



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN



"PRINCIPALES MACROMINERALES USADOS COMO  
SUPLEMENTOS NUTRICIONALES EN DIETAS  
PARA BOVINOS PRODUCTORES DE CARNE :  
REVISION BIBLIOGRAFICA"

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA :

**MORAN VAZQUEZ JUAN MANUEL**

ASESORES: MVZ JUAN J. RUIZ CERVANTES  
MVZ MA. DE LOS ANGELES RUIZ R.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1992



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO

	PAGINA
RESUMEN.....	1
INTRODUCCION.....	2
PROCEDI MIENTOS.....	30
ANALISIS DE LA INFORMACION.....	31
CUADROS.....	32
LITERATURA CITADA.....	34

## RESUMEN

Se llevó a cabo la recopilación bibliográfica en relación a los macrominerales de uso común en la alimentación de los bovinos de carne. Los objetivos de este trabajo son la recopilación de la bibliografía sobre el tema de los macrominerales, con el fin de proporcionar a los interesados información actualizada y condensada acerca de las investigaciones llevadas a cabo, sobre el manejo adecuado de estos elementos minerales en la alimentación de los bovinos.

En nuestro medio existen pocos trabajos acerca de los macrominerales en bovinos de carne, debido a que estos problemas ocurren de manera más común con ganado en régimen de pastoreo, este tipo de problemas son más frecuentes en países en vías de desarrollo, debido a su tipo de explotación y en donde no proveen una suplementación correcta de minerales.

En términos generales la información acerca del uso de macrominerales es escasa. En este trabajo se mencionan los 7 macrominerales conocidos como esenciales para los animales y se da una descripción de sus características tales como: Fuentes de obtención, absorción, metabolismo, deficiencias, toxicidad; además se anexan dos cuadros con los requerimientos respectivos y sus principales funciones fisiológicas.

## INTRODUCCION

Se creía en la antigüedad que sólo existían cuatro elementos: tierra, aire, agua y fuego. Desde entonces se han dividido dichos "elementos" en muchas subunidades, entre ellas se encuentran las inorgánicas, de las cuales los animales necesitan de 17 minerales como mínimo y probablemente sean 19 elementos, no es nuevo el conocimiento de que sean necesarios ciertos elementos, aunque el número de los conocidos hoy en día como esenciales hubiese resultado increíble en los comienzos del siglo veinte (20).

El término "mineral" es usado por los nutriólogos para referirse a elementos químicos inorgánicos, pero es usado por muchos otros científicos como un componente cristalino homogéneo. Los elementos minerales no son materiales inertes, pueden cambiar el estado de su valencia y ser transferidos de un componente químico a otro. Los minerales son participantes activos en las reacciones enzimáticas, tienen funciones específicas y son necesarios para la vida (22).

Por otro lado, de manera reciente, las normas de alimentación han incluido datos sobre las necesidades de los animales en cuanto a elementos minerales y aún así se han limitado en gran medida sólo al calcio y fósforo, no obstante se han ido acumulando los conocimientos concernientes a una docena o más de los elementos minerales considerados actualmente como esenciales, estos se agrupan en macroelementos y microelementos (10).

Hay siete elementos minerales clasificados como macroelementos: calcio (Ca), cloro (Cl), magnesio (Mg), fósforo (P), potasio (K), sodio (Na) y azufre (S), los cuales se muestran en el cuadro 1 con sus principales funciones a nivel orgánico (33, 34, 35).

La importancia de la interacción entre suelo plantas y animales es más grande para rumiantes que para no rumiantes debido a la gran dependencia de los rumiantes al pastoreo y forrajes como nutrientes. Los factores del suelo influyen grandemente en el contenido mineral de las plantas, de las cuales los rumiantes toman el mayor consumo de minerales (22, 28).

La fertilización de tierras con K, Ca, o P afecta directamente el contenido de minerales en las plantas con el incremento en la concentración de estos elementos (3, 22).

La especie de planta, temporada del año y etapa de madurez afecta los niveles de minerales en las plantas. Las leguminosas tienen más altas concentraciones de Ca, Cu y Zinc que las gramíneas pero menos Mn y Mo. Cuando las plantas maduran hay tendencia a una disminución en P y K por lo cual la sílica y el aluminio aumentan sus diferencias de contenido mineral en las plantas. De acuerdo a la temporada del año se vuelven importantes en relación al K y la tetania del pasto, y el desarrollo de deficiencias de P y Cu en el ganado de carne (3, 28).

El término "disponibilidad biológica" es un importante concepto en el metabolismo mineral. O'Dell ha definido la disponibilidad biológica como "esa proporción de un nutriente en el alimento, que puede ser absorbida por un animal y usada por los tejidos para desarrollar sus funciones biológicas". de este modo disponibilidad biológica se refiere a la toma y utilización del elemento, el cual puede ser absorbido pero no utilizado por el organismo (22, 36).

Aunque por lo regular se conocen bien las deficiencias de los minerales o su toxicidad, no es fácil proporcionar al ganado suplementos apropiados y bien aceptados por ellos, por

lo cual cada vez hay mayor investigación enfocada hacia la palatabilidad de los minerales (13).

Para la suplementación de minerales en bovinos, en pastoreo (debido a que en éstos se encuentran los mayores problemas sobre deficiencias de minerales) se debe tomar en cuenta la región geográfica. En consecuencia, un elemento que es adecuado en una región puede ser deficiente o tóxica en otra (3).

Se ha demostrado que el ganado en pastoreo no satisface de manera equilibrada sus necesidades de minerales, cuando la elección es a libre acceso, no existe otra manera practica de atender estos requerimientos bajo este régimen. Si se requiere tener la seguridad de proporcionar a bajo costo una alimentación lo suficientemente rica en minerales, deberán ponerse a disposición del ganado minerales "completos" para que éste los consuma según su elección. Una mezcla "completa" incluye habitualmente sal, una fuente de fósforo pobre en fluoruro, calcio, cobalto, cobre, iodo, manganeso y zinc, también pueden agregarse selenio, magnesio, potasio, azufre, hierro y otros elementos. o bien esperar a que nuevas informaciones sugieran la necesidad de dichos elementos. En el caso del magnesio, un suplemento por vía oral sólo tiene valor durante la aparición estacional de la tetania de la hierba (16, 28, 38).

Un exceso de calcio, cobre o selenio puede ser más perjudicial para la producción de rumiantes que cualquier posible beneficio de un suplemento mineral. En las regiones donde predomina el forraje de gran contenido de molibdeno se necesitan mezclas con un contenido de tres a cinco veces mayor de cobre, a fin de contrarrestar la toxicidad del molibdeno. El nivel exacto de cobre necesario para contrarrestar la toxicidad del molibdeno es un problema complejo que debería estudiarse para cada región por separado (16, 28, 38).

Algunos autores no están de acuerdo sobre las mezclas completas para el ganado vacuno. El peligro de toxicidad o de costos excesivos es muy reducido en relación con las elevadas posibilidades de aumentar las tasas de producción del ganado vacuno administrando una mezcla completa de minerales a libre acceso. Así el cobre y el selenio a los niveles recomendados serían los minerales más preocupantes en lo que respecta a toxicidad. Por otra parte el ganado vacuno, a diferencia del ovino, es mucho menos sensible a la toxicidad del cobre y las formas inorgánicas del selenio ( la selenita de sodio) no son bien aprovechadas por el ganado si se administran en cantidades superiores a las normales. Por lo tanto, se puede decir que lo mejor es formular las mezclas a libre acceso basándose en los análisis y demás datos disponibles, sin embargo, cuando no haya informaciones sobre la situación de los minerales en una determinada región, se justifica plenamente la administración de un suplemento mineral completo en un régimen de libre acceso (24, 31, 37).

Aunque aún no se conocen las cifras exactas relativas a las necesidades de minerales de las distintas clases de animales sometidos a diferentes condiciones de vida, las investigaciones han dado suficientes datos para llegar a las recomendaciones de orden dietético (NRC, 1976, ver cuadro 2). Las cifras deberán utilizarse sólo como guía aproximada, puesto que las necesidades de los distintos animales pueden ser diferentes los promedios (43).

La detección de deficiencias de macrominerales se hace más fácilmente por análisis de alimento y muestras sanguíneas, los análisis de los alimentos son de más ayuda. Para los animales en pastoreo, el análisis sanguíneo no es de gran ayuda, es de mucha ayuda cuando la muestra es representativa de un gran número de animales dentro de un mismo hato. Cambios en los niveles minerales de la sangre puede ser un efecto

secundario de enfermedades o desordenes metabólicos y no ser ésta la causa primaria, además los niveles de minerales en sangre pueden variar debido a: gestación, producción de leche y temporada del año (22).

## CALCIO

## FUENTES DE OBTENCION

La mayoría de los granos tienen niveles deficientes de calcio mientras que los forrajes tienen niveles superiores a los requerimientos de los rumiantes. Las cosechas que crecen en tierras arenosas o ácidas tienen menos Ca que cosechas de mejores tierras, las leguminosas contienen más alto nivel de Ca que las gramíneas. La alfalfa contiene porcentajes de 1.2 % de Ca, pero el rango es de 0.6 a > 2 %. El ensilaje inmaduro de maíz contiene al rededor de 0.6 % de Ca, pero este decrece a 0.3 % cuando es maduro, muchos subproductos alimenticios, usados extensamente en raciones de ganado, son muy bajos en Ca. Por ejemplo los tubérculos y la cáscara de semilla de algodón contienen < 0.1 % Ca, todas las semillas de algodón y desperdicios de grano de cervecería también son relativamente bajos en Ca (15, 22).

Las principales fuentes de Ca inorgánico adicionadas a las raciones son: piedra caliza, fosfato dicalcico, y fosfato de roca desflorinada. La piedra caliza a menudo es la fuente de suplementación más económica, el fosfato dicalcico contribuye a suplementar Ca a la ración, pero puede ser adicionado para cubrir también los requerimientos de fósforo. La harina de hueso es una buena fuente de Ca, pero normalmente no es adicionada debido a su alto costo (14).

La biodisponibilidad del calcio de varios piensos es comunmente expresada como un valor biológico relativo, el fosfato dicalcico y la harina de hueso tienen valores biológicos menores a 100 %, la piedra caliza, alfalfa y pasto tienen valores biológicos menores a 100%. cerca de la tercera parte del Ca presente en la alfalfa se encuentra como oxalato de Ca. Estos son degradados por las bacterias del rumen y hacen disponible al Ca para su absorción al mismo tiempo que

los oxalatos son expuestos a la bacteria (33, 35).

El grado para el cual los cristales de oxalato son protegidos de la degradación pueden ser determinadamente mayor que el de la biodisponibilidad del Ca en la alfalfa.(8, 33).

Algunos oxalatos de Ca escapan invariablemente a la degradación en el rumen la ARC (2) asume una biodisponibilidad de 88 % para el Ca. La NRC permite un margen de seguridad para usar el 45 % de la biodisponibilidad de los piensos. Otros trabajos indican que la biodisponibilidad del Ca en forrajes altos en oxalatos es de 50 % o menos (32). En vacas en lactación con consumo de alimentos tres veces al día o más , una baja en la biodisponibilidad del Ca, puede ocurrir debido a una disminución en el grado de digestión , de la fracción potencialmente digestible de los forrajes (35).

#### ABSORCION

La absorción del Ca en los animales juvenes es muy eficaz y generalmente disminuye con la edad (8). La adición de grasa a la dieta disminuye la absorción de Ca y la digestión de la fibra en los rumiantes debido a la formación de jabones de Ca en el rumen, el Ca tiene una baja solubilidad en los flúidos del rumen (15). Algunas absorciones ocurren en el rumen, pero la mayoría ocurre en el intestino delgado. El Ca es absorbido en el lumen del intestino delgado a través de las células de la mucosa intestinal a la membrana basal (14).

El porcentaje de Ca absorbido es regulado generalmente por las necesidades de Ca del animal (30). Las necesidades de Ca del animal, son incrementadas por la producción de leche, depósito en huesos y crecimiento fetal. Una descarga de Ca en la sangre incrementa la salida de la hormona paratiroidea, la cual cataliza la hidroxilación de la posición 1. del 25-hidroxicalciferol, la absorción del Ca se incrementa del

tracto intestinal y ocurre movilización de Ca de los huesos (33, 35).

La excesiva administración de vitamina D<sub>3</sub> puede superar parcialmente el sistema regulatorio con un exceso en la absorción calcio, siendo este depositado en los tejidos blandos (32).

#### METABOLISMO

El Ca es movilizado del hueso bajo la influencia de la hormona paratiroidea y de la vitamina D para mantener los niveles de Ca en el plasma alrededor de 9.5 mg/dl (13). La movilización de Ca del hueso viene a ser extremadamente importante en vacas inmediatamente después del parto, debido a la secreción de Ca en la leche (32).

En vacas, las cuales desarrollan paresia de la parturienta aparentemente les falta la capacidad de movilizar Ca rápidamente del hueso. El aspecto o apariencia de la hidroxiprolina en sangre o la excreción de hidroxiprolina en orina puede ser utilizada como indicador de movilización de Ca de los huesos (8).

Las pérdidas endógenas de Ca pueden ocurrir por vía de la leche, bilis y riñón. La secreción de la leche es un proceso activo en el cual los niveles de Ca vienen siendo relativamente constantes (1.23g Ca/kg de leche). La excreción de Ca por vía del riñón es bajo la influencia de la hormona paratiroidea y únicamente es de 2 o 3% de la pérdida total. Los factores por los cuales se influye la secreción dentro del tracto intestinal por vía de la bilis son desconocidos (1).

La mayoría del Ca (99%) en el organismo se encuentra en forma de hidróxido de apatita de huesos y dientes, el otro 1% de Ca en el organismo es muy importante y funciona en la

contracción del músculo, sensibilidad nerviosa y coagulación sanguínea. Una reducción de los niveles de Ca causa tetania y espasmos en rumiantes y su exceso causa calcificación de tejidos blandos. Una rápida infusión intravenosa de Ca puede causar paro cardíaco. El Ca activa a una proteína llamada calmodulin, cuando se liga el Ca al calmodulin se forma un complejo activo el cual regula el metabolismo intermedio de la célula, el calmodulin es encontrado en todas las células eucarióticas (32).

#### DEFICIENCIAS

Diagnosticar una deficiencia de Ca no es fácil debido a la falta de signos antes de la ruptura de huesos y de convulsiones. Los niveles sanguíneos de Ca no son los responsables a el consumo de Ca, debido a que las reservas en el hueso son movilizadas para prevenir una baja de Ca en los niveles sanguíneos. Unicamente cuando el calcio almacenado en el hueso no sea más grande del adecuado para prevenir la demanda del organismo o cuando los huesos han sido muy desmineralizados, se vuelven frágiles y la deficiencia es obvia (35).

En ganado lechero los problemas metabólicos han sido reportados cuando la ración de Ca-P es más bajo de 1.1:1, estos problemas metabólicos han ocurrido independientemente de los signos usuales de deficiencia de Ca (2).

#### TOXICIDAD

La toxicidad debida a la suplementación de Ca en el ganado es rara, excepto para vacas parto. Los rumiantes pueden tolerar raciones de Ca-P hasta por una relación de 8:1, (Trujillo Figueroa establece hasta un 7:1 (42)), raciones más altas de 8:1 reducen el consumo de alimento (34).

Aunque la toxicidad no es común porque muchas raciones

contienen rangos menores de 6:1, además de que los altos niveles de Ca resultan desagradables para el ganado. Un exceso de Ca en la alimentación no reduce la absorción de Zn en el ganado como en no rumiantes. El efecto del Ca en la absorción únicamente aparece en la presencia de fitatos, en el rumen el fitato de fósforo es metabolizado a P inorgánico, por lo tanto no tiene efectos detrimentales en la absorción de Zn en los rumiantes, pero puede afectar a los animales jóvenes antes del desarrollo de un rumen funcional o cuando los piensos contengan fitato y son tratados para evitar la desviación al metabolismo ruminal (19 22).

## CLORO

## FUENTES DE OBTENCION

El contenido de cloro en los piensos es variable, la melaza contiene grandes cantidades de cloro, pero el grano de maiz tiene muy poco. Generalmente el Na es más limitado que el cloro en la dieta y la adición de NaCl Cel cual tiene una relación de Na:Cl de 1:1. (26), que reúne los requerimientos de Na y así no se suministran otras fuentes de Cl a la dieta (35).

## ABSORCION

Se han publicado trabajos limitados en cuanto a la absorción y el metabolismo, presumiblemente el Cl es bien absorbido con algunas interferencias en animales saludables (8).

El Cl puede ser absorbido a través de la pared del rumen muchas de las absorciones ocurren post-ruminalmente, cuando la suplementación del Cl es baja, las pérdidas fecales y urinales de Cl son reducidas, esto como parte de un sistema homeostático (8).

## METABOLISMO

El cloro funciona en el intercambio electrolítico para la regulación del equilibrio ácido-base. En el colon el Cl intercambia con el bicarbonato para promover una reducción del pH en la sangre. En el riñón el Cl también intercambia con el ion bicarbonato, pero el efecto es para aumentar el pH de la sangre y promover la excreción del ion amonio (10).

La suplementación de Cl puede afectar la respuesta de vacas lecheras al stress por calor, debido a que las vacas responden favorablemente a la suplementación de KHCos para evitar el stress por calor, pero las vacas no responden favorablemente a la suplementación de ClNa (15).

Otros trabajos han demostrado concentraciones de bicarbonato

y Cl en el plasma para ser inversamente correlacionados. Los niveles de Cl son mantenidos en el fluido cerebro-espinal por un mecanismo de transporte activo (9).

El Cl está presente en cantidades substanciales de muchos fluidos y tejidos del cuerpo, la leche contiene alrededor de 0.11% de Cl y el plasma 100 mEq/l. Toda la sangre contiene menos Cl (81 a 72 mEq/l) que el plasma debido a que las células rojas tienen únicamente 55-64 mEq/l (24). Los niveles de cloro en el fluido ruminal son de 10 a 30 mEq/l. en total el organismo contiene alrededor de 0.10 a 0.11% de Cl (8).

#### DEFICIENCIAS

Los niveles de Cl en el plasma, son reducidos cuando las vacas son alimentadas con dietas bajas en Cl. Las deficiencias en ruminantes han sido producidas por remoción de jugos gástricos (20).

Niveles deficientes de Cl en la dieta traen como consecuencia hiponatremia, hipocloremia, hipokalemia, alcalosis e incremento de la renina en el plasma. Otros signos incluyen pobre crecimiento, disminución de la producción de leche, reducción en el consumo de alimento, emaciación, deshidratación y pica (30).

El Cl tiene una función específica con la angiotensina, la angiotensina I es convertida a angiotensina II por una enzima activadora del Cl (30), el Cl puede estar involucrado en el desarrollo de la hipertensión (8).

## MAGNESIO

## FUENTES DE OBTENCION

La mayoría de los forrajes presentan más alto contenido de Mg que los requerimientos de este elemento para los rumiantes, sin embargo los primeros pastos de la primavera tienen bajos niveles de Mg y altos niveles de K, lo cual interfiere en la absorción de Mg por parte del animal. Maíz, avena, y cebada muestran niveles bajos de Mg 0.13 -0.19%. La fuente inorgánica de Mg más usada en las raciones es MgO y MgSO<sub>4</sub>, ambos tienen una biodisponibilidad biológica de 50% (32).

La biodisponibilidad de Mg por parte de la piedra caliza dolomítica es menor únicamente alrededor de 25%. La absorción de Mg en rumiantes es más alta en forrajes henuficados que en forrajes verdes, así como más alta en granos que en forrajes. Las fuentes de suplementación de Mg no son palatables para el ganado y las tomas que de este se hacen son pequeñas y escasas (25, 36).

## ABSORCION

La absorción de Mg ocurre en el rumen, omaso, intestino delgado y colon. La mayoría del Mg es absorbido cuantitativamente de rumen y omaso. Probablemente sean dos los mecanismos que operan en la absorción del Mg; uno es un mecanismo activo de saturación, y el segundo es un mecanismo pasivo no saturable. El mecanismo activo es la ruta primaria de absorción durante el bajo consumo de Mg, aunque la eficiencia en la absorción mejora durante el bajo consumo de Mg. El mecanismo pasivo no saturable es la ruta cuantitativa de absorción durante los periodos de alto o excesivo consumo de Mg. Este mecanismo pasivo no saturable de absorción aclara la falla para reducir grandemente la absorción de Mg con elevados consumos. La absorción de Mg en el rumen es reducido por altas concentraciones de amoniaco y pueden resultar en la formación

de fosfatos insolubles de Mg y amoniaco, debido a que la absorción de Mg es dependiente de energía, baja energía en las raciones puede disminuir la absorción (32, 35, 40).

La absorción de Mg es dañada por el K, Ca, grasa, fosfato, sulfato y citrato, al igual que por algunos productos de fermentación como; NH<sub>3</sub>, ácidos grasos volátiles, ácido láctico, Coz y cadenas largas de Ácidos grasos (41).

#### METABOLISMO

La cantidad de Mg endógeno reciclado al rumen por medio de la saliva es relativamente pequeña, la saliva contiene únicamente de 8-10 mg/l (44). Los niveles en sangre raramente exceden un umbral superior a 2.5-3.0 mg/dl. Quizá este umbral refleja la capacidad para la reabsorción de Mg. El Mg es perdido endógenamente por vía de la bilis, jugo pancreático intestinal y leche (29).

Los niveles de Mg en leche son de alrededor de 128 mg/kg y esto expone a altas incidencias de tetania del pasto en vacas en lactación. El Mg está presente en el sudor y durante el tiempo caliente está pérdida representa aproximadamente el 25% de la pérdida total diaria de Mg (4, 17).

#### DEFICIENCIAS

Los signos de deficiencia de Mg incluyen; contracción y tembor muscular, ataxia, vértigo, nistagmus, agotamiento muscular y debilidad, excitabilidad, calcificación de tejidos blandos, hiperemia, convulsiones, taquicardia, apatía, latidos ventriculares prematuros, taquicardia ventricular, fibrilación, coma y muerte (25, 34).

El agotamiento de Mg en rumiantes generalmente ocurre en becerros lactantes, sin embargo el Mg también está involucrado en la etiología de la tetania del pasto (4, 14).

**TOXICIDAD**

El Mg es relativamente atóxico, excesos en el consumo de Mg incrementa la concentración de este en el plasma, pero causa un incremento en las concentraciones urinarias de Mg. La diarrea es el resultado de altos consumos de Mg con la intensidad estrechamente relacionada a los niveles de Mg en la dieta (11).

La pobre palatibilidad de muchas fuentes de Mg limitan el consumo tóxico de Mg por parte del ganado (14, 22).

## FOSFORO

## FUENTES DE OBTENCION

Después del Na, la deficiencia más común para los rumiantes en pastoreo es la del fósforo, en particular en regiones áridas y tropicales, donde está ampliamente difundido en pasturas y forrajes difíciles de digerir y que tienen niveles bajos de fósforo. El contenido de P en las plantas puede ser de 0.3% (M S) en principios de primavera, pero puede disminuir con la madurez (26).

Las deficiencias de P prevalecen en el ganado que permanece con forrajes secos hasta la etapa adulta. Muchos granos y suplementos de proteína natural son buenas fuentes de fósforo. El fosfato dicalcico es el suplemento de P de mayor uso, el fosfato desfluorinado es la segunda mayor fuente inorgánica de P., La harina de hueso es usada ahora como fuente menor de P, constituyendo menos del 1% de las fuentes de suplementación en las raciones (22).

## ABSORCION

El fósforo es absorbido en la forma de ortofosfato. Piro y metafosfatos son biológicamente menos disponibles para los rumiantes que las formas orto de fósforo inorgánico. El excesivo calor convierte a las formas ortofosfato en piro y metafosfatos. Las fuentes hidratadas de fosfato son biológicamente más disponibles que las fuentes anhídridos del mismo tipo, y el valor biológico del fosfato es reducido por el manejo fuera del agua en la hidratación (15)

La mayoría de las fuentes solubles en agua generalmente tienen alto valor biológico. Los contaminantes de aluminio reducen el valor biológico del fosfato. Fosfato dicalcico, polifosfato de amonio, harina de hueso y fosfato desfluorinado tienen buena disponibilidad biológica, seguidos por la roca fosfórica baja en fluor y fosfato de roca suave (39).

La digestión del fósforo en la alimentación, difiere en rumiantes y no rumiantes. Primero el fósforo fitín, el cual se encuentra mucho en las plantas es altamente hidrolizado en el rumen (32).

Los efectos detrimentales del fitato en la absorción del Ca, Zn y de otros elementos minerales son mucho menos en rumiantes debido a la degradación del fitato. Secundariamente, cantidades significantes de fósforo son libradas de los microbios en el tracto intestinal por la alta actividad de la RNAasa y DNAasa en rumiantes. Los ácidos nucleicos incluyen 10% de fósforo. En efecto hay una buena correlación entre la incorporación de P dentro del material microbiano y la formación de AGV (32). La absorción del fósforo en becerros jóvenes es alrededor del 90% y del 55% en vacas. El fosfato es probablemente transportado a través del intestino delgado por los mecanismos de transporte activo y pasivo. La absorción del fosfato es incrementada por la vitamina D<sub>3</sub>, la cual también puede cambiar la permeabilidad de la membrana, modificar la configuración de un transportador de fosfato o estimular la producción de las bombas. La actividad de la fosfatasa alcalina podría funcionar como un mediador en cualquiera de estos papeles y la absorción de P es proporcional a la actividad de la fosfatasa alcalina en muchas especies (8).

#### METABOLISMO

Los niveles de fósforo inorgánico en el plasma no están bajo cerrado control homeostático, de este modo, muchos factores influirán en los niveles de P inorgánico en el plasma (8, 39).

Los niveles de alimentación de Ca, P, Mg y vitamina D<sub>3</sub> afectan los niveles plasmáticos de P inorgánico. Similarmenre factores tales como la edad, temporada de nacimiento, estación del año, estado de la lactación y preñez influyen los niveles de P inorgánico en el plasma (22)

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

En general, el P inorgánico en el plasma tiende a reflejar el consumo de fósforo en la alimentación con niveles menores de 4mg/dl, indicando posibles deficiencias. El P inorgánico es más alto en becerros (6-8 mg/dl) y declina con la edad en el ganado (4.5-6 mg/dl) hasta la madurez a los 5-6 años de edad (30). Los niveles de P inorgánico en el plasma, disminuyen dramáticamente a la hora del parto y también declinan durante el principio de la paresia de la parturienta (8, 10).

La severidad de la paresia es relacionada a la magnitud de la caída de los niveles de Ca y fósforo en el plasma. El consumo de P en el alimento incrementa rápidamente el P inorgánico en el plasma, además el ejercicio causará un incremento (14).

La concentración de P inorgánico en la leche (75 mg/100 ml) es alrededor de 11 veces la concentración plasmática, pues la secreción de fosfato del plasma a la leche es un proceso activo, el fósforo inorgánico de la leche no refleja una baja de fósforo sanguíneo o bajo consumo de P (22).

El sistema de transporte activo para el fósforo en la glándula mamaria, probablemente opera en la membrana basal, el P inorgánico puede utilizar el sistema de co-transporte de fosfato de sodio para entrar a la célula alveolar .

El movimiento del P a través de la célula alveolar sigue realizando un gradiente de concentración por disminución del fósforo en la presión osmótica de la leche (22,30).

Los rumiantes reciclan fósforo a través de la saliva, esto puede servir para dos propósitos; primero, la secreción de la saliva suplementa al rumen microbios con una fuente adicional de P (58g en vacas adultas), y en segunda la secreción de la saliva bovina contiene alrededor de 100mg P/dl, este nivel es aproximadamente 16 veces el nivel de P en el plasma.

Aparentemente la secreción de la saliva es estimulada por la hormona paratoidea (32).

La disponibilidad del P endógeno del hueso varía de acuerdo al tipo de este, la mayoría del P es incorporado dentro del hueso denso como cristales de hidroxapatita los cuales son pobremente disponibles. Se cree que algun fósforo es adherido con Ca y muchos otros minerales a la superficie del hueso y puede ser liberado rápidamente (8,32).

La hormona paratoidea y la vitamina D<sub>3</sub> son requeridos para maximizar la absorción del P al hueso, los tejidos suaves también son reservas de fósforo. Los flúidos intracelulares contienen cerca de 75 mEq P/l, el ejercicio extenuoso incrementa rápidamente el P inorgánico en el plasma (35).

#### DEFICIENCIAS

La corrección de la deficiencia de P se hace más difícil debido, a una falta de sabor específico del P para el animal y el alto costo de los suplementos de fósforo. Los signos de deficiencia de P no son específicos y a menudo son confundidos con bajos consumos de energía. Problemas asociados con deficiencia de P en ruminantes incluye reducción en el consumo de alimento, pica, pérdida de peso, reducción en los índices de concepción, disminución en la producción de leche, mal aspecto, raquitismo, osteomalasia, laminitis y fracturas de huesos ocurren cuando la desmineralización del hueso es debida a una deficiencia de P por un largo periodo de tiempo (22).

En muchas ocasiones en deficiencia de P las vacas no pueden concebir por un par de años (28). Recientemente se ha encontrado una fertilidad del 86% en vaquillas alimentadas con niveles de P recomendados por la NRC (35).

El fósforo es requerido por la bacteria para la digestión de la celulosa, sin embargo niveles de fósforo requeridos para la

digestión máxima de la celulosa, aparecen significativamente menores que los niveles requeridos para mantener las reservas corporales de P en el adulto (22). Duran y Kawashima estiman que los niveles requeridos por el rumen de fósforo son de 3.7-4 g/kg de materia orgánica digestible (15).

#### TOXICIDAD

Mientras que los rumiantes son bastante tolerantes a altas relaciones de Ca-P, no aceptan proporciones de unidad o menos. Para las raciones de 1-1.1 o menos, ocurren a menudo problemas metabólicos. Exceso de P causa cálculo renal (34). El ganado lechero en producción es más tolerante a el consumo de raciones altas en fósforo que el ganado de engorda. Posiblemente debido a una alta alimentación y por lo tanto a grandes consumos de Ca Niveles de alimentación de 0.55 de P no tienen efectos detrimentales en la producción de leche en en el ganado lechero sin embargo puede reducir los rangos de ganancia en novillos del lote de engorda (14).

## POTASIO

## FUENTES DE OBTENCION

Las deficiencias de potasio ocurren en rumiantes, aunque solo bajo condiciones específicas, grandes cantidades de concentrado junto con forraje de baja calidad en ganado lechero alimentado con grandes cantidades de concentrado y ensilaje de maíz o forrajes con fuentes de pobre calidad, son las causas más comunes donde encontramos deficiencias de potasio (8).

El nivel de potasio en los piensos es extremadamente variable y altamente influenciado por el manejo de forrajes, temporada y tipo de tierra. Generalmente, los granos tienen menos de 0.5% de potasio, melazas 4%, ensilaje de maíz 0.5-3%, pastos 0.2-0.4% y forrajes leguminosos 0.2-5% . El doble sulfato de K y Mg contienen 18% de K, generalmente el  $K_2SO_4$  y el KCl contienen 41 y 50% respectivamente (5).

## ABSORCION

El potasio en los piensos está supuesto a ser completamente disponible para los rumiantes con una absorción casi total en todos los alimentos (30).

Analicamente el 99% de el potasio en los forrajes aparece en la fracción soluble de la célula, lo cual indica una biodisponibilidad cercana al total (22).

Algunas diferencias reportadas con suplementación de K pueden ser debidas a efectos asociados con Na o Cl (30).

## METABOLISMO

La mayoría del potasio en el organismo es localizado intracelularmente, los niveles normales séricos de potasio son de 3.5-5.5 mEq/l e intracelularmente los niveles son de 159 mEq/l. El K total del cuerpo está cercanamente relacionada a la masa corporal de los animales y puede ser usada para estimar su

composición en el cuerpo (5).

La mayor parte del potasio endógeno es perdido por vía de la orina y la excreción es promovida por la aldosterona. la insulina causa una entrada celular de K y una reducción del mismo en el suero. Así mismo, el incremento del potasio sérico causará una liberación de insulina (7). Las concentraciones de K en el plasma son disminuidas en vacas en el parto tardío y en el comienzo del posparto (22).

El potasio es cambiado por hidrógeno o reabsorbido dentro del túbulo renal. El efecto de grandes consumos de potasio es un incremento del K plasmático (este es un efecto inmediato), así como también de los niveles en plasma del Na, frecuencia respiratoria, en las micciones, disminución del volumen plasmático y del pH (15).

#### DEFICIENCIAS

El agotamiento del K puede ocurrir debido a delgadez de la masa corporal (pseudopérdida de K). Un verdadero agotamiento de K ocurre cuando la pérdida de la condición corporal es excesiva. otras causas de pérdida de K incluye sudoración, pérdidas gastrointestinales debidas a vomito, diarrea, enfermedades inflamatorias del intestino delgado o excesiva secreción de aldosterona (10).

Una deficiencia de K causa reducción en el consumo de alimento, pelo aspero, pica y acidosis celular debido al reemplazamiento de los iones K por iones de hidrógeno en la célula. Reducciones en el consumo de alimento, producción de leche y potasio plasmático ocurren dentro de algunos días de alimentación con una dieta deficiente en potasio (6).

Los cambios en la sangre incluyen; reducción del K plasmático y elevados valores de hematocrito. La disminución

del K causa tetania , calambres, espasmos musculares, dolor muscular, fatiga, atrofia muscular, pica, ataxia y muerte (30).

#### TOXICIDAD

Grandes consumos de K son asociados con tetania del pasto y puede contribuir a el edema de la ubre. Altos consumos de K reducen la absorción de Mg. El efecto del potasio en el edema de la ubre es menos claro, hay reportes de campo sobre el edema de la ubre persistente en vacas consumiendo altas cantidades de K, este edema puede ocurrir a mitad o al final de la gestación asi como también a principio de la lactación. Observaciones de campo de una asociación de K y edema de la ubre no han sido confirmados por pruebas de investigación (32).

## SODIO

## FUENTES DE OBTENCION

El sodio es el mineral más comunmente deficiente cuando los rumiantes no reciben suplementación mineral. Los forrajes y los granos generalmente contienen niveles de Na abajo de los requerimientos normales para rumiantes, la mayoría de los forrajes contienen menos de 0.1% y muchos granos menos de 0.05% de Na. El contenido de sodio en los forrajes puede ser incrementado por la fertilización de tierras, pero es preferible la suplementación directa de Na en la dieta. La fertilización con potasio reduce los niveles de sodio en los forrajes (30).

Todas las fuentes de suplementación de sodio tienen buena biodisponibilidad. los animales tienen un gusto específico por el Na (12), esto en contraste con otros minerales, a causa de este gusto específico hay una suplementación por sí mismo de fuentes de sodio, y hace que el consumo de otros minerales sea regulado por la mezcla de NaCl con otros minerales y determinen los niveles de estos en la dieta por consumo de Na. Hay variaciones individuales considerables en cada animal en cuanto a el consumo de Na cuando este se da a libre acceso, también existe una variación causada por el tipo de Na suplementado, ya sea NaCl o NaHCO<sub>3</sub> a granel o en piedra. La sal es mezclada del 10 al 20% para limitar por sí sólo el consumo de proteína o energía. El nivel de sal necesario depende sobre el consumo deseado, tamaño del animal, etc. (22, 27).

## ABSORCION

La transferencia de Na y agua ocurre a través de la pared del rumen en respuesta a la presión osmótica del fluido ruminal. El Na tiene una secreción neta en el intestino delgado y es casi reabsorbido completamente en el colon de los rumiantes (8).

El Na tomado del intestino delgado es influenciado por la presencia de azúcar y aminoácidos. El transporte activo del Na en el intestino delgado es enlazado a la absorción de iones. La absorción de Na en el colon es predominantemente electrogénica. El Na entra en la célula con un gradiente eléctrico y cruza la membrana en la sangre en contra de los gradientes químicos y eléctricos. El ingreso de Na en las células de la mucosa intestinal en un proceso saturable pero puede existir un proceso no saturable, así como un mecanismo de transporte para el sodio, o el Na puede simplemente difundirse a través de canales hidrofílicos altamente selectivos (44).

#### METABOLISMO

Las pérdidas endógenas de Na ocurren a través de la saliva, secreciones intestinales, sudor y orina. Normalmente una alta cantidad de Na es secretada dentro de la saliva y ayuda a contribuir a el consumo de Na total del animal (2).

Quando el sodio es limitado en la dieta, la secreción salival del K aumenta una respuesta para la reducción de la secreción de Na. La relación K-Na puede ser usada como una prueba para el consumo adecuado de sodio (34).

Quando la suplementación de sodio es reducida hay alguna disminución en la concentración de Na sérico, pero la correlación no es muy buena. El principal, órgano de la excreción de Na es el riñón, cuando el consumo de Na es limitado, el riñón reduce efectivamente la excreción de Na en la orina, la conservación del sodio por parte del riñón es una respuesta a la secreción de aldosterona, rangos de secreción arriba de lo normal son comunes en la preñez, el sodio es el mayor catión dentro del fluido extracelular, el sodio juega el papel más importante en la transmisión y contracción nerviosa. Alrededor de 40% del Na se localiza en el hueso, incrementa con la madurez y contribuye a su endurecimiento, esto en contraste

con el K el cual disminuye con la edad (30).

#### DEFICIENCIAS

Las deficiencias del sodio en los rumiantes son más comunes durante la lactación o en crecimiento rápido, en medio ambiente tropical o semiárido, y en rumiantes mantenidos en pastoreo de suelos que han sido altamente fertilizados con potasio (26). La baja suplementación de Na incrementa las necesidades del animal y provoca pica, en una deficiencia de Na se reduce el crecimiento de los animales, producción de leche, consumo de alimento y condición corporal. Cuando la deficiencia progresa hay pérdida de peso, incoordinación, temblor, debilidad, arritmia cardíaca y muerte (30). La diarrea causa una secreción total de Na dentro del lumen del intestino delgado con alta pérdida de este elemento en las heces, la diarrea es acompañada por una pérdida menor de Na en la orina, el Na perdido del organismo también ocurre por deshidratación (27).

La medida de los niveles alimenticios de Na es la mejor medida para detectar una deficiencia de Na, cuando la alimentación con Na no puede ser estimada, los niveles en saliva y plasma darán una indicación del estado de Na presente en el organismo (8).

#### TOXICIDAD

Niveles de sal hasta del 5% en la dieta generalmente no causa problemas. Niveles de 4% incrementarán la corriente de fluidos a través de retículo-rumen (34). Algunos ganaderos restringen el consumo de sodio antes del parto en vaquillas de primera lactancia, esto en creencia de que el consumo de sodio contribuye al edema preparto de la ubre, el consumo excesivo de sal causa severa anoxia, anhidremia, pérdida de peso y colapso en el ganado (35).

## AZUFRE

## FUENTES DE OBTENCION

Alimentos de considerable contenido proteico son buenas fuentes de azufre. Los forrajes generalmente contienen 0.1-0.3 % de azufre excepto por el ensilaje de maiz el cual a menudo contiene 0.1% de azufre, existen diferencias en la disponibilidad biológica de las diferentes fuentes de azufre inorgánicas. La biodisponibilidad del azufre varía en forrajes de cañuela teniendo una biodisponibilidad más baja que el ensilaje de pasto (35).

La presencia de este elemento a nivel corporal es casi totalmente en forma de compuestos orgánicos, especialmente los aminoácidos metionina y cistina, así como la glutatona y la insulina. el azufre inorgánico está presente principalmente como condrotín sulfato, que es un constituyente de los cartilagos. En el caso de los rumiantes, el azufre puede provenir de fuentes inorgánicas, principalmente como sulfatos. El azufre elemental es menos soluble en el rumen y por lo tanto menos asimilado (34).

## ABSORCION

Los rumiantes pueden utilizar efectivamente la suplementación de sulfato por síntesis de aminoácidos, debido a que el sulfato es reducido a sulfuro en el rumen por las bacterias (58), la reducción de sulfato a sulfuro ocurre en un rango máximo de pH de 6.5 (8). Las bacterias (más no los protozoarios) del rumen incorporan el azufre a partir de sulfatos a la proteína microbiana en forma de cisteína y metionina, para posteriormente ser utilizadas por el animal para la síntesis de sus proteínas séricas y lácticas (22).

## METABOLISMO

El metabolismo del azufre no ha sido claramente delineado. Generalmente, el azufre existe en aminoácidos que están

presentes al menos en cantidades que reúnen las necesidades de alimentación (5). Los sulfuros acumulados como  $H_2S$ , se difunden a través de la pared ruminal al torrente sanguíneo, y posteriormente al hígado (35).

#### DEFICIENCIAS

En una deficiencia de azufre hay; emaciación del animal, apetito pobre y embotamiento, si ésta no es corregida seguirá a una extrema emaciación y muerte (23). Una deficiencia de azufre puede ser diagnosticada por la cantidad de azufre en la dieta o sulfato en el suero sanguíneo. Otros cambios sanguíneos reportados incluyen incremento de la alanina, cisteína, aminoácidos no esenciales, lactato, disminución de la glicina y tirosina (18).

Cuando el azufre en la dieta ocurren cambios en la fermentación microbiana, la utilización de NNP es dañada por niveles bajos de azufre en el fluido ruminal y el crecimiento microbiano es retardado. Hay una reducción apreciable en la digestión de la celulosa, posiblemente debido a una reducción en el crecimiento bacteriano (8).

#### TOXICIDAD

Aumentos en el consumo de S en rumiantes es a menudo acompañado por un incremento del azufre en la dieta más alto de los requerimientos normales, exceso de S también pueden acumular grandes cantidades de  $H_2S$  en el rumen, esto puede inhibir la motilidad, cuando esto ocurre se reduce la población microbiana del rumen. La toxicidad debida a S puede ser del uso de  $(NH_4)_2SO_4$ , cuando se usa como fuente de hidrógeno,  $CaSO_4$  como fuente de Ca o por consumir agua con altas cantidades de S (más de 100 mg  $SO_4/l$ ), otros signos de toxicidad incluyen anorexia, pérdida de peso, posiblemente enfisema pulmonar y necrosis hepática (34).

## PROCEDIMIENTOS

Se llevó a cabo la recopilación bibliográfica hasta el año de 1990 en relación a los elementos minerales denominados macrominerales, los cuales se enlistan a continuación: calcio (Ca), cloro (Cl), fósforo (P), potasio (K), sodio (Na), magnesio (Mg) y azufre (S).

Dicha investigación se realizó en las bibliotecas y hemerotecas de las escuelas y facultades que se relacionan con las ciencias pecuarias.

La organización de los artículos obtenidos se llevó de acuerdo a la información encontrada para cada elemento y se determinó que sus principales características a estudiar fueran las siguientes: fuentes de obtención, absorción, metabolismo, deficiencias, toxicidad, requerimientos y principales funciones a nivel orgánico.

También se organizó la información obtenida de los diferentes autores con respecto a sus puntos de vista sobre las posibles ventajas y desventajas de los diferentes tipos de suplementación de minerales, así como las condiciones más apropiadas de acuerdo a las características de cada región geográfica, tipo de alimentación y de producción, además de la interacción existente entre los macrominerales, sus posibles causas y correcciones.

## ANALISIS DE LA INFORMACION

Analizada la información se observó lo siguiente:

- 1.- La mayor parte de la información está enfocada hacia los elementos calcio y fósforo principalmente, y en menor grado a el cloro, magnesio, sodio, potasio y azufre.
- 2.- La mejor prueba para determinar deficiencias de minerales es por análisis de muestras de alimento y sangre, además de que existe la prueba de análisis de cenizas de tejidos de animales (estas pruebas consisten en volumetría, espectrofotometría y absorción atómica).
- 3.- Otro de los puntos interesantes, es la investigación que se lleva a cabo en cuanto a la palatabilidad de los minerales, debido a que la mayoría de las fuentes de suplementación mineral son poco palatables a excepción del sodio, el cual es suministrado en forma de NaCl y es de gran aceptación para el ganado. Por lo que otros minerales son suministrados con el NaCl.
- 4.- A medida que se han ido perfeccionando las técnicas de análisis para determinación de minerales, se han observado interacciones cada vez más importantes entre los minerales.
- 5.- Investigaciones en base a las funciones de los minerales en el organismo, han dado como resultado que podría incrementarse el número de elementos minerales esenciales.
- 6.- El tipo de suelo y región geográfica influyen grandemente en la correcta suplementación de minerales.

CUADRO 1: PRINCIPALES FUNCIONES DE LOS MACROMINERALES A NIVEL ORGANICO

NOMBRE	FUNCION
Calcio (Ca)	Osteogénesis, reduce la irritabilidad nerviosa y la permeabilidad de las membranas celulares, actividad ATPasa, necesario para la osmoregulación y coagulación sanguínea.
Cloro (Cl)	Mantenimiento de las concentraciones osmóticas apropiadas, transporte del dióxido de carbono, solubilidad de proteínas, activador de la amilasa de la saliva.
Magnesio (Mg)	Activador de enzimas quinasas, mutasa, enolasa ATPasa, colinesterasas, alcanfosfotasas, isocitrodeshidrogenasa y arginasas, permite reducir la irritabilidad tisular.
Fósforo (P)	Osteogénesis, necesario para el metabolismo de las grasas e hidratos de carbono (componente de el ATP, DNP+, glucosa-1- fosfato, fosfolípidos y ácidos nucleicos).
Sodio (Na)	Balance electrolítico y del agua (regulador de la neutralidad), intercambio con iones potasio durante la actividad nerviosa y muscular aumenta la irritabilidad tisular, regulación de presión osmótica
Potasio (K)	Balance electrolítico y del agua, concentración osmótica intracelular, activa sistemas enzimáticos tales como el pirúvico quinasa y los que intervienen en la fosforilización de la creatina, aumenta el latido cardíaco y la irritabilidad tisular.
Azufre (S)	Componente de la cistina, cisteína, metionina biotina, sulfolípidos, polisacáridos sulfonados y de otros muchos metabolitos.

Adaptado de I. A. DYER. (21)

CUADRO 2: REQUERIMIENTOS DE MINERALES PARA BOVINOS EXPRESADOS EN PORCENTAJE DE M.S.

GANADO DE CARNE	Ca	Cl	Mg	P	K	S
Crecimiento	—	.04%	.05-.25%	—	.06-.10%	.08-.15%
Vaquillas Gestantes	.23-.33%	.15%	.05-.25%	.10-.22%	.06-.10%	.08-.15%
Vacas en lactación	.27-.58%	.26%	.05-.25%	.23-.25%	.06-.10%	.08-.15%
Vacas Secas	.25-.27%	.15%	.05-.25%	.20-.22%	.06-.10%	.08-.15%
Finalización	—	—	.05-.25%	—	.06-.10%	.08-.15%

Adaptado de NRC (35).

## LITERATURA CITADA

- 1.- Alanís, R.A.: Constituyentes Minerales Séricos en bovinos del Estado de Morelos. Tesis de Licenciatura. Fac. de Med. Vet. y Zoot. Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., 1986.
- 2.- A.R.C.: The Nutrient Requirements of Ruminants Livestock. Agr. Res. Council, London, 1980.
- 3.- Armbruster, S.: Nutrition and Management of Newly-arrived Cattle. 23th Annual Conference, Indianapolis Indiana E.U.A. 1990, 110-114 A.A.B.P., 1990.
- 4.- Balbuena, O.: Luisiani, C.A.: Mc Dowell L.R.: Estudios de la Nutrición Mineral de los Bovinos para Carne del este de las Provincias de Chaco y Formosa (P y Ca). Veterinaria Argentina, 6: 241-253, 1990.
- 5.- Balbuena, O.: Luisiani, C.A.: Mc Dowell L.R.: Estudios de la Nutrición Mineral de los Bovinos para Carne del Este de las Provincias de Chaco y Formosa (Mg, K y Na). Veterinaria Argentina, 6: 298-308, 1989.
- 6.- Beede, D.K.: Feed Nutrition Of Livestock. Sixth Annual International Mineral Conference, St. Petersburg Beach, Florida, E.E.U.U. 1983, 95-120, 1983.
- 7.- Chávez, J.E.: Evaluación del contenido mineral del alimento de bovinos en desarrollo bajo sistema intensivo y su relación con el contenido mineral en suero y pelo de los animales. Tesis de Licenciatura. Fac. de Med. Vet. y Zoot. Universidad Nacional Autónoma de México, D.F. 1990.
- 8.- Church, D.C.: Smith, J.P.: Digestive Physiology and

- Nutrition of Ruminants. 1st ed. O & D Books Inc., Oregon 1971.
9. - Coppock, C.E.; Fedman, M.J. Feedstuffs. J. Anim. Sc.:50 32-82, (1978).
  10. -Crampton, E.W., Harris, L.E.: Nutrición Animal Aplicada, 2a ed. Acribia, Zaragoza, 1979.
  11. -Blevins, D.; Reinbott T.: Phosphorus is key to Grass Tetany. Newsletter AABP 7-9, (1990).
  12. -Denton, D.: The Huger for Salt, J. Dairy Sc.:26-34, (1982).
  13. -Dew, M.I.; Stoddard, G.E. & Bateman, G.Q. : Phosphorus Supplements Made More Palatable With Salt. Utha Farm & Home Sc: 15-36, (1964).
  14. -Díaz, R.A.: Concentraciones de los elementos minerales calcio, fósforo, magnesio, cobre, hierro y zinc en muestras de suero, pelo de capa y pelo de cola en bovinos de raza holstein, cebú y pardo suizo localizados en las zonas del Edo de Méx. y Hueytamalco, Puebla, Rev. Vet. México, 11: 224-235, (1981).
  15. -Durand, M. and Kawashima, R.: Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants, Y. Ruckebusch and P. Thivend, Connecticut 1980
  16. -Ellis, G.L.; Mc Dowell, L.R.; Conrad, J.L.: evaluation of Mineral Supplements for Ruminants. University of Florida, 172-182, (1978).
  17. -Fontenot, G.P.: Magnesium in the Environment. J.B. Jones.:M.C. Blout, Georgia, (1972).

- 18.-García, I.: Valores séricos del calcio, fósforo, y magnesio de bovinos cebú localizados en el municipio de Balancán, Tabasco. *Rev. Vet. Méx.*, 1: 34-35, (1981).
- 19.-García, B.: Estudio sobre las deficiencias nutricionales de los macroelementos calcio, fósforo y magnesio en bovinos de la zona norte del estado de Chiapas y sus correlaciones de estos minerales en pelo de capa, de cola y en suero. *Rev. Vet. Méx.* 1 47-48, (1980).
- 20.-Hafez, S.E.; Dyer, J.A.: *Desarrollo y Nutrición Animal*, Acríbia, Zaragoza, 1972.
- 21.-Jarrige, R.: *Alimentación de los Rumiantes*, I.N.R.A., Madrid, 1981.
- 22.-Kincaid, L.R.: *The Ruminant Animal Digestive Physiology and Nutrition*, Church, D.C., New Jersey, 1986.
- 23.-Laredo, M.A.; González, H.F.; Acosta, O.: Los minerales en el comportamiento productivo y reproductivo del ganado de carne para la zona del caribe. *Universidad de Florida*, 3: 947-958, (1988).
- 24.-Laredo, M.A.: Programa de nutrición animal, informe de progreso 1980. *Instituto Colombiano Agropecuario*, (1980).
- 25.-Martens, S.H.: Magnesium Metabolism and Hipomagnesium. in: *Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants*. *Brit. J. Nutr.* 49: 153-175 (1983).
- 26.-Mc Dowell, L.R.; Conrad, J.H.; Loosli, K.J.: *Minerals for Grazing Ruminants in Tropical Regions*, University of Florida, (1983).

- 27.-Meynard, A.L.: Loosli, K.J.: Hintz, F.H.: Nutrición Animal. 4th ed. Mc Graw Hill. México, 1985.
- 28.-Milles, W.H. & Mc Dowell, L.R.: Deficiencia de minerales en los pastos Colombianos, Rev. Mundial de Zoot., 46: 2-10 (1983).
- 29.-Miller, W.J.: Briton, W.M.: Ansari, M.S.: Magnesium in the Enviroment. J.B. Jones, S.R. Wikilson. Georgia, 1972.
- 30.-Miller, W.J.: Dairy Cattle Feeding and Nutrition, Academy Press, 227-242, (1979).
- 31.-Muller, L.D.:Shafeer, L.U.: Cafeteria-style free choice mineral feeder for lactating dairy cows, J. Dairy Sc. 60: 1582-1587, (1977).
- 32.-Nordin, B.C.: Calcium, Phosphate, and Magnesium metabolism. Churchill Livinston, New York, 1978.
- 33.-N.R.C.: Nutrient Requeriments of Dairy Cattle, 5th ed. Natl. Acad. Sci., Washigton, 1978.
- 34.-N.R.C.: Mineral Tolerance of Domestic Animals. Natl. Acad. Sci., Washington, 1980.
- 35.-N.R.C.: Nutrient Requeriments of Beef Cattle, 6th ed. Natl. Acad. Press, Washington, 1984.
- 36.-O'Dell, B.L.: Mineral metabolism. N.Y. Acad. Sci., 70:199-210, (1972).
- 37.-Olarte, E.H.:Beneficos de la suplementación mineral en la ganadería de carne. Federación Antioqueña de Ganaderos. Boletín Técnico (1984).

- 38.-Pamp, D.E.: Goodrich, R.D. & Meiske, R.C.: A Review of the practice of feeding mineral free choice. *Wld. Rev. Anim. Prod.*, 21: 13-18, (1975).
- 39.-Preston, R.L.: Phosphorus in Ruminant Nutrition. *Natl. Feed Ingredients Association, Iowa, 1977.*
- 40.-Shimada, D.A.: *Fundamentos de nutrición animal comparativa*, 3a ed. Sistema de publicación continua de producción animal en México A.C., México, 1987.
- 41.-Thomas, J.W.: Magnesium in Animal Nutrition in Minerals, The often Neglected Nutrients. *Proc. Natl. Feed Ingredients Assoc.*, Chicago, 1983.
- 42.-Trujillo, F.V.: *Métodos matemáticos en la nutrición animal*, 2a ed. Mc Graw Hill, México, 1987.
- 43.-Underwood, E.J.: *The Mineral Nutrition of Livestock*, Commonwealth Agricultural Bureaux, (1981).
- 44.-Yano, F.: Sekiya, M.: Kawashima, R. and Kumada K.: Minerals in Nutrition, *Jap. J. Zootech. Sci.* 49: 680-697, (1987).