno, de los pulmones a todos los tejidos del cuerpo. Interviene en la formación de elastina, proteína necesaria como componente de la aorta y el resto del aparato cardiovascular. En la formación de mielina a cargo de la integridad del SNC (cerebro y medula espinal). En la producción de colágeno, proteína importante en el desarrollo de huesos, cartílagos y tendones. La producción de melanina indispensable para la formación y pigmentación de pelo y lana. Éstas entre otras importantes funciones (Bremner, 1993).

La absorción del cobre en los recién nacidos de todas las especies puede producirse mediante pinocitosis, englobando grandes compuestos proteicos, que junto con el alto contenido de cobre del calostro, asegura desde el inicio un aporte suficiente. El mecanismo preciso de absorción en el adulto no está bien entendido, aunque tiene dos componentes, uno activo y saturable, y otro pasivo e insaturable; probablemente rumiantes y no rumiantes difieren en este aspecto. La vulnerabilidad de los rumiantes a una deficiencia de cobre se debe a procesos digestivos en el rumen, donde se degradan las fuentes orgánicas e inorgánicas de azufre a sulfuro. Los protozoos del rumen son particularmente importantes como generadores de sulfuro. La mayor parte del cobre liberado durante la digestión ruminal suele precipitar en forma de sulfuro de cobre y permanecer sin absorberse (Bird, 1970), mientras que el liberado durante la digestión posruminal se une parcialmente a componentes no digeridos.

### **Transporte**

El transporte está a cargo de la albúmina plasmática, la mayor parte se lleva al hígado donde se almacena, las metalotioneínas son las proteínas que retienen al Cu y otros minerales en el hepatocito, y éste lo dosifica para la síntesis de gran número de enzimas, también se encuentra abundantemente en cerebro y pelo (Bremner, 1993).

## **Excreción**

La excreción es por medio de las heces, a través de la bilis principalmente, secreciones pancreáticas, muy pequeña proporción en la orina, y por el sudor se pierden cantidades insignificantes (Bremner, 1993).

### **3.3.3. Selenio (Se)**

#### **Descripción**

En cantidades muy pequeñas el selenio estimula los procesos vitales, es un elemento indispensable para el funcionamiento normal del sistema inmune, músculos, corazón, hígado, riñones, páncreas, testículos, plasma, glóbulos rojos y otros órganos como la tiroides, es también muy importante para mantener la integridad de las membranas celulares.

La más importante actividad biológica del Se parece ser a través de la enzima glutatiónperoxidasa (GSH-Px), la cual en cooperación con la vitamina "E" y algunos otros agentes antioxidantes, son capaces de reducir los efectos destructivos, de las reacciones peroxidativas, sobre las células vivas, (disminuyen el proceso de envejecimiento celular) (Rotruck *et al.*, 1973).

Colabora en la absorción de lípidos y tocoferoles en el tracto digestivo, a través de la lipasa pancreática. Forma parte de algunas enzimas, de los microorganismos del rumen. El Se actúa también, por su alta actividad química, como un removedor de los metales pesados, de la bioquímica del organismo animal, tiene efecto desintoxicante, frente al Cd, Hg, Al, As, Ag y Pb.

#### **Metabolismo**

Cuando el Selenio se administra en forma de selenato, se absorbe principalmente en el duodeno (no existe absorción por el rumen o el abomaso), entra al organismo y se reduce a selenito, uniéndose a las

proteínas del plasma; así es llevado por la corriente sanguínea al hígado y al bazo, en donde es reducido a Selenio elemental, por la glucosa, que lo lleva a todos los tejidos excepto a los grasos. La transferencia placentaria de Se es alta (Langlands *et al.*, 1986).

La pérdida ocurre por medio de los pulmones, orina y excremento, la eliminación es considerable y se ejecuta de manera relativamente rápida, a pesar de todo, cuando el consumo es alto, tiende a acumularse y causa lesiones en los tejidos. No se adquiere tolerancia al veneno (Langlands *et al.*, 1986).

### **3.3.4. Manganeso (Mn)**

#### **Descripción**

El manganeso cumple un papel importante en el crecimiento y la reproducción. A medida que la concentración en la dieta aumenta, el contenido del mineral se incrementa en los tejidos reproductivos, sugiriendo una relación directa entre el Mn y la fertilidad. Este mineral se relaciona con el crecimiento mediante su función como componente de sistemas enzimáticos relacionados con los cartílagos esqueléticos. Cuando se suministran en exceso, el calcio y el fósforo, pueden inhibir la absorción de Mn. Los requerimientos varían dependiendo del estado fisiológico y de producción. Por ejemplo, en crecimiento y ceba los bovinos requieren 20 ppm en la dieta, mientras que las vacas gestantes y lactantes requieren 40 ppm. Como con el cobalto, el Mn tiene un límite amplio para su suministro. El máximo límite tolerable es de 1000 ppm; sin embargo, el Mn interactúa con otros minerales que pueden afectar su límite tolerable o afectar a otros minerales. La deficiencia de Mn se relaciona con bajas tasas de concepción y crecimiento, bajo peso al nacimiento y el incremento en los abortos (Hurley, 1981).

#### **Absorción**

La homeostasis se alcanza inicialmente mediante una cierta regulación de la absorción hasta los límites impuestos por la fuente de manganeso

y los propios de los antagonistas de la ración. El manganeso es absorbido bien por el animal lactante, de forma natural o artificial. Terneros alimentados a base de leche entera retuvieron un 60 % de la dosis oral. Terneros que recibían un sustituto de leche pobre en manganeso retuvieron un 40 % del manganeso ingerido (Atkinson, 1993).

### **Transporte y excreción**

Las pequeñas cantidades de manganeso absorbidos son transportadas por la transferrina hasta el hígado, donde cualquier exceso puede ser excretado por vía biliar, siendo pequeña la posibilidad de reabsorción. A medida que las cantidades de manganeso aumentan, progresivamente se excretan mayores proporciones por heces (Davidsson, 1989).

### **3.3.5. Cobalto (Co)**

#### **Descripción**

El cobalto es necesario exclusivamente en el rumen como sustrato para la síntesis microbiana de vitamina B12. Los microorganismos ruminales utilizan la vitamina B12 para la producción de propionato (un ácido graso volátil importante para la síntesis de glucosa). Aunque los bovinos no absorben cobalto, su papel en la síntesis de la vitamina B12 lo hace esencial en la nutrición de los rumiantes. Los requerimientos de cobalto aumentan cuando se suministran dietas con alto contenido de granos. La deficiencia de Co incluye signos como: disminución del consumo de alimento, crecimiento, producción de leche y pelaje opaco (Smith, 1951).

#### **Metabolismo**

El rumiante hace un uso extremadamente ineficiente del cobalto dietético. En primer lugar, los microorganismos ruminales reparten el cobalto en compuestos activos (cobalaminas) y fisiológicamente inactivos (corrinoïdes) que el rumiante no puede ni absorber ni utilizar (Gawthorne, 1970).

La síntesis de vitamina B12 en el rumen aumenta al incrementar el nivel de forraje y la ingestión total de la ración. La síntesis ruminal de vitamina B12 responde en las horas posteriores a cambios efectuados en el aporte dietético de cobalto, pero la eficacia de captación disminuye a medida que el aporte aumenta (Sutton y Elliot, 1972).

### **Absorción**

Las cobalaminas sintetizadas en el rumen son liberadas durante la digestión posterior y se unen selectivamente al factor intrínseco que se sintetiza en las células parietales del abomaso en rumiantes (McKay, 1981).

El cobalto se absorbe más lentamente y en menor proporción en rumiantes, de toda la vitamina B12 sintetizada en el rumen, cerca de la mitad se pierde a medida que avanza por el tracto gastrointestinal (Rothery, 1953).

### **Transporte**

El transporte de las cobalaminas absorbidas en la superficie serosa se lleva a cabo gracias a unas proteínas plasmáticas llamadas transcobalaminas, los mamíferos muestran grandes diferencias en la distribución y propiedades de unión de los tres grupos de proteínas transportadoras más importantes: TCO, TCI, TCII. Normalmente, en el plasma suele existir un exceso en la capacidad de unión a la vitamina B12 y aumenta aún más en una infección o inflamación, sugiriendo una demanda celular creciente de vitamina. Este hecho se confirmó in vitro al obtener un aumento notable de la captación de la cobalamina por linfocitos estimulados y una disminución en la actividad de los neutrófilos de vacas deficientes en cobalto (MacPherson *et al.*, 1987).

### **Excreción**

Para vacas lecheras que reciben aportes elevados de cobalto, obtuvieron aumentos marcados en la vitamina B12 urinaria con valores

máximos cerca de 12 ng ml<sup>-1</sup> durante la lactación, superiores a aquellos encontrados en la leche (3-7 ng ml<sup>-1</sup>) y en el suero (0,6-0,8 ng ml<sup>-1</sup>). Su excreción urinaria es característica de una vitamina hidrosoluble. Durante una deficiencia de cobalto, las pérdidas urinarias probablemente descienden hasta niveles despreciables y pueden utilizarse para valorar el estatus de la vitamina B12 (Walker, 1972).

### **3.3.6. Hierro (Fe)**

#### **Descripción**

El hierro, sin duda, es el elemento traza más abundante del organismo y su valor como constituyente de los animales es apreciado desde hace más de 2,000 años. El hierro es un componente de la hemoglobina, la molécula encargada del transporte de oxígeno y CO<sup>2</sup> en el organismo. Puesto que la mayoría de los pastos y forrajes en el trópico bajo contienen concentraciones elevadas de hierro (80 ± 300 ppm) y debido a las cantidades de suelo que el bovino consume durante el pastoreo, el hierro casi nunca presenta deficiencias en bovinos en pastoreo; sin embargo, un problema que se puede presentar son los altos niveles que se hallan en el forraje o en el agua de consumo, lo cual puede afectar la absorción de cobre y zinc (Kreutzer, 1991).

#### **Metabolismo**

El acceso a isótopos radioactivos y la aplicación de técnicas de biología molecular han facilitado considerablemente la investigación sobre la absorción, transporte, almacenamiento, excreción y metabolismo intermediario del hierro. Los animales tienen la capacidad limitada para excretar hierro (Kreutzer, 1991), por lo que su retención en el organismo se controla principalmente por la absorción.

#### **Absorción**

El hierro se absorbe dependiendo de su necesidad y por ello depende de factores tales como el estatus de hierro en el organismo y la edad. La

absorción de hierro es mayor en los animales deficientes en hierro que en los animales sanos, porque el metabolismo de dicho elemento se regula predominantemente a nivel intestinal, donde la eficacia de absorción se controla según el estatus de hierro de la mucosa (Underwood, 1977). La principal zona de absorción es el duodeno. El hierro, como la mayoría de los minerales, se absorbe con alta eficacia en animales alimentados con leche y esto se atribuye parcialmente a la baja concentración de hierro de la leche y las elevadas tasas de crecimiento de los animales lactantes, y por lo tanto las elevadas necesidades asociadas a estas raciones ricas en energía y altamente digestible (Wein, 1994).

### **Transporte**

El hierro absorbido se libera en forma de hierro férrico en la superficie basal, donde se une a transferrina (T), una glicoproteína sin grupo hemo que se une a dos átomos de hierro férrico por mol. La T circulante determina la capacidad total de unión a hierro en el plasma y el grado de instauración refleja la proporción presente de apotransferrina libre de hierro. El cobre juega un papel clave en la utilización del hierro, aunque el mecanismo no es todavía conocido. La ceruloplasmina, la proteína más abundante en cobre del plasma sanguíneo, puede funcionar como una ferroxidasa, y por ello parenquimatosos y también la unión de hierro T. La xantina deshidrogenasa, un enzima con molibdeno, es el principal ferroxidasa en mucosa e hígado (Wein, 1994).

### **Almacenamiento**

La transferrina no solamente interviene en el transporte de hierro absorbido a los tejidos sino también en la redistribución del hierro almacenado, y en el reciclaje del hierro procedente de hematíes maduros hacia el sistema retículo endotelial. Los receptores de transferrina de la membrana celular introducen hierro al interior de la célula mediante endocitosis. Allí proteínas reguladoras de la presencia

de hierro, sensibles a las concentraciones de hierro libre, reciben hierro de la T y la distribución en dos vías: funcional (síntesis de hemoglobina) y de almacenamiento (síntesis de ferritina). La ferritina es el principal compuesto de depósito de hierro en el organismo, y su concentración en los tejidos, junto con la hemosiderina, refleja el contenido de hierro en el animal. La ferritina es un compuesto proteico no hemo (globulina) que contiene hasta el 20% de hierro, que aparece ampliamente distribuido por todo el organismo y particularmente en el hígado. La hemosiderina es la forma de almacenamiento más abundante cuando existe un estatus de hierro elevado; contiene el 35% del hierro, predominante procede de la unión de moléculas de ferritina y la desnaturalización posterior de sus componentes proteicos (Kent y Bahu, 1979).

### **3.3.7. Yodo (I)**

#### **Descripción**

El yodo es el único elemento mineral cuya deficiencia provoca anomalía clínica, crecimiento de glándula tiroides en el cuello, más conocida como bocio, fácilmente reconocible y específica (Harington, 1953).

El yodo hace parte de las hormonas tiroideas (T3 y T4). Es importante para mantener la tasa metabólica normal. Los niveles requeridos son relativamente bajos (0,5 ppm). La deficiencia de yodo conlleva a disminución de la tasa metabólica, retardo en el crecimiento, baja producción de leche y peso al destete. Las vacas con deficiencia de yodo presentan terneros que nacen ciegos, sin pelaje o prematuros. Además, se desarrolla bocio (aumento de tamaño de la glándula tiroides). El Yodo participa en la regulación de la temperatura corporal, el crecimiento, la reproducción, el funcionamiento de los músculos y nervios, controla la proporción del uso de oxígeno por las células, o sea la velocidad a la cual la energía es producida durante el metabolismo (Harington, 1953).

## **Metabolismo**

Gran parte se absorbe en estómago y duodeno en forma de yoduro (también se absorbe por piel y pulmones) y es transportado a la glándula tiroides que absorbe 1/3, el resto es excretado en heces, en orina y en leche (Miller, 1974).

La captación de yodo (I) por el tiroides está controlada por la TSH Hipofisaria (Hormona Tirotrópica). Esta hormona se libera en función del contenido de I en la sangre. Una parte del I es reciclada por medio de tioglobulinas, y al formar parte de la saliva y los jugos biliares (Hemken, 1960).

El Yodo, junto al aminoácido Tirosina, interviene en la formación de la Hormona Tiroidea Tiroxina, que es una hormona de función catabólica sobre las enzimas que controlan la actividad de los sistemas de oxidorreducción. Estimula la oxidación celular, incrementando la toma de oxígeno y la velocidad de reacción del sistema enzimático que maneja la glucosa. El I ejerce una gran influencia sobre el metabolismo orgánico total (Miller, 1965).

Las principales hormonas secretadas por la glándula tiroides son: T3, T4, rT3 y la Calcitonina (Miller, 1965).

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES**

- 4.1. Los minerales para su aprovechamiento en el organismo animal necesitan pasar por procesos metabólicos y de esta manera influir en el rendimiento productivo.
- 4.2. Los bovinos en pastoreo requieren una serie de macro y micro minerales para obtener niveles adecuados de crecimiento, producción de leche y reproducción.
- 4.3. Todos los sistemas de producción necesitan, en mayor o menor medida, suplementación mineral, tanto para corregir deficiencias como para estimular la producción.

## CAPÍTULO V

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATKINSON, S.A. (1993). A multielement isotopic tracer assessment of true fractional absorption of minerals from formula with additives of calcium, phosphorus, zinc, copper, and iron in young piglets. *Journal of Nutrition* 123, 1586-1593.
- BAVERA, Guillermo A. (2006). *Suplementación mineral y con nitrógeno no proteico del bovino a pastoreo*, 3ª edición, Ed. Del autor Río Cuarto, 384pag. Capítulo I: 13-19.
- BELL, F. R. (1995). Perceptions of sodium and sodium appetite in farm animal. In: Phillips, C.J.C. and Chiy, P.C. (eds) *Sodium in agriculture*. Chalcome publications, Canterbury, UK, pp. 82-90.
- BIRD, P.R. (1970). Sulphur metabolism and excretion studies in ruminants.III. The effect of sulphur intake on the availability of copper in sheep. *Proceedings of the Australian society of Animal Production* 8, 212-218.
- BLAIR-WEST, J.R., Coghlan, J.P., Denton, D.A., Godning, J.R. (1963). The control of aldosterone secretion. In: Plincus, S. (ed) *Recent Progress in Hormone Research*. Academic Press, New York, pp.311-383.
- BONDI, A., *Nutrición Animal* (1988), pag.177-205.
- BOWN, M.D., Poppi, D.P. and Sykes, A.R. (1989). The effect of a concurrent infection of *Trichostrongylus columbriformis* and *Ostertagia circumcincta* on calcium, phosphorus, and magnesium transactions along the digestive tract of lambs. *Journal of Comparative Pathology* 101, 11-20.

- BRAITHWAITE, G.D. (1984). Some observations in phosphorus homeostatic and requirements. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 102, 295-306.
- BREMNER, I. (1993). Metallothionein in copper deficiency and toxicity. In: Anke, M., Meissner, D. and Mills, C.F. (eds) *Proceedings of the Eighth International Symposium on Trace Elements in Man and Animals*. Verlag Media Touristik, Gersdorf, pp507-515.
- BRONNER, F. (1987). Intestinal calcium absorption: mechanisms and applications. *Journal of Nutrition* 117, 1347-1352.
- BROWN, E.M. (1991). Extracellular Calcineurin, regulation of parathyroid cell function and role of Ca and other ions as extracellular (first)messengers. *Physiological Reviews* 71,371-411.
- CHALLA, J. and Braithwaite, G.D. (1988). Phosphorus and calcium metabolism in growing calves with special emphasis on phosphorus homeostatic. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 110, 583-589.
- CHALLA, J., Braithwaite, G.D. and Dhanoa, M.S. (1989). Phosphorus homeostasis in growing calves, *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 112, 217-226.
- DAVIES, N.T. (1980). Studies on the absorption of zinc by rat intestine. *British Journal of Nutrition* 43, 189-203.
- DAVIDSSON, L. (1989). Identification of transferrin as major plasma carrier protein for manganese introduced orally or intravenously or after in vitro addition in the rat. *Journal of Nutrition* 119, 1461-1464.
- FLORES, J.A. Maestro de la facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, 1era edición 1986, pag. 979.
- GILBERT, A.B. (1983). Calcium and reproductive function in the hen. *Proceedings of the Nutrition Society* 42, 195-212.
- GRACE, N.D. and Suttle, N.F. (1979). Some effects of sulphur intake on molybdenum metabolism in sheep. *British Journal of Nutrition* 41, 125-136.
- GROVUM, W.L. and Chapman, H.W. (1988). Factors affecting the voluntary intake of food by sheep.4. The effect of additives representing

the primary tastes on sham intakes by oesophageally fistulated sheep. *British Journal of Nutrition* 59, 63-72.

- HARINGTON, C.R. (1953). *The Thyroid Gland, its Chemistry and Physiology*. Oxford University Press, London.
- HARPER, M. E., Willis, J.S. and Patrick, J. (1997). Sodium and chloride in Nutrition. In O'Dell, B.L. and Sunde, R.A. (eds) *Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements*. Marcel Dekker, New York, pp.93-116.
- HAYSLETT, J.P. and Binder, H.J. (1982). Mechanism of potassium adaptation. *American Journal of Physiology* 243, F103-F112.
- HEMKEN, R.W. (1960). Iodine. *Journal of Dairy Science* 53, 1138-1143.
- HENRY, P.R. and Benz, S.A. (1995). Magnesium bioavailability. In: Ammerman, C.B., Baker, D.H. and Lewis, A.J. (eds) *Bioavailability of Nutrients for Animal*. Academic Press, New York, pp. 239-256.
- HERNÁNDEZ, J.M. (2004). Argent Export S.A. El fósforo en la vaca lechera, Sitio argentino de Producción Animal- [www.prouccion-animal.com.ar](http://www.prouccion-animal.com.ar) (Consultado el 15 de Mayo del 2012)
- HURLEY, L.S. (1981). Teratogenic effects of manganese, zinc, and copper in nutrition. *Physiological Reviews* 61, 249-295.
- HURWITZ, S. (1996). Homeostatic control of plasma calcium concentration. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology* 31, 41-100.
- JOHNSON, K.G. (1970) Sweating rate and electrolyte content of skin secretions of *Bos taurus* and *Bos indicus* cross-bred cows. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 75, 397-402.
- KANDYLIS, K. (1984). The role of sulphur in ruminant nutrition: a review. *Livestock Production Science* 11, 611-624.
- KENT, G. and Bahu, R.M. (1979). Iron overload. In: MacSween, R.N.M., Anthony, P.P. and Schewr, P.J. (eds) *Pathology of the Liver*. Churchill Livingstone, Edinburgh, pp. 148-163.
- KREUTZER, M. (1991). Endogenous iron excretion: a quantitative means to control iron metabolism. *Biological Trace Element Research* 29, 77-92.

- KIATOKO, M., McDowell, L. R., Bertrand, J.E., Chapman, H. C., Pete, F. M., Martin, F. G. and Conrad, J. H. (1982). Evaluating the nutritional status of beef cattle herds from four soil order regions of Florida. I. Macroelements, protein, carotene, vitamins A and E, haemoglobin and haematocrits, *Journal of Animal Science* 55, 28-47.
- KRUSE, H.D., Orent, E.R. and McCollum, E.V. (1932). Studies on magnesium deficiency in animals. *Journal of Biological Chemistry* 96, 519-539.
- LEROY, J. (1926). Nécessite du magnesium pour la croissance de la souris. *Comptes Rendus des Séances de la Societé de Biologie* 94, 341.
- MACPHERSON, A., Kelly, E. F, Chalmers, J. S and Roberts, D.J. (1987). The effect of selenium deficiency on fertility in heifers. In: Hemphill, D.D. (ed) *Proceedings of the 21<sup>st</sup> Annual Conference on trace Sbstances in Environmental Health*. University of Missouri, Columbia, pp. 551-555.
- MANUAL MERCK (1993). Cuarta edición. Ediciones Cetrum, *Nutrición del Ganado* pag. 1353-1356
- MASTERS, D.G. (1996). Responses in wool and live weight when different sources of dietary protein are given to pregnant and lactating ewes. *Animal Science* 62, 497-506.
- McCollum, E.V. (1956). *A History of Nutrition*. Houghton Mifflin, Boston, Massachusetts.
- McDowell, L.R., Conrad, J.H. and Hembry, F.G. (1993). *Minerals for Grazing Ruminants in tropical Regions*, 2<sup>nd</sup>. Animal Science Department, University of Florida, Gainesville, USA.
- MCKAY, E.J. and McLeary, L.M. (1981). Location and Secretion of gastric intrinsic factor in the sheep. *Research in Veterinary Science* 30,261-265.
- MICHELL, A.R. (1978). Plasma potassium and sodium appetite: the effect of potassium infusion in sheep. *British veterinary Journal* 134, 217-224.

- MILLER, J.K. (1965). Effects of feeding potassium iodide, 3,5-diodosalicylic acid or -thyroxine on iodine metabolism of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 48, 888-894.
- MILLER, J.K. (1974). Effects of thyroid status on digestive tract fill and flow rate of undigested residues in cattle. *Journal of Dairy Science* 57, 193-197.
- MILLIGAN, L.P. and Summers, M. (1986). The biological basis of maintenance and its relevance to assessing responses to nutrients. *Proceedings of the Nutrition Society* 45, 185-193.
- MORRIS, J.G. and Peterson, R.G. (1975). Sodium requirements of lactating ewes. *Journal of Nutrition* 105, 595-598.
- NRC (1996). Nutrient Requirements of calcium and phosphorus. National Academy of Sciences Washington, DC.
- PETERSON, L.N. (1997). Potassium in Nutrition. In: O' Dell, B.L. and Sunde, R.A. (eds) *Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements*. Marcel Dekker, New York, pp.153-183.
- ROTHERY, P. (1953). Cobalt and vitamin B12 in sheep. *Journal of Nutrition* 49, 173-181.
- ROTRUCK, J.T., Pope, A.L., GANTHER, h. e., Swanson, A.B., Hafeman, D.G. and Hoekstra, W.G., (1973). Selenium, biochemical role as a component of glutathione peroxidase science, USA 179, 588-590.
- SCHONEWILLE, J.T., Ram, L., Van't Klooster, A.T., Wonterse, H. and Beynen, A.C. (1997). Intrinsic potassium in grass silage and magnesium absorption in dry cows. *Livestock Production Science* 48, 99-110.
- SMITH, S.E. (1951). The response of cobalt-deficient lambs to liver extract and vitamin B12. *Journal of Nutrition* 144, 455-464.
- SUTTON, A.L. and Elliot, J.M. (1972). Effect of ratio of roughage to concentrate and level of feed intake on ovine ruminal vitamin B12 production. *Journal of Nutrition* 102, 1341-1346.
- SUTTLE, N.F. and Field, A.C. (1967). Studies on magnesium in ruminant nutrition. Effect of increased intakes of potassium and water on the

metabolism of magnesium, phosphorus, sodium, potassium, and calcium in sheep *British Journal of Nutrition* 21, 819-831.

- SUTTLE, N.F. (1991). Mineral supplementation of low-quality roughages In. *Proceeding of Symposium on Isotope and Related Techniques in Animal Production and Health*. International Atomic Energy Commission, Vienna, pp. 101-104.
- TERNOUTH, J.H (1989). Endogenous losses of phosphorus in sheep. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 113, 291-297.
- TOMAS, F.M., Moir, R.J. and Somers, M (1973). Phosphorus turnover in sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 18, 635-645.
- Tucker, H.F., and Salmon, W.D. (1955). Parakeratosis or zinc deficiency disease in the pig. *Proceeding of the Society for Experimental Biology and Medicine* 88, 613-616.
- UNDERWOOD, E.J. (1977). *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*, 4<sup>th</sup>edn. Academic Press, New York, 545pp.
- WARD, G.M (1996). Potassium metabolism of domestic ruminants: a review. *Journal of Dairy Science* 49, 68-276.
- WALKER, C.K. (1972). Lactational trends in vitamin B12 status on conventional and restricted roughage rations. *Journal of Dairy Science* 55, 474-478.
- WEIN, E.M. (1994). Enhanced Fe<sup>2+</sup>- reducing capacity does not seem to play a major role in increasing iron absorption in iron-deficient rats. *Journal of Nutrition* 124, 2006-2015.
- YANO, F., Yano, H. and Breves, G. (1991). Calcium and phosphorus metabolism in ruminants. In: *Proceeding of the Seventh International Symposium of Ruminant Physiology*. Academic Press, New York, pp 277-295.