

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**ESTUDIOS EN MINERALES PARA PEQUEÑOS RUMIANTES
Y SU AMBIENTE EN EL ESTADO DE TLAXCALA, MÉXICO**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA:

JUAN CARLOS MUÑOZ GONZÁLEZ



Diciembre de 2005
Chapingo, Estado de México

**ESTUDIOS EN MINERALES PARA PEQUEÑOS RUMIANTES
Y SU AMBIENTE EN EL ESTADO DE TLAXCALA, MÉXICO**

Tesis realizada por Juan Carlos Muñoz González, bajo la dirección del Comité Asesor indicado,
aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

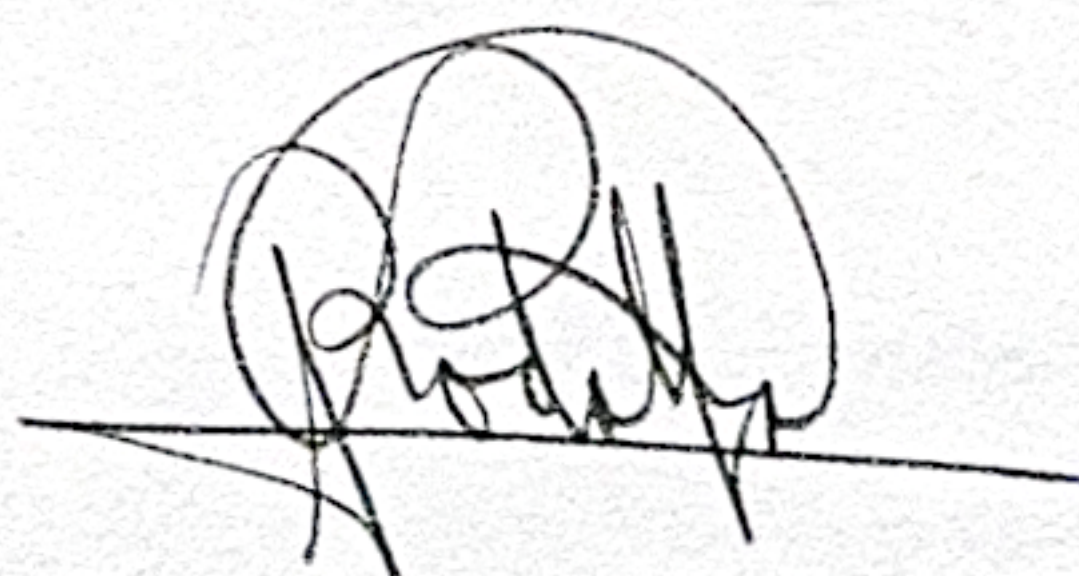
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR:



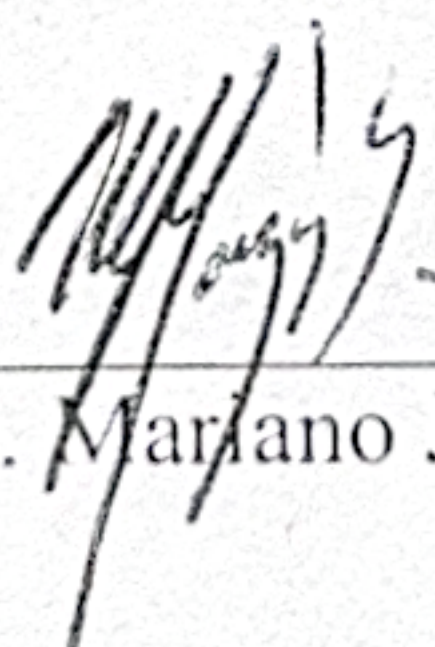
Ph. D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR:



Ph. D. Rodolfo Ramírez Valverde

ASESOR:



Ph. D. Mariano Jesús González Alcorta

A. T3284

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por la oportunidad y el apoyo brindado para la terminación de mis estudios de maestría, y de esa manera lograr uno de mis más deseados objetivos, por lo que estaré eternamente agradecido.

A mis asesores: Ph. D. Maximino Huerta Bravo, Ph. D. Rodolfo Ramírez Valverde y Ph. D. Mariano J. González Alcorta por el apoyo brindado durante la realización de la tesis sin el cual la terminación de este trabajo no hubiera sido posible.

Al Ph. D. José Guadalupe García Muñiz por su apoyo en los análisis iniciales de mis datos que fueron de mucha importancia para el desarrollo de la tesis.

A Indalecio Flores Santamaría por su amistad y apoyo incondicional en la fase de laboratorio para que esta tesis se terminara satisfactoriamente.

Al Sr. Rafael Sanluis Vázquez, propietario de la explotación caprina, por brindarnos el apoyo y colaboración, ya que sin ello la elaboración de este trabajo no hubiera sido posible.

A todos mis compañeros y amigos del Posgrado en Producción Animal por su amistad durante mi estancia, especialmente a Germán y Noé por su amistad, así como su apoyo incondicional durante la fase de campo para la realización de mi trabajo de tesis.

A mi novia Fany, por todo su apoyo, tiempo y cariño compartido conmigo durante mi estancia y elaboración de la tesis.

DEDICATORIA

A toda mi familia, esperando ser motivo de satisfacción y alegría para aquellos a quienes a pesar de la distancia han compartido conmigo de manera muy cercana las experiencias vividas de mi estancia en la UACH.

A mis padres Gabriel Muñoz y Aura González, esperando ser digno de todos los sacrificios y noches de desvelo ofrecidos, los cuales espero les serán recompensados.

A mis abuelos Ángel y Juanita, por sus sabios consejos los que me han permitido superar las situaciones más adversas, esperando tenerlos por un mucho tiempo conmigo.

A mis sobrinas Carla, Iris y Alondra para que en un futuro les sirva como símbolo de motivación, perseverancia y deseos de superación en sus vidas.

Juan Carlos

DATOS BIBLIOGRÁFICOS

Nombre: Juan Carlos Muñoz González

Fecha de nacimiento: 06 de noviembre de 1976

Lugar de nacimiento: Col. Joaquín Miguel Gtz. Mpio. De Villaflores, Chiapas, México

Cartilla de SMN: C-2718768

Licencia de conducir: 05710 EXP.

Cédula profesional: 4213383

Domicilio actual: Calle 22 de febrero S/N Residencia de posgrado, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México

Teléfono: (595) 95 2 16 21 ext. 21621 (Chapingo)
01 (965) 10 1 10 78 (Casa)

E-mail: agronojuan@yahoo.com.mx, agronojuan@hotmail.com

FORMACIÓN ACADÉMICA

Maestría en Ciencias en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, México. En el periodo de agosto del 2003 a agosto del 2005.

Ingeniero Agrónomo en Producción Animal, Universidad Autónoma de Chiapas, Campus V. Cd. De Villaflores, Chiapas, México. En el periodo de 1997-2001.

DESEMPEÑO LABORAL

Área de producción de alimentos. Empresa avícola y porcina: Grupo Buenaventura, Cd. De Villaflores, Chiapas. De 1996 al 2003.

Coordinador del proyecto "Identificación de especies arbóreas forrajeras en Chiapas". En el periodo enero- diciembre del 2002. Fundación Produce Chiapas A. C. en coordinación con la Universidad Autónoma de Chiapas.

Coordinador del proyecto "Capacitación a Ganaderos Pecuarios Integrantes de GGAVATT'S. En el periodo diciembre-mayo del 2003. Fundación Produce Chiapas A. C. en coordinación con la Universidad Autónoma de Chiapas.

ÍNDICE

Contenido	Página
AGRADECIMIENTOS -----	iv
DEDICATORIA -----	v
DATOS BIBLIOGRÁFICOS -----	vi
LISTA DE CUADROS -----	viii
CAPÍTULO 1 -----	1
INTRODUCCIÓN GENERAL -----	2
CAPÍTULO 2 -----	6
REVISIÓN DE LITERATURA -----	7
1. Aspectos generales de los minerales -----	7
2. Suplementación mineral en ovinos y caprinos -----	14
3. Generalidades de la composición química de la leche de cabras -----	15
4. La suplementación con cobre en los rumiantes -----	15
5. Disponibilidad de los minerales para los rumiantes -----	16
6. Suplementos minerales -----	17
7. Respuesta a la suplementación -----	19
8. Literatura Citada -----	21
CAPÍTULO 3 -----	26
DIAGNÓSTICO MINERAL DE OVINOS EN DIFERENTES ESTADOS FISIOLÓGICOS EN NUEVE RANCHOS DEL ESTADO DE TLAXCALA, MÉXICO -----	27
CAPÍTULO 4 -----	69
COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHE DE CABRAS EN SAN JOSÉ TEACALCO, TLAXCALA -----	70
CAPÍTULO 5 -----	88
ESTADO MINERAL Y SUPLEMENTACIÓN CON ALAMBRE DE ÓXIDO DE COBRE EN CABRAS DE SAN JOSÉ TEACALCO, TLAXCALA -----	89
THE MINERAL STATE AND COPPER OXIDE WIRE SUPPLEMENTS IN GOATS IN SAN JOSÉ TEACALCO, TLAXCALA -----	89

LISTA DE CUADROS

Contenido	Página
Cuadro 1 Algunas metaloenzimas importantes para el ganado. -----	11
Cuadro 2 Fuentes minerales utilizadas en la formulación de suplementos (macrominerales). -----	17
Cuadro 3 Fuentes minerales utilizadas en la formulación de suplementos (microminerales). -----	18
Cuadro 4 Contenido mineral en el agua de nueve ranchos en el estado de Tlaxcala, México. -----	31
Cuadro 5 Contenido mineral en los suelos de nueve ranchos en el estado de Tlaxcala, México. -----	33
Cuadro 6 Efecto del rancho en el contenido mineral en forrajes en el estado de Tlaxcala, México -----	36
Cuadro 7 Contenido mineral en algunos alimentos concentrados de ranchos en el estado de Tlaxcala, México -----	41
Cuadro 8 Contenido mineral en algunos ingredientes utilizados como fuentes de proteína o de energía para la alimentación de ovinos en ranchos del estado de Tlaxcala, México -----	46
Cuadro 9 Concentración mineral en algunas mezclas minerales ofrecidas a ovinos en diferentes estados fisiológicos en ranchos del estado de Tlaxcala -----	48
Cuadro 10 Concentración de microminerales en suero (ppm) de ovinos en el estado de Tlaxcala, México -----	51
Cuadro 11 Concentración de macrominerales en plasma (ppm) de ovinos en el estado de Tlaxcala, México -----	53

... Continuación

Cuadro 12	Composición química de la leche de cabras en San José Teacalco, Tlaxcala, México -----	70
Cuadro 13	Concentración mineral en agua para cabras en un rancho de San José Teacalco, Tlaxcala -----	91
Cuadro 14	Concentración mineral en suelo en un rancho de San José Teacalco, Tlaxcala -----	92
Cuadro 15	Concentración mineral en los alimentos para cabras en un rancho de San José Teacalco, Tlaxcala -----	95
Cuadro 16	Estado mineral inicial (ppm) en suero de cabras de San José Teacalco, Tlaxcala -----	98
Cuadro 17	Medias de mínimos cuadrados en las concentraciones séricas (ppm) de minerales de las cabras suplementadas y no suplementadas de San José Teacalco, Tlaxcala -----	101
Cuadro 18	Medias de mínimos cuadrados para el día de muestreo en las concentraciones séricas (ppm) de minerales en las cabras de San José Teacalco, Tlaxcala -----	104
Cuadro 19	Medias de mínimos cuadrados en la composición química de la leche para las cabras suplementadas y no suplementadas de San José Teacalco, Tlaxcala -----	107
Cuadro 20	Medias de mínimos cuadrados para el día de muestreo en la composición química de la leche de las cabras de San José Teacalco, Tlaxcala -----	109

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

Actualmente, México ofrece condiciones propicias para favorecer el desarrollo de la ovinocultura, como son mercado deficitario, precios atractivos, escasa competencia con Estados Unidos de Norteamérica, reconversión de sistemas de producción agrícola o ganadera de otras especies a la explotación de ovinos, y de regular a excelente productividad en armonía con el entorno ecológico, entre otras.

Lo anterior, ayuda a explicar el interés que últimamente ha despertado la crianza y explotación de esta especie pecuaria en nuestro país, y que probablemente seguirá creciendo a tasas mayores a las de otras actividades del sector agropecuario. Hoy en día, también se visualiza con buenas perspectivas la explotación ovina para lana de alta calidad y producción de leche para su procesamiento, principalmente a quesos.

Sin embargo, el rebaño nacional, según la FAO (2002) es de apenas 6 150 000 cabezas, reportadas en el 2001. El estado de Tlaxcala para el año 2003 tuvo un inventario ganadero de 138, 870 cabezas de ovinos y un volumen de producción alcanzada en el 2003 de 1, 084 toneladas de carne de ovina, ocupando el cuarto lugar nacional (SAGARPA, 2003).

Por lo tanto, es importante considerar algunas alternativas para una producción eficiente y rentable, como lo es la suplementación mineral en los rebaños, en los

cuales, la alimentación se basa en exponerlos a pastoreo diurno de 6 a 12 horas en agostaderos de muy variada vegetación y condiciones, a barbechos y rastrojeras o caminos, arroyos y campos de cultivo. Los animales raramente reciben alimentación complementaria y cuando se hace, se utilizan alimentos de baja calidad nutritiva como el rastrojo de maíz. La suplementación con mezclas minerales en muchos casos es nula, lo que en conjunto provoca desnutrición en los animales y sobrepastoreo de los agostaderos.

Para lo anterior, es de suma importancia realizar un diagnóstico mineral de la explotación para determinar el balance de minerales en la misma. Para ello, se toman muestras de agua, suelo, forraje, ingredientes de la dieta y suero sanguíneo de cada grupo de animales. Los resultados permiten formular la mezcla mineral más propicia para corregir los desbalances de minerales que se puedan observar y será específica para la explotación en cuestión. Cabe resaltar que los minerales cumplen con una función significativa en la actividad productiva y reproductiva del ganado.

Por otro lado, el interés en la producción de cabras lecheras ha crecido rápidamente en los años recientes. En algunos países desarrollados como Estados Unidos y Canadá, la leche de cabra y sus productos han incrementado su popularidad, y son considerados como productos especiales (Park, 1990). La leche de cabras también es usada como sustituto en el consumo de personas que sufren de alergia a la leche de vaca (Park, 1994).

La composición química de la leche es influenciada por muchos factores, como raza, diferencia individual, dieta, estación del año, estado de lactación (Guo, 2003), edad, número de lactancia y mes de muestreo (Clark y Sherbon, 2000). Guo *et al.* (2001) mencionan que los constituyentes mayores de la leche de cabra son altos al inicio de la lactancia, declina rápidamente y permanece bajo por un periodo variable, y se incrementa al final de la lactancia.

El queso es uno de los principales productos derivado de la leche de cabra. Asimismo, la producción de queso depende principalmente de las cantidades de proteína y grasa en la leche. Morand-Fehr *et al.* (1991) mencionan que 75% de la variación en la producción de queso de leche de cabra puede ser explicado por el contenido de proteína, particularmente del contenido de caseína, y que el restante 25% por el contenido de grasa. La caseína es considerada “la proteína del queso” y puede tener un gran impacto sobre la producción del mismo. Por lo anterior, el conocimiento de todos estos componentes es de interés para los fabricantes de queso.

El cobre es uno de los elementos minerales más deficientes en México. Por otro lado, el cobre es una de los minerales que desempeña un papel importante en la nutrición animal, ya que es un elemento esencial requerido por las cabras y otros animales para varias funciones bioquímicas (Davis y Mertz, 1987). Este mineral participa en el transporte de electrones, maduración del colágeno, formación de elastina, síntesis de fosfolípidos y mielina (Jones y Suttle, 1981;

Tanner *et al.*, 1988), formación de la hemoglobina, desarrollo del hueso y pigmentación de la lana y pelo (Crocker *et al.*, 1992).

Adicionalmente, el cobre es componente de varias enzimas, incluyendo citocromo oxidasa, superóxido dismutasa (Jones y Suttle, 1981), ceruloplasmina y tirosinasa (Wikse *et al.*, 1992). La deficiencia de cobre en cabras se ha reportado más frecuentemente que la toxicidad (Meschy, 2000; Howell y Gawthorne, 1987; Mertz, 1987; Solaiman *et al.*, 2001). En primer lugar, las deficiencias de Cu se desarrollan cuando el contenido de Cu en la dieta es menor que el requerimiento del animal. En segundo lugar la deficiencia de Cu también se puede desarrollar si la dieta tiene una cantidad marginal o normal de Cu, pero la absorción y utilización es empeorada por otros minerales (Wikse *et al.*, 1992) tales como el Mo, S y Fe.

Por todo lo anterior, los aspectos que serán tratados en este trabajo se resumen en los siguientes puntos:

- Determinación de minerales de diferentes componentes de nueve explotaciones ovinas en el estado de Tlaxcala, México
- Determinación de la composición química de la leche de cabras a través del tiempo
- Determinación del estado mineral de diferentes componentes y el efecto de la suplementación con alambre de óxido de cobre en suero sanguíneo y leche de cabras

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE LITERATURA

1. Aspectos generales de los minerales

1.1. Importancia

Los elementos minerales existen en las células y tejidos del organismo animal en diversas combinaciones funcionales y químicas, y en concentraciones características dependientes del elemento y tejido. Las concentraciones de los elementos esenciales deben mantenerse dentro de unos límites estrechos para salvaguardar la integridad funcional y estructural de los tejidos, y para mantener inalterado el crecimiento, la salud y la productividad de los animales (Huerta, 1997).

Una ingestión continua de una ración deficiente, desequilibrada o excesiva de un mineral, provoca cambios en la forma o concentración de éste en tejidos y fluidos corporales, hasta alcanzar valores por encima o por debajo de los límites permisibles. En tales circunstancias, pueden desarrollarse lesiones bioquímicas, viéndose adversamente afectadas las funciones fisiológicas y presentándose trastornos estructurales que varían con el elemento, el grado y la duración de la deficiencia dietética (Chesters y Arthur, 1988), la edad, el sexo y la especie del animal afectado (Underwood, 1981).

Los mecanismos homeostáticos responden para retrasar o minimizar la presentación de tales cambios inducidos por la ración. En último extremo, la

prevención final de dichos cambios requiere que el animal reciba una ración apetecible, no tóxica y que contenga los minerales requeridos, así como otros nutrientes, en cantidades adecuadas, proporciones y formas asimilables (Underwood y Suttle, 2003).

Un gran número de animales en muchas partes del mundo consumen raciones que no satisfacen sus necesidades. En consecuencia aparecen desórdenes nutritivos que oscilan entre enfermedades agudas y severas por deficiencia o toxicidad mineral, caracterizada por signos clínicos bien definidos, desde cambios patológicos y alta mortalidad, hasta cambios ligeros y transitorios difíciles de diagnosticar con certeza, y que suelen expresarse en el crecimiento, producción y fertilidad insatisfactoria o poco económica (Underwood y Suttle, 2003).

Por otro lado, el desbalance nutricional debido a minerales puede causar severos problemas reproductivos de origen fisiológico como abortos, crías débiles, anestro, estros silenciosos y retenciones de placenta (Haenlein, 1987).

La suplementación mineral ha provocado mejoras en la producción de leche, la reproducción y en el consumo de alimento (McDowell *et al.*, 1984; Haenlein, 1991).

Las deficiencias o toxicidades ligeras de minerales adquieren gran importancia en la nutrición del ganado, por la difusión y facilidad con que pueden ser

confundidas con los efectos de agotamiento por desnutrición, deficiencia protéica o varios tipos de infección (McDowell *et al.*, 1993).

1.2. Funciones generales

Existen cuatro grandes funciones de los minerales: estructural, fisiológica, catalítica y reguladora; aunque no son exclusivas de ningún elemento en particular y todas ellas pueden ser desempeñadas por un mismo elemento en un mismo individuo (Underwood y Suttle, 2003).

Estructural. Los minerales pueden formar componentes estructurales de órganos y tejidos corporales, tal como sucede con el calcio, fósforo, magnesio, flúor y silicio en huesos y dientes, y con el fósforo y el azufre en las proteínas musculares. Los minerales como el cinc y el fósforo forman parte de moléculas y membranas contribuyendo a su estabilidad estructural.

Fisiológica. Los minerales se presentan como electrolitos en tejidos y fluidos corporales, e interviniendo en el mantenimiento de la presión osmótica, del equilibrio ácido-base, de la permeabilidad de la membrana y de la irritabilidad tisular. Ejemplos de estos elementos son sodio, potasio, cloro, calcio y magnesio en sangre, líquido cefalorraquídeo y jugo gástrico.

Catalítica. Los minerales pueden actuar como catalizadores de sistemas enzimáticos y hormonales, como componentes integrales y específicos de la

estructura de metaloenzimas o como activadores menos específicos de dichos sistemas. El número y la variedad de metaloenzimas identificadas han aumentado en las dos últimas décadas.

Reguladora. En los últimos años se ha descubierto que los minerales intervienen en la regulación de la replicación y diferenciación celular; el calcio, por ejemplo, influye en las señales de transducción y el cinc en las señales de transcripción, además de otras funciones reguladoras importantes, como por ejemplo el yodo que es constituyente de la tiroxina.

En las metaloenzimas, el metal se encuentra firmemente ligado a la porción protéica, con un número fijo de átomos de metal por mol de proteína. El metal no puede ser desplazado sin la pérdida de la actividad enzimática y generalmente no puede ser sustituido por ningún otro metal. De todas formas, los átomos de cinc en diversas enzimas pueden ser sustituidos por cobalto y cadmio sin perder la actividad enzimática total (Vallee, 1971), y las metaloenzimas no son siempre del dominio total de un sólo metal. Algunas de las metaloenzimas consideradas importantes para el ganado se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Algunas metaloenzimas importantes en el ganado.

Metal	Enzima	Función
Hierro	Succinato deshidrogenasa	Oxidación aeróbica de carbohidratos
	Citocromo a, b y c	Transferencia de electrones
	Catalasa	Protección frente a H ₂ O ₂
Cobre	Citocromo oxidasa	Oxidasa terminal
	Lisil oxidasa	Oxidación de la lisina
	Ceruloplasmina (ferroxidasa)	Utilización del hierro: Transporte de Cu
	Superóxido dismutasa	Dismutación del radical superóxido O ₂ ⁻
Cinc	Anhidrasa carbónica	Formación de CO ₂
	Alcohol deshidrogenasa	Metabolismo de alcoholes
	Carboxipeptidasa A	Digestión de proteínas
	Fosfatasa alcalina	Hidrólisis de ésteres de fosfato
	Polimerasa nuclear Poli (A)	Replicación celular
	Colagenasa	Reparación tisular
Manganeso	Piruvato carboxilasa	Metabolismo del piruvato
	Superóxido dismutasa	Dismutación del radical superóxido
	Glicosilaminotransferasa	O ₂ ⁻ Síntesis de proteoglicanos
Molibdeno	Xantina deshidrogenasa	Metabolismo de las purinas
	Sulfito oxidasa	Oxidación del sulfito
	Aldehído oxidasa	Metabolismo de las purinas
Selenio	Glutatión peroxidasa	Destrucción de H ₂ O ₂ e
	Deiodinasas I y III	hidroperóxidos Activación de la tiroxina

La importancia del Cu para la reproducción, el desarrollo óseo, crecimiento, desarrollo del tejido conectivo y la pigmentación de los apéndices cutáneos

(pelo, lana y plumas) es incuestionable. Se han probado conexiones enzimáticas específicas con la tirosinasa para la pigmentación y lisil oxidasa para el desarrollo del tejido conectivo (Suttle, 1987).

La enzima superóxido dismutasa, que cataliza la dismutación del radical libre superóxido, puede contener cobre y cinc o manganeso, dependiendo de su origen. El Fe es un componente de la hemoglobina, mioglobina y citocromos (Chesters y Arthur, 1988). La hemoglobina se almacena en hematíes y permite que los tejidos respiren. La mioglobina es una porfirina-Fe más simple y menos abundante que se encuentra en el músculo, y su alta afinidad por oxígeno completa su transporte de la hemoglobina al interior celular (Underwood y Suttle, 2003).

Las concentraciones y actividades de las asociaciones mineral-enzima, en células y tejidos en particular, han sido relacionadas con las manifestaciones por deficiencia o toxicidad de dichos elementos en el organismo animal. En algunos casos se manifiestan serios desórdenes clínicos y patológicos como consecuencia de anomalías en los aportes minerales que no pueden ser explicadas en términos bioquímicos (Chesters y Arthur, 1988).

Dos de los elementos minerales, yodo y cobalto, son especialmente importantes porque según los conocimientos actuales, su importancia funcional puede explicarse a través de su presencia en la tiroxina (yodo) y la vitamina B₁₂

(cobalto). La tiroxina y la vitamina B₁₂, y en consecuencia el yodo y el cobalto, intervienen en diferentes procesos metabólicos (Underwood y Suttle, 2003).

Las funciones del calcio y del fósforo son predominantemente para formar la base mineral de los tejidos esqueléticos. Debido a ello, muchas de sus actividades en tejidos blandos y fluidos del organismo han sido poco estudiadas por los expertos en nutrición al establecer los requerimientos. Estos dos minerales se combinan en los huesos para proporcionar resistencia, forma y rigidez, protegiendo los tejidos blandos y proporcionando puntos de inserción a los músculos, mientras forman una reserva mineral que puede ser movilizadada en situaciones de emergencia metabólica y nutritiva, regulando su presencia en sangre como respuesta a deficiencias prolongadas en la ración.

La regulación del calcio es fundamental, porque este mineral juega un papel importante al intervenir en señales intracelulares y también en la transmisión de impulsos nerviosos en el medio extracelular. El fósforo participa en una amplia gama de reacciones metabólicas que intervienen en la transferencia de energía. Cada proceso fisiológico que suponga la ganancia o pérdida de energía, y casi cualquier forma de intercambio energético en las células, supone la formación o rotura de enlaces de fosfato altamente energético. Además, el fósforo es una parte integral de las moléculas proteínicas y de los ácidos nucleicos, y sus derivados son importantes en la replicación celular y la transmisión del código genético (Underwood y Suttle, 2003).

El magnesio es importante en el metabolismo de los carbohidratos, lípidos, ácidos nucleicos y proteínas, sobretodo como catalizador de una amplia gama de enzimas que precisan de este elemento para facilitar la unión enzima-sustrato (Ebel y Gunther, 1980). Por ello, el magnesio es necesario para la fosforilación oxidativa, que conduce a la formación de ATP, que sostiene procesos como la bomba $\text{Na}^+:\text{K}^+$; oxidación del piruvato y conversión del α -cetoglutarato a succinil coenzima A; la catalización de la mayoría de transportadores del fosfato, incluyendo la fosfatasa alcalina, hexoquinasa y desoxiribunucleasa; y la β -oxidación de los ácidos grasos (Shils, 1997).

El potasio contribuye a la regulación del balance ácido-base y participa en la respiración mediante el intercambio con cloro. El potasio también facilita la actividad de algunos enzimas e influye sobre muchas reacciones intracelulares, donde intervienen fosfatos con efectos sobre actividades enzimáticas y contracción muscular (Underwood y Suttle, 2003).

Las funciones de los minerales sólo pueden ser cumplidas si las cantidades ingeridas son suficientes para mantener en equilibrio el crecimiento, desarrollo del organismo y la reproducción de las especies (Underwood y Suttle, 2003).

2. Suplementación mineral en ovinos y caprinos

Para los animales en pastoreo, se ha demostrado que la mayoría de los forrajes no cubren las necesidades mínimas de minerales que son necesarios. Esto

debido a la variabilidad del contenido mineral de los forrajes y a la disponibilidad de los mismos a través del año, lo cual trae como consecuencia deficiencias minerales, que han sido reportadas en diferentes regiones del país. La suplementación mineral es necesaria para incrementar la producción y mejorar los parámetros productivos. Según Masters *et al.* (1992) tanto en ovinos como en caprinos se ha demostrado que mejora el estado mineral de los animales, e incrementa la producción cuando los minerales no son deficientes.

3. Generalidades de la composición química de la leche de cabras

La composición de la leche de cabras está influenciada por un buen número de factores (Guo, 2003). La variación en la composición química de la leche es altamente estacional. Los mayores constituyentes de la leche de cabra son altos en la fase temprana de la lactancia, luego declina rápidamente, y permanecen bajos por un periodo variable, y algunos se incrementan al final de la lactancia (Guo *et al.*, 2001); sin embargo, el contenido de lactosa es independiente del estado de la lactancia. La producción de queso, que es uno de los principales productos producidos por la leche de cabras, está también en función de esos cambios en la composición química de la leche.

4. La suplementación con cobre en los rumiantes

El tratamiento de una deficiencia de cobre normalmente se corrige con el suministro de cobre suplementario en la dieta o por medios sistémicos. La deficiencia de cobre también ha sido tratada vía parenteral o por la

administración oral de varias preparaciones de cobre, pero existen problemas relacionados con esas pruebas ya que las preparaciones orales de cobre son muy tóxicas y sólo pueden darse en pequeñas dosis (McPhee y Cawley, 1988). El tratamiento de cobre por vía parenteral es basado en la administración de quelatos de cobre en solución o pasta. En la suplementación sistémica se han usado niveles excesivos de cobre, que tienen que ser administrados regularmente por medio de inyecciones que pueden causar daños del tejido, además, una sola inyección no proporciona una adecuada respuesta para mantener los niveles normales de cobre en los animales.

5. Disponibilidad de los minerales para los rumiantes

La valoración de los alimentos y suplementos alimenticios como fuentes de minerales depende no sólo del contenido mineral total o concentración del elemento, sino también de la cantidad de mineral que puede ser absorbida en el intestino y utilizada por las células y tejidos del animal. Esto depende, a su vez, de la especie y edad del animal, el consumo mineral en relación con las necesidades, la forma química en que es ingerido el mineral, de las cantidades y proporciones de otros componentes de la ración con los que interactúa metabólicamente, y de factores ambientales tales como facilidad e intensidad de radiación solar (Underwood y Suttle, 2003).

6. Suplementos minerales

Existen diversos tipos de suplementos minerales que incluyen los minerales esenciales, que pueden ser utilizados en la alimentación de los animales. Para el uso de los suplementos como fuentes minerales se debe considerar la relación con sus formas químicas y físicas, en relación con los diferentes métodos que pueden usarse para administrarlos y asegurar un consumo apropiado (Underwood, 1981; McDowell *et al.*, 1984).

McDowell *et al.* (1984) y Huerta (1995) sugieren que un suplemento mineral bien formulado, para los animales en pastoreo debe considerar los siguientes puntos:

- 1) Requerimiento de los animales
- 2) Contenido mineral de los forrajes
- 3) Disponibilidad biológica de las fuentes utilizadas
- 4) Concentración de los minerales en la mezcla
- 5) Aceptabilidad del suplemento por los animales
- 6) Consumo de la mezcla mineral
- 7) Formulación y mezclado de los suplementos

Las fuentes minerales más utilizadas para la formulación los suplementos se muestran en los Cuadros 2 y 3.

Cuadro 2. Fuentes minerales utilizadas en la formulación de suplementos (macrominerales).

Fuente mineral	Macroelementos aportados (%)						
	Ca	P	Mg	Na	K	Cl	S
Carbonato de calcio	39.40	0.04	0.005	0.06	0.06		0.09
Roca fosfórica	29.20	13.30					
Fosfato dicálcico	22.00	18.50		0.05	0.07		1.14
Harina de hueso	30.60	12.60	0.06	0.39	0.18	0.01	0.20
Carbonato de magnesio	0.02	22.80	30.80				
Óxido de magnesio	3.07	3.00	56.00				
Cloruro de sodio				39.30		60.70	
Bicarbonato de potasio					38.70		

Fuente: NRC, 1985; McDowell *et al.*, 1984.

Cuadro 3. Fuentes minerales utilizadas en la formulación de suplementos (microminerales).

Fuente mineral	Microelementos aportados (%)						
	Fe	I	Co	Cu	Mn	Zn	Se
Sulfato ferroso	25.00						
Carbonato ferroso	39.00						
Yodato de calcio		63.50					
Yoduro de potasio		69.00					
Carbonato de cobalto			45.00				
Cloruro de cobalto	0.49		24.70				
Sulfato cúprico pentahidratado				25.00			
Cloruro cúprico				37.20			
Óxido de manganeso					76.00		
Sulfato de manganeso					27.00		
Óxido de zinc						73.00	
Carbonato de zinc						52.00	
Selenato de sodio							40.00
Selenito de sodio							45.60

Fuente: NRC, 1985; McDowell *et al.*, 1984.

7. Respuesta a la suplementación

La provisión de un suplemento mineral puede mejorar el estado nutricional e incrementar la producción cuando los minerales son deficientes (White *et al.*, 1991).

La suplementación excesiva de Mo, F, Cu, Mn, Fe y Se puede causar desajustes metabólicos o intoxicaciones (Lebdosoekojo *et al.*, 1980). Por otro lado, Porragos (1985) concluyó que la adición de bicarbonato de sodio a la dieta no mostró diferencias en los aumentos de peso con respecto a los animales testigo. Uribe (1988) encontró que la suplementación mineral a borregos alimentados con rastrojo de maíz mejoró la ganancia de peso y eficiencia de utilización del alimento en 79.6 y 66.8%, respectivamente.

White *et al.* (1992) concluyeron que la suplementación mineral de ovinos en pastoreo incrementó la ganancia de peso vivo y el crecimiento de lana, esto aunado a un incremento de P inorgánico, azufre y vitamina B₁₂ en plasma, y de Se en la sangre. Además mencionan que una mezcla mineral es una medida efectiva de prevenir deficiencias. León *et al.* (2000) encontraron que el uso de alambre de óxido de cobre es un tratamiento eficaz para la deficiencia de cobre en ovejas, incrementando los niveles séricos deficientes de Cu de 0.6 a niveles séricos normales de 0.8 ppm por cinco meses. Solaiman *et al.* (2001) encontraron que con 50 ppm de Cu por cabeza por día resultó en una elevación de γ -glutamyl transferasa y con 300 mg por cabeza por día incrementaron los

niveles de sorbitol deshidrogenasa en plasma. Engle y Spears (2000) mencionan que con la suplementación de cobre se altera el metabolismo de lípidos en vaquillas.

La suplementación con altas dosis de Cu también pueden causar toxicidad. Bradley (1993) reportó toxicidad crónica de Cu en vacas alimentadas con 37.5 ppm de Cu durante la lactancia y con 22.6 ppm de Cu en vacas no lactantes.

8. Literatura Citada

- Bradley, C. H. 1993. Copper poisoning in dairy herd fed a mineral supplement. Can. Vet. J. 34: 287-292.
- Chesters, J. K., and J. R. Arthur. 1988. Early biochemical defects caused by dietary trace element deficiencies. Nutrition Research Reviews. 1: 39-56.
- Clark, S., and J. W. Sherbon. 2000. Alpha_{s1}-casein, milk composition and coagulation properties of goat's milk. Small Ruminant Research. 38: 123-134.
- Crocker, A., C. Lee, G. Aboko-Cole, and C. Durham. 1992. Interaction of nutrition and infection: effect of copper deficiency on resistance to *Trypanosome lewissi*. J. Natl. Med. Assoc. 84: 697-706.
- Davis, G. K., and W. Mertz. 1987. Copper. In: Mertz, W. (Ed.), Trace Elements in Human and Animal Nutrition. 5th. Edition. Academic press, New York, pp: 301-350.
- Ebel, H., and T. Günther. 1980. Magnesium metabolism: a review. Journal of Clinical Chemistry and Clinical Biochemistry. 18: 257-270.
- Engle, T. E., and J. Spears . 2000. Effects of dietary copper concentration and source on performance and copper status of growing and finishing steers. J. Anim. Sci. 78: 2446-2451.
- FAO. 2002. FAO Statistical Databases. <http://apps.fao.org>. Consultado el 09 de noviembre de 2005.

- Guo, M. R., P. H. Dixon., Y. W. Park., J. A. Gilmore and P. S. Kindstedt. 2001. Seasonal changes in the chemical composition of commingled goat's milk. *J. Dairy Sci.* 84 (Suppl.), E79-E83.
- Guo, M. R. 2003. Goat Milk. *In*: Caballero, B. (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Academic Press, London, pp: 2944-2949.
- Haenlein, G. F. W. 1987. Reproductive problems can have nutritional causes. *Dairy Goat J.* 65 (11): 729-730.
- Haenlein, G. F. W. 1991. Playing attention to minerals and vitamins pays off. *Dairy Goat J.* 70 (4): 168.
- Howell, J. McC., and J. M. Gawthorne. 1987. *Copper in Animals and Men*, Vol. II. CRC Press, Boca Raton, FL. pp: 67-80.
- Huerta B., M. 1995. Suplementación mineral de ovinos en pastoreo. *Memorias del curso Tópicos Actuales sobre Nutrición y Alimentación de Ovinos en Engorda*. 17 y 19 de mayo. Chapingo, Méx. pp: 104-118.
- Huerta B., M. 1997. Nutrición de rumiantes en pastoreo. *Memorias del curso Alternativas de Manejo en Bovinos para Carne en Pastoreo*. 21, 22 y 23 de mayo. Chapingo, México. 55 p.
- Jones, D.G., and N.F. Suttle. 1981. Some effects of copper deficiency on leucocyte function in sheep and cattle. *Res. Vet. Sci.* 31: 151-156.
- Lebdoesoekojo, S. C. B, N. S. Ammerman, J. Raun, and R. C. Litell. 1980. Mineral nutrition of beef cattle grazing native pastures on the eastern plains of Colombia. *J. Anim. Sci.* 51: 1249.
- León, A., J. S. Glenn and T. B. Farver. 2000. Copper oxide wire particles for the treatment of copper deficiency in sheep. *Small Rumin. Res.* 35: 7-12.

- Masters, D. G., C. L. White, D. W. Peter, D. B Purser, S. P. Roe, and M. J. Barnes. 1992. A multi element supplement for grazing sheep. II. Accumulation of trace element in sheep fed different levels of supplement. *Aust. J. Agric. Res.* 43: 809.
- McDowell, L. R., J. H. Consard, G. L. Ellis, y J. K. Loosli. 1984. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. Academic Press, Inc. Orlando. FL. 70 p.
- McDowell, L. R., J. H. Conrad, F. G. Hembry, L. X. Rojas, G. Valle, and J. Velásquez. 1993. *Minerals for grazing ruminants in tropical regions*. Second ed. Animal Science Department. Center for Tropical Agriculture. University of Florida. 78 p.
- McDowell L. R., J. Velásquez P. y G. Valle. 1997. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. Departamento de Zootecnia. Centro de Agricultura Tropical. Universidad de Florida. 3ª Ed. 83 p.
- McPhee, I. M., and G. D. Cawley. 1988. Copper heptonate for the treatment of hypocupremia in sheep. *Vet. Res.* 122: 483-485.
- Mertz, W. 1987. *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*, 5th Edition. Academic Press. Orlando, FL. pp: 301-350.
- Meschy, F. 2000. Recent progress in the assessment of mineral requirements of goats. *Livestock Prod. Sci.* 64: 9-14.
- Morand-Ferh, P., P. Bas, G. Blanchart, R. Daccord, S. Giber-Reverdin, E. A. Gihad, M. Hadjipanayiotou, A. Mowlen, F. Remeuf, and D. Sauvant. 1991. Influence of feeding on goat milk composition and technological characteristics. *In: Morand-Fehr, P. (Ed.), Goat Nutrition*. Pudoc, Wageningen. pp: 209-224.

- NRC. 1985. Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrient Requirements of Sheep. Sixth Revised Edition, National Academy of Sciences, Washington, D.C. USA. 112 p.
- Park, Y. W. 1990. Nutrient profiles of commercial goat milk cheeses manufactured in the United States. J. Dairy Sci. 73: 3059-3067.
- Park, Y. W. 1994. Hipo-allergenic and therapeutic significance of goat milk. Small Ruminant Res. 14: 151-159.
- Porragos, M. C. 1985. Evaluación de la suplementación energética, proteica y mineral en novillos criollos en pastoreo de zacate estrella (*Cynodon plectostachius* P). Tesis Profesional. ITESM. Monterrey, N. L. 84 p.
- SAGARPA. 2003. Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>. Consultado el 09 de noviembre de 2005.
- Shils, M. E. 1997. Magnesium. In: O'Dell, B. L. and Sunde, R. A. (Eds.) Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements. Marcel Dekker. New York. pp: 117-152.
- Solaiman, S. G., M. A. Maloney, M. A. Qureshi, G. Davis, and G. D'Andrea. 2001. Effects of high copper supplements on performance, health, plasma copper and enzymes in goats. Small Ruminant Research. 41: 127-139.
- Suttle N. F., G. D. Jones, C. Woolliams and A. J. Woolliams. 1987. Heinz body anemia in lambs with deficiencies of copper or selenium, Br. J. Nut. 58: 539-548.

- Suttle, N. F. 1991. Mineral supplementation of low quality roughages. *In*: Proceedings of Symposium on Isotope and Related Techniques in Animal Production and Health. International Atomic Energy Commission, Vienna. pp: 101-144.
- Tanner, D. Q., J. D. Stednick, and W. C. Leininger. 1988. Minimal herd sample size for determination of blood copper status of cattle. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 192: 1074-1076.
- Underwood, E. J. 1981. The Mineral Nutrition of Livestock. 2nd Edition, Slough, UK; Commonwealth Agricultural Bureau, Slough, England. p 10.
- Underwood, E. J. y N. F. Suttle. 2003. Los Minerales en la Nutrición del Ganado. 3^a. Ed. Edit. Acribia. Zaragoza, España. 633 p.
- Uribe G., G. 1988. Suplementación mineral de corderos en crecimiento alimentados a base de rastrojo de maíz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 56 p.
- Vallee, B. L. 1971. Spectral characteristics of metals in metalloenzymes. *In*: W. A. Mertz and W. E. Cornatzer. (Eds) Newer Trace Elements in Nutrition. Marcel Decker, New York. pp: 33-50.
- White, C. L., B. S. Chandler, and D. W. Peter. 1991. Zinc supplementation of lactating ewes and weaned lamb grazing improved Mediterranean pastures. *Austr. J. Exp. Agric.* 31: 183.
- White, C. L., D. G. Master, D. W. Peter, D. B. Purser, S. P. Roe, and M. J. Barner. 1992. A multi element supplement for grazing sheep. I. Intake, mineral status and production responses. *Aust. J. Agric. Res.* 43: 795.
- Wikse, S. E., D. Herd, R. Field, and P. Holland. 1992. Diagnosis of copper deficiency in cattle. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 200: 1625-1634.

CAPÍTULO 3

**DIAGNÓSTICO MINERAL DE OVINOS EN DIFERENTES ESTADOS
FISIOLÓGICOS EN NUEVE RANCHOS DEL ESTADO DE TLAXCALA,
MÉXICO**

**MINERAL DIAGNOSIS OF OVINES IN DIFFERENT PHYSIOLOGICAL
STATES IN NINE FARMS FROM THE STATE OF TLAXCALA, MÉXICO**

Juan Carlos Muñoz González *

Maximino Huerta Bravo *

Rodolfo Ramírez Valverde *

Mariano de J. González Alcorta *

Carlos López Gómez **

* Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, 56230, Chapingo, Estado de México, México. Autor por correspondencia: Maximino Huerta Bravo, Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. E-mail: maxbravo@correo.chapingo.mx, Tel. (595) 952 1621, Fax: (595) 954 8884. ** Práctica privada

DIAGNÓSTICO MINERAL DE OVINOS EN DIFERENTES ESTADOS FISIOLÓGICOS EN NUEVE RANCHOS DEL ESTADO DE TLAXCALA, MÉXICO

RESUMEN

Con el objetivo de realizar un diagnóstico mineral, en noviembre del 2003 se tomaron muestras de agua, suelo, forraje, alimento concentrado, sales minerales, y sangre a 170 borregos (corderos y ovejas) en nueve ranchos ubicados en el estado de Tlaxcala, México. Los minerales determinados fueron Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na, K y P. El modelo estadístico consideró los efectos de rancho para todos los muestreos, y para sangre de ovinos, el estado fisiológico y su interacción con rancho. El análisis estadístico se realizó con el procedimiento GLM de SAS con un diseño completamente al azar. En agua, las concentraciones de Mg, Na, K y P fueron diferentes ($P<0.05$) entre los ranchos. Las concentraciones de Ca, Mg, Na, K estuvieron por abajo de las concentraciones típicas en el agua en 100, 56, 100 y 22% de los ranchos, respectivamente. En suelo las concentraciones de Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na, K y P fueron diferentes ($P<0.05$) entre los ranchos. El Cu en suelo fue deficiente en 78% de los ranchos. En forraje las concentraciones de los minerales Cu, Zn Ca y Na fueron diferentes ($P<0.05$) entre los ranchos. El 67, 78, y 78% de los ranchos tuvieron forrajes deficientes en Cu, Zn y Na, respectivamente. El 18 y 27% de los concentrados son deficientes en Cu y Na en relación con los requisitos de los ovinos, respectivamente. Asimismo, se encontraron niveles excesivos de Ca, Mg y P y de la relación Ca:P. Las mezclas minerales aportaron cantidades elevadas de Fe, Mg y K. Las concentraciones séricas de todos los minerales estudiados fueron afectadas ($P<0.05$) por el rancho. Las concentraciones séricas de Zn, Ca y P fueron superiores ($P<0.05$) en los corderos que en las ovejas. El 56, 46, 30 y 40% de todos los animales fueron deficientes en Cu, Fe, Zn y Na, respectivamente. Las deficiencias encontradas pueden deberse por la falta de suplementación en algunos ranchos y por las mezclas minerales inapropiadas, por lo que se recomienda incluir sales minerales en los ranchos sin suplementación y reformular las mezclas minerales.

Palabras claves: Corderos, Ovejas, Minerales, Tlaxcala.

MINERAL DIAGNOSIS OF OVINES IN DIFFERENT PHYSIOLOGICAL STATES IN NINE FARMS FROM THE STATE OF TLAXCALA, MÉXICO

ABSTRACT

With the objective of making a mineral diagnosis, samples of water, soil, forage, concentrated feed, and mineral salts were taken, along with blood samples, from 170 sheep (lambs and ewes) at nine farms located in the state of Tlaxcala, Mexico in November, 2003. The minerals analyzed were Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na, K, and P. The statistical model took into consideration the effect among the different farms for all samples, with the exception of sheep blood. Blood samples were analyzed to determine the physiological state of the ovines and their interaction with farms. Statistical analyses were made with the GLM procedure from SAS, using a randomized design. The Mg, Na, K, and P concentrations in the water were different ($P < 0.05$) among farms. The Ca, Mg, Na, and K concentrations were below the typical concentrations in the water in 100, 56, 100, and 22% of the farms, respectively. In the soil, the Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na, K, and P concentrations were different ($P < 0.05$) among farms. The Cu in the soil was deficient in 78% of the farms. The mineral concentrations of Cu, Zn, Ca, and Na were different ($P < 0.05$) in the forage among farms. Forages deficiencies in Cu, Zn and Na, were found in 67, 78, and 78% of the farms, respectively. Deficiencies in Cu, and Na, 18 and 27% of the concentrated feed, respectively, were found as well. There were also, excessive levels of Ca, Mg, P, and Ca:P in the concentrated feed. The mineral mixtures had elevated amounts of Fe, Mg, and K. The concentrations in serum of all the minerals studied were affected ($P < 0.05$) depending on the farm. The concentrations in serum of Zn, Ca, and P were higher ($P < 0.05$) in lambs than in ewes. 56, 46, 30, and 40% of all animals, respectively, were deficient in Cu, Fe, Zn, and Na. The found deficiencies can be due by the lack of mineral supplement in some farms and by inappropriate mineral mixtures, reason why it is recommended to include mineral salts in the farms without mineral supplement and to reformulate the mineral mixtures.

Key words: Lambs, ewes, minerals, Tlaxcala.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que enfrenta la producción ovina es la ineficiencia productiva y reproductiva, debido principalmente a deficiencias nutricionales (Oscasberro *et al.*, 1984). Los minerales desempeñan funciones asociadas directamente con la salud y producción de los rumiantes (Huerta, 1997), relacionadas con la transformación de la proteína y la energía de los alimentos en componentes del organismo o en productos animales.

La corrección de las deficiencias minerales tiene mayor potencial y menor costo para incrementar la producción del ganado en relación con otros suplementos. Los rumiantes ocasionalmente pueden ingerir grandes cantidades de minerales por medio de varias fuentes. Sin embargo, en los animales se pueden presentar deficiencias cuando los factores, agua, suelo, y forraje son pobres en los minerales requeridos, como es el caso de los animales en pastoreo.

El método más eficiente de proveer suplementos minerales es combinándolos con los concentrados, desafortunadamente los rumiantes en pastoreo reciben pequeñas cantidades de concentrados (Suttle *et al.*, 1997).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la concentración mineral de los componentes agua, suelo, forraje, alimento concentrado, sales minerales y suero de ovinos en diferentes estados fisiológicos de nueve ranchos del estado de Tlaxcala, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo se llevó a cabo en noviembre de 2003 en nueve ranchos del estado de Tlaxcala, México; donde se tomaron cinco muestras de agua, suelo, forraje, alimento concentrado, sales minerales y dos muestras sangre por animal en cada rancho. La sangre se colectó mediante punción de la vena yugular de 170 animales en diferentes estados fisiológicos. Las muestras de sangre fueron centrifugadas a 2500 rpm para separar el suero. Las muestras de agua se colectaron en frascos de plástico. Las muestras de suelo, forraje, alimento concentrado y sales minerales fueron secadas y molidas para su análisis. En agua se determinaron los minerales Cu, Ca, Mg, Na, K y P. Los minerales determinados en suelo, forraje, alimento concentrado y sales minerales fueron Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na, K y P. Los mismos minerales excepto Mn fueron analizados en suero sanguíneo. Los minerales fueron determinados mediante espectrofotometría de absorción atómica (Fick *et al.*, 1979) o colorimetría (Harris y Popat, 1954).

El análisis estadístico de los resultados se realizó mediante el procedimiento GLM del paquete SAS (2001), con un diseño completamente al azar. Para agua, suelo, forraje, alimento concentrado y sales minerales, el modelo estadístico fue: $Y_{ijk} = \mu + \text{Rancho}_j + \epsilon_{ij}$. Donde, Y_{ijk} = variable de respuesta, μ = media general, Rancho j = efecto del j -ésimo rancho ($j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$), y ϵ_{ijk} = error aleatorio. El modelo estadístico para suero sanguíneo fue: $Y_{ijk} = \mu + T_i + R_j + (T \cdot R)_{ij} + \epsilon_{ijk}$. Donde, Y_{ijk} = variable de respuesta, μ = media general, T_i =

efecto del i-ésimo estado fisiológico (i = cordero, oveja), R_j = efecto del j-ésimo rancho (j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), $(T \times R)_{ij}$ = efecto de la ij-ésima interacción estado fisiológico por rancho, y ϵ_{ijk} = error aleatorio $\sim$ NIID $(0, \sigma_e^2)$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración mineral en agua

Las concentraciones de Ca en el agua fueron similares ($P > 0.05$) entre los ranchos, pero las concentraciones de Mg, Na, K y P fueron diferentes ($P < 0.05$; Cuadro 4).

Cuadro 4. Contenido mineral en el agua de nueve ranchos en el estado de Tlaxcala, México.

Rancho	Minerales				
	Ca	Mg	Na	K	P
	-----ppm-----				
1	43.40 ^a	16.60 ^{ab}	18.50 ^c	5.20 ^c	16.00 ^{ab}
2	25.20 ^a	26.60 ^a	45.20 ^a	4.60 ^c	8.20 ^b
3	21.20 ^a	14.90 ^{abc}	20.00 ^c	5.30 ^c	16.00 ^{ab}
4	20.00 ^a	8.30 ^{bcd}	14.30 ^{cd}	11.40 ^{ab}	20.50 ^a
5	19.10 ^a	17.10 ^{ab}	31.20 ^b	15.90 ^a	11.50 ^{ab}
6	13.80 ^a	11.40 ^{bcd}	14.00 ^{cd}	3.90 ^c	14.60 ^{ab}
7	11.10 ^a	1.80 ^{cd}	7.80 ^d	2.30 ^c	9.30 ^{ab}
8	9.90 ^a	0.20 ^d	29.70 ^b	7.10 ^{bc}	9.10 ^b
9	6.60 ^a	4.40 ^{bcd}	13.80 ^{cd}	6.80 ^{bc}	19.40 ^{ab}
Conc. típica, ppm ¹	57.00	14.30	55.00	4.30	0.09
Nivel máx. tolerable, ppm ²	<1000	<1000	<800	<20.00	<0.70

^{abc} Valores en la misma columna con una literal en común son similares ($P > 0.05$).

⁽¹⁾ Concentraciones típicas de minerales en el agua (Shirley y Montesinos, 1978).

⁽²⁾ Niveles máximos tolerables por el ganado en el agua, sugeridos por Puls (1988).

Las concentraciones de Ca, Mg, Na, K están por abajo de las concentraciones típicas en el agua en 100, 56, 100 y 22% de los ranchos, respectivamente. El P está en concentraciones elevadas en 100% de los ranchos y supera las concentraciones máximas tolerables para el ganado. Las concentraciones de los minerales cobre, hierro y cinc fueron mínimas debido a que no fueron detectables por el espectrofotómetro.

Los ranchos con menores concentraciones de Ca, Mg, Na y K en el agua tienen hasta 8, 71, 6 y 1 veces menos, respectivamente, en relación con la concentración típica en el agua reportada por Shirley y Montesinos (1978). Estos autores reportan consumos de agua para ovinos de 5 L día⁻¹, lo que significa que el agua de estos ranchos no representa una fuente importante de minerales para los animales del estudio, a excepción del P, donde los ranchos tienen desde 11 hasta 28 veces más fósforo de los niveles máximos en el agua para el ganado (Puls, 1988). Aunque el aporte de P por el agua es mínimo en relación con los requerimientos del animal, esto aunado a las elevadas concentraciones de P en los alimentos concentrados de algunos ranchos puede incrementar el riesgo de cálculos urinarios en los animales.

Concentración mineral en suelo

Los suelos de los ranchos tienen concentraciones diferentes ($P < 0.05$) de Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na, K y P (Cuadro 5).

En todos los ranchos, las concentraciones de Fe, Mn, Ca, Mg, Na, K y P estuvieron por arriba de la concentración mínima sugerida en suelo para el crecimiento adecuado de las plantas.

Cuadro 5. Contenido mineral en los suelos de nueve ranchos en el estado de Tlaxcala, México.

Rancho	Minerales								
	Cu	Fe	Zn	Mn	Ca	Mg	Na	K	P
	----- ppm -----								
1	ND	167 ^c	1.6 ^b	76 ^c	557 ^e	194 ^{bcd}	45.8 ^b	410 ^{ab}	165 ^b
2	2.5 ^b	36 ^{cd}	2.0 ^b	68 ^c	831 ^{cde}	53 ^d	45.2 ^b	165 ^b	290 ^{ab}
3	ND	496 ^a	3.9 ^b	45 ^c	705 ^{de}	130 ^{cd}	40.3 ^b	454 ^{ab}	199 ^b
4	3.4 ^b	365 ^b	7.8 ^{ab}	183 ^b	2707 ^b	356 ^{ab}	84.2 ^a	461 ^{ab}	277 ^{ab}
5	7.9 ^a	44 ^{cd}	12.5 ^a	109 ^c	1756 ^{bcd}	438 ^a	87.7 ^a	441 ^{ab}	429 ^a
6	ND	40 ^{cd}	3.1 ^b	55 ^c	666 ^{de}	142 ^{cd}	28.7 ^b	251 ^b	203 ^b
7	2.7 ^b	85 ^{cd}	2.1 ^b	209 ^a	2102 ^b	76 ^{cd}	49.9 ^b	162 ^b	334 ^{ab}
8	ND	14 ^d	6.1 ^{ab}	76 ^c	4807 ^a	353 ^{ab}	51.0 ^b	905 ^a	371 ^a
9	2.6 ^b	469 ^{ab}	4.5 ^b	268 ^{ab}	1884 ^{bc}	257 ^{abc}	49.1 ^b	397 ^{ab}	199 ^b
Nivel mín. ppm ⁽¹⁾	3.0	4.5	2.0	19 ²	140	30	23.0	60	25

^{abc} Medias en la misma columna con una literal en común son similares (P>0.05).

⁽¹⁾ Concentraciones sugeridas como mínimas necesarias para el crecimiento de las plantas (Bowen, 1966).

² Huerta (1999).

ND= No detectado.

Las concentraciones de Cu en suelo están por debajo de las concentraciones sugeridas como mínimas para el crecimiento de las plantas en 78% de los ranchos. Fageria *et al.* (1997) mencionan que para el crecimiento adecuado de los forrajes son necesarios 6 ppm de Cu. Además, las concentraciones de Fe en los suelos varían entre los ranchos y tienen desde 2 hasta 109 veces más hierro del nivel mínimo para el crecimiento de las plantas. Por el antagonismo entre el Cu y Fe, estas concentraciones de Fe en el suelo pueden causar una disminución en la absorción de Cu en los animales, debido a que los ovinos en

pastoreo pueden llegar a consumir cantidades importantes de suelo, especialmente cuando el forraje es escaso. Suttle *et al.* (1975) encontraron que la inclusión de suelo en un 10% de la dieta reduce la absorción del cobre en los animales en 50%.

El Zn en el suelo resultó ser deficiente sólo en un rancho que tiene concentraciones por abajo de los niveles mínimos para el crecimiento de las plantas. El resto de los ranchos (90%) superan los niveles mínimos de Zn para el crecimiento de las plantas. Brown (1987) también señala niveles de 0.5 a 3 ppm como niveles críticos para el crecimiento de las plantas en suelos de clima templado.

Las concentraciones de Mn fueron desde 1 hasta 13 veces más de los mínimos requeridos para el crecimiento de las plantas. Con estas concentraciones se puede esperar una acumulación importante de Mn en los forrajes. Estos valores también están por arriba de las concentraciones mencionadas por Brown (1987), quien sugiere como niveles críticos para el crecimiento de las plantas, de 4 a 8 ppm de Mn en suelos templados. Sánchez (2005) reportó concentraciones de Mn de 111 y 135 ppm en suelos de praderas con avena-raigrás y alfalfa-ovillo en Chapingo, México, respectivamente. Estos valores están dentro de los rangos encontrados en el presente estudio.

Las concentraciones de Ca en el suelo superaron los niveles mínimos para el crecimiento de las plantas en 100% de los ranchos, con concentraciones que

fueron desde 3 hasta 33 veces más de los niveles mínimos sugeridos. Sin embargo, aunque las concentraciones de Ca estuvieron por arriba de los niveles mínimos en el suelo, las concentraciones de Ca en el forraje pudieron estar limitadas por las concentraciones de K en suelo.

El Mg se encontró en concentraciones hasta 14 veces más de los niveles mínimos para el crecimiento de las plantas. Tavera (1985) sugiere una clasificación de la fertilidad del suelo en relación con la concentración de Mg, con concentraciones de 26 a 50 ppm como buena, y mayores a 125 ppm como muy buena. Sin embargo, al igual que el Ca, las concentraciones Mg en los forrajes, pudieron estar influenciadas por la concentración de K en el suelo.

Las concentraciones de Na en los suelos estuvieron por arriba de las concentraciones mínimas en 100% de los ranchos, con concentraciones hasta 3 veces más de los niveles mínimos. Aunque los requisitos de Na para el crecimiento de las plantas no están bien establecidos, posiblemente porque las especies vegetales se caracterizan por ser natrofóbicas. Con estas concentraciones de Na en los suelos se esperaba que los forrajes también fueran deficientes en Na en relación con los requisitos de los ovinos.

Los suelos tuvieron concentraciones de K por arriba de las concentraciones mínimas para el crecimiento de las plantas en el 100% de los ranchos, fluctuando desde 8 hasta 14 veces más de los niveles mínimos. Estas

concentraciones elevadas de K pueden afectar la concentración de Ca y Mg en los forrajes.

Soder y Stout (2003) mencionan que los suelos fertilizados con N incrementan los niveles de K en el suelo, y que también incrementan los niveles de K y disminuyen el Ca y Mg en los forrajes. La acumulación de K en las plantas en cantidades elevadas es porque el K es un elemento que puede ser asimilado en cantidades excedentes a las requeridas para su crecimiento (Miller y Reeds, 1995). El efecto del K en el suelo sobre las concentraciones de Mg en el forraje puede incrementar el riesgo en los animales a padecer hipomagnesemia, ya que este es un problema que está directamente relacionado con las características del suelo (De Alba, 1980).

El P estuvo en concentraciones elevadas, desde 6 hasta 16 veces más de los niveles mínimos para el crecimiento de las plantas. Con estas concentraciones de P en los suelos, las concentraciones de P en los forrajes pueden ser suficientes para cubrir los requerimientos de los ovinos, puesto que la deficiencia de fósforo es más común en animales pastoreando en suelos con bajo P.

Concentración mineral en forrajes

Las concentraciones de Fe, Mn, Mg, K, P y la relación Ca:P en los forrajes (rastreo de maíz, avena, trigo y cebada) fueron similares ($P \geq 0.05$) entre los ranchos (Cuadro 6). Sin embargo, las concentraciones de los minerales Cu, Zn

Ca y Na fueron diferentes ($P < 0.05$). El 67, 78, y 78% de los ranchos tuvieron forrajes deficientes en Cu, Zn y Na, respectivamente.

Cuadro 6. Efecto del rancho en el contenido mineral en forrajes en el estado de Tlaxcala, México.

Rancho	Minerales									Rel.
	Cu	Fe	Zn	Mn	Ca	Mg	Na	K	P	Ca:P
	-----ppm-----				-----%-----					
1	9.1 ^{ab}	560 ^a	32 ^{ab}	96 ^a	1.0 ^{ab}	0.3 ^a	0.13 ^{ab}	3.0 ^a	0.40 ^a	2.5 ^a
2	4.0 ^b	160 ^a	23 ^{ab}	56 ^a	0.5 ^b	0.1 ^a	0.04 ^b	0.9 ^a	0.30 ^a	1.9 ^a
3	11.3 ^a	1172 ^a	28 ^{ab}	79 ^a	1.9 ^a	0.4 ^a	0.08 ^b	3.1 ^a	0.50 ^a	3.7 ^a
4	11.1 ^a	867 ^a	35 ^a	249 ^a	0.6 ^b	0.3 ^a	0.05 ^b	3.4 ^a	0.50 ^a	1.5 ^a
5	6.8 ^{ab}	202 ^a	21 ^{ab}	42 ^a	0.5 ^b	0.4 ^a	0.20 ^a	2.0 ^a	0.40 ^a	1.4 ^a
6	7.7 ^{ab}	339 ^a	16 ^b	172 ^a	1.0 ^{ab}	0.4 ^a	0.08 ^b	2.4 ^a	0.50 ^a	2.3 ^a
7	12.5 ^a	305 ^a	25 ^{ab}	193 ^a	0.7 ^{ab}	0.3 ^a	0.05 ^b	3.2 ^a	0.50 ^a	1.4 ^a
8	8.0 ^{ab}	237 ^a	24 ^{ab}	95 ^a	0.4 ^b	0.3 ^a	0.05 ^b	2.5 ^a	0.40 ^a	1.5 ^a
9	9.9 ^{ab}	800 ^a	19 ^{ab}	190 ^a	0.9 ^{ab}	0.3 ^a	0.04 ^b	3.1 ^a	0.50 ^a	2.1 ^a
										Ideal*
Requisitos ¹	10.0	50	30	30	0.3	0.1	0.10	0.5	0.25	2.0:1.0
Máximo tolerable ¹	25.0	500	500	1000	2.0 [*]	0.8	1.60 [*]	3.0	0.60	Excesivo*
										4.0:1.0

^{abc} Valores en la misma columna con una literal en común son similares ($P > 0.05$).

¹ Requisitos y niveles máximos tolerables, en base a las necesidades de los ovinos (NRC, 1985).

* Puls (1988).

El NRC (1985) sugiere como requisitos para los ovinos lo siguiente: Cu, 7-10 ppm; Fe, 30-50 ppm; Zn, 20-33 ppm; Mn, 20-40 ppm; Ca, 0.20-0.82%; Mg, 0.12-0.18%; Na, 0.09-0.18%; K, 0.5-0.8% y P, 0.25-0.37%. Sin embargo, con fines prácticos se sugiere utilizar las concentraciones mostradas en el Cuadro 3.

El Cu en los forrajes fue deficiente en relación con los requisitos de los ovinos, en 67% de los ranchos. Mientras que el Fe en los forrajes superó los requerimientos de los ovinos en 100% de los ranchos con concentraciones que fueron desde 2 a 22 veces más de los requisitos mínimos. Aunado al problema

de forrajes deficientes de Cu, se presentan concentraciones elevadas de Fe en los forrajes. Las cantidades elevadas de Fe en los forrajes interfieren con la absorción del Cu en el rumen de los animales, cuando estos forrajes son consumidos debido a la interacción que existe entre estos minerales. Trabajando con bovinos, Philippo *et al.* (1987) encontraron que incrementando el hierro en la dieta de 500 a 800 ppm reduce drásticamente el contenido de Cu en hígado de 134 a 16 ppm en ocho semanas. Además, en 44% de los ranchos la concentración de Fe superó el máximo tolerable. Si la absorción de Fe dietético excede la capacidad de enlace de la transferrina y lactotransferrina en sangre y tejidos, el Fe libre puede incrementar en tejido. El Fe libre es muy reactivo y puede causar una generación de productos reactivos con el oxígeno, peroxidación de lípidos y producción de radicales libres (estrés oxidativo), incrementando los requerimientos de antioxidantes en los animales (Bremmer *et al.*, 1987).

El Zn en los forrajes fue deficiente en relación con los requisitos de los ovinos, en 78% de los ranchos. Asimismo, las concentraciones de Ca que se encuentran por arriba de los requerimientos, y las cantidades elevadas del Fe en los forrajes representan un problema adicional, ya que son factores que influyen negativamente sobre la absorción y utilización del Zn en los animales (NRC, 2001). Estas deficiencias de Zn en los forrajes pueden afectar el crecimiento y la reproducción de los animales. Por otro lado, White *et al.* (1991) mencionan que se presentan deficiencias de Zn cuando los animales en pastoreo consumen forrajes que contienen concentraciones menores a 20 ppm,

caracterizadas por un bajo crecimiento, reducción en la fertilidad y disminución de los niveles de Zn en plasma.

Los niveles de Mn, Ca, y P en los forrajes estuvieron por arriba de los requisitos para los ovinos en 100, 44 y 89% de los ranchos respectivamente, pero sin llegar a los niveles máximos tolerables.

El Mn en los forrajes se encontró en concentraciones que fueron desde 0.4 hasta 7 veces más de los requisitos de los ovinos; sin embargo, no rebasa los niveles máximos propuestos por el NRC (1985). Asimismo, Jenkins y Hidiroglou (1991) mencionan que la toxicidad de Mn en rumiantes es poco probable que pueda ocurrir, y que hay poca incidencia documentada con efectos adversos del exceso de Mn que disminuyan el consumo de alimento y crecimiento. Esos efectos negativos aparecen cuando el Mn dietético excede los 1000 ppm (NRC, 2001).

Las concentraciones de Ca en los forrajes estuvieron por arriba de los requisitos de los ovinos, hasta 5 veces más en algunos ranchos, pero sin llegar a los niveles máximos tolerables. Los forrajes son una fuente importante de Ca para el ganado en pastoreo, especialmente con leguminosas, por lo que es muy difícil encontrar deficiencias de Ca. El Ca generalmente no se considera un elemento tóxico, gracias a que los mecanismos homeostáticos hacen que se secrete todo el exceso de Ca de la dieta por vía fecal; sin embargo, aún sin encontrarse sobre los niveles máximos para los ovinos, las consecuencias

adversas de una elevada concentración de Ca en los forrajes suelen ser indirectas y puede producir desequilibrios en la absorción de otros elementos como el Zn y el Cu (NRC, 2001), que en este caso fueron deficientes en 67 y 78% de los ranchos, respectivamente.

El Mg en los forrajes cubrió los requisitos de los ovinos en 100% de los ranchos. Mayland y Wilkinson (1989) mencionan que la concentración de Mg en forraje que permitirá el máximo crecimiento se sitúa de 1 a 1.5 g kg⁻¹ de materia seca.

Por otro lado, aunque las concentraciones de Mg en el forraje estuvieron arriba de los requisitos, los niveles de K fueron elevados en todos los ranchos. Esto es importante en virtud de que la hipomagnesemia está asociada con niveles altos de K. La hipomagnesemia es más común a fines del invierno y en primavera. Según Morúa y Hurtado (1991), esto puede estar relacionado con el bajo contenido de Mg y alto de K en los forrajes en esta época del año.

En relación con los requisitos de los ovinos, en 78% de los ranchos se tuvieron deficiencias de Na en los forrajes. En rumiantes la deficiencia de Na puede ocurrir cuando se tienen forrajes deficientes como en este caso durante la lactancia, debido a la secreción de Na en la leche, en animales en crecimiento rápido y en animales consumiendo pastos fertilizados con cantidades elevadas de K, que pueden disminuir los niveles de Na en los forrajes (Minson, 1990).

Las concentraciones de K de los forrajes superaron los niveles máximos tolerables para los ovinos en 100% de los ranchos, aunque la toxicosis por K no es un problema práctico bajo condiciones normales, el alto contenido de K en los forrajes durante épocas críticas del año pueden ser antagonistas con la absorción y/o utilización del Ca y Mg, y por eso puede provocar tetania de los pastos en los rumiantes (McDowell *et al.*, 1997). Las altas concentraciones de K en las dietas antes del parto, en vacas altas productoras, predisponen a las vacas a sufrir fiebre de leche en el parto por la disminución de la resorción del Ca del hueso (Fisher *et al.*, 1994).

Las concentraciones de P en los forrajes cubrieron los requisitos de los ovinos en 100% de los ranchos, y en los forrajes de algunos ranchos el P está cerca de los niveles máximos tolerables. Un exceso de fósforo en relación con el calcio provoca urolitiasis (cálculos urinarios) y consecuentemente eleva los niveles de P en la sangre (NRC, 2001).

El nivel máximo tolerable de fósforo por ovinos sin desarrollo de cálculos urinarios se sitúa entre 0.37 y 0.69% (base seca) de la dieta. El incremento del nivel de calcio en la dieta provee protección parcial contra el desarrollo de los cálculos, sin embargo, la relación Ca:P está por debajo de la considerada como adecuada en 56% de los ranchos, incrementando el riesgo de urolitiasis.

Concentración mineral en alimentos concentrados

Las concentraciones de Cu y Na fueron deficientes en relación con los requisitos de los ovinos en 18 y 27% de los concentrados, respectivamente. Las concentraciones de Fe, Zn y Mn estuvieron arriba de los requisitos de los ovinos en todos los concentrados, sin llegar a los máximos tolerables. El Ca, Mg y P superaron los máximos tolerables en 36, 9 y 63% de los concentrados, respectivamente. La relación Ca:P también fue excesiva en 18% de los concentrados (Cuadro 7).

Cuadro 7. Contenido mineral en algunos alimentos concentrados de ranchos en el estado de Tlaxcala, México.

Rancho	Alimento	Minerales									Rel. Ca:P
		Cu	Fe	Zn	Mn	Ca	Mg	Na	K	P	
		-----ppm-----				-----%-----					
1	A. engorda	15.7	398	93	104	0.85	0.24	0.72	0.87	0.79	1.1
2	Concentrado	10.3	466	31	44	0.31	0.18	0.19	0.75	0.40	0.8
6	Concentrado	21.4	295	225	243	2.34	0.23	0.69	0.68	0.56	4.2
7	Gestación	5.1	278	245	159	2.07	0.41	0.26	1.00	0.61	3.4
	Concentrado	16.6	76	53	47	0.42	0.37	0.02	2.37	0.82	0.5
	Iniciador	11.1	96	73	174	1.06	0.58	0.01	1.43	1.28	0.8
	Crecimiento	17.2	290	301	300	0.34	0.25	0.95	1.04	0.48	0.7
	Lactancia	11.9	417	144	667	2.17	0.32	0.14	0.92	0.72	3.0
	Finalización	12.3	299	243	284	2.23	0.23	0.08	0.94	0.50	4.4
	Starter R5-T	16.7	333	191	219	0.88	1.03	0.28	1.57	0.64	1.3
8	Crías	9.3	228	71	92	0.82	0.47	0.13	1.37	1.01	0.8
											Ideal*
	Requisitos ¹	10.0	50	30	30	0.30	0.10	0.10	0.50	0.25	2.0:1.0
											Excesivo*
	Máx. tolerable ¹	25.0	500	500	1000	2.00*	0.80	1.60*	3.00	0.60	4.0: 1.0

¹ Requisitos y niveles máximos tolerables, en base a las necesidades de los ovinos (NRC, 1985).

* Puls (1988).

Las concentraciones de Cu en dos concentrados (gestación y crías) estuvieron por abajo de los requisitos para los ovinos. La concentración de Cu en el

concentrado para crías puede ser adecuado, el ARC (1980) estimó que los requerimientos de Cu para corderos de 5 a 40 kg de peso vivo es de 1.0 a 5.1 ppm. Sin embargo, con las bajas concentraciones de Cu en el alimento para gestación (rancho 7), se puede presentar ataxia en los corderos. La ataxia puede presentarse inmediatamente después del nacimiento (ataxia neonatal), provocada por una deficiencia de Cu durante la gestación o se puede presentar varias semanas después del nacimiento (ataxia retrasada). El NRC (1985) y Faye *et al.* (1991) mencionan que la ataxia neonatal es característica de la deficiencia de Cu en corderos jóvenes, debido a desórdenes en la síntesis de mielina. Esto debido a que el Cu es necesario para la activar a la enzima citocromo oxidasa que actúa en el metabolismo aeróbico para que se lleve a cabo la síntesis de fosfolípidos, que a su vez activará la síntesis de mielina. La síntesis de mielina se lleva a cabo en el cerebro durante la gestación y en la médula espinal a las 3-4 semanas de vida. Los signos de ataxia incluyen incoordinación muscular, parálisis de las patas traseras y muerte.

Las concentraciones de Fe estuvieron por arriba de los requisitos de los ovinos en todos los concentrados, sin llegar al máximo tolerable. Sin embargo, Lawlor *et al.* (1965) observaron que los corderos que recibieron 210 y 280 ppm de Fe presentaron diarrea severa y algunos murieron. El Fe en altas concentraciones en la dieta también interactúa con el metabolismo del Cu, resultando en una baja concentración de Cu en el hígado (Standish *et al.*, 1971). Asimismo, Probowo *et al.* (1988) encontraron que la adición por arriba de 120 ppm de Fe

en la dieta, como carbonato ferroso, no afecta el crecimiento pero reduce el estado del Cu en lo animales.

Las concentraciones de Zn en los alimentos concentrados cubrieron los requisitos de los ovinos. Sin embargo, la utilización del Zn puede estar limitada por las cantidades de Ca en los concentrados, debido a que con niveles altos de calcio en la dieta (1.2 a 1.8%) afectan adversamente la utilización del Zn (NRC, 2001).

Por otro lado, aunque las concentraciones de Zn en los concentrados no llegaron a los niveles máximos tolerables para los ovinos, hay concentraciones de hasta nueve veces más de los requisitos para los ovinos en algunos concentrados. Esto puede afectar el metabolismo del cobre en los animales, debido a que el Zn incrementa la metalotionina en el intestino. La metalotionina cubre la superficie luminal de las células intestinales y enlaza y secuestra el cobre de la superficie luminal. El cobre enlazado eventualmente es desechado por las heces o por descamación de las células epiteliales del intestino (NRC, 2001). Las altas concentraciones de Fe y Zn en la dieta pueden interferir con el Cu, disminuyendo su absorción en los animales, situación que puede empeorar el problema que presentan los concentrados (gestación y cría) de los ranchos 7 y 8, respectivamente, que tienen concentraciones deficientes de Cu en relación con los requisitos de los ovinos.

Las concentraciones de Mn estuvieron por arriba de las requisitos de los ovinos en todos los concentrados, con concentraciones que van desde 0.5 a 9 veces más de los requisitos para los ovinos. El Mn es considerado uno de los elementos menos tóxicos, a pesar de que en dosis altas puede causar toxicidad (McDowell *et al.*, 1997).

Las concentraciones de Ca en los concentrados estuvieron elevadas hasta 10 veces más de los requisitos de los ovinos en algunos concentrados. Además, el concentrado del rancho 6 y tres concentrados del rancho 7 (gestación, lactancia y finalización) superaron los niveles máximos tolerables de Ca en relación con los requisitos de los ovinos. Los excesos de Ca o P pueden causar defectos óseos, y reducir el consumo de alimento y la ganancia de peso (NRC, 1980). Si se añade Ca en exceso, como en estos casos, a una dieta adecuada en lo demás, puede resultar en una deficiencia de otros elementos como P, Mg, Fe, I, Zn, Mn (NRC, 1980) y Cu (NRC, 2001). Por otro lado, Economides (1984) encontró en ovejas que conforme se incrementan los niveles de Ca en la dieta, la absorción del mismo disminuye.

Las concentraciones de Mg estuvieron arriba de los requisitos de los ovinos en todos los concentrados con cantidades de 0.8 a 9 veces más de los requisitos de los ovinos. Sin embargo, estas concentraciones relativamente elevadas de Mg pueden estar limitadas para su utilización por las cantidades de K en la dieta, ya que el K interfiere con la absorción del Mg en el rumen. Aunque la toxicosis por Mg no es común, excepto por alimentación accidental con niveles

altos, el rancho 7 presenta un concentrado (Starter R5-T) con Mg excesivo. El NRC (1980) menciona que con la administración de 0.8% o niveles mayores, resultan en signos de toxicosis como es el letargo, problemas de locomoción, diarrea, bajo consumo y muerte.

Aunque la mayoría de los concentrados (73%) tuvieron concentraciones de Na por arriba de los requisitos de los ovinos, el resto (27%) fue deficiente. Estas deficiencias pueden ser empeoradas por las cantidades de K en esos concentrados deficientes en Na, especialmente en el concentrado del rancho 7 (iniciador), debido a que las deficiencias de Na son más probables en animales en crecimiento rápido, así como en animales en lactancia.

Las concentraciones de K estuvieron por arriba de los requisitos de los ovinos, sin llegar a los máximos tolerables, con cantidades de 0.25 a 4 veces más de los requisitos. Las cantidades elevadas de K en los concentrados pueden afectar negativamente la absorción del Mg en los animales, aunque las concentraciones de Mg en los concentrados se encuentren en niveles elevados. Jackson *et al.* (1971) mencionan que incrementando los niveles de K de 0.7 a 3.0%, linealmente disminuye la retención de energía y la ganancia de peso de corderos. Asimismo, incrementando los niveles de K en la dieta, también se disminuyen los niveles de Mg en suero (Greene *et al.*, 1983). El efecto negativo de los altos niveles de K sobre la utilización del Mg puede ayudar a precipitar la hipomagnesemia en ovejas con dietas marginales en Mg (Field, 1983).

Todos los concentrados tuvieron concentraciones de P por arriba de los requisitos de los ovinos, con concentraciones de hasta cuatro veces más de los requisitos. Aunque un aumento en las cantidades de Ca puede proporcionar cierta protección contra la urolitiasis, se observa que las cantidades de P también fueron elevadas, provocando que la relación Ca:P estuviera por abajo de los niveles ideales en 63% de los concentrados contribuyendo al riesgo de cálculos urinarios en los animales. Asimismo, dos concentrados tuvieron una relación Ca:P que supera los niveles considerados excesivos en relación con los requisitos de los ovinos. Estas elevadas concentraciones de Ca y P en la dieta pueden limitar la disponibilidad de ciertos microelementos que se encuentren en cantidades adecuadas. En ovinos relaciones por debajo de 1:1 y por encima de 7:1 disminuyen el crecimiento y la eficiencia de la utilización del alimento (Miller, 1983). Sin embargo, algunos autores indican que los rumiantes pueden tolerar relaciones de Ca:P de hasta 8:1, pero en animales en confinamiento y en periodos cortos de tiempo (Huerta, 1995).

Concentración mineral en algunos ingredientes utilizados para la elaboración de concentrados

La pollinaza, pasta de soya y canola tienen concentraciones considerables de minerales en comparación con las fuentes energéticas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Contenido mineral en algunos ingredientes utilizados como fuentes de proteína o de energía para la alimentación de ovinos en ranchos del estado de Tlaxcala, México.

Rancho	Alimento	Minerales									Rel. Ca:P
		Cu	Fe	Zn	Mn	Ca	Mg	Na	K	P	
		-----ppm-----				-----%-----					
Fuentes de proteína											
1	Pollinaza	73.0	1111	57	693	4.24	0.72	0.76	3.17	2.01	2.1
1	P. Soya	18.0	86	58	47	0.50	0.44	0.01	2.52	0.83	0.6
8	Canola	4.0	107	60	65	0.61	0.69	0.01	1.42	1.34	0.4
Fuentes de energía											
1	Chicharrón	2.2	8	29	0.9	0.01	0.01	0.01	0.17	0.12	0.1
1	Cebada	4.0	109	28	25	0.11	0.18	0.04	0.52	0.55	0.2
7	Sorgo	3.0	37	2	16	0.03	0.17	0.01	0.35	0.30	0.1
8	M. molido	1.5	31	160	6	0.38	0.11	0.02	0.33	0.29	1.3
Requisitos ¹											Ideal*
											2.0:1.0
Máximo tolerable ¹											Excesivo*
											4.0: 1.0

¹ Requisitos y niveles máximos tolerables, en base a las necesidades de los ovinos (NRC, 1985).

* Puls (1988).

La pollinaza, pasta de soya y canola se utilizan como fuente de proteína en la alimentación del ganado. A excepción de la canola, la pollinaza y la pasta de soya, tienen una considerable cantidad de Cu en relación con las fuentes energéticas. Sin embargo, representa un riesgo que las excretas contengan un importante nivel de cobre, ya que el exceso puede ser tóxico. Esto debido a que los ovinos son más susceptibles a intoxicarse por un exceso de cobre en la dieta (NRC, 1985) en comparación con los bovinos, ya que su nivel máximo de tolerancia es de 25 ppm. Cuando se presenta un exceso de cobre dietético se almacena en el hígado. En un momento de estrés, es liberado produciendo un estado de ictericia y debilidad. La orina adquiere un tono café, debido a la hemoglobina liberada por la destrucción de los eritrocitos. La muerte sobreviene

de uno a cuatro días después de haberse presentado los primeros signos (Blood *et al.* 1987).

Las fuentes de proteína aportan cantidades significativas de fósforo, calcio y otros minerales como Fe, Zn, Mn, Mg, Na y K. Moguel *et al.* (1990b) reportan niveles aproximados de calcio y fósforo de 3 y 1.8% en la pollinaza, respectivamente. Se ha reportado que la disponibilidad del fósforo de la pollinaza es buena (Moguel *et al.*, 1990a), ya que se encuentra primordialmente en forma de ortofosfatos (Barnet, 1994).

El NRC (2001) reporta para la pasta de soya concentraciones de Cu, 17; Fe, 169; Zn, 72; Mn, 39 ppm y Ca, 0.36; Mg, 0.30; Na, 0.04; K, 2.12; P 0.66% y para canola Cu, 5; Fe, 296; Zn, 61; Mn, 68 ppm y Ca, 0.75; Mg, 0.53; Na, 0.07; K, 1.41; P, 1.10%.

Las excretas animales también son muy ricas en todos los minerales. Los problemas de su composición mineral residen en que contienen demasiado calcio en relación con el fósforo, tiene exceso de hierro y el contenido de cobre puede ser muy variable (Huerta, 1997).

Concentración mineral en sales minerales

Las concentraciones de Fe, Ca, Mg y K en los forrajes, alimentos concentrados y algunos ingredientes utilizados en las dietas de los ovinos, demuestran que

pueden cubrir los requisitos de los ovinos por lo que la inclusión de Fe, Mg y K en las mezclas minerales debe ser mínima o nula (Cuadro 9).

Cuadro 9. Concentración mineral en algunas mezclas minerales ofrecidas a ovinos en diferentes estados fisiológicos en ranchos del estado de Tlaxcala, México.

Rancho	Mezcla mineral	Minerales								
		Cu	Fe	Zn	Mn	Ca	Mg	Na	K	P
		-----ppm-----				-----%-----				
1	Ortofosfato	84	5022	8969	507	12	0.28	0.09	0.08	12.08
2	Sal	12	877	437	1092	26	2.59	23.32	0.13	1.45
6	Borregos	13	1486	2260	2747	11	0.74	13.21	0.18	2.14
	Lactación	24	4877	8050	2940	7	4.69	7.80	0.06	0.01
	Finalización	25	3191	4017	5196	23	0.77	9.84	0.10	1.22
	Gestación	87	4985	9916	5399	14	5.12	8.14	0.38	2.36
	Crecimiento	288	5095	4516	5141	15	0.77	8.91	0.45	1.08
7	Ovejitina	12	8905	7321	10705	31	0.22	0.45	0.48	0.64
8	Ovinofox	20	3126	3154	1403	12	5.53	16.85	0.21	3.89
Requisitos ¹		10	50	30	30	0.3	0.10	0.10	0.50	0.25
Máx. tolerable ¹		25	500	500	1000	2.0*	0.80	1.60*	3.00	0.60

¹ Requerimiento en base a las necesidades de los ovinos (NRC, 1985); * Puls (1988).

Dado que las concentraciones de Cu fueron deficientes en los forrajes de algunos ranchos en relación con los requisitos de los ovinos y a la existencia de deficiencias de Cu en el estado de México y Tlaxcala (Domínguez y Huerta, 1993), las mezclas minerales formuladas para los animales en la zona deben incluir un nivel de Cu más elevado que alcance a cubrir las necesidades del animal para este elemento.

El ortofosfato y la sal son ingredientes que no deben llevar Fe; sin embargo, la presencia de este mineral en estos ingredientes puede deberse a

contaminación. Las concentraciones de Fe en los forrajes, alimentos concentrados y algunos ingredientes estuvieron por arriba de los requisitos de los ovinos. Por lo mismo, los suplementos deben contener poco o nada de Fe. Un exceso de Fe ocasiona problemas con la absorción del Cu (Church y Pond, 1988).

Los forrajes y los alimentos concentrados tuvieron concentraciones de Mn que cubrieron los requisitos de los ovinos, por lo tanto, la aparición de una deficiencia de Mn en estos casos parece ser poco probable. Por lo anterior, la inclusión de cantidades elevadas de Mn en la mezcla mineral no tiene sentido. Gallardo (1993) menciona que la concentración de Mn en las mezclas minerales debe ser mínima.

Las concentraciones de Ca en los forrajes y en los alimentos concentrados cubrieron los requisitos de Ca de los ovinos. Sin embargo, aunado a esto, las mezclas minerales aportan una cantidad considerable de este elemento. El problema que se puede presentar con el exceso de Ca en la dieta es que deprime la absorción de Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na, K y P (McDowell *et al.*, 1997).

Considerando que las concentraciones de Mg en los forrajes, concentrados y algunos ingredientes fueron suficientes en su contenido del elemento, los suplementos minerales deben contener una cantidad mínima o nada de Mg. Asimismo, al igual que el Mg, los contenidos de K en las mezclas minerales se

pueden considerar elevados. Es necesario resaltar que si bien el K no es requerido en grandes cantidades en las dietas para rumiantes (dado que su disponibilidad biológica es alta y la solubilidad y rapidez de absorción en el intestino delgado es constante), un elevado consumo de K resulta en una disminución en la absorción del Mg con una consecuente disminución de Mg en sangre, suficiente para causar tetania en los rumiantes (Shimada, 1983).

Por otro lado, algunos forrajes, alimentos concentrados, así como algunos ingredientes fueron deficientes de Na en relación con los requerimientos de los ovinos. Huerta (1995) menciona que los suplementos minerales deben incluir una concentración mínima de 30% de sal en el suplemento mineral. Considerando que la sal contiene 40% de Na, las mezclas minerales deberían aportar 12% de Na como mínimo, lo cual no ocurre en algunas mezclas de este estudio.

Las concentraciones de Fe, Mn, Ca, Mg, y K en las mezclas minerales pueden deberse a la contaminación o que por desconocimiento de sus posibles efectos adversos en los animales se estén incluyendo de manera errónea en las mezclas minerales. Gallardo (1993) menciona que durante el proceso de formulación de una mezcla mineralizada, únicamente se toma el aporte de las sales puras y no el aporte que pudieran hacer otras fuentes. Asimismo, este mismo autor encontró cantidades elevadas de estos minerales en la mayoría de las mezclas para bovinos analizadas, por lo que concluye que el contenido de

K, Mn y Mg debe ser mínimo, cuidando los excesos, y que la inclusión de Fe debe ser mínima o nula.

Concentración mineral en suero sanguíneo de ovinos

Las concentraciones de Cu, Fe y Zn en suero sanguíneo fueron afectadas ($P < 0.01$) por el rancho. El efecto de estado fisiológico y la interacción rancho * estado fisiológico fueron significativas para Zn únicamente (Cuadro 10).

El 56% de los ranchos tuvieron ovejas deficientes en Cu. Asimismo, el 60% de los ranchos con corderos tuvieron corderos deficientes de Cu.

Cuadro 10. Concentración de microminerales (ppm) en suero de ovinos en el estado de Tlaxcala, México.

Rancho	Minerales					
	Cu ^a		Fe ^b		Zn ^c	
	Ovejas	Corderos	Ovejas	Corderos	Ovejas	Corderos
1	0.90	0.90	1.12	1.74	0.77	1.09
2	0.79	0.64	2.57	1.95	0.99	1.19
3	0.48	0.46	0.91	1.74	0.85	1.04
4	0.35	0.33	1.95	1.74	0.85	1.17
5	0.66	-	1.12	-	0.77	-
6	0.81	0.83	2.98	3.19	1.08	1.06
7	0.81	0.79	1.53	1.53	0.90	0.73
8	0.92	0.61	0.50	0.29	0.71	0.44
9	0.63	0.57	1.12	1.12	0.79	0.93
Promedio	0.71	0.64	1.53	1.66	0.86	0.96
Rango adecuado*	0.80 a 1.50		1.30 a 2.50		0.80 a 2.50	

^a Efecto: Rancho, $P=0.0001$; Animal, $P=0.0529$; Interacción, Rancho*Animal, $P=0.3547$.

^b Efecto: Rancho, $P=0.0001$; Animal, $P=0.7344$; Interacción, Rancho*Animal, $P=0.8120$.

^c Efecto: Rancho, $P=0.0001$; Animal, $P=0.0021$; Interacción, Rancho*Animal, $P=0.0001$.

* NRC, 1988.

El 56% de los ranchos tuvieron concentraciones de Fe deficientes en sus ovejas. Sin embargo, en el 22% de los ranchos se encontraron ovejas que superaron el rango adecuado de Fe. El 22% de los ranchos tuvieron corderos deficientes en Fe y sólo un rancho (6) superó el rango adecuado de Fe para los ovinos. En el 44% de los ranchos se encontraron ovejas con concentraciones deficientes de Zn en suero. El 22% de los ranchos tuvieron corderos deficientes de Zn en suero.

Entre 53 y 60% de los borregos con concentraciones deficientes en Cu también tuvieron deficiencias de Zn y Fe. Las deficiencias de Cu y Zn pueden estar relacionadas con una cantidad pobre de estos minerales en la dieta. Además, las dietas con altos niveles de Fe, interfieren con la absorción del Cu y Zn (Bremner *et al.*, 1987; Gengelbach *et al.*, 1994). Asimismo, el Fe estuvo en cantidades elevadas en forraje, alimento concentrado y sales minerales. Tomando en cuenta que el Cu es necesario para el funcionamiento de ceruloplasmina, proteína importante en la movilización del hierro del hígado hacia los tejidos que lo requieren, como la médula ósea para la síntesis de hemoglobina (Harris, 1997), podemos decir que con la deficiencia de Cu la movilización del Fe estará limitada, lo cual puede explicar las deficiencias de Fe en los animales aunque los alimentos tengan concentraciones elevadas de Fe. Asimismo, el Cu y el Zn interactúan, dado que forman parte de metalotionina, una proteína inducible por cualquiera de los dos minerales (Chesters, 1997). Esta interacción puede ocasionar sinergismo o antagonismo entre Cu y Zn. También las bajas concentraciones de Cu, Fe y Zn pueden estar relacionadas

con la cantidad de Ca en la dieta, ya que con niveles elevados de Ca la absorción de estos elementos disminuye. Asimismo, el status de Fe y el Zn en los animales también pueden estar relacionados con el status del Cu en los animales.

Por otro lado, las mayores concentraciones de Zn en los corderos puede deberse a que a pesar de que no existan reservas bien definidas, durante una situación de deficiencia de Zn se produce una redistribución de cantidades significativas en músculo y hueso, lo que retrasa el inicio de la deficiencia clínica. Dichos factores pueden explicar la tolerancia que poseen los corderos recién nacidos a una depleción de Zn materna (Master y Moir, 1983). Sin embargo, en la oveja no existe un aumento en la reserva hepática de Zn a finales de la gestación (Williams *et al.*, 1978). Además, las concentraciones de Ca en los forrajes y en los alimentos concentrados también pueden limitar la utilización del Zn.

El rancho y la interacción rancho x estado fisiológico afectaron ($P < 0.01$) las concentraciones de Ca, Mg, Na, K y P en el suero sanguíneo (Cuadro 11). Las concentraciones de Ca y P fueron afectadas ($P < 0.05$) por el estado fisiológico.

Cuadro 11. Concentración de macrominerales (ppm) en suero de ovinos en el estado de Tlaxcala, México.

Rancho	Minerales									
	Ca ^a		Mg ^b		Na ^c		K ^d		P ^e	
	Ovejas	Cor- deros	Ovejas	Cor- deros	Ovejas	Cor- deros	Ovejas	Cor- deros	Ovejas	Cor- deros
1	103	94	22	22	3307	3125	567	456	110	87
2	103	106	21	23	3226	3112	437	374	126	82
3	113	120	24	21	3042	3437	405	491	71	109
4	99	106	22	20	3241	3193	367	417	78	107
5	99	-	19	-	3327	-	379	-	94	-
6	104	113	26	22	3449	3377	458	468	69	101
7	97	102	23	22	3371	3253	413	381	73	82
8	111	106	23	24	3372	3619	401	454	71	84
9	91	108	21	21	2909	3041	297	354	81	85
Promedio	103	107	22	22	3249	3270	414	424	86	92
Rango	45-60 ovejas									
Adecuado*	80 a 120		18 a 35		3200 a 3600		150 a 220		60-90 corderos	

^a Efecto: Rancho, P=0.0001; Animal, P=0.033; Interacción, Rancho*Animal, P=0.0047.

^b Efecto: Rancho, P=0.0001; Animal, P=0.173; Interacción, Rancho*Animal, P=0.0013.

^c Efecto: Rancho, P=0.0001; Animal, P=0.473; Interacción, Rancho*Animal, P=0.0049.

^d Efecto: Rancho, P=0.0001; Animal, P=0.650; Interacción, Rancho*Animal, P=0.0029.

^e Efecto: Rancho, P=0.0001; Animal, P=0.011; Interacción, Rancho*Animal, P=0.0001.

* Puls, 1988.

Aún cuando las concentraciones de Zn, Ca y P en suero sanguíneo fueron mayores en los corderos ($P < 0.05$) en comparación con las ovejas, la presencia de la interacción denota que en algunos ranchos sucedió lo contrario.

Según Underwood (1981) los valores normales de Ca en suero sanguíneo varían de 90 a 130 ppm en ovinos jóvenes. De acuerdo con este rango y al nivel crítico sugerido por McDowell (1985) de 80 ppm de Ca, se observa que todos los animales presentaron concentraciones normales de Ca en suero. Underwood y Suttle (2003) mencionan que en ovinos los requerimientos de Ca para crecimiento disminuyen con la edad.

Las concentraciones de Mg en suero de ovinos tuvieron dentro del rango adecuado en todos los ranchos. Los forraje, los concentrados y las mezclas minerales tuvieron cantidades considerables de Mg, por lo cual, los riesgos de hipomagnesemia son poco probables. Los valores séricos de Ca inferiores al normal suelen acompañar a niveles bajos de Mg; sin embargo, las concentraciones de Ca en suero están en dentro del rango adecuado para los ovinos.

El 22% de los ranchos tuvieron ovejas con deficiencia de Na en suero y en 50% de los ranchos deficiencia de Na en sus corderos. Esto puede ser debido a las bajas concentraciones de Na en los forrajes y algunos concentrados. También hay que tomar en cuenta que los animales más susceptibles a una deficiencia de Na son los animales en lactancia, por la secreción de Na a la leche, y los animales en crecimiento rápido alimentados con raciones basadas en cereales. Por otro lado, McSweeney *et al.* (1988) mencionan que la concentración de aldosterona en plasma puede ser el mejor indicador del status de Na en rumiantes en pastoreo, dado que la medida del balance de Na es imprecisa.

Aunque los niveles de K en suero superaron los niveles adecuados tanto en ovejas como en corderos en todos los ranchos, al parecer no tiene un efecto negativo sobre el Ca y el Mg en suero. Estas altas concentraciones de K en suero de los animales puede deberse a que las concentraciones de K en algunos forrajes rebasan los máximos tolerables en relación con los requerimientos de los ovinos. El mayor efecto directo de un exceso de K es la

alteración del equilibrio ácido-base, una hipercalemia y finalmente un paro cardíaco.

Se encontraron elevadas concentraciones de P en suero de las ovejas en 100% de los ranchos y para corderos en 50% de los ranchos. Esto se debe las elevadas concentraciones de P en el agua, forraje y alimento concentrado, ya que el P está en forma absorbible en la dieta y es absorbido en grandes cantidades, incluso cuando se administra en exceso (Challa *et al.*, 1989). Estas concentraciones elevadas P en la dieta hacen que los niveles séricos de P también sean elevados y que los animales tengan riesgos de sufrir uriolitiasis.

CONCLUSIONES

Se encontraron diferencias en las concentraciones de los minerales en suero sanguíneo agua, suelo y forraje entre los ranchos. Todos los ranchos tuvieron bajas concentraciones de Na en el agua. Se encontraron deficiencias de cobre en suelo en 78% de los ranchos, y el 67, 78, y 78% de los ranchos tuvieron forrajes deficientes en cobre, cinc y sodio, respectivamente, en relación con los requisitos de los ovinos. El 18 y 27% de los concentrados tuvieron concentraciones de Cu y Na deficientes, respectivamente, en relación con los requisitos de los ovinos. Por las concentraciones de Fe, Mn, Ca, Mg y K encontradas en los forrajes y alimentos concentrados, las concentraciones de Mn, Ca, Mg y K se deben disminuir al mínimo en las mezclas minerales, cuidando los excesos, mientras que la inclusión de hierro debe ser mínima o nula. Considerando los animales de todos los ranchos, el 56, 46, 30 y 40% fueron deficientes en cobre, hierro, cinc y sodio, respectivamente. La concentración de minerales en el suero sanguíneo fue afectada por el estado fisiológico. Los corderos tuvieron una mayor concentración de Zn, Ca y P en suero en comparación con las ovejas.

El origen de las deficiencias en los animales se explica por las deficiencias de algunos minerales en agua, suelo, forraje, alimento concentrado, y la ausencia de suplementación mineral en algunos casos (cuatro ranchos). Por lo anterior, se recomienda la suplementación con estos minerales para la corrección de deficiencias.

LITERATURA CITADA

- ARC. 1980. The nutrient requirement of ruminant of livestock. Technical Review by an Agricultural Research Council Working Party, Commonwealth Agriculture Bureau, Farnham Royal, UK. 542 p.
- Barnett, G. M. 1994. Phosphorus forms in animal manure. Bioresource Tech. 49: 139-146.
- Blood D. C., O. M. Radostits y J. A. Henderson. 1987. Enfermedades causadas por agentes químicos. En: Medicina Veterinaria. Ed. Interamericana. Sexta edición. México, D. F. pp: 1224-1229.
- Bowen, H. J. M. 1966. Trace Elements in Biochemistry. Academic Press. New York, NY. pp: 118-184.
- Bremner, I., W.R. Humphries, M. Phillippo, M J. Walker, and P. C. Morrice. 1987. Iron induced copper deficiency in calves: dose-response relationships and interactions with molybdenum and sulphur. Animal Production. 45: 403-410.
- Brown, J. R. 1987. Soil Testing: sampling, correlation calibration and interpretation. Soil Science Society of America. Inc., SSSA. Special publication, number 221, Madison, Wisconsin USA. 144 p.
- Challa, J., G. D. Braithwaite, and M. S. Dhanoa. 1989. Phosphorus homeostasis in growing calves. Journal of Agricultural Science. 112: 217-226.

- Chesters, J. K. 1997. Zinc. *In*: B. L. O'Dell and R. A. Sunde (Eds.). Handbook of nutritionally essential mineral elements. Marcel Dekker, Inc., New York. pp: 185-230.
- Church, D. C., and W. G. Pond. 1988. Basic Animal Nutrition and Feeding. Third edition. Ed. Willey. New York. 432 p.
- De Alba J. 1980. Alimentación del Ganado en América Latina. 2a. edición. La Prensa Médica Mexicana. S. A. México. 225 p.
- Domínguez I., A., y M. Huerta B. 1993. Diagnóstico del estado mineral de ovinos bajo condiciones de pastoreo en Tenango del Valle, México. Memorias del VI congreso Nacional de Producción Ovina. Cd. Valles, SLP. pp: 105-108.
- Economides, S. 1984. Calcium metabolism in dairy sheep. J. Agric. Sci., Camb. 102: 601-608.
- Fageria, N. K., V. C. Baligar, and C. A. Jones. 1997. Growth and Mineral Nutrition of Fields Crops. Second edition, revised and expanded. New York. E. U. A. 624 p.
- Faye, B., C. Grillet, A. Tessema, and M. Kamil. 1991 Copper deficiency in ruminants in the Rift Valley of Esta Africa. Trop. Anim. Hlth. Prod. 23: 172-180.
- Fick, K. R., L. McDowell R., P. Miles H., N. Wilkinson S., J. Funk D., J. Conrad H. y R. Valdivia. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Anim. Sci. Departament. Univ. de Florida, U. S. A. 98 p.

- Field, A. C. 1983. Dietary factors affecting magnesium utilization by ruminants. *In: Proc. John Lee Pratt Int. Symp. on the requirements Magnesium in Animal Nutrition.* J. P. Fontenot, G. E. Webb, Jr., and V, G Allen, ed. Blacksburg, Va.: Virginia Polytechnic Institute and State University. pp. 159-171.
- Fisher, L. J., N. Dinn, R. M. Tait, and J. A. Shelford. 1994. Effect of level of dietary potassium on the absorption of calcium and magnesium by lactating dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 74: 503-509.
- Gallardo O., E. 1993. Concentración mineral en algunos suplementos minerales para bovinos comercializados en México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx. 78 p.
- Gengelbach, G.P., J.D. Ward, and J.W. Spears. 1994. Effect of dietary copper, iron, and molybdenum on growth and copper status of beef cows and calves. *J. Anim. Sci.* 72: 2722-2727.
- Greene, L. W., J. P. Fontenot, and K. E., Webb, Jr. 1983. Effect of dietary potassium on absorption of magnesium and other macroelements in sheep fed different levels of magnesium. *J. Anim. Sci.* 56:1208.
- Harris, E. D. 1997. Copper. *In: B. L. O'Dell y R. A. Sunde (Eds.). Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements.* Marcel Dekker, Inc., New York. pp: 231-273.
- Harris, W. D., and P. Popat, 1954. Determination of the phosphorus contents of the lipids. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 32: 124.-127

- Huerta B., M. 1995. Suplementación mineral de ovinos en pastoreo. Memoria del curso Tópicos Actuales sobre Nutrición y Alimentación de Ovinos en Engorda. 17 y 19 de mayo. Chapingo, Méx. pp: 104-118.
- Huerta B., M. 1997. Nutrición de rumiantes en pastoreo. Memorias del curso Alternativas de Manejo en Bovinos para Carne en Pastoreo. 21, 22 y 23 de mayo. Chapingo, México. 55 p.
- Huerta B., M. 1999. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. En II Seminario Internacional Estrategias de Suplementación a Bovinos en Pastoreo. 28 y 29 de octubre. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. pp: 154-182.
- Jackson, H. M., R. P. Kromann, and E. E. Ray. 1971. Energy retention in lambs as influenced by various levels of sodium and potassium in the rations. J. Anim. Sci. 33: 872.
- Jenkins, K. J., and M. Hidirolou. 1991. Tolerance of the preruminant calf for excess manganese or zinc in milk replacer. J. Dairy Sci. 74: 1047-1053.
- Lawlor, M. J., W. H. Smith, and W. M. Beeson. 1965. Iron requirement of the growing lamb. J. Anim. Sci. 24: 742.
- Master, D. G., and R. J. Moir. 1983. Effect of zinc deficiency on the pregnant ewe and developing foetus. British Journal of Nutrition 49: 385-372.
- Mayland, H. F., and S. R. Wilkinson. 1989. Soil factors affecting magnesium availability in plant-animal systems. J. Anim. Sci. 67: 3437-3444.

- McDowell, L.R. 1985. Copper, Molybdenum and Sulfur. *In: Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press Inc., Orlando, Florida. pp: 23-29.
- McDowell, L. R., J. P. Velásquez, y G. Valle. 1997. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. Departamento de Zootecnia. Centro de Agricultura Tropical. Universidad de Florida. 3ª Ed. 83 p.
- McSweeney, C. S., R. B. Cross, B. T. Wholohan, and M. R. Murphy. 1988. Diagnosis of sodium status in small ruminants. *Aust. J. Agric. Res.* 39: 935-942.
- Miller, W. J. 1983. Phosphorus nutrition, biochemistry, metabolism and requirements in ruminants. Meeting of the National Feed Ingredients Association, Chicago, Illinois, April 5-7.
- Miller, D. A., and H. F. Reetz. 1995. Forage Fertilization. *In: Forages, and Introduction to Grassland Agriculture*. R. F. Barnes, D. A. Miller and C. J. Nelson, ed. Iowa State Univ. Press, Ames. pp 71–87.
- Minson, D. J. 1990. Copper *In: Forage in Ruminant Nutrition*. Academic Press, Sidney, pp: 316-324.
- Moguel O., Y., J. Cantón G. y A. Castellanos F. 1990a. Biodisponibilidad del fósforo de las deyecciones avícolas. Memoria de la Reunión de Investigación Pecuaria en México. INIFAP-SARH. Villahermosa, Tab. 12-16 de Nov. pp: 307-309.
- Moguel O. Y., J. Cantón G., D. Sauri E. y A. Castellanos F. 1990b. Contenido de algunos macro y microminerales en las deyecciones avícolas en Yucatán. *Técnica Pecuaria en México*. 33 (2): 100-104.

- Morúa B. M. de los A. y G. Hurtado R. 1991. Contenido mineral de gramíneas forrajeras tropicales en Puyacatengo, Tabasco. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 97 p.
- NRC. 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. National Academies Press, Washington, D. C. USA. 557 p.
- NRC. 1985. Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrients Requirements of Sheep. Sixth Revised Edition. National Academies Press, Washington, DC. USA. 112 p.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition. National Academies Press, Washington, DC. USA. 488 p.
- Oscasberro, G. R. 1984. La producción ovina en la zona de Río Frío, estado de México. Memorias del seminario nacional sobre sistemas de producción pecuaria. Universidad Autónoma Chapingo. México. 239 p.
- Phillippo M., W. R. Humphries, T. Atkinson, G.D. Henderson, and P.H. Garthwaite. 1987. The effect of dietary molybdenum and iron on copper status, puberty, fertility and oestrus cycles in cattle. J. Agric. Sci. 109: 321-336.
- Provowo, A., J. W. Spears, and L. Goode. 1988. Effects dietary iron on performance and mineral utilization in lambs fed forage based diet. J. Anim. Sci. 66: 2068.
- Puls, R. 1988. Minerals Levels in Animal Health. Diagnostic Data. Sherpa International. British Columbia, Canadá. 153 p.

- Sánchez D. J. T. 2005. Minerales en suelos, forrajes, alimentos y animales en una unidad de producción de leche en pastoreo en Chapingo, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 49 p.
- SAS. 2001. SAS/STAT User's Guide. SAS Publishing, Cary, NC.
- Shimada, A. S. 1983. Fundamentos de Nutrición Comparada. Asociación Americana de la Soya. Primera edición. México. 83 p.
- Shirley R. L., y J. L. Montesinos. 1978. El agua como fuente de minerales. In R. L. McDowell y J. H. Conrad (Eds.). Simposio latinoamericano sobre investigaciones en nutrición mineral de los rumiantes en pastoreo. Universidad de Florida, Gainesville, Florida. pp: 47-54.
- Soder, K. J., and W. L. Stout. 2003. Effect of soil type and fertilization level on mineral concentration of pasture: Potential relationships to ruminant performance and health. J. Anim. Sci. 81: 1603-1610.
- Standish, J. F., C. B. Ammerman, A. Z. Palmer, and C. F. Simpson. 1971. J. Influence of dietary iron and phosphorus on performance, tissue mineral composition and mineral absorption in steers. J. Anim. Sci. 33: 171-178.
- Suttle, N. F., B. J. Alloway, and I. Thorton. 1975. An effect of soil ingestion on the utilization of dietary copper by sheep. J. Agric. Sci. (Cambridge) 84: 249-254.
- Suttle, N. F., J. Brebner, K. McLean, and F.U. Hoeggel. 1997. Failure of mineral supplementation to avert apparent sodium deficiency in lambs with abomasal parasitism. Anim. Sci. 63: 103.

- Tavera G. 1985. Criterios para interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para áreas de asistencia técnica. Publicación No. 3. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo, Delegación La Laguna. 122 p.
- Underwood, E. J. 1981. The Mineral Nutrition of Livestock. 2nd Edition, Slough, UK; Commonwealth Agricultural Boureaux, Slough, England. p 10.
- Underwood E. J., y N. F. Suttle. 2003. Los Minerales en la Nutrición del Ganado. 3^a. Ed. Edit. Acribia, Zaragoza, España. 633 p.
- White, C. L., B. S. Chandler, and D. W. Peter. 1991. Zinc supplementation of lactating ewes and weaned lamb grazing improved Mediterranean pastures. Austr. J. Exp. Agric. 31: 183.
- Williams, R. B., I. McDonald, and I. Bremner. 1978. The accretion of copper and of zinc by the fetuses of prolific ewes. British J. Nutr. 40: 377-386.

CAPÍTULO 4

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LECHE DE CABRAS EN SAN JOSÉ TEACALCO, TLAXCALA

Juan Carlos Muñoz González¹ Maximino Huerta Bravo¹ Rodolfo Ramírez Valverde¹
Mariano J. González Alcorta¹ Carlos López Gómez¹

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la composición química de la leche de cabras Alpinas a través del tiempo, en una explotación de San José Teacalco, Tlaxcala, se tomaron muestras de leche a los días 1, 45 y 75 después del parto a 37 cabras. Se determinaron las concentraciones de urea, caseína, proteína, lactosa, sólidos totales, sólidos no grasos, ácido cítrico, densidad, ácido grasos libres y acidez en el MilkoScan TS-120, y los minerales Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P por espectrofotometría de absorción atómica. El modelo estadístico consideró sólo el efecto de día de muestreo. El análisis estadístico se hizo utilizando el procedimiento GLM del SAS. A excepción de la lactosa, ácido cítrico, Zn y K todos los demás componentes estudiados en la leche de cabras fueron mayores ($P<0.05$) en el calostro que en la leche de los días 45 y 75 después del parto. Las concentraciones de Ca aumentaron ($P<0.05$) al día 75 después del parto en comparación con el día 45 después del parto. Las concentraciones de Na y P disminuyeron ($P<0.05$) al día 75 después del parto en relación con el día 1 y 45.

Palabras clave: Cabras, leche, composición química, Tlaxcala.

¹ Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, 56230, Chapingo, Estado de México, México. Tel. (595) 952 1621, Fax: (595) 954 8884. E-mail: maxbravo@correo.chapingo.mx, agronojuan@yahoo.com.mx.

² Práctica privada

CHEMICAL COMPOSITION OF GOAT MILK IN SAN JOSÉ TEACALCO, TLAXCALA

Juan Carlos Muñoz González² Maximino Huerta Bravo¹ Rodolfo Ramírez Valverde¹
Mariano J. González Alcorta¹ Carlos López Gómez²

ABSTRACT

The objective was to determine the chemical composition of milk from Alpine goats over time on a farm in San José Teacalco, Tlaxcala. Milk samples from 37 goats were taken at days 1, 45, and 75 after parturition. The concentrations of urea, casein, protein, lactose, total solids, non-fat solids, citric acid, density, free fatty acids, and acidity were measured with the MilkoScan Ts-120, and the minerals Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K, and P by atomic absorption spectrophotometry. The statistical model considered only the day effect. Statistical analyses were performed with the GLM procedure of SAS. With the exception of lactose, citric acid, Zn, and K, all the other components studied in the goats milk were greater ($P<0.05$) in the colostrum than in the milk of days 45 and 75 after parturition. The Ca concentrations were higher ($P<0.05$) at day 75 in comparison to day 45. Sodium and P concentrations were lower ($P<0.05$) at day 75 in relation to days 1 and 45.

Key words: Goats, milk, chemical composition, Tlaxcala.

¹ Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, 56230, Chapingo, Estado de México, México. Tel. (595) 952 1621, Fax: (595) 954 8884. E-mail: maxbravo@correo.chapingo.mx, agronojuan@yahoo.com.mx.

² Práctica privada

INTRODUCCIÓN

En los años recientes se ha incrementado de manera importante el interés en el papel que desempeña la leche de cabra en las dietas para consumo humano (Merin *et al.*, 1988); sin embargo, aunque últimamente se ha tenido interés en la composición de la leche de cabra y se han realizado diversos estudios al respecto (Guo *et al.*, 2001; Clark y Sherbon, 2000; Vousinas *et al.*, 1990), estos estudios se han realizado en su mayoría en otros países. Mientras que en México las investigaciones en la composición química de la leche de cabras son pocas, y por consiguiente la información y el conocimiento en ese aspecto son muy escasos.

Por otro lado, Guo (2003) menciona que los mayores constituyentes de la leche de cabra son altos al inicio de la lactancia y disminuye rápidamente, esto puede deberse al alto contenido de los componentes en el calostro. Asimismo, Soryal *et al.* (2004) también mencionan que la composición química de la leche cambia significativamente durante la lactancia.

Tomando en consideración lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la composición química a través del tiempo de la leche de cabras en San José Teacalco, Tlaxcala, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El trabajo se realizó del 29 de marzo al 7 de junio del 2005 en una explotación dedicada a la producción de leche de cabra, situada en San José Teacalco, Tlaxcala, México. Esta ciudad está ubicada en el Altiplano central mexicano a 2,600 msnm, a 19° 20' latitud norte y 98° 04' longitud oeste. El municipio de San José Teacalco, colinda al norte con los municipios de Cuaxomulco y Tzompantepec, al sur y al oriente colinda con el municipio de Huamantla, asimismo al poniente colinda con los municipios de Contla de Juan Cuamatzi, Santa Ana Chiautempan y San Francisco Tetlanohcan. En el municipio, el clima se considera templado subhúmedo, con régimen de lluvias en los meses de abril a septiembre (García, 1988).

Animales y alimentación

Se utilizaron 37 cabras de la raza Alpina. El manejo alimenticio de los animales consistió en pastoreo extensivo, proporcionándoles un concentrado a base de paja de avena, alfalfa achicalada y maíz molido. El forraje disponible en pastoreo fue rastrojo de maíz.

Metodología

Se tomaron muestras de leche a los días 1 (calostro 1-24 h), 45 y 75 después del parto a 37 cabras. La leche se colectó de forma directa en frascos de plástico con tapa hermética y se pusieron en refrigeración hasta su análisis.

Análisis de laboratorio

En las muestras de leche determinaron las concentraciones de urea, caseína, proteína, lactosa, sólidos totales, sólidos no grasos, ácido cítrico, densidad, ácidos grasos libres y acidez en el MilkoScan TS-120, y los minerales Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na y K fueron analizados mediante espectrofotometría de absorción atómica (Fick *et al.*, 1979) y el P por colorimetría (Harris y Popat, 1954).

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados se realizó por el procedimiento GLM del paquete SAS (2001) mediante el siguiente modelo: $Y_{ij} = \mu + \text{Día}_i + \epsilon_{ij}$. Donde, Y_{ij} = variable de respuesta μ = media general, día i = efecto del i -ésimo día después del parto ($i = 1, 45, 75$) ϵ_{ij} = error aleatorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición química de la leche de cabras

Las concentraciones de urea, caseína, proteína, sólidos totales, sólidos no grasos, densidad, ácido cítrico, Cu, Fe, Ca, Mg y P fueron mayores ($P<0.05$) en el calostro (1-24 h) de las cabras en comparación con la leche de los días 45 y 75 después del parto; mientras que las concentraciones de lactosa y Zn aumentaron ($P<0.05$) en la leche de las cabras a los días 45 y 75 después del parto en comparación con el calostro (Cuadro 12).

Cuadro 12. Composición química de la leche de cabras a través del tiempo en San José Teacalco, Tlaxcala, México.

Componente	Día después del parto			EEM
	Calostro (1-24 h)	45	75	
Urea, %	0.09 ^a	0.06 ^b	0.06 ^b	0.004
Caseína, %	8.00 ^a	2.47 ^b	2.44 ^b	0.260
Proteína, %	11.15 ^a	3.16 ^b	3.10 ^b	0.372
Lactosa, %	3.35 ^b	4.15 ^a	4.22 ^a	0.064
Sólidos totales, %	22.12 ^a	12.32 ^b	12.85 ^b	0.591
SNG, %	15.99 ^a	8.09 ^b	8.14 ^b	0.353
Ácido cítrico, %	0.12 ^a	0.12 ^a	0.13 ^a	0.005
Densidad, %	1.04 ^a	1.03 ^b	1.03 ^b	0.824
AGL, %	1.82 ^a	1.44 ^a	1.93 ^a	0.221
Acidez %	30.66 ^a	5.98 ^b	6.17 ^b	1.179
Cu, mg L ⁻¹	0.65 ^a	0.15 ^b	0.12 ^b	0.025
Fe, mg L ⁻¹	2.43 ^a	1.38 ^b	1.71 ^b	0.167
Zn, mg L ⁻¹	1.44 ^b	3.18 ^a	3.30 ^a	0.171
Ca, g L ⁻¹	2.02 ^a	1.28 ^b	1.57 ^c	0.066
Mg, g L ⁻¹	0.22 ^a	0.12 ^b	0.10 ^b	0.008
Na, g L ⁻¹	0.46 ^a	0.42 ^a	0.33 ^b	0.025
K, g L ⁻¹	0.26 ^c	1.88 ^a	1.75 ^b	0.034
P, g L ⁻¹	2.06 ^a	0.98 ^b	0.86 ^c	0.057

^{abc} Valores en la misma hilera con una literal en común son similares ($P>0.05$).

Las concentraciones de urea, caseína, proteína, sólidos totales, sólidos no grasos, ácido cítrico, densidad, AGV, Cu, Fe, Zn y Mg no aumentaron ($P>0.05$) entre los días 45 y 75 después del parto en relación con el día 1 (calostro). Únicamente las concentraciones de Ca aumentaron ($P<0.05$) al día 75 en comparación con el día 45 después del parto. Las concentraciones de Na y P disminuyeron ($P<0.05$) al día 75 después del parto en relación con el día 1 y 45.

Las concentraciones de urea al día 45 y 75 después del parto fueron similares a las mencionadas por el AFRC (1998) en una recopilación de valores para diferentes razas con concentraciones de 0.061% para la raza Anglo Nubian, 0.069% para la raza Saanen y 0.078% para la raza Alpina. Sin embargo, Jennes (1980), Morand-Fehr *et al.* (1986) y Badamana *et al.* (1990) sugieren valores en un rango de 0.03 a 0.05% de urea en la leche de cabras.

Las concentraciones de caseína en la leche a los días 45 y 75 después del parto fueron similares a las mencionadas por otros autores quienes reportan concentraciones de caseína de 2.6% (Guo *et al.*, 2004), 2.80% (Simos *et al.*, 1991) y 2.11% entre la semana 8 y 12 de la lactancia en la leche de cabras Alpinas (Voutsinas *et al.*, 1990). Guo *et al.* (2001) mencionan que la composición de la leche de cabra varía ampliamente durante la lactancia. Estos mismos autores sugieren que la leche de verano tiene mayor potencial para la producción de queso porque la leche tiene una alta proporción de caseína en la proteína cruda y una mayor cantidad de ésta en relación con el contenido de grasa.

Las concentraciones de proteína en la leche de cabras entre los días 45 y 75, fueron menores a las reportadas por Guo *et al.* (2004) con 4.47%, Simos *et al.* (1991) 3.56%, pero mayores a las reportadas por Voutsinas *et al.* (1990) con 2.79%. Estos últimos autores mencionan que los contenidos de proteína en cabras Alpinas en Grecia incrementaron progresivamente conforme el avance de la lactancia. Sin embargo, Anifantakis y Kandarakis (1980) mencionan que la concentración de proteína disminuye durante los primeros cuatro meses de lactancia y aumenta hacia el final de la lactancia. Por otro lado, Soryal *et al.* (2004) mencionan que la composición química de la leche de cabras Alpinas varía ampliamente (de 2.26 a 3.35%) en proteína. Las concentraciones de proteína encontradas en este estudio son menores a los mencionados por Amer *et al.* (1999), quienes reportan niveles de proteína en el calostro de cabras de 13.2% y disminuye a 4.5% al día 28 de lactancia.

Se encontró una menor concentración de lactosa en el calostro de este experimento en relación con la concentración de lactosa en los días 45 y 75 después del parto. Esto puede deberse que el contenido de lactosa es independiente del estado de la lactancia (Juárez y Ramos, 1986). Schmidt (1987) menciona que la concentración de lactosa en las primeras secreciones calostrales es baja a fin de evitar el aumento en la presión osmótica del intestino de los corderos y la consiguiente pérdida de agua por diarrea. Por el contrario, Brendehaug y Abrahansen (1986) encontraron que la concentración de lactosa disminuye a través de la lactancia. Las concentraciones de lactosa en los días 45 y 75 después del parto fueron similares a las reportadas por Guo

et al. (2004) de 4.48%, Voutsinas *et al.* (1990) de 4.46% y Simos *et al.* (1991) de 4.74%.

La concentración de sólidos totales los días 45 y 75 después del parto fueron similares a las obtenidas por Guo *et al.* (2004), quienes reportaron contenidos promedios de 12.38% en la leche de cabras. Sin embargo, Simos *et al.* (1991) reportaron concentraciones más elevadas de 14.12% de sólidos totales, mientras Voutsinas *et al.* (1990) reportaron concentraciones menores de 11.17%, en relación con los encontrados en este trabajo a los días 45 y 75 después del parto. Brendehaug y Arahansen (1986) encontraron que el contenido de sólidos totales de cabras noruegas estuvo altamente asociado con el estado de la lactancia, teniendo un pico al mes de la lactancia. Sin embargo, Ali y Hassan (1990) encontraron que el contenido de sólidos totales en la leche no fue afectado significativamente por el estado de la lactancia.

Las concentraciones de SNG a los días 45 y 75 fueron mayores a las reportadas por Voutsinas *et al.* (1990) de 7.83%. Estos mismos autores encontraron que los sólidos no grasos incrementan con el avance de la lactancia. Por otro lado, Simos *et al.* (1991) reportaron niveles mayores en relación con el día 45 y 75 de este estudio, con concentraciones promedio de SNG en leche de cabras de 8.94%.

La densidad de la leche en este estudio en los días 45 y 75 después del parto, también fueron similares a los reportados por Voutsinas *et al.* (1990), quienes

analizaron muestras de leche durante un periodo de 42 semanas de lactancia en cabras Alpinas y encontraron una densidad de 1.03% entre las semanas 8 y 12 de lactancia.

La acidez en este estudio fue similar a la reportada por Voutsinas *et al.* (1990) de 6.58%, entre las semanas 8 y 12 de lactancia. Estos mismos autores mencionan que el pH de la leche fue altamente dependiente del estado de la lactancia. Los cambios en la acidez pueden ser resultado de las variaciones en las cantidades de proteína. Sahan *et al.* (2005) encontraron cambios en la acidez de la leche de ovejas durante la lactancia y mencionan que la proteína contribuye a la acidez natural de la leche.

Por otro lado, tomando en cuenta que la leche de la explotación donde se realizó este trabajo se destina principalmente a la producción de queso, Guo *et al.* (2004) encontraron que existe una fuerte correlación entre la producción de queso y los contenidos de caseína, esto debido a que las moléculas de caseína (micelas de caseína) son responsables de la formación de la estructura del queso. Guo *et al.* (2001) reportaron en la leche de cabras concentraciones similares de sólidos totales, proteína, caseína y calcio a la semana siete de la lactancia, y mencionan que las concentraciones de estos componentes fueron afectados por el estado de la lactancia, ya que la leche analizada fue de cabras de la misma región con el mismo clima y similar programa de alimentación.

En cuanto a los minerales, excepto el Zn y el K, todos estuvieron en concentraciones más elevadas en el calostro de las cabras, asimismo, el Zn es un elemento que puede disminuir marcadamente en el calostro de las cabras. Krácmár *et al.* (2003) encontraron que las concentraciones de Zn en el calostro disminuyen drásticamente durante las primeras 72 h (de 7 a 4 mg L⁻¹). Guo *et al.* (2004) mencionan valores de Zn de 4.97 mg L⁻¹ para la leche de cabras. La concentración de Cu a los días 45 y 75 después del parto fueron similares a los reportados por Underwood y Suttle (1999) con 0.15 mg de Cu L⁻¹, pero reportan concentraciones menores de Fe con 0.4 mg L⁻¹ y concentraciones mayores de Zn con 5.5 mg L⁻¹, en relación con los días 1, 45 y 75 después del parto aquí mencionados.

Maraval y Vignon (1982) encontraron que las concentraciones de Ca (1.9 g L⁻¹), Mg (0.24 g L⁻¹) y P (1.5 g L⁻¹) en la primer leche producida por las cabras fue considerablemente más alta que la leche producida dos semanas después, con concentraciones de 1.3, 0.12 y 0.9 g L⁻¹ de Ca, Mg y P, respectivamente.

Underwood y Suttle (1999) reportaron concentraciones de Ca, Mg, Na K y P de 1.4, 0.2, 0.4, 1.7 y 1.2 g L⁻¹, respectivamente, que son un poco más altas a las encontradas en los días 45 y 75 después del parto de este trabajo.

Guo *et al.* (2004) proporcionan valores promedio de algunos minerales para la leche de cabras con concentraciones de 1.5, 1.6, 0.67 y 1.3 g L⁻¹ para Ca, Mg, Na y P, respectivamente. Voutsinas *et al.* (1990) encontraron concentraciones de Ca, Na, K y P de 1.34, 0.50, 1.70 y 0.99 g L⁻¹, respectivamente, en la leche

de cabras Alpinas entre los días 56 y 84 de lactancia. Amer *et al.* (1999) reportaron una disminución de P en la leche de cabras, con niveles de P en el calostro de 1.5 g L^{-1} , disminuyendo la concentración a 1.3 g L^{-1} al día 28 de la lactancia. Por el contrario, Voutsinas *et al.* (1990) encontraron que las concentraciones de P en la leche de cabras Alpinas aumentaron con el avance de la lactancia, con concentraciones de 0.99 g L^{-1} entre la semana 8 y 12 de lactancia a 1.22 g L^{-1} en la semana 42 de lactancia.

La concentración de Na en la leche al día 75 después del parto fue menor, en comparación con los días 1 y 45, mientras que la concentración de K aumentó al día 45 en comparación con el día 1, y volvió a disminuir al día 75 después del parto. Schmidt (1987) menciona que el aumento en la concentración de lactosa, acompañado de una disminución en la concentración de potasio, y una constancia en la concentración de sodio, es indispensable para mantener la presión osmótica de la leche. Las concentraciones de Na en el calostro fueron menores a las reportadas por Akinsoyinu y Akinyele (1979), quienes encontraron que el calostro de cabras fue más rico en los contenidos de Na (1.44 g Kg^{-1}) y K (3.38 g Kg^{-1}), comparado con la leche producida después de la semana dos de lactancia (con un promedio de Na de 0.65 g Kg^{-1} y para K de 1.57 g Kg^{-1}).

Voutsinas *et al.* (1990) mencionan que con el avance de la lactancia el porcentaje de los contenidos de grasa, caseína, proteína, minerales, sólidos totales, sólidos no grasos, Ca, Mg, Na y P incrementan mientras que los contenidos de lactosa, K y citrato disminuyen significativamente. Las

variaciones encontradas por Voutsinas *et al.* (1990) pueden deberse a la duración del experimento (42 semanas).

Las mayores concentraciones de urea, caseína, proteína, sólidos totales, sólidos no grasos, densidad, ácido cítrico, Cu, Fe, Ca, Mg y P en el calostro, probablemente se deba a que se destinan una mayor cantidad de estos componentes en esta etapa inicial de la lactancia asegurando una considerable cantidad de nutrientes para las crías durante los primeros días de vida para fortalecer su sistema inmunológico. García (1995) menciona que se puede considerar la importancia de una elevada concentración de γ -globulinas en el calostro, ya que la mayor riqueza de materia grasa y proteínas contribuye a la regulación de la temperatura corporal, y los minerales desempeñan un papel importante en los ciclos metabólicos-enzimáticos celulares.

La falta de cambios significativos en la composición de la leche en la mayoría de los componentes analizados a los días 45 y 75 después del parto, puede deberse al corto periodo de duración del experimento. Asimismo, las variaciones entre los datos proporcionados por otros autores, demuestra que las concentraciones de los componentes de la leche de cabras, puede estar influenciado por el avance de la lactancia. Guo (2003) menciona que los constituyentes mayores de la leche de cabras son altos al inicio de la lactancia y disminuye más rápidamente, y que esto se debe al alto contenido de los componentes en el calostro; sin embargo, el contenido de lactosa es independiente del estado de la lactancia (Juárez y Ramos, 1986).

CONCLUSIONES

Se encontraron diferencias en la composición química a través del tiempo en la leche de las cabras de San José Teacalco, Tlaxcala, en este caso se debe a los altos contenidos en los componentes del calostro de las cabras, ya que las concentraciones urea, caseína, proteína, ST, SNG, ácido cítrico, densidad, acidez, Cu, Fe, Ca, Mg, Na y P son mayores en el calostro en comparación con la leche producida a los días 45 y 75 después del parto.

Las concentraciones de urea, caseína, proteína, sólidos totales, sólidos no grasos, ácido cítrico, densidad, AGV, Cu, Fe, Zn y Mg se mantuvieron constantes del día 45 hasta el día 75 después del parto. Sin embargo, las concentraciones de Ca aumentaron al día 75 después del parto en relación con el día 45, mientras que las concentraciones de Na y K disminuyeron al día 75 en relación con el día 45 después del parto.

LITERATURA CITADA

- AFRC. 1998. Technical Committee on Responses to Nutriment, Report No. 10. The Nutrition of Goats. Nutrition Abstract and Review, Series B. 67: 1-98.
- Akinsoyinu, A. O., and I. O. Akinyele. 1979. Major elements in milk of the West African dwarf goats as affected by stage of lactation. J. Dairy Sci. 46: 427-431.
- Ali, M. Y., and A. K. Hassan. 1990. Effect of lactation period on physicochemical properties of goat milk. *In*: Proceedings of the XXIII International Dairy Congress in Changing World. Montreal, Canada, 23 p.
- Amer, H. A., H. A. Salem, and H. Al-Hozab. 1999. Biochemical changes in serum and milk constituents during postpartum period in Saudi Ardy goats. Small Ruminant Research. 34: 167-173.
- Anifantakis, E. M., and J. G. Kandarakis. 1980. Contribution to the study of the composition of goat's milk. Milchwissenschaft. 35: 617-619.
- Badamana, M. S., J. D. Sutton, J. D. Oldham, and A. Mowlem. 1990. The effect amount of protein in the concentrates on hay intake and rate of passage, diet digestibility and milk production in British Saanen goats. Animal Production. 51: 333-342.
- Brendehaug, J., and R. K. Abrahansen. 1986. Chemical composition of milk from a herd of Norwegian goats. Journal of Dairy Research. 53: 211-221.

- Clark, S., and J. W. Sherbon. 2000. Alphas_{s1} –casein, milk composition and coagulation properties of goat milk. *Small Ruminant Research*. 38: 123-134.
- Fick K. R., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. Funk, J. H. Conrad y R. Valdivia. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Anim. Sci. Departament. Univ. de Florida, U. S. A. 98 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Universidad Autónoma de México. México. D. F. 246 p.
- García, S. A. 1995. Fisiología Veterinaria. Mc.Graw Hill Interamericana. España. 1ª Edición. 1072 p.
- Guo, M. R., P. H. Dixon, Y. W. Park, J. A. Gilmore, and P. S. Kindstedt. 2001. Seasonal changes in the chemical composition of commingled goats milk. *J. Dairy Sci.* 84 (Suppl.), E79-E83.
- Guo, M. R. 2003. Goat Milk. *In*: Caballero, B. (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Academic Press, London, pp: 2944-2949.
- Guo, M. R., P. H. Dixon, Y. W. Park, J. A. Gilmore, and P. S. Kindstedt. 2004. Relationship between the yield of cheese (Chevre) and chemical composition of goats milk. *Small Ruminant Research*. 52: 103-107.
- Harris, W. D., and P. Popat, 1954. Determination of the phosphorus contents of the lipids. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 32: 124-27.
- Jennes, R. 1980. Composition and characteristics of goats milk: Review 1968-1979. *J. Dairy Sci.* 63: 1605-1630.

- Juárez, M., and M. Ramos. 1986. Physico-chemical characteristics of goats milk as distinct those of cow milk. *Int. Dairy Federation Bull.* 202: 54-67.
- Krácmar, S., S. Gajdusek, P. Jelínek, and J. Illek. 2003. Changes of some macro and microelements in goat calostrum within the first 72 h after parturition. *Small Ruminant Res.* 49: 213-218.
- Maraval, B., and B. Vignon. 1982. Entwicklung der Mineralzusammensetzung von Ziegenmilch zu Beginn der Laktation. *Milchwissenschaft.* 37: 464-466.
- Merin, U., I. Rosenthal, and E. Maltz. 1988. The composition of goat milk as affected by nutritional parameters. *Milchwissenschaft.* 43: 363-365.
- Morand-Fehr, P., G. Blanchart, P. Le Mens, F. Remeuf, D. Sauvant, J. Lenoir, G. Lamberet, J. C. Le Jaouen, and P. Bas. 1986. Données recentes sur la composition du lait de chèvre. *Journées de la Recherche Ovine et Caprine.* 11: 253-298.
- Sahan, N., D. Say, and A. H. Kacar. 2005. Changes in chemical and mineral contents of awassi ewes' milk during lactation. *J. Vet. Anim. Sci.* 29: 589-593.
- SAS. 2001. *SAS/STAT User's Guide.* SAS Publishing, Cary, NC.
- Schmidt, G. 1987. *Biología de la Lactación.* Ed. Acribia. Zaragoza. España. 307 p.
- Simos, E., L. P. Voutsinas, and C. P. Pappas. 1991. Composition of milk of native Greek goats in the region of Metsovo. *Small Ruminant Research.* 4: 47-60

Soryal, K.A., .S. S. Zeng, B. R Min, S. P. Hart, and F. A. Beyene. 2004. Effect of feeding systems on composition of goat milk and yield of Domiati cheese. *Small Rumin. Res.* 54: 121–129.

Underwood, E., J., and N. F. Suttle. 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*. CABI Publishing. 3rd edition. London, England. pp. 185-212.

Voutsinas, L., C. P. Pappas, and M. Katsiari. 1990. The composition of Alpine goats' milk during lactation in Greece. *J. Dairy Res.* 57 (1): 41-51.

CAPÍTULO 5

**ESTADO MINERAL Y SUPLEMENTACIÓN CON ALAMBRE DE ÓXIDO DE
COBRE EN CABRAS DE SAN JOSÉ TEACALCO, TLAXCALA**

**THE MINERAL STATE AND COPPER OXIDE WIRE SUPPLEMENTS IN
GOATS IN SAN JOSÉ TEACALCO, TLAXCALA**

Juan Carlos Muñoz González *

Maximino Huerta Bravo *

Rodolfo Ramírez Valverde *

Mariano de J. González Alcorta *

Carlos López Gómez **

* Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, 56230, Chapingo, Estado de México, México. Autor por correspondencia: Maximino Huerta Bravo, Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. E-mail: maxbravo@correo.chapingo.mx, Tel. (595) 952 1621, Fax: (595) 954 8884.

** Práctica privada

ESTADO MINERAL Y SUPLEMENTACIÓN CON ALAMBRE DE ÓXIDO DE COBRE EN CABRAS DE SAN JOSÉ TEACALCO, TLAXCALA

RESUMEN

Para determinar el estado mineral y el efecto de la suplementación con alambre de óxido de cobre (AOCu) en suero sanguíneo y leche de cabras en San José Teacalco, Tlaxcala, se tomaron muestras de agua, suelo, forraje, alimento concentrado, ensilado de maíz, sangre y leche de 37 cabras. Trece cabras se suplementaron con 5 g de AOCu vía oral. La sangre de las cabras se colectó a los días 1, 30, 60 y la leche a los días 30 y 60 después de la suplementación. El modelo estadístico consideró los efectos de tratamiento y día de muestreo. El análisis estadístico se hizo con el procedimiento GLM de SAS. El P en agua estuvo arriba de los máximos tolerables para cabras. El Cu y Ca en suelo son menores al requisito mínimo para el crecimiento de las plantas. Todos los alimentos fueron deficientes en Cu, Zn y Mg en relación con los requisitos de las cabras. Las concentraciones séricas iniciales de Cu, Zn, Ca y Mg estuvieron en el rango normal, pero el Fe, K y P estuvieron por arriba de los niveles adecuados, mientras el Na estuvo debajo de los niveles adecuados en el suero sanguíneo de las cabras. La suplementación con AOCu incrementó ($P=0.04$) el Cu sérico en 11.7%, y aumentó ($P=0.01$) el Mg; K ($P=0.005$) y P ($P=0.01$) en 6.5, 11.7 y 17.6%, respectivamente, y disminuyó ($P=0.08$) el Fe sérico en 18.6% en relación con las cabras no suplementadas. El Cu sérico fue mayor ($P=0.0001$) en el muestreo del día 60 en 11.1%; y disminuyó ($P=0.0001$) el Zn, Ca ($P=0.015$), Na ($P=0.0001$), K ($P=0.0036$) y P ($P=0.0001$) sérico en 22, 5.5, 4.4, 10.5 y 31.1%, respectivamente, en relación con el día 30. El Ca en leche aumentó ($P=0.0001$) en 24.6% al día 60, y disminuyó el Na ($P=0.01$) y P ($P=0.03$) en 21 y 10.4%, respectivamente, en relación con el muestreo del día 30.

Palabras clave: Cabras, leche, alambre de óxido de cobre, minerales, Tlaxcala.

THE MINERAL STATE AND COPPER OXIDE WIRE SUPPLEMENTS IN GOATS IN SAN JOSÉ TEACALCO, TLAXCALA

ABSTRACT

To determine the mineral state and the effect of copper oxide wire supplements (COW) in blood serum and goat milk in San José Teacalco, Tlaxcala, samples were taken of water, soil, forage, concentrated feed, corn silage, and blood and milk from 37 goats. Thirteen goats were supplemented orally with 5 g of COW. The blood from the goats was collected at days 1, 30, 60, and milk at days 30 and 60 after the COW supplements were given. The statistical model for blood and milk components considered the effects of treatment and day of sampling. The statistical analysis was made with GLM procedure of the SAS. Phosphorus in water was above the maximum levels tolerable for goats. Copper and Ca in the soil were below the minimum requirement for the growth of plants. All foods were deficient in Cu, Zn, and Mg in relation to the goat's requirements. The initial concentrations of Cu, Zn, Ca, and Mg in the serum were within the normal range, while the Fe, K, and P were above. The Na was below the adequate levels in blood serum of goats. The supplement with COW increased serum copper ($P=0.04$), Mg ($P=0.01$), K ($P=0.005$), and P ($P=0.01$) in 11.7, 6.5, 11.7 and 17.6%, respectively; and decreased ($P=0.08$) serum Fe in 18.6% in relation to the nonsupplemented goats. Serum Cu was greater ($P=0.0001$) on the sampling day 60 in 11.1%. However, there was a decrease in Zn ($P=0.0001$), Ca ($P=0.015$), Na ($P=0.0001$), K ($P=0.0036$) and P ($P=0.0001$) concentrations of 22, 5.5, 4.4, 10.5 and 31.1%, respectively, in relation to day 30. The Ca in milk increased ($P=0.0001$) in 24.6% on day 60, and decreased the Na ($P=0.01$) and P ($P=0.03$) in 21 and 10.4%, respectively, in relation to the sampling on day 30.

Key words: Goats, milk, copper oxide wire, minerals, Tlaxcala.

INTRODUCCIÓN

Se ha demostrado que la suplementación mineral representa una alternativa para incrementar la rentabilidad, ya que por su cantidad, nivel de consumo por el animal y costo, no representa egresos considerables para la unidad de producción. El suministro de cápsulas de papel rellenas de alambre de óxido de cobre es una de esas alternativas. Esta técnica ha demostrado ser una de las formas de suplementación cúprica más efectivas (Deland *et al.*, 1986). No obstante, la respuesta a la suplementación ha sido poco estudiada en México, a pesar del incremento en la producción cuando se corrigen las deficiencias minerales (Huerta, 1993).

El cobre es uno de los minerales que desempeña múltiples funciones en el organismo animal. Por lo mismo, este mineral ha sido objeto de muchos estudios. La importancia del cobre está relacionada con las enzimas que lo requieren; ya que se conocen por lo menos 10 enzimas que dependen del mismo para su funcionamiento. Al encontrarse involucrado en la amplia variedad de sistemas enzimáticos, disturbios en este mineral pueden afectar completa y ampliamente una gran variedad de funciones; algunas de las cuales son generales para la provisión de energía, mientras que otras son más específicas, mediante efectos sobre el tejido conectivo y el sistema nervioso (Shorrocks y Alloway, 1985).

A pesar de que se tiene conocimiento de que los minerales desempeñan muchas e importantes funciones en los animales, la suplementación mineral es escasa, nula o no se les proporciona adecuadamente en las épocas críticas, especialmente a los animales en pastoreo. Los animales en pastoreo, dependen en gran medida de los forrajes para satisfacer sus requerimientos nutricionales. Sin embargo, éstos pocas veces logran cubrir todas sus necesidades, ya que el aporte nutricional de los forrajes puede variar significativamente en su composición química durante las diferentes estaciones del año.

Tomando en consideración lo mencionado anteriormente, los objetivos principales de este trabajo fueron: a) determinar el estado mineral de los componentes agua, suelo, forraje, ensilado de maíz, alimento concentrado y suero sanguíneo en una explotación caprina de San José Teacalco, Tlaxcala, y b) determinar el efecto de la suplementación con alambre de óxido de cobre en la concentración mineral en suero sanguíneo y en la composición química de la leche de cabras de San José Teacalco, Tlaxcala.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El trabajo se realizó del 29 de marzo al 7 de junio del 2005 en una explotación dedicada a la producción de leche de cabra, situada en la ciudad de San José Teacalco, Tlaxcala, México, ubicada en el Altiplano central mexicano a 2,600 msnm, 19° 20' latitud norte y 98° 04' longitud oeste. El municipio de San José Teacalco, colinda al norte con los municipios de Cuaxomulco y Tzompantepec, al sur y al oriente colinda con el municipio de Huamantla, asimismo al poniente colinda con los municipios de Contla de Juan Cuamatzi, Santa Ana Chiautempan y San Francisco Tetlanohcan. En el municipio, el clima se considera templado subhúmedo, con régimen de lluvias en los meses de abril a septiembre (García, 1988).

Animales y alimentación

Se utilizaron 37 cabras de la raza Alpina. El manejo alimenticio de los animales consistió en pastoreo extensivo proporcionándoles un concentrado a base de paja de avena, alfalfa achicalada y maíz molido. El forraje disponible en pastoreo fue rastrojo de maíz.

Metodología

Para la realización de este trabajo al inicio se tomaron muestras de agua, suelo, forraje, ensilado de maíz y alimento concentrado. También se tomaron

muestras de sangre y leche de 37 cabras. Las cabras se dividieron en dos grupos, que consistieron en 13 cabras suplementadas con 5 g de alambre de óxido de cobre y 24 cabras no suplementadas. Las muestras de sangre se tomaron a los días 1 (concentración inicial de minerales en suero sanguíneo), 30 y 60 después de la suplementación, y las muestras de leche a los días 30 y 60 después de la suplementación.

Las muestras de agua se tomaron en frascos de plástico con tapa hermética. Las muestras de suelo, forraje, ensilado de maíz y alimento concentrado se tomaron en bolsas de plástico, después fueron secadas y molidas para su análisis.

Las muestras de sangre fueron colectadas mediante punción de la vena yugular en tubos de vidrio y centrifugadas a 2500 rpm para separar el suero. Las muestras de leche fueron tomadas en frascos de plástico con tapa hermética. El suero y la leche se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis.

Análisis de laboratorio

En agua se determinaron los minerales Ca, Mg, Na, K y P. En suelo, forraje, ensilado de maíz y alimento concentrado los minerales Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na, K y P. En suero sanguíneo y leche se determinaron los minerales Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P. Además, en las muestras de leche se determinaron las concentraciones de urea, caseína, proteína, lactosa, sólidos totales, sólidos no grasos, ácido cítrico, densidad, ácido grasos libres y acidez, en el MilkoScan

TS-120. Los minerales Cu, Fe, Zn, Mn, Ca, Mg, Na y K fueron analizados mediante espectrofotometría de absorción atómica (Fick *et al.*, 1979) y el P por colorimetría (Harris y Popat, 1954).

Análisis estadístico

El resultado de los análisis de agua, suelo, forraje, ensilado de maíz y alimento concentrado sólo se utilizaron para determinar su estado mineral, y se compararon con los requisitos de minerales para ganado caprino.

Los resultados de los análisis de suero sanguíneo y leche se analizaron mediante el procedimiento GLM del paquete SAS (2001), en los cuales se utilizaron las concentraciones iniciales de Cu en suero sanguíneo (βCuS1) como covariable. La instrucción LSMEANS se usó para obtener las medias por cuadrados mínimos de los efectos principales y las interacciones.

Las variables a considerar fueron el contenido mineral en suero sanguíneo y composición química de la leche, utilizando el modelo: $Y_{ijk} = \mu + T_i + D_j + (T*D)_{ij} + \beta\text{CuS1} + \epsilon_{ijk}$. Donde, Y_{ijk} = valor de la variable respuesta correspondiente al i -ésimo tratamiento en el j -ésimo día de muestreo, μ = media general, T_i = efecto del i -ésimo tratamiento (i = suplementadas, no suplementadas), D_j = efecto del j -ésimo día de muestreo (j = 30, 60), $(T*D)_{ij}$ = efecto del ij -ésima interacción tratamiento y el j -ésimo día de muestreo, βCuS1 = Covariable concentración inicial de cobre en suero y ϵ_{ijk} = error aleatorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración mineral en agua

La concentración de Ca fue 51% menor que las concentraciones típicas del agua. Las concentraciones de Mg, Na y K estuvieron por arriba de las concentraciones típicas del agua, sin llegar a los máximos tolerables. El Na estuvo nueve veces más arriba de las concentraciones típicas, sin llegar al máximo tolerable para el ganado. La concentración de P estuvo 42 veces más arriba de los niveles máximos tolerables para el ganado (Cuadro 13).

Cuadro 13. Concentración mineral (ppm) en agua para cabras en un rancho de San José Teacalco, Tlaxcala, México.

Concepto	Minerales				
	Ca	Mg	Na	K	P
Composición del agua	28	18.8	524	6.9	29.90
Concentración típica ¹	57	14.3	55	4.3	0.08
Nivel máximo tolerable ²	<1000	<1000	<800	<20.0	<0.70

¹ Concentración típica de minerales en el agua (Shirley y Montesinos, 1978).

² Niveles máximos tolerables en el agua para el ganado Puls (1988).

Las concentraciones bajas de calcio y las elevadas concentraciones de P pueden ser típicas de la zona, ya que se realizó un trabajo donde se analizó el agua de nueve ranchos de la misma zona (Muñoz *et al.*, 2004) y resultaron ser bajas en calcio, con concentraciones de hasta nueve veces menos en relación con las concentraciones típicas de calcio en el agua, y concentraciones de P de hasta 28 veces más de los niveles máximos tolerables en el agua para el

ganado. Las concentraciones de Mg y K se encontraron muy cerca de las concentraciones sugeridas como típicas en el agua para el ganado.

El agua en este caso puede ser una buena fuente de Na para los animales. Sin embargo, el grado en que el agua puede cubrir las necesidades de sodio suplementario para el ganado depende de la intensidad de la deficiencia, de la cantidad de sodio presente en el agua y del volumen ingerido (Underwood y Suttle, 2003). Por otro lado, con la concentración elevada de P en el agua, se puede incrementar el riesgo de cálculos urinarios para lo animales si estos excesos se acompañan con cantidades elevadas de P en los forrajes y alimento concentrado proporcionados en el rancho.

Concentración mineral en suelo

La concentración de cobre en el suelo estuvo cuatro veces más baja que el requisito mínimo para el crecimiento de las plantas. La concentración de Ca también estuvo por abajo del requisito mínimo. Las concentraciones de Fe, Zn y Mn estuvieron en 16, 7 y 14 veces más arriba de los niveles mínimos para el crecimiento de las plantas, respectivamente (Cuadro 14).

Cuadro 14. Concentración mineral (ppm) en suelo de un rancho de San José Teacalco, Tlaxcala, México.

Concepto	Minerales								
	Cu	Fe	Zn	Mn	Ca	Mg	Na	K	P
Composición del suelo	0.55	74	17	285	83	286	32	120	117
Mínimo ¹	3.00	4.5	2.0	19 ²	140	30	23	60	25

¹Concentraciones sugeridas como mínimas necesarias para el crecimiento de las plantas (Bowen, 1966).

²Huerta (1999).

Las concentraciones de Cu resultaron ser deficientes para el crecimiento de las plantas. Las muestras fueron tomadas en la temporada crítica de secas donde la disponibilidad de los forrajes es muy baja. Asimismo, la ingestión de suelo puede llegar a cantidades considerables, y por consiguiente las cantidades ingeridas de Fe y Zn también pueden ser altas por las concentraciones elevadas de estos minerales en el suelo. El Fe y el Zn son antagonistas del Cu y ambos pueden limitar la absorción del Cu en el rumen. El Zn induce la formación de metalotionina en el rumen, la cual secuestra el Cu haciéndolo indisponible para después ser desechado por las heces o por descamación de las células epiteliales del intestino (NRC, 2001). La concentración de Zn también fue mayor a la mencionada por Brown (1987), quien señala niveles de 0.5 a 3 ppm como niveles críticos para el crecimiento de las plantas en suelos de clima templado. Por otro lado, Tavera (1985) clasifica a la fertilidad del suelo como buena cuando la concentración de Zn sea mayor a 2 ppm.

Las concentraciones de Mn en suelo resultaron muy elevadas si se comparan también con los resultados de Brown (1987), quien sugiere niveles críticos de Mn en suelos templados de 4-8 ppm. Esto sugiere un buen aporte de Mn del suelo a los forrajes.

Las concentraciones de Ca en este caso estuvieron por debajo de las concentraciones mínimas requeridas para el crecimiento de las plantas. Aunado a esto, las concentraciones de K están al doble de los requisitos mínimos, esto puede representar un problema debido a que las concentraciones de Ca al igual

que el Mg en las plantas también pueden estar limitadas por las cantidades de K en el suelo. Sin embargo, las concentraciones de Mg en el suelo fueron nueve veces más que las concentraciones mínimas requeridas para el crecimiento de las plantas. Tavera (1985) sugiere que la fertilidad del suelo es buena cuando los suelos contienen niveles mayores de 125 ppm de Mg.

Las concentraciones de Na en el suelo estuvieron por arriba del mínimo requerido para el crecimiento de las plantas. Esto garantiza que el aporte de Na para las plantas es bueno, aunque las necesidades de Na para las plantas no están bien definidas.

La concentración de P en el suelo estuvo por arriba de los requisitos mínimos para el crecimiento de las plantas en cuatro veces más. Sin embargo, estos resultados son menores a los reportados por Sánchez (2005), quien encontró 270 ppm de P en suelos con avena y raigrás. Según Tavera (1985) las concentraciones mayores a 35 ppm de P en el suelo clasifican la fertilidad del suelo como muy buena. Por lo tanto, se esperaría que el aporte de P del suelo hacia las plantas sea bueno.

Concentración mineral en los alimentos

Las concentraciones de Cu, Zn y Mg fueron deficientes en todos los alimentos analizados, en relación con los requisitos de las cabras. Las concentraciones de Fe, Mn, Ca y Na fueron deficientes en concentrado, rastrojo de maíz, paja de

avena y maíz ensilado, y paja de avena y maíz ensilado, respectivamente. Las concentraciones de K estuvieron por arriba de los requisitos de las cabras en todos los alimentos, sin llegar al máximo tolerable. El rastrojo de maíz, la paja de avena y el maíz ensilado fueron deficientes en P, en relación con los requisitos de las cabras (Cuadro 15).

Cuadro 15. Concentración mineral en los alimentos para cabras en un rancho de San José Teacalco, Tlaxcala, México.

Alimento	Minerales									Rel Ca:P
	Cu	Fe	Zn	Mn	Ca	Mg	Na	K	P	
	-----ppm-----				-----%-----					
Rastrojo de maíz	4.2	173	14	41	0.32	0.17	0.32	2.06	0.09	3.6
Paja de Avena	2.7	589	13	516	0.13	0.05	0.03	1.28	0.18	0.7
Ensilado de Maíz	4.9	445	14	724	0.20	0.07	0.05	1.24	0.17	1.2
Concentrado	2.7	16	12	269	0.72	0.11	0.08	1.15	0.29	2.5
	10.0-	30-	50-	60-				0.60-		Ideal
Requisitos ¹	20.0	40	80	120	0.30	0.20	0.06	0.80	0.20	2.0:1.0
										Excesivo
Máx. tolerable ²	25.0	1000	500	1000	2.00	0.80	1.60	3.00	0.60	4.0:1.0

¹ Niveles críticos de acuerdo con las necesidades de las cabras (AFRC, 1998).

² NRC (1980).

Los requisitos de Cu son muy variables, sin embargo, las concentraciones de Cu en los alimentos estuvieron por debajo de las recomendaciones mínimas. Lamand (1981) sugiere un valor mínimo de 7 ppm de Cu para evitar deficiencias en las cabras. Ademosun y Munyabantu (1982) mencionan que con niveles menores a las 8 ppm pueden ocasionar efectos negativos sobre la tasa de crecimiento en las cabras. Aunque las concentraciones de Fe en el concentrado estuvieron por debajo de los requisitos de las cabras, el resto de los alimentos superaron los requisitos mínimos, sin llegar a los niveles máximos tolerables.

Lawlor *et al.* (1965) observaron que los corderos que recibieron 210 y 280 ppm de Fe presentaron diarrea severa y algunos murieron. Las concentraciones de Fe y las bajas concentraciones de Cu en los alimentos, pueden afectar de manera negativa la absorción del cobre en los animales, debido a la interacción del Fe con el metabolismo del Cu, resultando en una baja concentración de Cu en el hígado (Ademosun y Munyabantu, 1982).

Todos los alimentos fueron deficientes en Zn en relación con los requisitos de las cabras. Sin embargo, en corderos se han sugerido 7 ppm en la dieta para mantener el crecimiento, pero se necesitan más de 15 ppm para mantener los niveles de Zn en sangre (Mills *et al.*, 1967). Neathery *et al.* (1973) encontraron que machos cabríos jóvenes han manifestado signos de deficiencia a niveles de 4 ppm de Zn, mientras que las hembras adultas manifestaron signos de deficiencia con 6 y 7 ppm de Zn durante la lactancia. En este caso las deficiencias de Zn en los animales fueron visibles, debido a la presencia de alopecia en algunas cabras. Las concentraciones de Zn en el ensilado de maíz fueron altas en relación con los valores obtenidos por Sánchez (2005) con 8 ppm, y menores a las mencionadas por el NRC (2001) con 24 ppm para el ensilado de maíz.

El Mn resultó deficiente en el rastrojo de maíz en relación con los requisitos de las cabras; mientras que los otros alimentos superan los requisitos de Mn, sin exceder los máximos tolerables, en relación con los requisitos de las cabras.

Las concentraciones de Ca, Mg y Na en el rastrojo de maíz y el concentrado cubrieron los requisitos de las cabras. La concentración de Ca, Mg y Na en el concentrado puede deberse al aporte de la alfalfa achicalada y el maíz molido. Sin embargo, el ensilado de maíz y la paja de avena fueron deficientes en Ca, Mg y Na, en relación con los requisitos de las cabras. Esto puede estar relacionado con las elevadas concentraciones de K en el suelo que disminuye el contenido de Ca, Mg y Na en las plantas. Asimismo, las concentraciones de K en todos los alimentos estuvieron por arriba de los requisitos de las cabras, pero sin llegar al máximo tolerable.

Las concentraciones de P en el alimento concentrado cubrieron los requisitos de las cabras. Mientras que las concentraciones de P en el rastrojo de maíz, la paja de avena y el maíz ensilado estuvieron por abajo de los requisitos de las cabras. Las deficiencias de Ca en algunos alimentos (paja de avena y maíz ensilado) provocó que la relación Ca:P se estuviera por debajo de los niveles ideales, en relación con los requisitos de las cabras. Aunque los rumiantes pueden tolerar rangos amplios de la relación Ca:P, en ovinos se ha observado que con una relación Ca:P menor a 1:1 la eficacia del crecimiento y la eficiencia de la conversión alimenticia disminuye. Según el NRC (1985) una relación Ca:P menor de 1:1 puede contribuir a incrementar la incidencia de cálculos urinarios en borregos machos enteros y castrados.

Las deficiencias de Cu pueden relacionarse con la deficiencia de este mineral en suelo o por la madurez de la planta. Las concentraciones de Zn, Ca, Mg y

Na encontradas en los alimentos pueden relacionarse con el estado de madurez de las plantas, ya que a medida que las plantas maduran, el contenido mineral disminuye debido a un proceso natural de dilución y traslado de nutrientes hacia la raíz.

Suplementación mineral con alambre de óxido de cobre

Estado mineral inicial de las cabras

Las concentraciones de Cu, Zn, Ca y Mg se encontraron en el rango adecuado en el suero sanguíneo de las cabras. Las concentraciones de Fe, K y P estuvieron por arriba de los niveles adecuados en el suero sanguíneo de las cabras. Las concentraciones de Na fueron menores a los niveles adecuados en el suero de las cabras (Cuadro 16).

Cuadro 16. Estado mineral inicial (mg L⁻¹) en suero de cabras de San José Teacalco, Tlaxcala, México.

Día	Minerales							
	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P
1	1.2	7.70	1.00	98	25	3030	311	84
Adecuado	0.8- 1.2 ^a	1.00-2.25 ^b	0.65-2.70 ^a	80-110 ^b	18-35 ^b	3200-3600 ^c	205-255 ^c	45-60 ^b

^a Puls (1988).

^b McDowell (1985).

^c Por la falta de información en suero de cabras: nivel adecuado en suero de vacas (Puls, 1988).

Las concentraciones iniciales de Cu sérico en las cabras fueron similares a los encontrados por Mejía *et al.* (1988) quienes reportaron niveles de 1.32 ppm en

suero de cabras y niveles menores de Fe y Zn (2.2 y 1.4 mg L^{-1} , respectivamente). Por otro lado, Romero y Huerta (1990) reportaron niveles menores de Cu y Zn (0.53 y 0.65 mg L^{-1} , respectivamente). Sin embargo, a pesar de los niveles adecuados de Cu en suero, se encontraron algunos signos visuales de deficiencia de Cu, como son despigmentación del pelo y caída de pelo alrededor del ojo. Esto probablemente se deba a que las cabras estaban en una situación de estrés causado por el parto, ya que durante una situación de estrés, el Cu puede ser movilizado del hígado incrementando los niveles de Cu en suero sanguíneo a niveles adecuados al momento del muestreo inicial, el cual fue 15 días después del parto. Por otro lado, otro de los factores que también puede estar relacionado con los niveles adecuados de minerales encontrados al inicio en el suero de las cabras es la cantidad de concentrado proporcionado, ya que las cabras recibieron mayores cantidades de este concentrado en la primera semana después del parto.

Las concentraciones de Zn fueron deficientes en todos los alimentos, en relación con el requisito de las cabras. Sin embargo, las concentraciones de Zn en suero estuvieron en el rango adecuado. Al igual que el cobre, las concentraciones de Zn sérico en las cabras también pueden estar relacionados con la mayor cantidad de concentrado recibido por las cabras después del parto. Al mismo tiempo, el Cu y el Zn forman parte de metalotionina, que es una proteína inducible por ambos minerales pero es el cobre el que ayuda a su síntesis, por eso se espera que con niveles adecuados de Cu los niveles de Zn también estén en niveles adecuados en suero.

Las elevadas concentraciones de Fe sérico puede deberse en parte a las concentraciones de Fe en los alimentos que van de 16 a 589 ppm. La absorción del Fe por las plantas es favorecida con los suelos de pH ácido, Ramírez *et al.* (2004) encontraron un pH promedio de 5.77 en los suelos de la misma zona de estudio, lo que también puede explicar las concentraciones de Fe en el alimento y por consecuencia el aumento de las cantidades elevadas de Fe sérico que están por arriba de los niveles normales de Fe en suero de cabras.

Las concentraciones adecuadas de Ca pueden ser atribuidas al aporte de Ca dietético que se encuentran en concentraciones de 0.13 a 0.72%, cubriendo los requisitos del ganado caprino.

Las concentraciones de Ca, Mg, y Na en suero fueron menores a las reportadas por Mejía *et al.* (1988), quienes encontraron concentraciones de Ca, Mg y Na de 163, 31 y 3763 ppm, respectivamente.

Las concentraciones de Na en suero estuvieron por abajo de los niveles adecuados. Esto es debido a la concentraciones de algunos de los alimentos ofrecidos que tuvieron concentraciones de Na deficientes en relación con los requisitos de las cabras con concentraciones de 0.03 y 0.05% de Na.

Las concentraciones de K se encontraron por arriba de los niveles adecuados en suero de las cabras, aunque las concentraciones de K en los alimentos estuvieron por arriba de los requisitos de las cabras, sin llegar a los máximos

tolerables, con concentraciones de 1.15 a 2%. Estas concentraciones de K sérico también puede deberse a que durante el manejo de las muestras se puede causar hemólisis de los eritrocitos y liberación de K al torrente sanguíneo (NRC, 2001).

Los niveles de P se encontraron por arriba de los rangos adecuados de P sérico de las cabras. Esto puede ser debido a que las altas concentraciones de P en algunos alimentos superaron los niveles máximos tolerables, en relación con los requisitos de las cabras con niveles desde 0.29 hasta 1.8% de P.

Efecto de la suplementación con alambre de óxido de cobre en la concentración mineral en suero sanguíneo

Las concentraciones de los minerales estudiados en suero de cabras no fueron afectadas ($P>0.05$) por la interacción tratamiento x día por lo que se discutirán solamente los efectos principales de tratamiento y día después de la suplementación.

La administración oral de alambre de óxido de cobre incrementó ($P=0.04$) la concentración de Cu en suero en 11.7%, también aumentó ($P=0.01$) el Mg; K ($P=0.005$) y P ($P=0.01$) en 6.5, 11.7 y 17.6%, respectivamente, y disminuyó ($P=0.08$) la concentración de Fe en 18.6%, en relación con las cabras no suplementadas (Cuadro 17).

Cuadro 17. Medias de mínimos cuadrados en las concentraciones séricas (mg L⁻¹) de minerales de las cabras suplementadas y no suplementadas de San José Teacalco, Tlaxcala, México.

Mineral	Grupos			Adecuado
	No suplementados	Suplementados	Probabilidad	
Cu	0.60	0.67	0.040	0.80-1.20 ^a
Fe	3.38	2.75	0.080	1.00-2.50 ^b
Zn	0.70	0.71	0.670	0.65-2.70 ^a
Ca	102.43	107.44	0.090	80-110 ^b
Mg	24.35	25.93	0.010	18-35 ^b
Na	3276.72	3310.99	0.440	3200-3600 ^c
K	324.48	362.63	0.005	205-255 ^c
P	53.40	62.82	0.010	45-60 ^b

^a Puls (1988).

^b McDowell (1985).

^c Por la falta de información en suero de cabras: nivel adecuado en suero de vacas (Puls, 1988).

En ambos grupos las concentraciones de Cu estuvieron por debajo de las cantidades adecuadas de Cu en suero de cabras. Sin embargo, la respuesta positiva a la suplementación coincide con Bravo y Martínez (1995), quienes encontraron un aumento en la concentración de Cu sérico en cabras en crecimiento, de 0.48 ppm en los animales no suplementados a 0.583 ppm en las cabras suplementadas, utilizando 20 ppm de cobre en la dieta. El Fe sérico estuvo por arriba de los niveles adecuados en ambos grupos. Una de las explicaciones a estos niveles elevados de Fe, es que al existir una deficiencia de Cu origina estrés por oxidación en los eritrocitos, atribuyéndolo a una baja actividad de la enzima superóxido dismutasa, ocasionando hemólisis y que se libere hierro al torrente sanguíneo. Este efecto se ve reducido en los animales suplementados, lo cual puede atribuirse a la acción del Cu para disminuir la destrucción de los eritrocitos. Asimismo, las mayores concentraciones de Fe en

las cabras no suplementadas también puede atribuirse a la anemia provocada por una deficiencia de Cu lo que induce a una mayor actividad de la ceruloplasmina para movilizar el Fe hacia el torrente sanguíneo (Prohaska y Lukasewycz, 1983).

Suttle *et al.* (1987) encontraron que una deficiencia de Cu puede inducir a la formación de Cuerpos de Heinz en ovinos, lo cual origina hemólisis causada en el estrés por oxidación, que se atribuye a una baja actividad de la enzima superóxido dismutasa incrementada, debido al corto tiempo de sobrevivencia de los eritrocitos dañados por los aniones superóxido (Gallagher, 1979).

La concentración de Zn no fue afectada por la suplementación con alambre de óxido de cobre y estuvo dentro de los rangos adecuados en el suero de las cabras. Frimpong y Magee (1989) mencionan que al incrementarse los niveles de cobre en el alimento de ratas, las concentraciones de cinc a nivel hepático y sanguíneo no fueron afectadas. Coffey *et al.* (1992) en bovinos de engorda tampoco encontraron incrementos en los niveles de Zn al suplementar 20 g de alambre de óxido de cobre.

El Mg estuvo en cantidades adecuadas en ambos grupos. El NRC (2001) menciona que el mantenimiento de la concentración normal de Mg en sangre depende completamente de la absorción del Mg dietético. La absorción del Mg es deprimida por el K, aunque la interacción Mg y K puede diferir ampliamente, lo cual se ha observado en ovejas (Haenlein, 1980).

La concentración de K se elevó por arriba de las concentraciones adecuadas en el suero de las cabras. La posible hemólisis en el manejo de las muestras puede explicar estas elevadas concentraciones de K en suero sanguíneo. El antagonismo entre el K y el Mg está inversamente relacionado con las concentraciones de K en la ración (Adediji y Suttle, 1999). Por otro lado, las concentraciones elevadas de K pueden provocar una deficiencia de Na en los animales, esto debido que los excesos de un catión respecto al otro puede causar una deficiencia inducida de Na. Es decir, si el K dietético es alto en relación con el Na, el riñón puede provocar una deficiencia inducida de Na, incluso si el nivel dietético de Na está en los niveles recomendados (Block, 1991).

El incremento en los niveles de P en el suero sanguíneo de las cabras probablemente se debió a una hemólisis ocasionada por una deficiencia de cobre, provocando una liberación de P al torrente sanguíneo. Berner (1997) menciona que cuando hay una hemólisis (la desintegración de glóbulos rojos) se libera fósforo. Sin embargo, este efecto debería ser contrario dado que en este caso la disminución del Fe sérico supone una disminución en la hemólisis de los eritrocitos. Por lo tanto, una de las atribuciones al aumento de P sérico puede ser el efecto antiparasitario del alambre de óxido de Cu (Chartier *et al.*, 2000) que puede afectar a los protozoarios del rumen, provocando su disminución, con lo que incrementa el flujo de proteína bacteriana a nivel abomasal, mejorando los niveles de P en el torrente sanguíneo.

Efecto del día de muestreo en la concentración mineral en suero sanguíneo

La concentración de Cu fue mayor ($P=0.0001$) en el muestreo del día 60 en 11.1%, y disminuyó ($P=0.0001$) la concentración de Zn; Ca ($P=0.015$); Na ($P=0.0001$); K ($P=0.0036$) y P ($P=0.0001$) en 22, 5.5, 4.4, 10.5 y 31.1%, respectivamente, en relación con el muestreo del día 30 (Cuadro 18).

Cuadro 18. Medias de mínimos cuadrados para el día de muestreo en las concentraciones séricas (mg L^{-1}) de minerales en las cabras de San José Teacalco, Tlaxcala, México.

Mineral	Día de muestreo		Probabilidad	Adecuado ²
	30	60		
Cu	0.54	0.60	0.0001	0.80-1.20 ^a
Fe	2.94	3.38	0.4700	1.0-2.5 ^b
Zn	0.90	0.70	0.0001	0.65-2.70 ^a
Ca	108.39	102.43	0.0150	80-110 ^b
Mg	25.67	24.35	0.0800	18-35 ^b
Na	3426.67	3276.72	0.0001	3200-3600 ^c
K	362.66	324.48	0.0036	205-255 ^c
P	77.48	53.40	0.0001	45-60 ^b

^a Puls (1988).

^b McDowell (1985).

^c Por la falta de información en suero de cabras: nivel adecuado en suero de vacas (Puls, 1988).

El incremento de Cu sérico en el muestreo del día 60 en relación con el día 30, posiblemente se debió a una disminución en las demandas de Cu por la leche conforme avanza la lactancia, mejorando de esta forma el nivel del Cu sérico en las cabras. Asimismo, el incremento del Cu sérico en los animales al día 60, en relación con el muestreo del día 30, pudo ayudar a que el estrés por oxidación causado por la deficiencia de Cu se disminuyera, y consecuentemente la

destrucción de eritrocitos por hemólisis también disminuyera. Asimismo, encontramos que las concentraciones séricas de Fe se mantuvieron constantes entre los días 30 y 60, con una disminución en las concentraciones de Zn, Ca, Na, K y P en suero en el muestreo del día 60 en relación con el día 30, lo cual probablemente sea debido a que el Cu mejora la salud de los eritrocitos, impidiendo su destrucción y a la vez disminuyendo la liberación de estos minerales hacia el torrente sanguíneo por hemólisis.

Por otro lado, la cantidad de concentrado ofrecido a las cabras en los muestreos de los días 30 y 60, fue menor en relación con el muestreo inicial, por lo que probablemente el nivel de minerales en las cabras pudo ir en disminución, debido al mayor tiempo dedicado al pastoreo con forrajes que fueron deficientes en Cu y Zn (rastroy de maíz, paja de avena), Ca y Na (paja de avena) y P (rastroy de maíz).

A pesar del incremento significativo en las concentraciones de Cu sérico en las cabras en el muestreo del día 60 en relación con el día 30, es necesario recalcar que las concentraciones de Cu sérico aún eran deficientes, en relación con los niveles adecuados de Cu sérico en las cabras en ambos grupos, por lo que las elevadas concentraciones de Fe sérico al día 30 y 60 se pueden atribuir a la deficiencia de cobre y a las cantidades de Fe en la dieta.

Por otro lado, la disminución consecuente del Ca sérico a través del tiempo también pudo deberse a la relación existente entre el avance de la lactancia y la

menor movilización de Ca del hueso (Ahmed *et al.*, 2000). Esto puede estar relacionado con el aumento significativo en las concentraciones de Ca en leche en el muestreo del día 60, disminuyendo el Ca sérico. Las concentraciones de Ca en el muestreo del día 30, son similares a las encontradas por Amer *et al.* (1999), quienes encontraron concentraciones de 107 ppm de Ca en suero de cabras al día 28 de lactancia. Estos mismos autores reportaron niveles séricos de P de 77 ppm al día 28 de lactancia, y mencionan que las concentraciones de Ca y P en suero de cabras no tuvieron ningún cambio durante los primeros 28 días de lactancia.

El Mg sérico no tuvo cambios importantes en su concentración a través del tiempo, contrario a lo encontrado por Mbassa (1991) y Ahmed *et al.* (2000), quienes encontraron una disminución importante del Mg sérico a través de lactancia, lo cual fue asociado con las altas cantidades de Mg secretado a la leche durante los inicios de la lactancia, con la consecuente disminución de Mg en suero sanguíneo.

Las concentraciones de Na y K en suero sanguíneo disminuyeron al mismo tiempo en el muestreo del día 60 en relación con el día 30, esto pudo ocurrir para mantener una constante relación Na:K en el fluido extracelular (Church y Pond, 1988).

Efecto de la suplementación con alambre de óxido de cobre en la composición química de la leche de cabras

La administración de alambre de óxido de cobre no tuvo efecto ($P>0.05$) sobre la concentración de ninguno de los componentes en leche de las cabras entre los grupos (Cuadro 19).

Cuadro 19. Medias de mínimos cuadrados en la composición química de la leche para las cabras suplementadas y no suplementadas de San José Teacalco, Tlaxcala, México.

Componente	Grupos		Probabilidad	Normal ¹
	No Suplementados	Suplementados		
Urea, %	0.06	0.06	0.81	-
Caseína, %	2.45	2.49	0.77	-
Proteína, %	3.13	3.14	0.95	-
Lactosa, %	4.16	4.25	0.23	-
Sólidos totales, %	12.58	12.70	0.85	-
SNG, %	8.08	8.20	0.54	-
Ácido cítrico, %	0.12	0.13	0.76	-
Densidad, %	1.03	1.03	0.60	-
AGL, %	1.81	1.46	0.37	-
Acidez%	6.07	6.06	0.98	-
Cu, mg L ⁻¹	0.14	0.14	0.35	0.22
Fe, mg L ⁻¹	1.45	1.70	0.35	0.46
Zn, mg L ⁻¹	3.38	2.99	0.20	3.80
Ca, g L ⁻¹	1.48	1.34	0.10	1.26
Mg, g L ⁻¹	0.11	0.11	0.53	0.11
Na, g L ⁻¹	0.35	0.42	0.12	0.38
K, g L ⁻¹	1.80	1.80	0.77	1.90
P, g L ⁻¹	0.94	0.88	0.25	0.97

¹ Valores considerado normales para minerales en la leche de cabras (Guéguen, 1997).

Por lo anterior, y dada la escasa información existente del efecto de la suplementación con alambre de óxido de cobre sobre la composición química

de la leche de cabras, sólo se discutirán las concentraciones de algunos componentes de la leche.

Las concentraciones de Cu, Zn, K y P fueron menores a los niveles normales en ambos tratamientos, en relación con los niveles mencionados por Guéguen (1997). Tanto en sangre como en la leche, las cantidades de Cu fueron menores a las cantidades normales en ambos grupos. Las bajas concentraciones de cobre en leche de los animales suplementados, pudieron deberse a que durante una deficiencia de cobre, hay aumentos en la actividad hepática de los enzimas encargados de la síntesis de glutatión (Chen *et al.*, 1995), los cuales estimulan la eficacia en la captación de cobre por el hígado. Aunque las especies difieren en el nivel de almacenamiento hepático de excesos de cobre, los animales que están en riesgo permanente de deficiencia de cobre (rumiantes) almacenan rápido el cobre (Underwood y Suttle, 2003). Asimismo, Underwood y Suttle (2003) mencionan que existen diferencias entre especies respecto a las concentraciones de cobre en la leche y que la vaca y la cabra secretan leche con bajos niveles de cobre ($0.15 \text{ mg Cu L}^{-1}$).

Las bajas concentraciones de Cu en leche de los animales no suplementados (tomado en cuenta que todos los alimentos analizados fueron deficientes en Cu en relación con los requisitos de las cabras), también pudo deberse a que la secreción de cobre en la leche se reduce cuando el aporte dietético es inadecuado (Whitelaw *et al.*, 1983).

El Fe fue mayor en 215 y 270% de lo normal en la leche de las cabras no suplementadas y suplementadas, respectivamente. Estas altas concentraciones de Fe en la leche pueden atribuirse a las elevadas concentraciones de Fe sérico que consecuentemente son segregadas a la leche.

Las concentraciones de Ca en la leche de las cabras estuvieron dentro de los valores considerados normales en ambos tratamientos. Esto pudo deberse al aporte de Ca dietético, el cual también mantuvo las concentraciones de Ca en suero dentro del rango adecuado en relación con los requisitos de las cabras. Al igual que la concentración de Mg en suero, el tratamiento no tuvo efecto sobre la concentración de Mg en leche. Esto pudo deberse a que el mantenimiento de la concentración normal de Mg en sangre y su consecuente depositación en la leche, depende completamente de la absorción del Mg dietético NRC (2001).

Efecto del día de muestreo en la composición química de la leche de cabras

El día de muestreo no afectó ($P>0.05$) a la mayoría de los componentes de la leche. La concentración de Ca aumentó ($P=0.0001$) en 24.6% al día 60, y disminuyó la concentración de Na ($P=0.01$) y P ($P=0.03$) en 21 y 10.4%, respectivamente, en relación con el día 30 (Cuadro 20).

Cuadro 20. Medias de mínimos cuadrados para el día de muestreo en la composición química de la leche de las cabras de San José Teacalco, Tlaxcala, México.

Componente	Día de muestreo		Probabilidad
	30	60	
Urea, %	0.06	0.06	0.77
Caseína, %	2.46	2.49	0.81
Proteína, %	3.16	3.11	0.71
Lactosa, %	4.18	4.24	0.45
Sólidos totales, %	12.36	12.92	0.4
SNG, %	8.12	8.15	0.87
Ácido cítrico, %	0.12	0.13	0.39
Densidad, %	1.03	1.03	0.71
AGL, %	1.33	1.94	0.12
Acidez, %	5.99	6.14	0.66
Cu, mg L ⁻¹	0.15	0.12	0.08
Fe, mg L ⁻¹	1.37	1.78	0.12
Zn, mg L ⁻¹	3.12	3.26	0.62
Ca, g L ⁻¹	1.26	1.57	0.0001
Mg, g L ⁻¹	0.12	0.11	0.07
Na, g L ⁻¹	0.43	0.34	0.01
K, g L ⁻¹	1.86	1.76	0.09
P, g L ⁻¹	0.96	0.86	0.03

Algunos de los factores que afectan la composición de la leche de cabras a través del tiempo, así como la comparación de estos resultados con otros trabajos, se han mencionado anteriormente, por lo tanto, en este tema solamente se discutirán las diferencias encontradas de algunos componentes a través del tiempo.

La variación en la composición de la leche puede influir en la producción de queso durante la lactancia. Dado que los principales factores que afectan la producción de queso son los sólidos totales, grasa (que en este estudio no se analizó), proteína y caseína (Guo *et al.*, 2004), la constancia en las concentraciones de estos componentes en la leche de este trabajo, beneficia en

cierta medida a la producción de queso en esta explotación al menos durante este periodo (dos meses).

La menor concentración de Ca en el muestreo del día 30 en relación con el día 60, probablemente se debió a una mayor dilución del Ca por un mayor volumen de producción en las primeras semanas de lactancia, ocasionando una menor concentración de Ca en la leche. Asimismo, Mba (1982) sugiere que los contenidos de Ca y P también son influenciados por la etapa de lactancia y son inversamente relacionados a la producción de leche. Por otro lado, Guo *et al.* (2004) mencionan que el calcio está fuertemente relacionado con la caseína tanto en la leche de cabras como en la leche de vacas, pero una considerable proporción es solubilizada por el ácido láctico producido en la fermentación y es removido durante el drenado. Voutsinas *et al.* (1990) también reportan aumentos en las concentraciones de calcio a partir de la semana ocho de lactancia en cabras Alpinas. Brendehaug y Abrahansen (1986) también encontraron un incremento gradual en las concentraciones de Ca en la leche de cabras con el avance de la lactancia.

Las mayores concentraciones de Na y P en la leche al día 30 posiblemente se debieron a una mayor segregación de estos minerales hacia la leche, por la mayor movilización en suero sanguíneo, donde también fueron mayores en el muestreo del día 30, mientras que al día 60 las concentraciones de ambos minerales (Na y P), tanto en leche como en suero sanguíneo disminuyeron. La disminución en los contenidos de Na al día 60, en relación con el día 30, difiere

de lo mencionado por Mba (1982), quien sugiere que los contenidos de Na de la leche incrementan con el avance de la lactancia.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de Cu y Zn en agua, Cu en el suelo y las concentraciones de Cu, Zn y Na en los alimentos fueron deficientes en relación con los requisitos de los animales, por lo que se recomienda la suplementación con estos minerales. La suplementación con alambre de óxido de cobre mejoró el nivel del cobre sérico y aumentó las concentraciones de Mg, K y P. Asimismo, disminuyó el Fe sérico en las cabras suplementadas de San José Teacalco, Tlaxcala.

El día de muestreo afectó las concentraciones de Cu sérico, que incrementaron en el muestreo del día 60, y también disminuyó las concentraciones de Zn, Ca, Na, K y P séricos al día 60 en relación con el muestreo del día 30.

El suplemento con alambre de óxido de cobre, no tuvo efecto sobre los contenidos de urea, caseína, proteína, lactosa, sólidos totales, sólidos no grasos, ácido cítrico, densidad, ácidos grasos libres, acidez, Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P en la leche de las cabras suplementadas en comparación con las cabras no suplementadas.

Se encontró efecto del día de muestreo en las concentraciones de Ca en la leche, que aumentó en el muestreo del día 60 y disminuyeron las concentraciones de Na y K en el muestreo del día 60 en relación con el muestreo del día 30.

LITERATURA CITADA

- Adediji, O., and N. F. Suttle. 1999. Influence of diet type, potassium and animal species on the absorption of magnesium by ruminants. *In: Proceedings of the Nutrition Society* 58: 31 A.
- Ademosun, A. A., and C. M. Munyabantu. 1982. Copper requirements for the West African dwarf goat. *In: Proceedings of the Third International Conference on Goat Production and Disease*. Scottsdale, Arizona, USA: *Dairy Goat Journal Publishing Company*. 560 p.
- AFRC. 1998. Technical Committee on Responses to Nutriments, Report No. 10. The Nutrition of Goats. *Nutrition Abstract and Review*, Series B. 67: 1-98.
- Ahmed, M. M., A. Khalid Sima, and M. E. S. Barri. 2000. Macromineral profile in the plasma of Nubian goats as affected by the physiological state. *Small Ruminant Research*. 38: 249-254.
- Amer, H. A., H. A. Salem, and H. Al-Hozab. 1999. Biochemical changes in serum and milk constituents during postpartum period in Saudi Ardy goats. *Small Ruminant Res.* 34: 167-173.
- Berner, Y. N. 1997. Phosphorus. *In: Handbook of nutritionally essential mineral elements*. Boyd L. O'Dell and Rogers A. Sunde (ed). Marcel Decker, Inc. NewYork. 170 p.
- Block, E. 1991. Anion-cation balance and its effect on the performance of ruminants. *In: Haresign, W., and D. J. A. Cole (Eds.) Recent Advances in Animal Nutrition*. Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford. pp: 163-179.

- Bowen, H. J. M. 1966. Trace Elements in Biochemistry. Academic Press. New York, NY. pp: 118-184.
- Bravo O., M. A. y R. Martínez A. 1995. Influencia del cobre y cinc en dietas para cabras en crecimiento. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 78 p.
- Brendehaug, J., and R. K. Abrahansen. 1986. Chemical composition of milk from a herd of Norwegian goats. *Journal of Dairy Research*. 53: 211-221.
- Brown, J. R. 1987. Soil Testing: sampling, correlation calibration and interpretation. Soil Science Society of America. Inc., SSSA. Special publication, number 221, Madison, Wisconsin USA. 144 p.
- Chartier, C. E., H. Hoste, I. Pors, C. Koch, and B. Dellac. 2000. Efficacy of copper oxide needles for the control of nematode parasites in dairy goats. *Veterinary Research Communications*. 24 (6): 389-399.
- Chen, Y., J. T. Saari, and Y. J. Kang. 1995. Expression of g glutamyl cysteine synthetase in the liver of copper deficient rats. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. 210: 102-106.
- Church, D. C., and W. G. Pond. 1988. Basic Animal Nutrition and Feeding. Third edition. Ed. Willey. New York. 432 p.
- Coffey K. P., L. J. Moyer, W. Lomas, E. J. Smith, C. D. La Rue, and K. F. Brazle. 1992. Implant and copper oxide needles for stress grazing *Acremonium conophialum*- infected tall fescue pastures: effects on grazing and subsequent feedlot performance and serum constituents. *J. Anim. Sci*. 70: 3203-3214.

- Deland, M. P., D. D. Lewis, R. P. Cunningham, and W. D. Dewey. 1986. Australian Veterinary Journal. 63: 1-3.
- Fick K. R., L. McDowell R., P. Miles H., N. Wilkinson S., J. Funk D., J. Conrad H. y R. Valdivia. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Anim. Sci. Departament. Univ. de Florida, U. S. A. 98 p.
- Frimpong, N. A., and C. A. Magee. 1989. Effects of dietary copper and zinc on growth and trace mineral status of young male rats. Nutr. Rep. Int. 40: 695.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Universidad Autónoma de México. México. D. F. 246 p.
- Gallagher, C. H. 1979. Biochemical and pathological effects of copper deficiency. *In*: J. O. Nriaga, ed. Copper in the environment Part II: Health effect. John Wiley & Sons, New York. USA. pp. 57-69
- Guéguen, L. 1997. La valeur nutritionnelle minerale du lait de chevre. *In*: Freund, G. (Ed.), Interest nutritionnels et dietetique du lait de chevre, INRA, Niort, pp: 67-80.
- Guo, M. R., P. H. Dixon, Y. W. Park, J. A. Gilmore, and P. S. Kindstedt. 2004. Relationship between the yield of cheese (Chevre) and chemical composition of goats milk. Small Ruminant Res. 52: 103-107.
- Haenlein, G. F. W. 1980. Mineral nutrition of goats. J. Dairy Sci. 63: 1729-1748.
- Harris, W. D., and P. Popat, 1954. Determination of the phosphorus contents of the lipids. J. Am. Oil. Chem. Soc. 32: 124.-127.

- Huerta B., M. 1993. Suplementación mineral de rumiantes en pastoreo. Memoria del curso Internacional Avanzado de Nutrición de Rumiantes. CP, AMPA, AMENA, UAM-Xochimilco, UAP. Montecillos, Méx. 20, 21 y 22 de octubre. pp: 9-18.
- Huerta B., M. 1999. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. *In: II Seminario Internacional Estrategias de Suplementación a Bovinos en Pastoreo..* Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 28 y 29 de octubre. pp: 154-182.
- Lamand, M. 1981. Métabolisme et besoins en oligo-éléments des chèvres. *In: Nutrition an systems of goats feeding*, Vol. 1, Morand-Fehr, P.; Bourbouze, A.; Simiane, M. de (Eds), Paris, France; ITOVIC-INRA, pp: 210-217.
- Lawlor, M. J., W. H. Smith, and W. M Beeson. 1965. Iron requirement of the growing lamb. *J. Anim. Sci.* 24: 742.
- Mba, A. U. 1982. Mineral nutrition of goats in Nigerian. *In: Proceedings of the Third International Conference on Goat production and Disease.* Scottsdale, Arizona, USA; Dairy Goat Journal Publishing Company, pp: 109-112.
- Mbassa, M. 1991. Influence of pregnancy lactation and environment on some clinical chemical reference values in Danish Landrace dairy goats. *Comp. Physiol. Biochem.* 100: 413-422.
- McDowell, L. R. 1985. Copper, molybdenum and sulfur. *In: Nutrition of grazing ruminants in warm climates.* Academic Press Inc., Orlando, Florida pp: 23-29.

- Mejía H., I., D. Rodríguez J., C. Pérez H. y J. Rodríguez. 1988. Evaluación de minerales en suelo, forraje y ganado caprino en el municipio de Zaragoza, Coahuila. Memoria del Congreso Interamericano de Producción Caprina, Saltillo, Coahuila. 10 y 11 de septiembre. pp.: b26-b29.
- Mills, C. F., A. C. Dalgarno, R. B. Williams, and J. Quarterman. 1967. Zinc deficiency and zinc requirements of calves and lambs. Br. J. Nutr. 21: 751-768.
- Muñoz G. J. C., M. Huerta B. y C. A. López G. 2004. Estado mineral de ovinos en diferentes estados fisiológicos en el estado de Tlaxcala, México. Memoria de la XXXII Reunión Anual AMPA, Monterrey, NL. 27, 28 y 29 de octubre.
- NRC. 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. National Academic Press, Washington, D. C. USA. 577 p.
- NRC. 1985. Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrient Requirements of Sheep. Sixth Revised Edition, National Academy of Sciences, Washington, D.C.USA. 112 p.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition. National Academic Press, Washington, DC. USA. 488 p.
- Neathery, M. W., W. J. Miller, D. M. Blackmon, F. M. Pate, and R. P. Gentry. 1973. Effects of long-term zinc deficiency on feed utilization, reproductive characteristics and hair growth in the sexually mature male goats. Journal of Dairy Science. 56: 98-105.

- Prohaska, J. R., and O. A. Lukasewycz. 1981. Copper deficiency suppresses the immune response in mice. *Science*. 213: 559-561.
- Puls, R. 1988. Minerals Levels in Animal Health. Diagnostic Data. Sherpa International. British Columbia, Canadá. 153 p.
- Ramírez-Bribiesca E., E. Hernández-Camacho, L. M. Hernández-Calva y J. L. Tórtora-Pérez. 2004. Efecto de un suplemento parenteral con selenito de sodio en la mortalidad de corderos y los valores hemáticos de selenio. *Agrociencia*. 38 (1): 43-51.
- Romero B., J., O. y M. Huerta B. 1990. Evaluación de siete minerales en caprinos pastoreando vegetación natural en Villa Hidalgo, Zacatecas. Mem. Sexta Reunión Nacional sobre Caprinocultura. 26-28 de septiembre, San Luis Potosí, SLP. pp: 32-35
- Sánchez D., J. T. 2005. Minerales en suelos, forrajes, alimentos y animales en una unidad de producción de leche en pastoreo en Chapingo, México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 49 p.
- SAS. 2001. SAS/STAT User's Guide. SAS Publishing, Cary, NC.
- Shirley, R., L. y J. L. Montesinos. 1978. El agua como fuentes de minerales. In R. L. McDowell y J. H. Conrad (Eds.). Simposio latinoamericano sobre investigaciones en nutrición mineral de los rumiantes en pastoreo. Universidad de Florida, Gainesville, Florida. pp: 47-54
- Shorrocks, V. M., and B. J Alloway. 1985. Copper in plant, human and animal nutrition: A technical review. International copper Research Association. pp. 42-45

- Suttle, N. F., G. D. Jones, C. Woolliams, and A. J. Woolliams. 1987. Heinz body anemia in lambs with deficiencies of copper or selenium, Br. J. Nut. 58: 539-548.
- Tavera G. 1985. Criterios para interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para áreas de asistencia técnica. Publicación No. 3. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo Delegación La Laguna. 122 p.
- Underwood E., J. y N. F. Suttle. 2003. Los Minerales en la Nutrición del Ganado. 3ª Ed. Zaragoza, España. 633 p.
- Voutsinas, L., C. P. Pappas, and M. Katsiari. 1990. The composition of Alpine goats' milk during lactation in Greece. J. Dairy Res. 57 (1): 41-51.
- Whitelaw A., R. A. Fawcett, and J. A. McDonald. 1983. Cupric oxide needles in the prevention of bovine hipocuprosis. Vet Rec. 115: 357.