



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

Posgrado en Producción Animal

**DIAGNÓSTICO Y SUPLEMENTACIÓN MINERAL DE
GANADO CAPRINO EN CONDICIONES DE
PASTOREO**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

P R E S E N T A:

JOSÉ GUADALUPE LIBRADO CRUZ

Bajo la dirección de: Maximino Huerta Bravo, Ph. D.



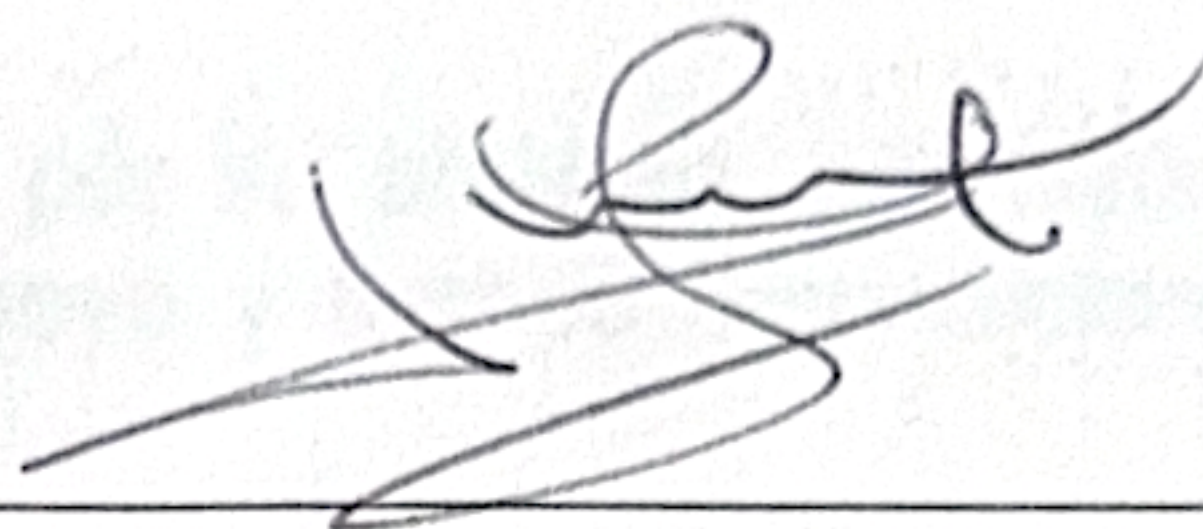
Chapingo, Estado de México, Octubre de 2007

DIAGNÓSTICO Y SUPLEMENTACIÓN MINERAL DE GANADO CAPRINO EN CONDICIONES DE PASTOREO

Tesis realizada por **JOSÉ GUADALUPE LIBRADO CRUZ**, bajo la dirección del
Comité Asesor^a indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

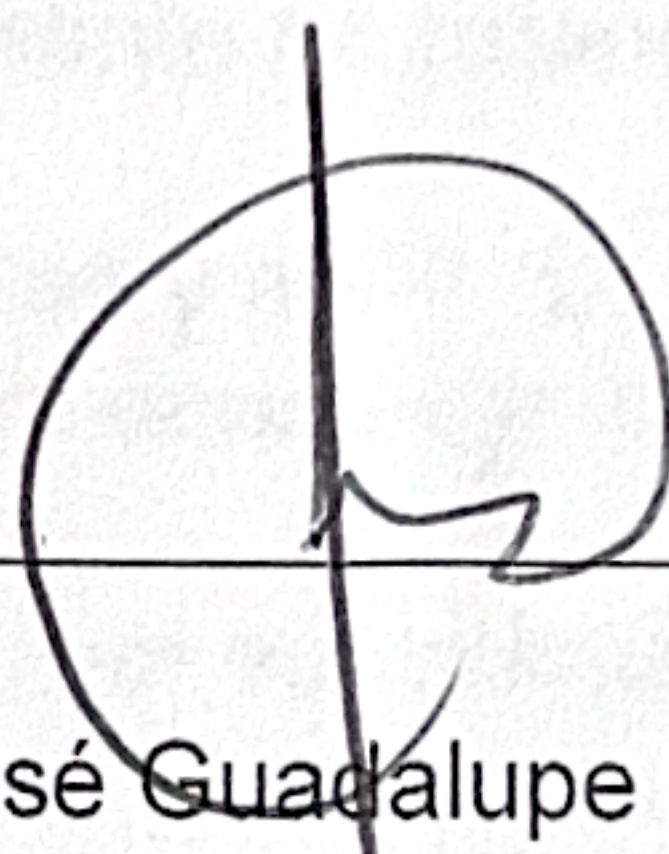
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR: _____



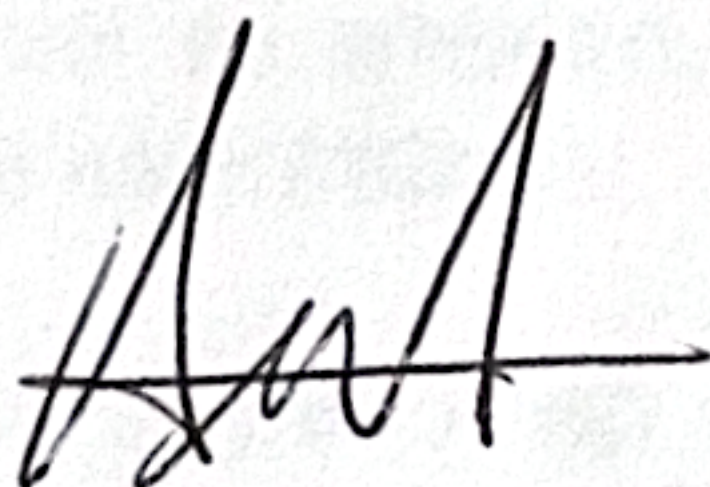
Ph. D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR: _____



Ph. D. José Guadalupe García Muñiz

ASESOR: _____



Ph. D. Pedro Arturo Martínez Hernández

ASESOR: _____



Ph. D. Mariano Jesús González Alcorta

AGRADECIMIENTOS

Al **Padre Jesús de Soto** y a la **Virgen de Guadalupe**, por concederme el tiempo y la salud, así como la facultad de aprender, la facilidad para entender, la capacidad para retener, la sutileza para interpretar y el don de saber hablar, y porque siempre han estado conmigo en todo momento.

A mi *Alma Mater*, la Universidad Autónoma Chapingo y especialmente al Posgrado en Producción Animal por darme la oportunidad de culminar una meta más en mi vida.

Al Ph. D. Maximino Huerta Bravo, por su amistad, por haber compartido sus conocimientos, así como por el apoyo y tiempo incondicional brindado en la realización de esta investigación.

Al Ph. D. José Guadalupe García Muñiz, por su amistad, apoyo y valiosas sugerencias en la mejora de este trabajo, así como por darme la oportunidad de desempeñarme profesionalmente durante mi estancia en la Maestría.

Al Ph. D. Pedro A. Martínez Hernández y al Ph. D. Mariano J. González Alcorta, por sus acertadas sugerencias para el enriquecimiento de esta investigación.

Al Ph. D. Rodolfo Ramírez Valverde, por su amistad, valiosos consejos y apoyo que me brindó desinteresadamente.

A Indalecio Flores Santamaría por su amistad, confianza y ayuda incondicional durante la fase de laboratorio de este trabajo.

A todos los profesores del Posgrado en Producción Animal por haber contribuido en mi formación académica profesional.

A los señores Pedro Nativitas y Rubén Cortés por permitirme realizar este trabajo de investigación en sus explotaciones caprinas.

A mis amigos y compañeros: Ezequiel, Jorge, Karim, Edén, Beny, Gustavo, Aurora, Magali, Guadalupe y Pedro, por dejar de hacer otras actividades y ayudarme en las fases de campo y de laboratorio. Muchas gracias....

Al CONACYT, por la beca otorgada para sostener mis estudios de maestría.

DEDICATORIAS

A mi Madre:

Carmen Cruz Miñón, por todo el amor que me ha brindado, por su comprensión, su confianza y por los sacrificios que ha hecho por sacarnos siempre adelante. Te amo mamá.

A mi padre:

Guadalupe Librado Romero, por su ejemplo de fortaleza, trabajo y honestidad, así como por creer siempre en mí. Gracias por ser mi padre.

A mis hermanas:

Nohemí y María del Carmen, por su cariño y por los bellos momentos que hemos pasado juntos. Las quiero mucho.

A mis sobrinos:

Juan Carlos, Roberto, Guadalupe, Jesús, Rocío y Patricia, por formar parte importante de mi vida y esperando que siempre traten de ser los mejores.

A Anna Magali Sánchez Pérez, por su amistad incondicional que me ha brindado desde que la conocí. Gracias por ser mi Amiga.

A mis Amigos: Edén, Beny, Aurora, Gustavo, Mónica, Teresa, Alma, Ezequiel Miguel, Cach, Maricela, y a todos aquellos que no están en este papel, gracias por esos momentos que hicieron más placentera mi estancia en el Posgrado y en la Universidad.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos generales

Nombre: José Guadalupe Librado Cruz

Lugar de origen: Tepeyahualco de Hidalgo, Puebla

Fecha de nacimiento: 03 de febrero de 1982

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

Formación académica

1996-1999. Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 241. Oriental, Puebla.

1999-2004. Ingeniero Agrónomo especialista en Zootecnia. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo.

2005-2007. Maestría en Ciencias en Producción Animal. Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo

Experiencia Laboral:

Evaluador del Programa de Fomento Agrícola de la APC en el estado de Hidalgo. En el periodo de marzo a noviembre de 2006. Grupo JAVEMA S.C.

Evaluador del Programa de Fomento Ganadero de la APC en el estado de Hidalgo. En el periodo de marzo a noviembre de 2007. Corporativo Panamericano de Desarrollo Capacitación y Consultoría S.C (COPDECC).

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIAS.....	iii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	iv
ÍNDICE.....	v
LISTA DE CUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	2
CAPÍTULO II.....	5
REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
Situación de la caprinocultura en México.....	6
Caracterización.....	6
Sistemas de producción.....	8
Caprinocultura de subsistencia.....	12
Importancia de la nutrición mineral en el ganado caprino de México.....	14
Esencialidad y función de los minerales.....	15
Evaluación del estatus mineral.....	16
<i>Perfil mineral en agua.....</i>	<i>18</i>

...continuación

<i>Perfil mineral en forraje</i>	23
<i>Perfil mineral en sangre</i>	28
Características fisicoquímicas de la leche de cabra	31
Importancia del selenio	33
Metabolismo	34
<i>Absorción</i>	34
<i>Distribución y retención</i>	36
<i>Excreción</i>	37
<i>Transferencia de selenio al feto, calostro y leche</i>	38
Deficiencia de selenio	40
Suplementación de selenio	43
Bolos intra-ruminales.....	44
Literatura citada.....	47
CAPÍTULO III	75
ESTADO NUTRICIONAL DE GANADO CAPRINO EN PASTOREO EN LOS LLANOS DE SAN JUAN, PUEBLA	76
RESUMEN.....	77
ABSTRACT	78
INTRODUCCIÓN.....	79
MATERIAL Y MÉTODOS	81

...continuación

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	86
CONCLUSIONES	122
LITERATURA CITADA	123
CAPÍTULO IV	143
SUPLEMENTACIÓN CON BOLOS DE SELENIO A CABRAS LECHERAS EN PASTOREO	144
RESUMEN	145
ABSTRACT	146
INTRODUCCIÓN	147
MATERIAL Y MÉTODOS	149
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	155
CONCLUSIONES	170
LITERATURA CITADA	171

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Resumen de estudios sobre la concentración mineral del agua ofrecida a rebaños caprinos de México.....	19
Cuadro 2. Resumen de estudios sobre la concentración mineral del suelo de explotaciones caprinas de México.	22
Cuadro 3. Resumen de estudios sobre la concentración mineral del forraje ofrecido a rebaños caprinos en México.....	45
Cuadro 4. Resumen de estudios sobre el contenido mineral en suero sanguíneo de ganado caprino de México.	46
Cuadro 5. Medias de cuadrados mínimos para la concentración mineral del agua ofrecida a cabras de seis rebaños de la región de los Llanos de San Juan, Puebla.....	86
Cuadro 6. Medias de cuadrados mínimos para la concentración mineral del suelo sobre el que pastorean cabras de seis rebaños de la región de los Llanos de San Juan, Puebla.....	89
Cuadro 7. Medias de cuadrados mínimos para la concentración mineral en forraje de seis rebaños caprinos en la región de los Llanos de San Juan, Puebla.	95
Cuadro 8. Nivel de significancia (probabilidad) para las variables rebaño y estado fisiológico con respecto a la concentración mineral en suero sanguíneo.	110

..... continuación

Cuadro 9. Concentración mineral en suero sanguíneo de cabras lecheras y cabritos (medias de cuadrados mínimos) de seis rebaños de la región de los Llanos de San Juan, Puebla.....	110
Cuadro 10. Medias de cuadrados mínimos para la concentración mineral en leche de cabra en seis rebaños de la región de los Llanos de San Juan, Puebla.	111
Cuadro 11. Medias de cuadrados mínimos para la composición química de la leche de cabra en seis rebaños de la región de los Llanos de San Juan, Puebla.	115
Cuadro 12. Nivel de significancia (probabilidad) de las fuentes de variación por variable de respuesta medida en suero sanguíneo y leche.	156
Cuadro 13. Punto crioscópico y contenido de cenizas en leche (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de cabras con y sin Se extra. Promedio de dos rebaños	168

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación de los sistemas caprinos por movilidad (FIRA, 1999)... 10	
Figura 2. Concentración de selenio en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de cabras suplementadas y no suplementadas con bolos de selenio a diferentes días del experimento en el Rebaño 1. 157	
Figura 3. Concentración de selenio en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de cabras suplementadas y no suplementadas con bolos de selenio a diferentes días del experimento en el Rebaño 2. 158	
Figura 4. Concentración de selenio en leche (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de cabras suplementadas y no suplementadas con bolos de selenio en dos rebaños..... 163	
Figura 5. Contenido de ácidos grasos libres (AGL) en leche (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de cabras suplementadas y no suplementadas con bolos de selenio en dos rebaños..... 166	
Figura 6. Porcentaje de ácido cítrico en leche (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de cabras suplementadas y no suplementadas con bolos de selenio en dos rebaños..... 167	

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

La caprinocultura en México ocupa el cuarto lugar del inventario ganadero nacional, después las aves, bovinos y porcinos, con una población de 8.8 millones de cabezas, las cuales producen 163 millones de litros de leche y poco más de 42,000 toneladas de carne (SIAP, 2007). Más del 80% de la especie se localiza en regiones rurales, principalmente en las zonas áridas y semiáridas del país, donde en la mayoría de los casos, la actividad caprina se desarrolla en condiciones ambientales marginales, con bajos parámetros productivos, y en unidades de producción familiares que han diversificado sus actividades agrícolas con la presencia de este tipo de ganado (Galina, 2003).

La mayor parte del ganado caprino se explota en sistemas de producción extensivos, donde la alimentación se basa en el ramoneo y pastoreo en agostaderos, cerros u orillas de caminos; además, la suplementación es escasa y en ocasiones sólo se limita a esquilmos agrícolas como rastrojo de maíz, pajas de leguminosas o gramíneas, así como nopal y/o maguey picado (Hernández, 2000).

Debido a las condiciones anteriores, los animales casi siempre manifiestan deficiencias nutricionales importantes que repercuten seriamente en los parámetros productivos y reproductivos de los rebaños caprinos. Entre los nutrientes que se afectan por una alimentación inadecuada están los minerales, los cuales son fundamentales para que el ganado manifieste su potencial productivo, ya que son necesarios en la transformación de la proteína y la

energía de los alimentos en componentes del organismo como el hueso o en productos animales como carne, leche, pelo y crías (Huerta, 1997). Además, ayudan al organismo a combatir las enfermedades y mantener la salud.

Por lo anterior, y debido a que la investigación sobre aspectos nutricionales del ganado caprino en México es muy poca, es necesario conocer el tipo de desbalances minerales que presentan las explotaciones caprinas en el país, con el objetivo de establecer una suplementación específica del ganado, lo cual se logra mediante el mapeo o estudios de las concentraciones de minerales en el agua, suelo, forraje, suero sanguíneo o productos animales como carne, leche o pelo.

La leche de cabra es parte esencial de la economía nacional de muchos países y su producción a nivel mundial es la que más crecimiento ha tenido en los últimos 20 años, superando a la leche de vaca, oveja y búfala (Haenlein, 2004). En México, la leche de cabra contribuye de una manera modesta a la producción nacional de leche, sin embargo, llega a ser importante por ser un medio de ingreso y fuente de alimento para numerosas familias campesinas. Además, cerca del 70% de la leche producida es utilizada para la elaboración de quesos artesanales; mientras que el 30% es transformada por la industria en quesos y dulces (FIRA, 1999).

Considerando lo anterior y debido a que existen pocos estudios sobre la características fisicoquímicas de la leche de cabra en México, es necesario generar información que permita conocer su composición, la cual permitirá

descubrir el potencial nutritivo y productivo que posee, principalmente como alimento humano y para su industrialización.

El selenio es un mineral cuya función principal es ser componente de las selenoproteínas, las cuales tienen actividad antioxidante y participan en el metabolismo del yodo (McDowell, 1997). En México, la deficiencia de selenio es un problema importante para la producción ovina y caprina del centro del país, aunque parece ser que este problema es de mayor magnitud en ganado caprino, lo cual se manifiesta en la enfermedad del músculo blanco, que puede llegar a ocasionar mortalidades de más del 60% en cabritos (Ramírez-Briebesca *et al.*, 2001a).

Una de las formas de suplementación de selenio que puede ayudar a mantener niveles adecuados de este mineral en los animales y que poco se ha evaluado en cabras, es la administración de bolos de liberación controlada, los cuales pueden estar proveyendo selenio por un intervalo largo de tiempo. Compendiando los aspectos sobre la problemática nutricional del ganado caprino en México, es que en el presente estudio se propuso:

- Determinar el estatus mineral y composición química de la leche en seis rebaños caprinos en pastoreo de la región de los Llanos de San Juan, Puebla.
- Determinar la influencia de la administración de bolos de selenio sobre la concentración en suero sanguíneo y leche de cabras lecheras en lactación.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Situación de la caprinocultura en México

Caracterización

Los caprinos fueron introducidos a México por los españoles después de la conquista, habiéndose distribuido progresivamente desde entonces en gran parte del territorio nacional, demostrando ser aptos para la producción pecuaria rentable (Galina, 2003). Se cree que las primeras cabras traídas de España provenían de las regiones de Granada, Murcia y Málaga, y se derivaron de las razas Blanca Celtebérica o Serrana y Castellana de Extremadura (Mellado, 1997). Desde principios de siglo en nuestro país, han constituido una fuente de trabajo familiar, donde en algunos casos se ha demostrado su capacidad empresarial, particularmente con la industrialización de los productos lácteos, que le dan un valor agregado en diferentes regiones del país (Galina, 2002).

Por otro lado, en el sector ganadero, las cabras ocupan el cuarto lugar a nivel mundial en cuanto a población total de animales (Morand-Fehr y Boyazoglu, 1999), teniendo los países en desarrollo aproximadamente el 95% de todas las cabras del mundo (Knights y García, 1997). En nuestro país se tiene una población estimada de 8.8 millones de cabezas de ganado caprino, las cuales producen 163 millones de litros de leche y poco más de 42,000 toneladas de carne (SIAP, 2007). Las cifras anteriores, aunque sólo contribuyen modestamente con el 2% y 1% de la producción nacional de leche y carne, son

importantes desde el punto de vista social, ya que representan un medio de ingreso y fuentes de alimento para numerosas familias campesinas, ubicadas principalmente en las zonas áridas y semiáridas del norte de nuestro país y en zonas de los estados de Puebla, Oaxaca y Guerrero (FIRA, 1999).

En la mayoría de los casos, la caprinocultura se desarrolla bajo condiciones marginales, con bajos parámetros productivos y asociada a familias que han diversificado sus actividades agrícolas con la presencia de este tipo de ganado. Casos de excepción son La Comarca Lagunera y el Bajío donde se cuenta con un gran número de explotaciones intensivas enfocadas a la producción de leche, pie de cría y cabrito. Cabe mencionar que el 78% de las explotaciones son de tipo familiar (menores de 20 ha) y poseen el 85% del ganado caprino, tanto en unidades de producción ejidal como privadas (Herrera, 1999). Esta es la única especie en México, de la cual el pequeño productor posee la mayor parte del inventario existiendo más de 300 mil familias que tienen en la caprinocultura una de sus principales actividades (FIRA, 1999).

Generalmente la caprinocultura es considerada como una actividad de subsistencia y única alternativa productiva y de empleo en las regiones áridas y semiáridas de México, predominando animales de tipo criollo (80% de la población total), cruza con razas puras como Alpina, Saanen y Nubia (12%) y razas puras que representan tan solo el 8% de la población total y a las ya mencionadas se agregarían Toggenburg y Boer.

Sistemas de producción

Se pueden clasificar los diferentes tipos de sistemas de producción existentes en nuestro país con base en: Intensidad del uso del suelo, su movilidad y en los productos principales que generan (FIRA, 1999).

Intensidad del uso del suelo

Se observan tres tipos de sistemas: extensivos, semi intensivos e intensivos.

a) *Sistemas extensivos.* Los sistemas extensivos son los que utilizan los terrenos menos productivos, no aptos para actividades agrícolas ni forestales y generalmente no disponen de otras fuentes de alimentación por lo que emplean grandes extensiones de terreno (FIRA, 1999). Herrera (1999) menciona que el 90% de las explotaciones del país se ubican dentro de este sistema, donde los animales son criollos con gran rusticidad y bajo rendimiento en pie y en canal, así como baja producción de leche (30 kg por lactancia). También, es común en ellos la baja tecnificación y el sobrepastoreo, lo cual ha causado una degradación del suelo y de la vegetación. La escasez de recursos alimenticios determina otras características del sistema: estacionalidad marcada de los empadres, venta de los cabritos al destete, nula o muy baja disponibilidad de leche para la venta y baja productividad en general (FAO, 1987).

b) *Sistemas semi intensivos mixtos o intermedios.* Los sistemas semi intensivos se ubican en regiones con mayor productividad, en donde pueden combinar el pastoreo y ramoneo de agostaderos en parte del año con el

aprovechamiento de residuos de cosecha y de la vegetación de áreas marginales (FIRA, 1999). El tipo de animales que lo integran son de razas lecheras puras o sus cruza, con producciones de leche que varían de 200 a 450 kg/año (Herrera, 1999). Es frecuente que la economía de estos sistemas permita que se tecnifiquen e integren en forma apreciable, lo cual aunado a la mejor alimentación permite una productividad animal más elevada que los sistemas extensivos y más de una época anual de empadre, sin aumentar mucho los costos de producción. La caprinocultura de gran parte de la zona templada del país es de este tipo (FIRA, 1999).

c) *Sistemas intensivos.* Otro negocio muy distinto son los sistemas intensivos, pues emplean mucho capital y poco terreno, con una administración eficiente y alta tecnificación (FIRA, 1999). Se caracterizan por una estabulación permanente, uso de forrajes de corte y concentrados, y animales de razas puras lecheras con producciones que sobrepasan los 600 kg de leche por año (Herrera, 1999). Ejemplos de estos sistemas hay en el norte y centro del país.

Movilidad de la explotación

Dentro de los sistemas extensivos y semi intensivos se observan diferentes formas de producción, dependiendo de la movilidad que presentan durante el transcurso de año: sedentarios, nómadas y trashumantes (Figura 1).

a) *Sistemas sedentarios.* Caracterizados por ubicarse en lugares fijos, alrededor de los cuales pastorean y normalmente se utiliza un corral que sirve para hacer un encierro cotidiano durante la noche (Valencia, 2002). Para evitar

deterioro en la vegetación del área que utilizan o en la condición de los animales, debe manejarse el pastoreo de modo que se produzca y consuma la cantidad necesaria de forraje para los animales existentes (FIRA, 1999). Se distinguen dos variantes: los que realizan su actividad trófica en agostaderos en los cuales la oferta de forraje es multiespecífica y proviene principalmente del matorral desértico, y los que se ligan estrechamente a los componentes y procesos de los sistemas de cultivo, siendo las principales fuentes de forraje las malezas, los remanentes de cosecha y en menor grado la vegetación natural de las áreas que no se cultivan o dejan de hacerlo por falta de agua (Valencia, 2002).

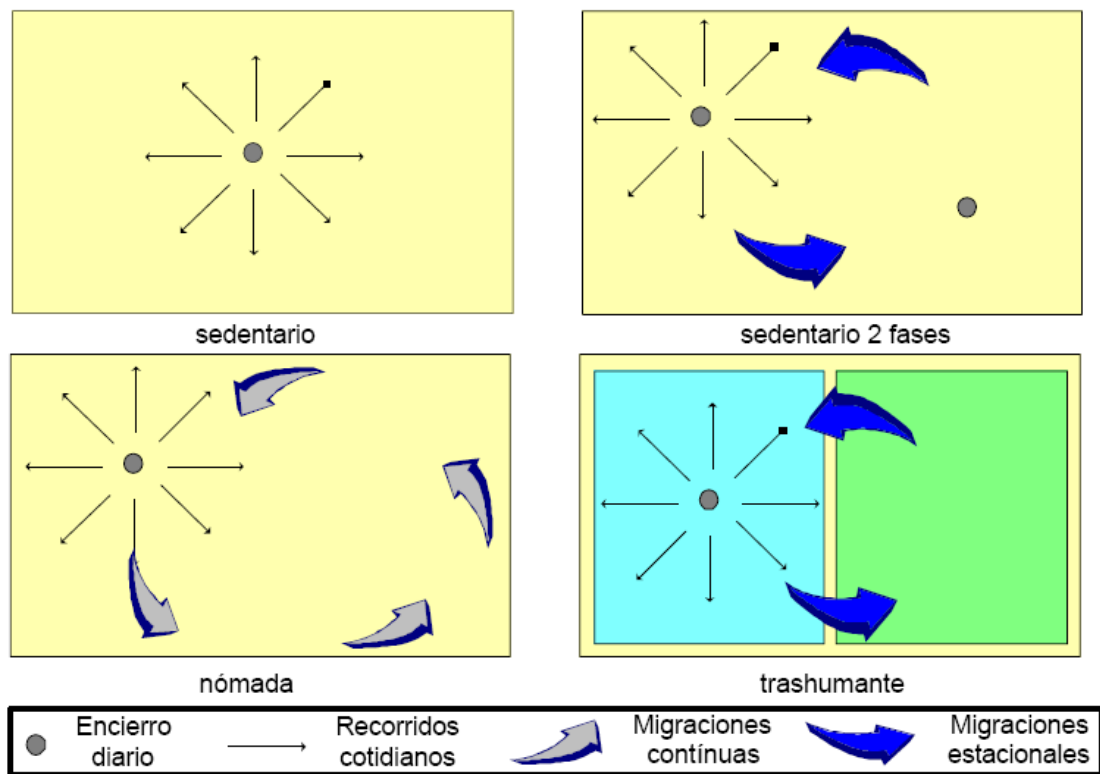


Figura 1. Clasificación de los sistemas caprinos por movilidad (FIRA, 1999).

b) *Sistemas nómadas.* Hacen un pastoreo en el que van recorriendo una ruta mientras pastorean, sin regresar a un lugar fijo de encierro. Es frecuente que se empleen corrales móviles, para evitar pérdidas de animales. Si son muchos rebaños los que recorren la misma ruta, es fácil que se degrade la vegetación por no tener una administración adecuada. Es propia de territorios con uso extensivo del terreno, bajo regímenes de propiedad comunal o con poco control de su uso. Hay ejemplos de estos en Durango y La Laguna (FIRA, 1999).

c) *Sistemas trashumantes.* Estos hacen al menos una migración anual de una región agroclimática a otra, que en la época del año en que se pastorea ofrece ventajas como más disponibilidad de forrajes o un clima más benigno. Se distinguen de los sistemas nómadas en que la migración es estacional, no continua. También se diferencia de los sistemas sedentarios de dos o más fases en que migran a una región que tienen clima y vegetación distintos a los del lugar de donde salen. Un buen sistema de trashumancia está menos expuesto a las variaciones estacionales de disponibilidad de forraje características de otros tipos de pastoreo. El ejemplo más notable ocurre en la mixteca oaxaqueña (FIRA, 1999).

Obtención de productos principales

Otra clasificación de sistemas productivos es la basada en los productos principales obtenidos, donde pueden observarse los siguientes tipos, que abarcan a la mayoría de los sistemas: producción de cabrito, producción de chivo cebado y producción de leche (FIRA, 1999).

Caprinocultura de subsistencia

Las cabras representan un componente muy importante de la ganadería en todas las zonas ecológicas y prácticamente en todos los sistemas de producción, encontrándose mayormente en los medios rurales pobres en donde sirven propósitos múltiples (Jahnke *et al.*, 1988). Lebbie (2004) describe las características de una caprinocultura de subsistencia en África. Estas se desglosarán a continuación, bajo el supuesto de que todas, o la mayoría, aplican a las condiciones actuales de nuestro país:

a) **Las cabras proporcionan alimentos.** No existen estadísticas confiables de la contribución de las cabras en la seguridad alimentaria, lo que se debe principalmente a la dificultad de llevar registros precisos a nivel rural. Sin embargo, nadie puede dudar de que en el medio rural las cabras proporcionen leche y carne a la gente más pobre cuando más se necesita.

b) **Las cabras contribuyen al empleo y estabilidad económica.** De una manera directa las cabras no contribuyen a obtener ingresos en el medio rural. Sin embargo, el consumo de productos caprinos y las ventas de animales incrementan la estabilidad económica de los campesinos en tiempos en que no se obtienen ingresos de la agricultura debido a las inclemencias climáticas, o bien, a fluctuaciones económicas de la moneda, como por ejemplo devaluaciones. Por otra parte, la caprinocultura en el medio rural proporciona empleo a mujeres y niños, cuya responsabilidad es cuidar sus cabras.

c) **Las cabras significan dinero efectivo y seguridad.** Los productores de cabras en el medio rural generalmente no tienen acceso a facilidades bancarias, especialmente las mujeres. De esta manera, ellos confían en la inversión de sus cabras, las que sirven como un recurso que en casos de emergencia pueden vender y así obtener dinero efectivo inmediato. Asimismo, pueden disponer de las cabras cuando no se obtienen buenos resultados de sus cosechas agrícolas.

d) **Las cabras añaden valor a los productos de la granja.** En África el estiércol y la orina de cabra representan un recurso valioso como fertilizante orgánico para mantener, o en ciertos casos, mejorar la producción agrícola. Esto es importante, ya que la mayoría de los productores de cabras en el medio rural no pueden tener acceso a fertilizantes inorgánicos por sus altos costos, por lo que en casos donde existen los sistemas de producción agro-pastoriles (con cero pastoreos), recoger y utilizar el estiércol será sin duda un método cada vez más utilizado y eficiente.

e) **Las cabras utilizan áreas marginales.** En África, aproximadamente la mitad del continente al sur del Sahara es desierto o agostadero árido y savana. Bajo estas condiciones no es posible mantener una agricultura confiable. Por lo tanto, en estas condiciones las comunidades dependen casi totalmente de animales locales, como las cabras, para subsistir bajo sistemas tradicionales nómadas y pastoriles trashumantes comunales.

f) **Las cabras añaden valor a la granja y aprovechan desperdicios.** Las cabras pueden transformar productos de desperdicio casero e industrial, residuos de cosechas (incluyendo granos dañados y echados a perder) en carne. También utilizan ciertas partes de la granja que no se utiliza para labores agrícolas. Por otra parte, es conocido que las cabras se utilizan en algunos países para controlar la vegetación. Todo lo anteriormente señalado nos indica, por un lado, las bondades de las cabras pero, por otro lado, impone un reto para entender mejor esta actividad y, sobre todo, trabajar para mejorarla.

Importancia de la nutrición mineral en el ganado caprino de México

En México, el ganado caprino representa una fuente importante de carne y leche en regiones poco productivas. Sin embargo, en la mayoría de las explotaciones caprinas la alimentación se da en condiciones de pastoreo y en algunos casos se complementa con el uso de esquilmos o concentrados, lo que ocasiona que la desnutrición sea la mayor limitante en la producción. Entre los nutrientes que se afectan por una mala alimentación están los minerales, los cuales son fundamentales para que el ganado manifieste su potencial productivo, ya que son necesarios en la transformación de la proteína y la energía de los alimentos en componentes del organismo o en productos animales (Huerta, 1997).

Esencialidad y función de los minerales

Los elementos minerales existen en las células y tejidos del organismo animal en diversas combinaciones funcionales y químicas y concentraciones características dependientes del elemento y tejido (Underwood y Suttle, 2003).

Algunos de los minerales se consideran esenciales para la salud y productividad de los animales y tienen bien definidas sus funciones bioquímicas y nutricionales, mientras que muchos otros se encuentran en niveles traza en alimentos y tejidos animales y no se ha demostrado una esencialidad específica (NRC, 2005). Por otra parte, las concentraciones de los elementos esenciales deben mantenerse dentro de unos límites bastante estrechos para salvaguardar la integridad funcional y estructural de los tejidos y para mantener inalterado el crecimiento, la salud y la productividad animal (Underwood y Suttle, 2003).

Los macroelementos esenciales que requieren ser cubiertos en la alimentación del ganado caprino son: Ca, P, Na, Cl, K, Mg, y S, mientras que en cantidades requeridas más pequeñas están los microelementos: Co, Cu, I, Fe, Mn, Se y Zn (NRC, 2007). A estos últimos, se han adicionado en los años recientes minerales traza¹ como: Al, Cr, F, Mo, Si, Sn, V, Ni, As, Cd, Li, Br y Pb (Lamand, 1981; Anke y Szentmihalyi, 1986; Haenlein, 1987; Kessler, 1991). Los requerimientos minerales se basan en la evidencia de las funciones metabólicas que cumplen, las cuales son: estructurales, fisiológicas, catalíticas y

¹ Traza se refiere a los días anteriores a la aparición de la Absorción Atómica cuando las cantidades pequeñas de algunos elementos no se podían cuantificar.

reguladoras, y que no son exclusivas de un elemento en particular (Underwood y Suttle, 2003). Los minerales activan enzimas, son co-factores esenciales de reacciones metabólicas, funcionan como acarreadores de proteínas, regulan la digestión, respiración, balance de agua, reacción muscular, transmisión nerviosa, balance de pH, protegen contra enfermedades, son antagonistas o sinergistas de otros elementos, son componentes estructurales de tejidos y órganos y tienen un papel vital en la resistencia, adaptación y evolución de nuevas razas y variedades (NRC, 2005; Haenlein, 1999; McDowell *et al.*, 1984).

Evaluación del estatus mineral

El contenido mineral de las diferentes fuentes que aportan al ganado caprino varían entre rebaños y no se puede considerar que son iguales para todos ellos, por eso es recomendable llevar a cabo un análisis del estado mineral de las diferentes fuentes de minerales como agua, suelo y forraje, así como de muestras de tejidos y fluidos de los animales (Nava, 2003).

La razón principal para evaluar el estatus mineral de los rumiantes es por la influencia que tiene sobre su comportamiento. Por lo anterior, la evaluación está hecha para determinar la presencia o prevalencia de deficiencias (o toxicidades) de nutrientes dentro de una población (Kincaid, 1999). Por otra parte, el diagnóstico mineral también se realiza para evaluar la eficacia de la suplementación dietética o para comparar suplementos disponibles (Kincaid, 1999).

La determinación del estatus mineral de los animales (deficiencias o excesos) puede llevarse a cabo mediante algunos procedimientos de diagnóstico habituales como son: la observación de signos clínicos, análisis patológicos, exámenes post mortem y obtención de muestras apropiadas de tejidos o fluidos para su análisis de minerales (Hoff y Schrier, 2002). El análisis del contenido mineral del complejo agua-suelo-planta tiene un valor de importancia, ya que la concentración mineral del suelo refleja en cierto modo el contenido mineral del forraje (Olivares y Gutiérrez, 2003). El método más confiable para confirmar la deficiencia de minerales, es la respuesta que se deriva de la suplementación con un mineral específico (Huerta, 1999).

Una técnica para conocer el perfil mineral de animales en pastoreo es utilizando la técnica de análisis de mapeo sistemático o mediante un reconocimiento de la región. Dicha técnica utiliza los análisis de tejidos de plantas y animales, se usa en muchos países, donde se han establecido los niveles minerales de grandes áreas (McDowell *et al.*, 1984).

Para el caso de ganado caprino en México, existen algunos estudios que se han llevado a cabo para determinar los perfiles de minerales en suelo, agua, forraje y tejidos animales (Mejía, 1987; Mejía, 1989; Rodríguez *et al.*, 1989; Salinas, 1989; Ramírez *et al.*, 1990; Romero y Huerta, 1990; Vargas y Huerta, 1996; Haenlein y Ramírez, 2007; Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001a; Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001b; Moya *et al.*, 2002; Ramírez-Orduña *et al.*, 2005). Sin embargo, la mayoría de estos estudios se han realizado en la parte norte del

país y muy pocos trabajos se han llevado a cabo en la región centro-sur, en la cual la actividad caprina también es de importancia.

Perfil mineral en agua

Los minerales que se encuentran en el agua en algunas ocasiones pueden ser benéficos para los animales, debido a que complementan el requerimiento de algunos de ellos; sin embargo, debido a que el agua es un excelente solvente para los minerales y otros compuestos, llega a ser un medio de consumo de exceso de minerales que pueden provocar toxicidad en el ganado (NRC, 2005). De hecho, dos de los cinco criterios considerados por el NRC (2001) para determinar la calidad del agua son la presencia de compuestos tóxicos (organofosfatos e hidrocarburos) y la presencia de excesos de minerales o compuestos (nitratos, sodio, sulfatos y hierro). Por otra parte, minerales como cobalto, cobre, yodo, manganeso y zinc pueden ser tóxicos en concentraciones excesivas pero raramente se encuentran a niveles tan altos para causar problemas (Landefeld y Bettinger, 2007). Los elementos más comunes en el agua son Na, Ca, P, Mg, S y Cl; sin embargo, cuando la salinidad del agua es muy alta, como la que frecuentemente se presenta en algunos ranchos del noreste de México, pudiera causar algunos problemas en los animales (Olivares y Gutiérrez, 2003). Boyles (2007) indica que altas cantidades de NaCl cambian el balance electrolítico y la presión intracelular en el cuerpo, produciendo una forma de deshidratación. Por su parte, Faries *et al.* (1998) mencionan que el exceso de flúor causa degeneración de los dientes como hipocalcificación,

hipoplasia, moteado, desgaste excesivo y erosión del enamel. La concentración de S en agua de acuíferos profundos puede llegar a 600 mg L⁻¹, lo que supone 3 g de S kg⁻¹ en forma de sulfatos en la ración; esta cantidad es mucho mayor de la que necesita el animal y puede inducir una deficiencia de cobre (Smart *et al.*, 1986). Sin embargo, la ingestión diaria de agua es altamente variable, al igual que su composición mineral según su origen (Dahlborn *et al.*, 1998).

Cuadro 1. Resumen de estudios sobre la concentración mineral del agua ofrecida a rebaños caprinos de México.

Estado	Minerales (ppm)					Referencia
	Ca	Mg	P	Na	K	
Coahuila	20-72	0-7.7	-	0-5.6	-	Rodríguez <i>et al.</i> , 1989
Tlaxcala	6.6-43.2	0.2-26.6	8.2-20.5	7.8-45.2	2.3-15.9	Muñoz <i>et al.</i> , 2004
Tlaxcala	28	18.8	29.9	524	6.9	Muñoz, 2005
Puebla	26-71	3.6-6.2	1.5-4.8	4.9-9.4	9.9-22.3	Cruz y Domínguez, 2006
Nuevo León	61-374	13-137	-	-	-	Gutiérrez, 2003
Zacatecas	19.0	8.8	-	30.9	3.6	Romero y Huerta, 1990
NMT ¹	<1000	<1000	<0.70	<800	<20	Puls, 1988

¹NMT: Nivel Máximo Tolerable

Para el caso de México, en el Cuadro 1 se muestran algunos trabajos donde se determinó la concentración mineral de agua en explotaciones caprinas, donde se observan concentraciones de Ca, Mg, Na y K por debajo del nivel máximo

tolerable recomendado por Puls (1988) y dentro de los rangos normales de minerales de agua no contaminada descritos por Appelo y Postma (1999) y Shirley y Montesinos (1978). Sin embargo, el contenido de P en las muestras de agua analizadas tiene concentraciones muy superiores a los niveles máximos tolerables para el ganado.

Perfil mineral en suelo

La contaminación del forraje con suelo y polvo a veces puede proporcionar una fuente significativa de minerales para los animales en pastoreo, especialmente cuando la intensidad del pastoreo es elevada o su disponibilidad baja (Underwood y Suttle, 2003). La ingestión de suelo en zonas áridas por ovejas puede llegar a ser de 163 g día⁻¹ (Vaithiyanathan y Singh, 1994) y constituir del 10-15% de la ingestión total de materia seca para ganado bovino y ovino (Healy *et al.*, 1974). La ingestión de suelo puede ser directa o indirecta; cuando existe una ingestión directa es muy seguro que existan deficiencias de minerales, mientras que la ingestión indirecta sucede cuando la presión de pastoreo es alta o cuando hay escasez de forraje (Nava, 2003). Por otra parte, Grace *et al.* (1996) mencionan que la ingestión del suelo puede beneficiar a los animales, sobre todo para elementos como el cobalto, flúor, yodo y selenio, los cuales suelen presentar niveles mayores en el suelo que en las plantas. En cambio los antagonistas del cobre: hierro, molibdeno y cinc son activos biológicamente en los suelos y su ingestión con el forraje puede ser un factor etiológico de deficiencia de cobre en vacas y ovejas (Suttle *et al.*, 1975). La ingestión de

suelo también puede proporcionar una ruta de acumulación de elementos tóxicos en tejidos animales como plomo y cadmio (Bramley, 1990).

El conocer la concentración mineral de los suelos también es un factor de importancia, ya que refleja qué minerales pueden estar limitando el desarrollo del forraje y su aporte a los diferentes tejidos de la plantas (Olivares y Gutiérrez, 2003). Los suelos con un contenido anormal de un mineral tienden a producir plantas con un contenido también anormal de dicho mineral (Underwood y Suttle, 2003). El pH del suelo es una de las propiedades que más efecto tiene sobre la absorción de minerales por las plantas, ya que cuando el pH es inadecuado para la absorción de un mineral, el contenido del mineral puede ser alto y aún así se presentan deficiencias de ese mineral en el forraje (Huerta, 1997). A medida que el pH del suelo se incrementa, la disponibilidad y la absorción de Fe, Mn, Zn, Cu y Co del forraje decrecen, mientras que el Se y Mo se incrementa (Nava, 2003; NRC, 2007).

En algunos estudios realizados en rebaños caprinos ubicados en la región centro-norte de México (Cuadro 2) se observa que los niveles de Ca y Mg están por arriba de la concentración mínima sugerida para el crecimiento adecuado de la plantas, lo cual se debe a que los suelos corresponden a zonas áridas y semiáridas, donde el contenido de estos minerales es generalmente alto (Olivares y Gutiérrez, 2003).

Cuadro 2. Resumen de estudios sobre la concentración mineral del suelo de explotaciones caprinas de México.

Mineral (ppm)	Lugar de realización del estudio					Nivel mínimo ³
	Coahuila	Puebla	Zacatecas	Tlaxcala	Tlaxcala	
Ca	8000-30000	7271	8943-9839	83	-	70
P	0.8-9.0	12	14.8-17.6	117	60-94	10
Mg	40-200	259	239-281	286	304-319	8.5
Na	8-37	24	509-705	32	-	2500
K	31-136	203	104-119	120	319	195.5
Fe	0.7-1.4	-	-	74	-	4.5
Cu	0.19-0.49	-	-	0.55	-	3
Se	-	0.02	-	0.023 ¹	0.04-0.05 ²	0.45
Zn	0.14-0.73	-	3.2	17	-	2.0
Mn	1.0-1.2	0.93	3.9	285	-	19
Co	0.14-0.25	-	-	-	-	-
Ref.	Rodríguez <i>et al.</i> , 1989	Cruz y Domínguez, 2006	Romero y Huerta, 1990	Muñoz, 2005	Ramírez <i>et al.</i> , 1992	-

¹ Ramírez-Bribiesca *et al.* (2004); ² Ramírez-Bribiesca *et al.* (2001b).

³ McDowell (1985); Shorrocks y Alloway (S/A); Bowen (1966); Whitehead (2000); Gill y Rice (1985).

Por otra parte, la deficiencia de Cu es muy común en todo el país, situación que se puede deber a la carencia natural de Cu o exceso de Mo, S y Fe en suelos y forrajes (Huerta, 2003). Finalmente, las concentraciones de K, Fe, Zn y Mn no presentan una tendencia hacia un exceso o déficit, sin embargo, dichas situaciones van a depender de las condiciones fisicoquímicas que posean los suelos.

Por otra parte, el contenido de Na, Se y Cu en el suelo está muy por debajo del nivel mínimo recomendado, lo cual provoca que la mayoría del forraje de esos lugares no contengan cantidades suficientes de estos minerales para cubrir las

necesidades de los animales. Para disminuir la deficiencia de Na en los animales la suplementación con sal común es una práctica difundida ampliamente entre la mayoría de los ganaderos del país (Huerta, 2003). En Tlaxcala se ha presentado hasta un 66% de mortalidad en cabritos por enfermedad de músculo blanco, debido a deficiencias naturales de Se en el suelo, que provoca deficiencias en los forrajes (Ramírez-Briebesca *et al.*, 2001a). Méndez (1986) menciona que uno de los factores predisponentes que agravan la deficiencia de Se en esa región, es el exceso de P que tienen los suelos. Olivares y Gutiérrez (2003) mencionan que el contenido de P presente en la solución de los suelos del noreste de México es limitante para el crecimiento de las plantas, y su absorción es proporcional a la extensión de sus raíces.

Perfil mineral en forraje

La alimentación de caprinos en México se basa principalmente en el pastoreo de agostaderos con vegetación nativa y residuos de cosechas; por tanto, la fuente principal de minerales para este tipo de ganado son los forrajes y ocasionalmente la sal común. El análisis de minerales en los forrajes consumidos por el ganado es básico para el diagnóstico mineral de los rebaños, ya que si el estatus mineral está por debajo de los requerimientos mínimos o por arriba del nivel máximo tolerable, de inmediato sugiere la presencia de problemas nutricionales (Spears, 1994). En los forrajes, es recomendable practicar con regularidad análisis de minerales ya que su concentración varía

ampliamente (Ramírez *et al.*, 2003). Las concentraciones de minerales en los forrajes dependen de la fertilidad y pH del suelo, especie, estado de madurez y parte de la planta, condiciones climáticas y estacionales, irrigación de agua y aportes atmosféricos (NRC, 2007).

En el Cuadro 3 se muestra un resumen de estudios sobre análisis de minerales que se han realizado en el forraje que consume el ganado caprino de diferentes estados de la república mexicana, principalmente rebaños ubicados en la región norte del país. Los resultados de estos estudios indican que en todos los rebaños, los forrajes contienen cantidades suficientes de Ca, Mg y Fe para cubrir los requerimientos del ganado caprino en pastoreo, existiendo variaciones en sus concentraciones por los factores antes mencionados, pero siempre teniendo niveles adecuados para el bienestar de los animales. Moya *et al.* (2002) estimaron las concentraciones de Ca, Mg y Fe en ocho plantas arbustivas del noreste de México y encontraron diferencias significativas entre estaciones del año y entre especies, concluyendo que las hierbas nativas tienen cantidades más altas de Ca que las arbustivas y pastos nativos, mientras que la concentración de Fe en el forraje es mayor durante la estación de invierno. Es importante destacar el exceso de Fe que presentan los forrajes, lo cual, según Spears (1994), niveles de Fe de 250 a 1200 mg/kg pueden afectar negativamente el estatus de Cu de bovinos y ovinos, por lo que deben incrementarse los requerimientos de este mineral.

En la mayoría de los estudios presentados en el Cuadro 3 se muestra que el forraje contiene cantidades suficientes de K para cubrir las necesidades de los

caprinos, siendo el estado de Puebla el único lugar donde pudiera existir algún tipo de deficiencia. Sin embargo, la gran mayoría de los forrajes son adecuados en K para los rumiantes en pastoreo (Huerta, 1997; Moya *et al.*, 2002; Ramírez *et al.*, 2001). Los niveles de K en los forrajes dependen del equilibrio de K en el suelo, de la especie vegetal y de su estado de madurez (Grings *et al.*, 1996). Además, la variación estacional en la concentración de K puede estar relacionada a la disponibilidad de agua, ya que la absorción de K por la raíz está ligada a la humedad del suelo (Charley, 1977).

Las deficiencias de P y Na son las más comunes en animales en pastoreo (Huerta, 1997; McDowell *et al.*, 1988; Ramírez *et al.*, 2003). El 91 y 55% de los forrajes de la región semiárida de México tienen concentraciones deficientes de P y Na (Huerta, 2003). Lo anterior se demuestra en el Cuadro 3, donde la mayoría de los forrajes que consume el ganado caprino en México están deficientes en P y Na. En México, las regiones más críticas de fósforo comprenden la región semiárida del norte del país, seguida por la región tropical, mientras que los pastos de la región templada tienen concentraciones apropiadas (Huerta, 1997). Moya *et al.* (2002) encontraron que de ocho arbustos nativos del noreste de México sólo tres tuvieron concentraciones de P y Na marginalmente suficientes para cubrir los requerimientos de cabras adultas. Resultados similares también fueron reportados por Ramírez *et al.* (2001), ya que de 15 plantas arbustivas evaluadas, sólo dos tuvieron niveles de P en cantidades adecuadas para rumiantes. Deficiencias generalizadas de P fueron también observadas en árboles y arbustos que crecen en climas

tropicales (Norton y Poppi, 1995). Por otra parte, la deficiencia de P puede llegar a ser más severa durante el comportamiento reproductivo de las cabras debido a la frecuencia de fetos múltiples (Meschy, 2000). Bajas concentraciones de P y altas de Ca resultan en relaciones de Ca:P muy amplias que van desde 4:1 hasta 42:1 (Ramírez-Orduña *et al.*, 2005). Relaciones similares de Ca:P han sido reportadas también por Kallah *et al.* (2000). Por tanto, lo anterior muestra que las cabras pueden mantener estas relaciones Ca:P altas sin tener efecto en el metabolismo del P (Ramírez, 1999).

La deficiencia de Cu afecta entre el 40 y 92% de los forrajes y entre el 19 y 88% de los animales de México (Huerta, 2003). Como se observa en el Cuadro 3, los rebaños caprinos no son la excepción, pues la gran mayoría de los estudios realizados en este tipo de ganado presentan forrajes por debajo de los requerimientos establecidos por el NRC (2007). La deficiencia de cobre en los forrajes se presenta cuando los suelos tienen deficiencia natural de cobre, cuando tienen alto contenido de materia orgánica o tienen un pH neutro a alcalino (Spears, 1994). Las deficiencias de Cu en forrajes del norte del país se deben a que los suelos presentan un pH alto, lo cual eleva la absorción de Mo por la planta ocasionando la hipocuprosis (Haenlein y Ramírez, 2007). Por lo anterior, Ramírez *et al.* (2004) mencionan que la disminución de las deficiencias de Cu y las mejoras en el comportamiento del ganado caprino en pastoreo, podría ocurrir solamente con una suplementación adecuada de este mineral.

Los niveles de Zn y Mn en los forrajes que consumen los caprinos de México son muy variables, ya que los rangos de sus concentraciones en ambos casos

muestran deficiencias y excesos (Cuadro 3). Huerta (2003) indica que el 34 y 18% de los forrajes de la región semiárida de México, presentan deficiencias de Mn y Zn respectivamente, mientras que un 16% tienen cantidades excesivas de Zn. Ramírez *et al.* (2001) reportan una amplia variación en las concentraciones de Mn entre y dentro de especies arbustivas del noreste de México. Mientras que Moya *et al.* (2002) encontraron concentraciones de Mn más altas en invierno y primavera que en las otras estaciones.

Se encontraron sólo dos estudios sobre nivel de Co en forrajes para alimentación de ganado caprino en nuestro país, pero en general no hay trabajos en México que traten sobre las concentraciones de este elemento en suelo, forraje y tejidos animales. Lo anterior se puede explicar a que las cabras muestran ser menos sensibles a la deficiencia de Co que otros rumiantes (Clark *et al.*, 1987). Para los estudios encontrados en México, las concentraciones de Co en los forrajes están en cantidades suficientes para cubrir las necesidades de las cabras.

La deficiencia de selenio es un problema importante para la producción ovina y caprina del centro del país, pero parece que este problema es de mayor magnitud en ganado caprino (Huerta, 2003). Lo anterior se debe a que del altiplano hacia las costas de nuestro país se considera una región selenodeficiente, mientras que la zona norte es selenífera (Ordoñez *et al.*, 1990). Los únicos trabajos encontrados sobre Se en México son del estado de Tlaxcala, donde el problema se debe a deficiencias naturales de selenio en suelo, que provoca deficiencias en los forrajes (Ramírez-Bribiesca *et al.*,

2001a). Para ambos estudios, el nivel de Se en los forrajes está muy por debajo de los requerimientos marcados por el NRC (2007) para ganado caprino. De los factores que explican la situación anterior está el origen volcánico de los suelos, ya que al parecer el alto contenido de azufre que poseen hace que interfiera con la absorción del selenio por parte de las plantas. Finalmente, otros factores que contribuyen al eventual contenido de Se en el forraje son el pH del suelo y la especie de la planta (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001a).

Perfil mineral en sangre

Los análisis en tejidos y fluidos son una herramienta valiosa que nos indica el movimiento y la concentración de los minerales en los diferentes órganos del ganado (Nava, 2003). Una combinación de análisis de la dieta y tejidos son necesarios para evaluar el estado nutricional de los animales. La medición del contenido mineral en los órganos como hígado, hueso o sangre es lo más indicado para efectuar el mejor diagnóstico de deficiencia o intoxicación (Kincaid, 1999). Las mediciones sanguíneas son frecuentemente usadas para determinar el estado mineral de los animales debido a su correlación significativa con el estado nutricional de algunos elementos (Mills, 1987). Además, un posible acercamiento para mejorar el manejo nutricional del ganado caprino criado en pastoreo es el uso de análisis sanguíneo del perfil mineral (Mellado *et al.*, 2006). El suero sanguíneo se considera un componente adecuado para la determinación del estatus mineral de los animales, sin embargo, debe ser manejado con mucho cuidado para evitar falsos resultados.

Hall (2005) menciona que el suero debe ser separado del coágulo sanguíneo dentro de las primeras dos horas después de la colección de la sangre, ya que si éste permanece en el coágulo por largos periodos de tiempo los niveles de K y Zn pueden incrementarse falsamente. Además, la hemólisis debida tanto a enfermedades naturales como a la técnica de colección pueden resultar en incrementos de las concentraciones séricas de Fe, Mn, K, Se y Zn. Por otra parte, las infecciones y el estrés provocado en el ganado, hacen que la concentración de Cu en plasma se incremente, principalmente el que está contenido en ceruloplasmina (Suttle, 2002). Lo anterior provoca que las concentraciones de Cu en plasma no sean buenas indicadoras del estado de Cu en los animales.

En el Cuadro 4 se presenta la síntesis de diversos trabajos realizados en México sobre el contenido mineral en suero sanguíneo de ganado caprino en pastoreo, tanto en animales jóvenes como adultos. En la mayoría de los estudios, la concentración en suero sanguíneo de Ca, Mg, K, y Fe están dentro del rango adecuado indicado para rumiantes. De acuerdo con Huerta (2003), en la región semiárida de México, el porcentaje de rumiantes que presentan niveles deficientes de Ca, Mg, K y Fe en suero sanguíneo es 8, 0, 17 y 16% respectivamente. La situación anterior se debe a que la gran mayoría de los forrajes poseen concentraciones adecuadas de estos minerales, por lo que es poco factible la presentación de deficiencias.

El nivel sérico de P se encuentra aparentemente normal en la mayoría de los estudios realizados en caprinos, lo que se puede deber a que la alta cantidad

de hojas y leguminosas que pudieran estar incluyendo en su dietas, hacen que la deficiencia en condiciones de pastoreo sea menos propensa (Minson, 1990). Sin embargo, deficiencias de P pueden ser encontradas en condiciones de pastoreo debido al bajo nivel de P y alto contenido de Ca en los forrajes (Ramírez *et al.*, 2001).

Las concentraciones séricas de Na, Cu, Zn y Se en la mayoría del ganado caprino presentan valores por debajo de los rangos que se consideran como normales (Cuadro 4). Lo anterior se debe a los bajos contenidos de minerales que aporta el forraje y al antagonismo de otros elementos como S, Fe y Mo. Huerta (2003) menciona que el porcentaje de rumiantes con concentraciones séricas deficientes en Na, Cu y Zn en la región semiárida de México es de 85, 51 y 14% respectivamente.

Para el caso específico de la deficiencia de Na, ésta se supera fácilmente mediante la práctica de proveer sal común *ad libitum* a los animales. Algunas estrategias de suplementación para evitar la deficiencia de Cu incluyen inyecciones de Cu-EDTA, cápsulas de alambre de óxido de Cu y fertilización de praderas con Cu (Grace y Wilson, 2002). El Zn puede ser proporcionado a rumiantes en pastoreo a través de fertilizantes para incrementar el contenido de Zn en el forraje, bloques de sales conteniendo 1-2% de Zn y administrando pellets intraruminales de liberación lenta de Zn, los cuales han sido efectivos para proveer suficientes cantidades del mineral y superar deficiencias (NRC, 2007). Finalmente, la suplementación de Se puede ser proporcionada a través de inyección directa o solución oral con selenito de sodio (0.1 mg/kg de PV) a

intervalos de 1 a 3 meses en animales en pastoreo (Meneses *et al.*, 1994); administrando bolos de vidrio solubles con selenio de liberación lenta (NRC, 2007); y tratamiento de forrajes y pasturas con soluciones de Se. La aplicación de formas menos solubles de BaSO_4 en dosis de 10 g Se/ha en forma granular es efectiva por tres años (Whelan *et al.*, 1994).

Características fisicoquímicas de la leche de cabra

La composición fisicoquímica de la leche de cabra es muy variable, existiendo diversidad según la raza, dieta, número de parto, edad, manejo, estado fisiológico del animal, medio ambiente, etapa de lactación y estado de salud de la ubre (Park *et al.*, 2007). Por otra parte, existen diferencias importantes entre la leche de cabra y otros mamíferos como la de vaca, oveja y humana. La leche de cabra difiere de la leche humana y de vaca en que tiene mejor digestibilidad, alcalinidad, capacidad buffer y ciertos valores terapéuticos en medicina y nutrición humana (Haenlein y Caccese, 1984; Park, 1994). Además, la leche de cabra posee los glóbulos de grasa más pequeños y generalmente el 65% tiene en promedio un diámetro de 3.5 μ , considerablemente menor al de la leche de vaca que es de 4.5 μ (Stark, 1988). Lo anterior, hace que la leche caprina presente una digestibilidad y metabolismo de lípidos mejor que la grasa de la leche de vaca (Park, 1994). La densidad de la leche de cabra es comparable a la de vaca, pero es más baja que la de oveja, mientras que ambas tienen más alta viscosidad y acidez titulable, pero más bajo índice de refracción y punto crioscópico que la leche de vaca (Parkash y Jenness, 1968; Haenlein y

Wendorff, 2006). La grasa de la leche de cabras contiene menos ácidos grasos solubles y más ácidos grasos volátiles insolubles (Park, 2006). El contenido de proteína promedio de la leche de cabra es de 4.6% el cual es mayor que la de vaca (3.3%) y menor que la de oveja (5.8%), aunque varía ampliamente por los factores mencionados anteriormente (Park *et al.*, 2007). Los contenidos de caseína en leche de cabra varían de 16 a 26 g/L, las proporciones de Nitrógeno No Proteico con respecto al nitrógeno total está entre 3 y 13%, los niveles de calcio ionizado entre 0.07 y 0.19 g/L, el total de P inorgánico entre 0.45 y 1 g/L (Remeuf y Lenoir, 1986), dependiendo de los animales, periodo de lactación y diferencias en las muestra (Park *et al.*, 2007). El contenido de lactosa en la leche caprina es cerca de 0.2-0.5% y es menor que la de vaca y oveja (Chandan *et al.*, 1992).

Las concentraciones de macrominerales, pueden no fluctuar mucho, pero estos varían dependiendo de la raza, dieta, etapa de lactación y estado de salud de la ubre (Park y Chukwu, 1988). Generalmente, la leche de cabra tiene más contenido de Ca, P, K, Mg y menos de Na y S que la de vaca (Haenlein y Caccese, 1984; Park y Chukwu, 1988; Chandan *et al.*, 1992). Las concentraciones de minerales son muy diferentes entre leche y sangre; los niveles de K, Ca y P en leche son más altos, pero Na y Cl son más bajos que en sangre debido a los mecanismos de bombeo activo (Park *et al.*, 2007). Además, existe una relación inversa entre el contenido de lactosa y la suma molar de Na y K, mientras que el nivel de Cl tiene una correlación positiva con K y negativa con lactosa (Konar *et al.*, 1971).

El contenido de microminerales de la leche caprina también se afecta por la dieta, raza, y etapa de lactación (Park y Chukwu, 1989). Los niveles promedio de Mn, Cu, Fe y Zn en el leche de cabra son 0.032, 0.05, 0.07, 0.56 mg/100g (Park *et al.*, 2007); la leche de cabras Anglo-Nubian tienen significativamente niveles más altos de Cu y Zn que la leche de cabras alpinas francesas (Park y Chukwu, 1989). El contenido de yodo, hierro y zinc en leche de cabra es mayor que la leche humana, lo que muestra una fuente de estos minerales para la alimentación de los seres humanos (Park *et al.*, 2007).

Con relación a las vitaminas, la leche de cabra proporciona cantidades adecuadas de vitamina A y niacina y exceso de tiamina, riboflavina y ácido pantoténico para la alimentación de los infantes (Ford *et al.*, 1972). Comparada con la leche de vaca, la de cabra es significativamente deficiente en ácido fólico y vitamina B₁₂. Finalmente, la leche de cabra y de vaca son deficientes en vitamina B₆ (piridoxina), así como vitaminas C y D (Park *et al.*, 2007).

Importancia del selenio

El selenio (Se) es un mineral que se conoció inicialmente por su efecto tóxico en animales (NRC, 1983). Sin embargo, a partir de 1957 fue que se reconoció como un nutriente esencial por su efecto anticancerígeno en ratas, por controlar la enfermedad del músculo blanco en ovinos y bovinos y por mejorar el crecimiento y fertilidad en los animales (Van Metre y Callan, 2001). La principal función del Se es como componente estructural de proteínas específicas llamadas selenoproteínas (NRC, 2007). Estas se agrupan en: cinco glutatión

peroxidasas (GPx), tres deiodinasas, tres tioredoxina reductasas, selenofosfato sintetasa, selenoproteína P, selenoproteína W, selenoproteína 15-kDa y selenoproteína 18-kDa (Köhrle, 2000; Behne y Kyriakopulos, 2001). Las GPx protegen a las células del daño oxidativo y mantiene la integridad de las membranas, particularmente aquellas de mayor riesgo como mitocondriales, sanguíneas y gastrointestinales (Behne y Kyriakopulos, 2001). Las deiodinasas controlan la disponibilidad de T_3 , y su acción sobre el crecimiento, desarrollo, diferenciación y metabolismo de los animales (Köhrle, 2000). Las reductasas funcionan como antioxidantes, factores de crecimiento celular, inhibidores de la apoptosis, reciclaje del ácido ascórbico, síntesis de ADN y transcripción genética (Mustacich and Powis, 2000). La selenofosfato sintetasa se requiere en la síntesis de selenocisteína (Behne y Kyriakopulos, 2001). La selenoproteína P contiene cerca del 50% del Se en plasma, es probable que funcione como transportadora de Se y antioxidantes, muestra una fuerte tendencia a unirse con metales pesados y ejerce un efecto protector contra mercurio y plomo (Underwood y Suttle, 2003; Saito y Takahashi, 2000). La concentración de selenoproteína W es la más alta en el músculo esquelético y cardíaco de ovinos, pero su función sigue sin aclararse (Yeh *et al.*, 1997).

Metabolismo

Absorción

El principal sitio de absorción del Se es el duodeno y los rumiantes lo absorben de forma menos eficiente y más variable en comparación con los no rumiantes

(34 vs 85%: Wright and Bell, 1966; 29 vs 77%: Gerloff, 1992). Lo anterior se debe a la presencia del poder reductor en el rumen, el cual incrementa la cantidad de selenuros no indisponibles (Gerloff, 1992). Dietas altas en almidón tienden a incrementar la capacidad reductora del rumen, lo cual, en teoría, podría afectar adversamente la disponibilidad del Se (Gerloff, 1992). Anderson *et al.* (1983) demostraron que borregas suplementadas con monensina tuvieron mayores concentraciones de Se en sangre y mayor actividad de la GPx que las borregas no suplementadas. Lo anterior se puede deber al efecto de la monensina sobre la capacidad reductora del rumen (Gerloff, 1992); sin embargo, Koenig *et al.* (1997) demostraron que ovinos con una dieta a base de concentrado absorbieron significativamente más Se que animales alimentados con una dieta a base de forraje. Spears (2003) indica que diferencias de biodisponibilidad de Se entre forrajes puede relacionarse a las diferencias en el contenido de S o a la presencia de compuestos tales como glucósidos cianogénicos que son antagonistas del selenio.

Dietas altas en Ca han mostrado afectar negativamente la absorción de Se en ganado lechero (Gerloff, 1992). Dietas altas en S y Mo muestran tener un efecto competitivo en la absorción de Se en ovinos (MacDonald *et al.*, 1976). La adición de sulfato a dietas de borregas gestantes que tenían bajas concentraciones de Se, incrementaron la incidencia de enfermedad del músculo blanco en sus corderos (Hintz y Hogue, 1964). El incremento de S en la dieta desde 2.1 a 7 g/kg, provocó una disminución de la absorción aparente de Se en vacas lecheras en lactación (Ivancic y Weiss, 2001). Cuando la fuente de Se es

orgánica (selenometionina), el Se es absorbido a un mayor grado que cuando es inorgánica (selenito), lo que probablemente se debe a una reducción más grande de Se inorgánico a formas no disponibles en el rumen (Oldfield, 1997). La biodisponibilidad mayor que tiene las formas orgánicas de Se, tales como levaduras, han sido probadas en varias investigaciones (Oldfield, 1997), aunque otros investigadores han demostrado grados de absorción y retención superiores con formas inorgánicas (Koenig *et al.*, 1997). La base de esta discrepancia en los resultados requiere ser esclarecida; evidencias limitadas indican que las variaciones en la composición química de la fuente de Se orgánica puede influir en su biodisponibilidad (Henry *et al.*, 1988). La absorción del Se parece ser proporcional al contenido en la dieta de Se biodisponible, sin ningún mecanismo homeostático presente a nivel intestinal (Van Metre y Callan, 2001).

Distribución y retención

Una vez absorbido el Se, éste se une a proteínas transportadoras (albúmina, globulinas o selenoproteína P) para ser llevado al hígado y de ahí viaja al torrente sanguíneo para distribuirse en diferentes tejidos y órganos como riñones, músculo y corazón (Ceballos y Wittwer, 1996). El suero sanguíneo actúa como el principal banco de Se en el cuerpo, por lo que el análisis de Se sérico lo hace un indicador muy sensible del consumo reciente de Se en los animales (Herdt *et al.*, 2000). Las concentraciones de Se en los tejidos tienden a ser más grandes en riñón e hígado y en cantidades menores en corazón,

músculo esquelético y tejido adiposo (Stowe y Herdt, 1992; Ullrey, 1987). La actividad de GPx tiende a ser mayor en hígado, seguida por los eritrocitos, riñones, pulmones y corazón (Ullrey, 1987). La retención de Se por los tejidos parece estar influenciada por el estatus de Se, ya que ovinos seleno-deficientes tuvieron una mayor retención de Se en tejidos en comparación con ovinos que no estaban deficientes (Herdt *et al.*, 2000).

Excreción

El selenio se elimina del cuerpo por exhalación, excreción urinaria o excreción endógena fecal (Underwood y Suttle, 2003). Como resultado de la reducción neta de Se en el rumen, mucho del Se en heces fecales de rumiantes está presente como selenuros insolubles no biodisponibles (Mayland, 1985). Cuando el selenio se absorbe en exceso a lo que el cuerpo necesita, el hígado moviliza una fracción pequeña del excedente a la bilis (Van Metre y Callan, 2001). En ovejas, la secreción biliar de Se puede corresponder a un 28% de la ingestión total, y a pesar de que la mayor parte se reabsorbe, el resto contribuye significativamente a las pérdidas endógenas fecales (Langlands *et al.*, 1986). La mayoría del Se excedente es liberado del hígado para ser excretado en la orina como trimetilselenuro biológicamente indisponible (NRC, 1983). En ovejas seleno-deficientes con balance negativo, las pérdidas de Se por orina pueden constituir hasta 40-50% de la ingestión total de Se (Langlands *et al.*, 1990). Además, la excreción urinaria de Se es mayor en corderos (Ehling *et al.*, 1967).

y cabras (Aspila, 1991) alimentados con selenito de sodio que aquellos suplementados con selenometionina.

Transferencia de selenio al feto, calostro y leche

El selenio es transferido al feto a través de la placenta almacenándose principalmente en el hígado (Van Saun *et al.*, 1989; Pehrson *et al.*, 1990). Por otra parte, el estatus de Se materno durante la gestación parece estar correlacionado positivamente con el estatus de Se fetal y de animales recién nacidos (Norton y McCarthy, 1986; Kincaid y Hodgson, 1989; Hamliri *et al.*, 1990; Enjalbert *et al.*, 1999; Pehrson *et al.*, 1999). Durante el último tercio de la gestación, con el objetivo de mantener niveles adecuados de Se en el feto, la madre le transfiere cantidades importantes de este elemento a través de la placenta, sin embargo, esta “pérdida” de Se al feto puede ocasionarle una deficiencia de Se en esta etapa comprometiendo la transferencia de Se al recién nacido a través del calostro y la leche (Kincaid, 1999; El-Ghany *et al.*, 2006). Por lo anterior, es necesario mantener a las hembras gestantes con un estatus adecuado de Se, mediante el ofrecimiento de niveles adecuados de Se en la dieta o con la suplementación de Se en el último tercio de la gestación. Norton y McCarthy (1986) encontraron que la suplementación preparto con Se a borregas incrementaban significativamente el estatus de Se en sus corderos al nacimiento; sin embargo, esta mejora en el nivel de Se de los corderos fue detectable sólo hasta el día 18 de vida. Por lo anterior, es importante un consumo adecuado de Se por los animales durante el periodo postnatal. Por

otro lado, la eficiencia de transferencia materna de Se al feto es afectada por la forma química del Se en la dieta. Comparado con selenito, más Se de selenometionina es transferido de la madre al feto y a leche (Kincaid y Rock, 1999; Knowles *et al.*, 1999).

Las concentraciones de Se en el calostro, son cuatro o cinco veces superiores a las presentes en la leche entera, y ambas reflejan el contenido de Se que poseen las ovejas (Meneses *et al.*, 1994) y vacas (Conrad y Moxon, 1979). La transferencia de Se a través de la leche es más eficiente que a través de la placenta (Hidiroglou *et al.*, 1985). Al igual que los tejidos y la sangre, el contenido de Se en leche se afecta por el nivel de Se de la dieta (Givens *et al.*, 2004). Cuesta *et al.* (1995) mostraron incrementos de Se en calostro de borregas que recibieron suplementación de Se, así como niveles de Se más altos en leche después de un mes de suplementación. Overnes *et al.* (1985) también reportaron un efecto sobre Se en calostro y leche de borregas alimentadas con Se vía premezclas y sales minerales de libre acceso. Waite *et al.* (1975) mencionan que la transferencia de Se desde el plasma a la leche se genera por un proceso de biorreducción, uniéndose a la fracción proteica de la leche, principalmente a la caseína, y en parte al suero y la grasa. Estos autores reportan que sólo 1.5% del Se contenido en la dieta apareció en leche, aunque la proporción del Se en leche varía desde 0.82 hasta 18.08% del selenio consumido (Del Razo, 2002). Allen y Miller (1981) encontraron que cerca del 80% del selenio de la leche de cabras se asocia con la caseína y el 10% a proteína del suero, lo que implica un mecanismo de secreción compartida. El

10% restante puede estar ligado a proteínas de la membrana de los glóbulos de grasa de la leche (Tripp *et al.*, 1980). Resultados similares fueron reportados por Jenkins e Hidioglou (1971) quienes encontraron del 73 al 75% del Se en la porción proteica de la leche y del 3 al 4% en la grasa. Además, en cabras dosificadas subcutáneamente con selenometionina, 70% de la radioactividad en leche fue en caseína (Khirwar y Arora, 1977).

Deficiencia de selenio

La principal manifestación de deficiencia de selenio es la **enfermedad del músculo blanco**, también llamada **distrofia muscular nutricional** (NRC, 2007). Esta enfermedad ocurre con mayor frecuencia en corderos jóvenes y de rápido crecimiento, así como cabritos desde el nacimiento a los seis meses de edad (Van Metre y Callan, 2001), aunque también la pueden desarrollar animales adultos (Rammell *et al.*, 1989) y fetos de madres selenodeficientes (Hamliri *et al.*, 1990). La mortalidad en corderos puede alcanzar hasta 65% bajo condiciones extremas (NRC, 1983). Sin embargo, el ganado caprino es más susceptible que corderos o becerros a padecer la enfermedad (Rammell *et al.*, 1989). En México, se reporta la muerte de hasta 66% de cabritos en el estado de Tlaxcala (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001a) y de hasta 62% en corderos (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2004) debido a la enfermedad del músculo blanco. Otros estudios muestran también deficiencia de Se en rumiantes en el altiplano mexicano específicamente en el Estado de México y Puebla (Strouth, 1985; Cruz y Domínguez, 2006; Librado *et al.*, 2006). La aparición de la distrofia

muscular nutricional se explica por la acción tóxica de los peróxidos de los ácidos grasos y por el bloqueo enzimático (selenoproteínas) principalmente en el ciclo de Krebs (Silva *et al.*, 2000). Las lesiones son generadas por los radicales libres dañinos que se producen por la peroxidación lipídica y que provocan degeneración hialina y calcificación de las fibras musculares, lo cual se manifiesta como fallo muscular para atender las demandas funcionales, por lo que hay rigidez y dificultad en la locomoción (López *et al.*, 1997). Una característica muy común del músculo dañado es la calcificación debida probablemente a una sobrecarga de calcio mitocondrial por su mala captación de este mineral por parte de las vesículas del retículo sarcoplasmático (Hansen *et al.*, 1993). Los corderos y cabritos enfermos son reacios a moverse y muestran inconsistencia respiratoria; pierden condición corporal, aparecen postrados y generalmente mueren (Underwood y Suttle, 2003).

Deficiencias severas de selenio pueden causar **abortos** y muerte neonatal temprana en cabras (East, 1983) y en ovejas (Hedstrom *et al.*, 1986). Moeller (2001) identificó 6 casos de abortos en cabras de un total de 211 informes (3%) debidos a deficiencia de Se; dichos casos ocurrieron en el último tercio de la gestación y sólo uno de los fetos presentaba signos de distrofia muscular nutricional.

La suplementación de selenio ha mostrado tener efectos positivos en **aspectos reproductivos e inmunológicos**. Harrison *et al.* (1984) reportaron reducciones en la incidencia de endometritis y ovarios císticos en vacas lecheras. La inyección de 2.3 mg de Se antes del parto redujo la incidencia de retención

placentaria de 29 a 10.8% en bovinos lecheros (Eger *et al.*, 1985). Mejoras en las tasas de concepción han sido observadas vacas lecheras (McClure *et al.*, 1986). Se ha reportado que el Se influye sobre la fertilidad del macho, siendo considerado esencial para el desarrollo y motilidad normal del semen (Hansen y Deguchi, 1996). La influencia de selenio y vitamina E sobre la respuesta inmune y sobre la resistencia de animales a enfermedades también ha sido bien documentada (Bendich, 1993; Finch y Turner, 1996; Smith *et al.*, 1997). Uno de estos estudios bien sustentado es el que reporta que la deficiencia de selenio afecta directamente la actividad destructora de los neutrófilos (Smith *et al.*, 1997). Los efectos positivos de suplementar selenio y vitamina E sobre la salud de la glándula mamaria están bien establecidos (Weiss *et al.*, 1997), sin embargo, la reducción en el conteo de células somáticas, incidencia, duración y severidad de infecciones intramamarias que resultan de la suplementación de vitamina E y selenio, se piensa que es el resultado de beneficios que tienen estos elementos sobre la función neutrófila (Hogan *et al.*, 1993). Sánchez *et al.* (2007) reportaron que un grupo de cabras inyectadas con una solución de selenato de bario tuvieron incrementos en la actividad de GPx y una disminución en el conteo de células somáticas en comparación con un grupo de cabras no tratadas.

Smith (1981) reportó un solo caso de **enfermedad de la piel en cabras** caracterizada por la pérdida periocular de pelo y exfoliación de escamas en el noreste de Estados Unidos, sin embargo, las cabras afectadas retornaron a la

normalidad 2 a 4 semanas después de la administración parenteral de selenio y vitamina E.

Suplementación de selenio

La primera aprobación por parte de la FDA² sobre el uso de suplementos de Se a la dieta de animales se realizó en 1974, para suplementar Se a las dietas de cerdos y pollos en crecimiento a 0.1 ppm y dietas de pavos a 0.2 ppm (Ullrey, 1992). A partir de 1987, la FDA autorizó suplementar 0.3 ppm en la dieta de pollos, pavos, patos, cerdos, ovejas y bovinos (Ullrey, 1992). La regulación para la suplementación mineral en mezclas a libre acceso es de 90 ppm (sin exceder 0.7 mg/cabeza/día) para ovinos y de 120 ppm (sin exceder 3 mg/cabeza/día) para bovinos (FDA, 2004). Para el caso de caprinos y ovinos también se permite el uso de levadura de selenio en el alimento completo a niveles que no excedan 0.3 ppm de selenio adicionado (FDA, 2005). Por otra parte, debido a diversos estudios que reportan valores sobre estimados del nivel máximo tolerable de Se en las dietas de los animales (Cristaldi *et al.*, 2005), este nivel se ha incrementado de 2.0 (NRC, 1980) a 5 mg/kg MS (NRC, 2005). Sin embargo, se estableció que en algunos casos pudieran ser necesarios niveles más bajos para evitar acumulación excesiva en tejidos comestibles (NRC, 2005). Las fuentes de selenio permitidas para el ganado son selenito de sodio (Na_2SeO_3), selenato de sodio (Na_2SeO_4) y levadura de selenio (FDA, 2004). Además, McDowell *et al.* (2002) mencionan que otras fuentes que aportan

² FDA: Food and Drug Administration

selenio son selenito de calcio, óxido de selenio y selenato de bario. Las fuentes de selenio se pueden proporcionar a los animales de diversas maneras entre las que destacan: mezclas a libre acceso o adicionadas a alimentos concentrados, fertilizaciones, inyecciones (vía parenteral), soluciones orales, Se en agua de bebida y bolos ruminales de liberación controlada (NRC, 2007).

Bolos intra-ruminales

Las pequeñas cantidades de Se que son necesarias para suplementar los animales hacen posible su administración a rumiantes mediante bolos, los cuales liberan el Se en el rumen y permiten su asimilación (Blanco *et al.*, 2000). Kuchel y Buckley (1969) desarrollaron un bolo de Se elemental, relleno de Fe que era lo suficientemente denso para permanecer en el rumen de los animales, donde lentamente liberaba selenio por periodos prolongados de tiempo. El uso de bolos intra-ruminales de Se han mantenido niveles adecuados de Se en sangre y han prevenido la aparición de la enfermedad del músculo blanco en ovejas (Judson *et al.*, 1988; Langlands *et al.*, 1991; Blanco *et al.*, 2000;), cabras (Zervas, 1988) y bovinos (Koh y Judson, 1987; Moeini *et al.*, 1997; Amador, 2005). Por otra parte, la FDA (2004) establece que bolos de liberación constante, controlada osmóticamente y de uso exclusivo para ganado lechero y de carne pueden, pueden contener solamente 360 mg de Se como selenito de sodio, de manera que libere 3 mg de Se por día durante un periodo de cuatro meses, por lo que los animales no deben recibir un segundo bolo en un lapso menor a los 120 días posteriores a la última dosificación.

Cuadro 3. Resumen de estudios sobre la concentración mineral del forraje ofrecido a rebaños caprinos en México.

Mineral	Lugar de realización del estudio									Requisito
	Durango	Noreste de México ¹	Nuevo León	Nuevo León	Puebla	Zacatecas	Zacatecas	Baja California	Coahuila	
Macrominerales (g/kg MS)										
Ca	3-22	22-90	4.3-14.4	10.9-40.7	5.6-17	12-20	8-13	12.4-50.1	11-13	1.8-3.3 ³
P	2-6	0.5-2.2	0.3-2.3	-	1.0-2.9	1.5-2	0.5-1.2	1.2-2.9	0.8-1.3	1.6-3.8 ³
Mg	2-7	2-8	0.5-2.7	1.0-1.8	1.5-3.8	2.2-2.3	2.3-2.7	1.6-12	1.5-2.6	0.8-2.5 ³
Na	4-6	0.1-1.2	0.4-6.9	9-22.3	0.1-1.2	6-7.2	0.5-2.1	0.2-3.2	0.4-0.8	0.6-1.0 ³
K	17-31	5-35	2.1-32.1	14-22.1	0.8-4.5	9.6-13.7	8.5-18.6	2.9-29.4	2.4-13.6	5-8 ⁴
Microminerales (mg/kg MS)										
Fe	99-874	110-810	14.6-1067	174-755	319-1832	-	-	119-432	205-309	35-95 ⁵
Cu	3-9	8-25	1.0-21.7	11-36	5-85	13-18	5.6-9.9	3.3-7.6	2.5-8.2	15-25 ⁵
Se	-	-	-	-	0.01-0.12	-	-	0.05-0.07 ²	-	0.3 ⁵
Zn	23-136	30-89	11.4-94.7	34-50.3	10-60	41-54	21.9-40.2	9.7-21.9	17-41	50-80 ⁴
Mn	20-114	27-204	11.2-71.4	46-77	28-73	-	60.6-77.1	21.7-76.5	30-51	60 ⁴
Co	12-86	-	-	-	-	-	-	-	0.71-1.5	0.11 ⁵
Refer.	Cerrillo <i>et al.</i> , 2004	Moya <i>et al.</i> , 2002	García <i>et al.</i> , 1995	Haenlein y Ramírez 2007	Cruz y Domínguez 2006	Romero y Huerta 1990	Mejía y Mejía 1989	Ramírez-Orduña <i>et al.</i> , 2005	Rodríguez <i>et al.</i> , 1989	

¹ Hojas de arbustos nativos; ² Ramírez-Briebesca *et al.* (2001); ³ Kessler (1991); ⁴ AFRC (1998); ⁵ NRC (2007).

Nivel Máximo Tolerable (NRC, 2005): Ca= 15 g/kg, P= 6 g/kg, Mg= 6 g/kg, NaCl= 4%, K= 20 g/kg, Fe= 500 ppm MS, Cu= 40 ppm, Se= 5 ppm, Zn= 300 ppm, Mn= 2,000 ppm, Co= 25 ppm.

Cuadro 4. Resumen de estudios sobre el contenido mineral en suero sanguíneo de ganado caprino de México.

Lugar	Concentración mineral (mg/L)																		Referencia	
	Ca		P		Mg		Na		K		Fe		Cu		Zn		Se			
	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A	J	A		
Zacatecas	-	139	-	79	-	32	-	2538	-	188	-	-	-	0.54	-	0.66	-	-	Romero <i>et al.</i> , 1990	
Querétaro	57	54	-	-	44	48	2994	3021	199	168	1.6	1.2	0.69	0.65	0.86	0.78	-	-	Vargas y Huerta, 1996	
Coahuila	-	180	-	34	-	31	-	3721	-	216	-	2.2	-	1.3	-	1.5	-	-	Rodríguez <i>et al.</i> , 1989	
Coahuila	-	163	-	42	-	31	-	3763	-	204	-	2.2	-	1.3	-	1.4	-	-	Mejía <i>et al.</i> , 1988	
México	140	-	60	-	29	-	4018	-	138	-	-	-	0.58	-	0.39	-	-	-	Bravo y Martínez, 1995	
Coahuila	-	100	-	48	-	27	-	2847	-	303	-	7.8	-	1.2	-	1.1	-	-	Salinas, 1989	
Tlaxcala	-	102	-	84	-	24	-	3277	-	324	-	3.4	-	0.6	-	0.7	-	-	Muñoz, 2005	
Puebla	-	98	-	114	-	25	-	2835	-	259	-	3.5	-	0.76	-	0.79	-	0.06	Cruz y Domínguez 2006	
Chihuahua	-	101	-	53	-	18	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-	0.4	-	-	Mellado <i>et al.</i> , 2006	
Tlaxcala	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.02	Ramírez-B <i>et al.</i> , 2001	
Normal ¹	80-120		60-90		40-60		18-35		3200-3500 ²		150-200 ²		1.0-2.5 ³		0.8-1.5		1.12-2.56 ⁴		0.10 ⁵	-

J= Jóvenes; A= Adultos; ¹ NRC (2007); ² Kaneko (1989); ³ McDowell (1985); ⁴ Ahmed *et al.* (2001); ⁵ Morand-Fehr (1981) y Harris (1987).

LITERATURA CITADA

- AFRC (Agricultural and Food Research Council). 1998. Technical Committee on Responses to Nutrients, Report 10. The Nutrition of Goats. Nutrition Abstracts and Reviews (Series B) 67(11). CAB International. London, UK. 115 p.
- Ahmed, M. M. M., T. F. M. Hamed, and M. E. S. Barri. 2001. Variation of zinc and copper concentration in the plasma of Nubian goats according to physiological state. *Small Rumin. Res.* 39(2): 189-193.
- Allen, J. C., and W. J. Miller. 1981. Transfer of selenium from blood to milk in goats and noninterference of copper with selenium metabolism. *J. Dairy Sci.* 64: 814-821.
- Amador G., E. 2005. Desarrollo de un bolo intra-ruminal para la liberación prolongada de yodo y selenio y su evaluación en ganado bovino. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán, Izcalli, Edo. de México. México. 139 p.
- Anderson, N. E., S. J. Berret, M. W. Gregory, and D. C. Brown. 1983. Effect of monensin on the selenium status of sheep. *Vet. Rec.* 113: 498.
- Anke, M., and S. Szentmihalyi. 1986. Principles of supply and metabolism of trace elements in ruminants. *Proc. Macro and Trace Elements Seminar.* University Leipzig-Jena, Germany, Dec. 1-2.

- Appelo, C. A. J., and D. Postma. 1999. Ground water and pollution. Rotterdam: Balkema. pp: 1-121.
- Aspila, P. 1991. Metabolism of selenite, selenomethionine and feed-incorporated selenium in lactating goats and dairy cows. J. Agric. Sci. Finland. 63: 9-74.
- Behne, D., and A. Kyriacopulos. 2001. Mammalian selenium-containing proteins. Annu. Rev. Nutr. 21: 453-473.
- Bendich, A. 1993. Symposium: Antioxidants, immune response, and animal function. J. Dairy Sci. 76: 2789-2794.
- Blanco O., M. A., S. A., Spross, y R. Rosiles M. 2000. Evaluación de comprimidos intrarruminales de selenio por concentración sanguínea y lanar de corderas semiestabuladas. Vet. Méx. 31(2): 121-127.
- Bowen, H. J. M. 1966. Trace Elements in Biochemistry. Academic Press. New York, NY. pp: 118-184.
- Boyles, S. 2007. Livestock and Water. The Ohio State University Extension. The Ohio State University. <http://www.beef.osu.edu/library/water.html> (Consultado el 2 de agosto de 2007).
- Bramley, R. G. V. 1990. Cadmium in New Zealand agriculture. New Zealand J. Agric. Res. 33: 505-519.

- Bravo O., M. A. y R. Martínez A. 1995. Influencia del cobre y cinc en dietas para cabras en crecimiento. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 68 p.
- Ceballos M., A. y M. F. G. Wittwer. 1996. Metabolismo del selenio en rumiantes. Arch. Med. Vet. 28: 5-16.
- Cerrillo S., M. A., C. Nevárez G., R. G. Ramírez, L., A. Núñez G., G. García D., and A. S. Juárez, R. 2004. Mineral profile of diets consumed by range Spanish goats in a shrubland of North México. *In*: Proceedings of the Abstracts of the 8th International Conference on Goats. University of Pretoria, South Africa. July 4-9. pp: 117-119.
- Chandan, R. C., R. Attaie, and K. M. Shahani. 1992. Nutritional aspects of goat milk and its products. *In*: Proc. V Int. Conf. Goats, Vol. II: part II, New Delhi, India, p. 399.
- Charley, J. L. 1977. Mineral cycling in rangeland ecocystems. *In*: Soseebe, R. E. (Ed.), Rangeland Plant Physiology. Range Sci. Ser. No. 4. Society for Range Management, Denver, CO, pp: 215-256.
- Clark, R. G., L. Mantleman, and G. A. Verkerk. 1987. Failure to obtain a weight response to vitamin B12 treatment in young goats grazing pasture that was cobalt deficient for sheep. NZ Vet. J. 35: 38-39.
- Conrad, H. R., and A. L. Moxon. 1979. Transfer of dietary selenium to milk. J. Dairy Sci. 62: 404-411.

- Cristaldi, L. A., L. R. McDowell, C. D. Buergelt, P. A. Davis, N. S. Wilkinson, and F. G. Martin. 2005. Tolerance of inorganic selenium in wether sheep. *Small Rumin. Res.* 56: 205-216.
- Cruz H., E. y M. Domínguez B. 2006. Determinación del estado mineral en cabras bajo condiciones de pastoreo en agostadero. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 49 p.
- Cuesta, P. A., L. R. McDowell, W. E. Kunkle, N. S. Wilkinson, and F. G. Martin. 1995. Effects of high-dose prepartum injections of selenium and vitamin E on milk and serum concentrations in ewes. *Small Rumin. Res.* 18: 99-103.
- Dahlborn, K., M. Akerlind, and G. Gustafson. 1998. Water intake by dairy cows selected for high or low milk-fat percentage when fed two forage to concentrate rations with hay or silage. *Swedish J. Agric. Res.* 28:167-176.
- Del Razo R., O. E. 2002. Características productivas y nivel de selenio y hormonas tiroideas en vacas lecheras suplementadas con bolos con selenio, bolos con selenio y yodo o bolos con yodo. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 102 p.
- East, N. E. 1983. Pregnancy, toxemia, abortions, and periparturient diseases. *Vet. Clin. North Amer. Large Anim. Pract.* 5: 601-618.

- Eger, S., D. Drori, I. Kadoori, K. N. Miller, and H. Schindler. 1985. Effects of selenium and vitamin E on incidence of retained placenta. *J. Dairy Sci.* 68: 2119-2122.
- Ehlig, C. F., D. E. Hogue, W. H. Allaway, and D. J. Hamm. 1967. Fate of selenium from selenite or selenomethionine, with or without vitamin E in lambs. *J. Nutr.* 92: 121-126.
- El-Ghany H., A., A. Revilla V., R. López A., E. Ramírez B. y J. Tórtora P. 2006. Relaciones en la concentración de selenio entre cabras gestantes y sus fetos. *In: Memoria de la XXI Reunión Nacional sobre Caprinocultura.* 4-6 de octubre. Toluca, Edo. de México.
- Enjalbert, F., P. Lebreton, O. Salat, and F. Schelcher. 1999. Effects of pre or post partum selenium supplementation on selenium status in beef cows and their calves. *J. Anim. Sci.* 77: 223-229.
- FAO. 1987. Tecnología de la producción caprina. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.
- Faries, F. C., J. M. Sweeten, and J. C. Reagor. 1998. Water quality: Its relationship to livestock. Texas Agricultural Extension Service. L-2374.
- FDA. 2004. Food additives permitted in feed and drinking water of animals. Code of Federal Regulations. Title 21, Volume 6. Sec. 573.920 selenium.

- FDA. 2005. FDA permits the use of selenium yeast in sheep and goat feed. http://www.fda.gov/cvm/CVM_updates/SEsheep.htm. (Consultado el 16 de agosto de 2007).
- Finch, J. M., and R. J. Turner. 1996. Effect of selenium and vitamin E on the immune responses of domestic animals. *Res. Vet. Sci.* 60: 97-106.
- FIRA, 1999. Oportunidades de desarrollo de la industria de la leche y carne de cabra en México. Ed. FIRA, México. 109 p.
- Ford, J. E., G. S. Knaggs, D. N. Salters, and K. J. Scott. 1972. Folate nutrition in the kid. *Br. J. Nutr.* 27: 257.
- Galina M., A. 2002. Artisanal goat cheese production under semi arid rangeland seasonal grazing with protein or non protein urea supplementation compared to a high protein diet. 53rd Annual Meeting of the European Association for Animal Production. El Cairo, Egypt.
- Galina M., A. 2003. La utilización de la fermentación para el uso de forrajes fibrosos en caprinos en estabulación o pastoreo. *In: Memoria de la XVIII Reunión Nacional sobre Caprinocultura.* 8-10 de octubre. Puebla, Pue., México. pp: 173-190.
- García C., C. G., R. G. Ramírez, L. y J. E. Rodríguez, L. 1995. Variación estacional del contenido mineral del forraje de 12 zacates, colectados en el estado de Nuevo León. *In: Memoria del Congreso Internacional en Producción Caprina.* Zacatecas, Zac., México. pp: 133-136.

- Gerloff, B. J. 1992. Effect of selenium supplementation on dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 70: 3934-3940.
- Gill, W. W., and H. B. Rice. 1985. Factors affecting selenium status of forages. *Animal Nutrition and Health*. May, 1985: 26.
- Givens, D. I., R. Allison, B. Cottrill, and J. S. Blake. 2004. Enhancing the selenium content of bovine milk through alteration of the form and concentration of selenium in the diet of the dairy cow. *J. Sci. Food. Agric.* 84: 811-817.
- Grace, N. D., and P. R. Wilson. 2002. Trace element metabolism, dietary requirements, diagnosis and prevention of deficiencies in deer. *New Zealand Vet. J.* 50: 252-259.
- Grace, N. D., J. R. Rounce, and J. Lee. 1996. Effect of soil ingestion on the storage of Se, vitamin B₁₂, Cu, Cd, Fe, Mn and Zn in the liver of sheep. *New Zealand J. Agric. Res.* 39: 325-331.
- Grings, E. E., M. R. Haferkamp, R. K. Heitschmidt, and M. G. Karl. 1996. Mineral dynamics in forages of the Northern Great Plains. *J. Range Manage* 49: 234-240.
- Gutiérrez O., E. 2003. Manejo para una suplementación eficiente de minerales a ganado en pastoreo. *In: Memoria del Curso Suplementación Mineral de Ganado en Zonas Áridas y Semiáridas*. Agosto de 2003. Monterrey, N.L. pp: 65-73.

- Haenlein, G. F. W., and R. Caccese. 1984. Goat milk versus cow milk. *In*: Haenlein, G. W. F., Ace, D. L. (Eds.), Extension Goat Handbook. USDA Publ., Washington, DC, p. 1, E-1.
- Haenlein, G. F. W. 1987. Mineral and vitamin requirements and deficiencies. Proc. 4th Intern. Conf. Goats. Brasilia, Brazil, March 8-13.
- Haenlein, G. F. W. 1999. Recent Advances in Mineral Nutrition of Goats. Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture. <http://www.goatworld.com/articles/mineralnutrition.shtml> (Consultado el 21 de Julio de 2007).
- Haenlein, G. F. W. 2004. Goat milk in human nutrition. Small Rumin. Res. 51: 155-163.
- Haenlein, G. F. W., and W. L. Wendorff. 2006. Sheep milk-production and utilization of sheep milk. *In*: Park, Y. W., Haenlein, G. F. W. (Eds.), Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals. Blackwell Publishing Professional, Oxford, UK, and Ames, Iowa, USA, pp: 137-194.
- Haenlein, G. F. W., and R. G. Ramírez L. 2007. Potential mineral deficiencies on arid rangelands for small ruminants with special reference to Mexico. Small Rumin. Res. 68: 35-41.
- Hall, O. J. 2005. Appropriate Methods of Diagnosing Mineral Deficiencies . Mid-South Ruminant Nutrition Conference. Utah State University.

<http://www.txanc.org/proceedings/2005/MineralDeficiencydiagnosis.pdf>
(Consultado el 13 de agosto de 2007).

Hamliri, A., W. G. Olson, and D. W. Johnson. 1990. Evaluation of biochemical evidence of congenital nutrition myopathy in two-week prepartum fetuses from selenium deficient ewes. *Amer. J. Vet. Res.* 51: 1112-1115.

Hansen, D., R. Hathaway, and J. E. Oldfield. 1993. White muscle and other selenium-responsive diseases of livestock. Oregon State University, PNW 157 p.

Hansen, J. C., and Y. Deguchi. 1996. Selenium and fertility in animals and man: A review. *Acta Vet. Scan.* 37: 19-30.

Harris, B. 1987. Feeding and management of dairy goats. FCES Publication No. 761, University of Florida, Gainesville, FL. USA. 101 p.

Harrison, J. H., D. D. Hancock, and H. R. Conrad. 1984. Vitamin E and selenium utilization by the non-lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 67: 219-223.

Healy, W. B., P. C. Rankin, and H. M. Watts. 1974. Effect of soil contamination on the element composition of herbage. *New Zealand Journal of Agricultural Research.* 17: 59-61.

Hedstrom, O. R., J. P. Maas, and B. D. Hultgren. 1986. Selenium deficiency in bovine, equine, and ovine with emphasis on its association with chronic

- diseases. Proceedings of the 29th Annual Meeting of the American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians. pp: 101-126
- Henry, P. R., G. Echevarria M., and C. B. Ammerman. 1988. Estimation of the relative biological availability of inorganic selenium sources for ruminants using tissue uptake of selenium. J. Anim. Sci. 66: 2306-2312.
- Herd, T. H., W. Rumbelha, and W. E. Braselton. 2000. The use of blood analyses to evaluate mineral status in livestock. Vet. Clin. North Amer. Food Anim. Pract. 16: 423-444.
- Hernández Z., J. S. 2000. La caprinocultura en el marco de la ganadería poblana (México): contribución de la especie caprina y sistemas de producción. Arch. Zootec. 49: 341-352.
- Herrera H., J. G. 1999. La cabra criolla en México: generalidades y propuesta de un programa de selección. *In*: Memoria de la XIV Reunión Nacional de Caprinocultura. 6-8 de septiembre. Montecillo, Edo. de México. pp: 1-15.
- Hidiroglou, M., J. Proulx, and J. Jolette. 1985. Intraruminal selenium for control of nutritional muscular dystrophy in the dairy cow. J. Dairy Sci. 68: 57-66.
- Hintz, H. F., and D. E. Hogue. 1964. Effect of selenium, sulfur, and sulfur amino acids on nutritional muscular dystrophy in the lamb. J. Nutr. 82: 495-502.
- Hoff, B., and N. Schrier. 2002. Assessment of trace minerals in practice. Animal Health Laboratory Newsletter, March 2002, Volume 6, Number 1.

- Hogan, J. S., W. P. Weiss, and K. L. Smith. 1993. Role of selenium and vitamin E in host defense against mastitis. *J. Dairy Sci.* 76: 2795-2803.
- Huerta B., M. 1997. Nutrición de rumiantes en pastoreo. *In: Memoria del curso Alternativas de Manejo en Bovinos para Carne en Pastoreo.* 21-23 de mayo. Chapingo, Edo. de México. 55 p.
- Huerta B., M. 1999. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. *In: Memoria del II Seminario Internacional Estrategias de Suplementación a Bovinos en Pastoreo.* 28 y 29 de octubre. Chapingo, Edo. de México. pp: 153-184.
- Huerta B., M. 2003. Signos de deficiencia y respuestas a la suplementación mineral del ganado en pastoreo. *In: Memoria del Curso Suplementación Mineral de Ganado en Zonas Áridas y Semiáridas.* Agosto de 2003. Monterrey, N.L. pp: 48-64.
- Ivancic, J., and W. P. Weiss. 2001. Effect of dietary sulfur and selenium concentrations on selenium balance of lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 84: 225-232.
- Jahnke, H. E., G. Tacher, P. Keil, and D. Rojat. 1988. Livestock production in tropical Africa, with special reference to the tsetse-affected zone. *In: Livestock Production in Tsetse affected Areas of Africa. Proceedings of the Meeting on Trypanotolerant Livestock Network.* 23-27 november 1987, Nairobi, Kenya.

- Jenkins, R. J., and M. Hidirolou. 1971. Transmission of selenium as selenite and as selenomethionine from ewe to lamb via milk using selenium-75. *Can. J. Anim. Sci.* 51: 389.
- Judson, G. J., T. H. Brown, B. R. Kempe, and R. K. Turnbull. 1988. Trace element and vitamin B₁₂ status of sheep given an oral dose of one, two or four soluble glass pellets containing copper, selenium and cobalt. *Aust. J. Agric. Res.* 28: 299-305.
- Kallah, M. S., J. O. Bale, U. S. Abdullahi, I. R. Muhammad, and R. Lawal. 2000. Nutrient composition of native forbs of semi-arid and dry sub-humid savannas of Nigeria. *Anim. Fed. Sci. Technol.* 84: 137-145.
- Kaneko, J. J. 1989. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. 3rd Ed. New York, Academic Press.
- Kessler, J. 1991. Mineral nutrition of goats. *Goat Nutr.* 46: 104-119.
- Khirwar, S. S., and S. P. Arora. 1977. Incorporation of ⁷⁵Se-selenomethionine in milk protein of goats. *Milchwissenschaft* 32: 283.
- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. *Proceedings of the American Society of Animal Science*. pp: 1-10.
- Kincaid, R. L., and A. S. Hodgson. 1989. Relationship of selenium concentration in blood of calves to blood selenium of the dam and supplemental selenium. *J. Dairy Sci.* 72: 259-266.

- Kincaid, R. L., and M. J. Rock. 1999. Selenium intakes during late gestation on immunoglobulins and thyroid hormones in sheep. *FASEB J.* 13(4): A249.
- Knights, M., and G. W. Garcia. 1997. The status and characteristics of the goat (*Capra hircus*) and its potential role as a significant milk producer in the tropics: A review. *Small Rumin. Res.* 26: 203-215.
- Knowles, S. O., N. D. Grace, K. Wurms, and J. Lee, 1999. Significance of amount and form of dietary selenium on blood, milk, and casein selenium concentrations in grazing cows. *J. Dairy Sci.* 82: 429-437.
- Koenig, K. M., L. M. Rode, R. D. H. Cohen, and W. T. Buckley. 1997. Effects of diet and chemical form of selenium on selenium metabolism in sheep. *J. Anim. Sci.* 75: 817-827.
- Koh, T. S., and G. J. Judson. 1987. Copper and selenium deficiency in cattle: an evaluation of methods of oral therapy and an observation of a copper-selenium interaction. *Vet. Res. Com.* 11: 133-148.
- Köhrle, J. 2000. The deiodinase family: Selenoenzymes regulating thyroid hormone availability and action. *Cell. Mol. Life Sci.* 57: 1853-1863.
- Konar, A., P. C. Thomas, and J. A. F. Rock. 1971. The concentration of some water soluble constituents in the milk of cows, sows, ewes, and goats. *J. Dairy Res.* 38: 333-340.

- Kuchel, R. E., and R. A. Buckley, 1969. The provision of Se to sheep by means of heavy pellets. *Aust. J. Agric. Res.* 201: 1099-1107.
- Lamand, M. 1981. Metabolism and requirements of microelements by goats. *Proc. 5th Intern. Trace Element Symposium.* University Leipzig-Jena, Germany, July 14-17.
- Landefeld, M., and J. Bettinger. 2007. Water effects on livestock performance. Extension Fact Sheet. The Ohio State University. <http://www.ohionline.osu.edu/anr-fact/pdf/0013.pdf> (Consultado el 2 de agosto de 2007).
- Langlands, J. P., G. E. Donald, J. E. Bowles, and A. J. Smith. 1990. Selenium supplements for grazing sheep. 1. A comparison between soluble salts and other forms of supplement *Anim. Feed Sci. Tech.* 28: 1-13.
- Langlands, J. P., G. E. Donald, J. E. Bowles, and A. J. Smith. 1986. Subclinical selenium insufficiency. 1. Selenium status and the response in live weight and wool production of grazing ewes supplemented with selenium. *Austr. J. Agric. Res.* 31: 25-31.
- Lebbie, S. H. B. 2004. Goats under household conditions. *Small Rumin. Res.* 51: 131-136.
- Librado C., J. G., M. Huerta B., P. A. Martínez H., M. J. González A. y J. G. García M. 2006. Estado nutricional de ganado caprino en pastoreo en los Llanos de San Juan, Puebla. *In: Memoria de la XXXIV Reunión de AMPA*

y X Reunión Bienal del Grupo Norte Mexicano de Nutrición Animal. 17-20 de octubre. Mazatlán, Sinaloa.

López, A. M., M. Miranda H., J. Hernández R., C. Castillo L. y J. Benedito L. 1997. Glutación peroxidasa (GSH-Px) en las patologías asociadas a deficiencias de selenio en rumiantes. Arch. Med. Vet. 29: 171-180.

MacDonald, J. W., R. G. Christian, G. R. Whenham, and J. Howell. 1976. A review of some aspects of vitamin E – selenium responsive diseases with a note on their possible incidence in Alberta. Can. Vet. J. 17: 61–71.

Mayland, H. F. 1985. Selenium in soils and plants. Proceedings of the Symposium on Selenium-Responsive diseases in Food Animals, Western States Veterinary Conference, Las Vegas. pp: 5-10.

McClure, T. J., G. J. Eamens, and P. J. Healy. 1986. Improved fertility in dairy cows after treatment with selenium pellets. Aust. Vet. J. 63: 144-146.

McDowell, L. R. 1985. Detection of mineral status of grazing ruminants. *In*: L. R. McDowell (Ed.) Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates. Academic Press, Inc. Orlando. pp: 339-357.

McDowell, L. R., J. H. Conrad, G. L. Ellis, y J. K. Loosli. 1984. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Universidad de Florida y Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. U.S.A. pp: 5-56.

- McDowell, L. R., J. H. Conrad, G. L. Loosli, and J. E. Espinoza. 1988. Nutrición mineral para rumiantes bajo pastoreo en los trópicos. *In: Memoria de la XXIII Reunión Anual de la Asoc. Lat. Prod. Anim.* pp: 25-42.
- McDowell, L. R. 1997. Minerals for grazing ruminants in tropical regions. 3rd Edition. Bulletin, University of Florida, Gainesville, FL, USA, 81 p.
- McDowell, L. R., G. Valle, L. Cristaldi, P. A. Davis, O. Rosendo, and N. S. Wilkinson. 2002. Selenium availability and methods of selenium supplementation for grazing ruminants. Proceedings 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. pp: 86-102.
- Mejía H., A. y R. Espinoza H. 1987. Determinación de niveles de fósforo y calcio en el área caprina del noreste de Zacatecas. Cuaderno de Investigación No 40. Universidad Autónoma de Zacatecas. 91 p.
- Mejía H., I., D. Rodríguez H., C. Pérez J. y J. Rodríguez L. 1988. Evaluación de minerales en suelo, forraje y ganado caprino en el municipio de Zaragoza, Coahuila. *In: Memoria del Primer Congreso Internacional de Producción Caprina.* Torreón, Coah., México. pp: 826-829.
- Mejía H., J. y A. Mejía H. 1989. Composición mineral de las principales especies forrajeras pastoreadas por los caprinos de Mazapil, Zacatecas. *In: Memoria de la Quinta Reunión Nacional sobre Caprinocultura,* Zacatecas, Zac. pp: 174-177.

- Mellado M. 1997. Estudios recapitulativos: La cabra criolla en América Latina. *Veterinaria México*. 28(4): 333-343.
- Mellado M. S. Rodríguez C., R. López A., and A. Rodríguez F. 2006. Relation among milk production and composition and blood profiles and fecal P and nitrogen in goats on rangeland. *Small Rumin. Res.* 65: 230-236.
- Méndez, A. 1986. Deficiencia de selenio-vitamina E. En *Principales Enfermedades de los Ovinos y Caprinos*. Ed. Pijoan, P., y Tórtora, J. pp: 275-278.
- Meneses, A., T. R. Batra, and M. Hidirolou. 1994. Vitamin E and selenium in milk of ewes. *Can. J. Anim. Sci.* 71: 567-569.
- Meschy, F. 2000. Recent Progress in the assessment of mineral requirements of goats. *Livest. Prod. Sci.* 64: 9-14.
- Mills, C. F. 1987. Biochemical and physiological indicators of mineral status in animals: copper, cobalt and zinc. *J. Anim. Sci.* 65: 1702-1711.
- Minson, D. J. 1990. *Forage in Ruminant Nutrition*. San Diego: Academic Press.
- Moeini, M. M., A. M. Mackenzie, and S. B. Telfer. 1997. Effect of Cosecure[®] on the fertility and trace element status of dairy cattle. *Proceedings of the British Society of Animal Science*. pp: 192.
- Moeller, R. B. 2001. Causes of caprine abortion: diagnostic assessment of 211 cases (1991-1998). *J. Vet. Diagn. Invest.* 13: 265-270.

- Morand-Fehr, P. 1981. Nutrition and feeding of goat- application to temperature climatic condition. *In*: Gall. C. (Ed.), Goat Production. Academic Press, London, UK. pp: 193-232.
- Morand-Fehr, P., and J. Boyazoglu. 1999. Present and future outlook of the small ruminant sector. *Small Rumin. Res.* 34: 175-188.
- Moya R., J. G., R. G. Ramírez L., R. Foroughbachkch, L. A. Hauad, y H. González R. 2002. Variación estacional de minerales en las hojas de ocho especies arbustivas. *Ciencia UANL*. Vol. 1: 59-65.
- Muñoz G., J. C. 2005. Estudios en minerales para pequeños rumiantes y su ambiente en el estado de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 119 p.
- 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. *In*: Memoria de la XXXII Reunión Anual AMPA, 27-29 de octubre. Monterrey, NL.
- Mustacich, D., and G. Powis, 2000. Thioredoxin reductase. *Biochem. J.* 346: 1-8.
- Nava C., J. J. 2003. Control de calidad y contenido de minerales en muestras de forraje, agua, suelo y tejidos. *In*: Memoria del Curso Suplementación Mineral de Ganado en Zonas Áridas y Semiáridas. Agosto de 2003. Monterrey, N.L. pp: 95-102.

- Norton, B. W., and D. P. Poppi. 1995. Composition and nutritional attributes of pasture legumes. In: D'Mello, J. P. F., Devendra, C. (Ed.) Tropical Legumes in Animal Nutrition. CAB, International, Wallingford, pp. 23-48.
- Norton, S. A., and F. D. McCarthy. 1986. Use of injectable vitamin E and selenium-vitamin E emulsion in ewes and suckling lambs to prevent nutritional muscular dystrophy. J. Anim. Sci. 62: 497-508.
- NRC. 1980. Mineral tolerance of domestic animals. National Academy Press. Washington, D. C.
- NRC. 1983. Selenium in nutrition. Subcommittee on Selenium, Committee on Animal Nutrition, Board of Agriculture, National Research Council, Washington, DC. 174 p.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th revised edition. National Academy Press. Washington, D. C. 381 p.
- NRC. 2005. Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition. Committee on Minerals and Toxic Substances in Diets and Water for Animals. National Academy Press. Washington, D. C. 510 p.
- NRC. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. The National Academy Press. Washington, D. C. 345 p.

- Oldfield, J. E. 1997. Observations on the efficacy of various forms of selenium for livestock: A review. *Biomed. Environ. Sci.* 10: 280-291.
- Olivares S., E. y E. Gutiérrez O. 2003. Flujo de minerales en agua, suelo y planta. *In: Memoria del Curso Suplementación Mineral de Ganado en Zonas Áridas y Semiáridas.* Agosto de 2003. Monterrey, N.L. pp: 11-21.
- Ordoñez R., J. A., V. Velázquez O. y R. Rosiles M. 1990. Niveles de Se, Cu y Co en suelo y forraje y su importancia sobre los problemas de deficiencia en corderos alimentados bajo condiciones de pastoreo en San Felipe del Progreso, Estado de México. *In: Memoria del III Congreso Nacional de Producción Ovina.* Tlaxcala, Méx. pp: 92-95.
- Overnes, G., K. Moksnes, A. Frosli, J. G. Gunnar, and J. Flaatt. 1985. The effect of different levels of selenium in mineral mixtures and salt licks on selenium status in sheep. *Acta Vet. Scan.* 26: 405-416.
- Parkash, S., and R. Jenness. 1968. The composition and characteristics of goats' milk: a review. *Dairy Sci. Abstr.* 30: 67-75.
- Park, Y. W., and H. I. Chukwu. 1988. Macro-mineral concentrations in milk of two goat breed at different stages of lactation. *Small Rumin. Res.* 1: 157-165.
- Park, Y. W. 1994. Hypo-allergenic and therapeutic significance of goat milk. *Small Rumin. Res.* 14: 151-161.

- Park, Y. W. 2006. Goat milk- chemistry and nutrition. *In*: Park, Y. W., Haenlein, G. F. W. (Eds.), Handbook of Milk of Non-Bovine Mammals. Blackwell Publishing Professional, Oxford, UK/Ames, Iowa, pp: 393-406.
- Park, Y. W., M. Juárez G., M. Ramos T., and G. F. W. Haenlein. 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.* 68: 88-113.
- Pehrson, B., J. Hakkarainen, and L. Blomgren. 1990. Vitamin E status in newborn lambs with special reference to the effect of dl- α -tocopherol acetate supplementation in late gestation . *Acta Vet. Scand.* 31: 359-367.
- Pehrson, B., K. Ortman, N. Madjid, and U. Trafikowska. 1999. The influence of dietary selenium as selenium yeast or sodium selenite on the concentration of selenium in the milk of suckler cows and on the selenium status of their calves. *J. Anim. Sci.* 77: 3371-3376.
- Puls, R. 1988. Minerals Levels in Animal Health. Diagnostic Data. Sherpa International. Clearbrook, Canada. 240 p.
- Ramírez L., R. G. 1999. Feed resources and feeding techniques of small ruminants under extensive management conditions. *Small Rumin. Res.* 34: 215-230.
- Ramírez L., R. G., G. García D. y H. González R. 2003. Contenido mineral de los recursos forrajeros del noreste de México. *In*: Memoria del Curso

Suplementación Mineral de Ganado en Zonas Áridas y Semiáridas.
Agosto de 2003. Monterrey, N.L. pp: 134-148.

Ramírez L., R. G., G. F. W. Haenlein, and M. A. Núñez G. 2001. Seasonal variation of macro and trace mineral contents in 14 browse species that grow in northeastern México. *Small Rumin. Res.* 39: 153-159.

Ramírez L., R. G., G. F. W. Haenlein, C. G. García C. y M. A. Núñez G. 2004. Protein, lignin, and mineral contents and in situ dry matter digestibility of native Mexican grasses consumed by range goats. *Small Rumin. Res.* 52: 261-269.

Ramírez L., R. G., A. Rodríguez T. A. Tagle L., C. Del Valle A., and J. González. 1990. Nutrient content and intake of forage grazed by range goats in northeastern México. *Small Rumin. Res.* 3: 435-448.

Ramírez-Bribiesca J., E., E. Hernández C., L. M. Hernández C. y J. L. Tórtora P. 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.

Ramírez-Bribiesca J., E., J. L. Tórtora P., L. M. Hernández C., and M. Huerta B. 2001a. Main causes of mortalities in dairy goat kids from the Mexican plateau. *Small Rumin. Res.* 41: 77-80.

- Ramírez-Bribiesca J., E., J. L Tórtora P., M. Huerta B., and L.M. Hernández C. 2001b. Diagnosis of selenium status in grazing dairy goat on the Mexican plateau. *Small Rumin. Res.* 41: 81-85.
- Ramírez-Bribiesca J., E., N. Velasco R. M. Huerta B., and L. M. Hernández C. 1992. Mineral status of dairy goats in the Huamantla region of Tlaxcala, México. *Proc. 8th Nat. Congr. On Goats.* Oaxaca, México. pp: 172-174.
- Ramírez-Orduña, R., R. G. Ramírez L., H. González R., and G. F. W. Haenlein. 2005. Mineral content of browse species from Baja California Sur, México. *Small Rumin. Res.* 57: 1-10.
- Rammel, C. G., K. G. Thompson, G. R. Bentley, and M. W. Gibbons. 1989. Selenium, vitamin E and polyunsaturated fatty acid concentrations in goat kids with and without nutritional myodegeneration. *New Zealand Vet. J.* 37: 4-6.
- Remeuf, F., and J. Lenoir. 1986. Relationship between the physic-chemical characteristics of goat's milk and its rennetability. *Intl. Dairy Bull.* 202: 68.
- Rodríguez D., T., C. Pérez J., I. Mejía H. y J. Rodríguez L. 1989. Evaluación de minerales en agua, suelo, forraje y ganado caprino del municipio de Zaragoza, Coahuila. In: *Memoria de la Quinta Reunión Nacional sobre Caprinocultura, Zacatecas, Zac.* pp: 170-173.

- Romero B., J. O. y M. Huerta B. 1990. Evaluación de siete minerales en caprinos pastoreando vegetación natural en Villa Hidalgo, Zacatecas. *In: Memoria VI Reunión Nacional sobre Caprinocultura*, San Luis Potosí, SLP. pp: 32-35.
- Saito, Y., and K. Takahashi, 2000. Selenoprotein P: its structure and functions. *J. Health Sci.* 46: 409-413.
- Salinas G., H. 1989. Evaluación del estado mineral a caprinos de productores de escasos recursos. *In: Memoria de la Quinta Reunión Nacional sobre Caprinocultura*, Zacatecas, Zac. pp: 166-169.
- Sánchez, J., P. Montes, A. Jiménez, and S. Andrés, 2007. Prevention of clinical mastitis with barium selenate in dairy goats from a selenium-deficient area. *J. Dairy Sci.* 90: 2350-2354.
- 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.
- Shorrocks, V. M., and B. J. Alloway. S/A. Copper in plant, animal and human nutrition. Ed. Copper Development Association. 84 p.
- SIAP-SAGARPA. 2007. Resumen Nacional de la Población Ganadera, Avícola y Apícola del periodo 1990-2006. <http://www.siap.gob.mx/> (Consultado el 20 de julio de 2007).

- Silva J., H., A. Quiroga M. y J. Auza N. 2000. Selenio en el rumiante: relaciones suelo, planta, animal. *Med. Vet.* 17(10): 229-246.
- Smart, M. E., R. Cohen, D. A. Christensen, and C. M. Williams. 1986. The effects of sulphate removal from the drinking water on the plasma and liver copper and zinc concentrations of beef cows and their calves. *Can. J. Anim. Sci.* 66: 669-680.
- Smith, K. L., J. S. Hogan, and W. P. Weiss. 1997. Dietary vitamin E and selenium affect mastitis and milk quality. *J. Anim. Sci.* 75: 1659-1665.
- Smith, M. C. 1981. Caprine dermatologic problems: A review. *J. Anim. Vet. Med. Assoc.* 178: 724-729.
- Spears, J. W. 1994. Minerals in forage. In: Fahey jr., G.C. (Ed.). *Proceedings of the National Conference on Forage, Quality, Evaluation and Utilization.* University of Nebraska. Lincoln, Nebraska, E.U. pp: 281-317.
- Spears, J. W. 2003. Trace mineral bioavailability in ruminants. *J. Nutr.* 133(5): 1506S-1509S.
- Stark, B. A. 1988. Improving quality of goat milk. *Dairy Industries Int.* 53: 23-25.
- Stowe, H. D., and T. H. Herdt. 1992. Clinical assessment of selenium status of livestock. *J. Anim. Sci.* 70: 3928-3933.

- Strouth, M. K. 1985. Selenium and glutathione peroxidase in dairy cows in the Tisayuca of México. M.S. Thesis, University of México, FESC-UNAM, 67 p.
- Suttle, N. F. 2002. Meeting the copper requirements of ruminants. *In*: J. Wiseman and P. C. Garnsworthy (Ed.). Recent Developments in Ruminant Nutrition No. 4. Nottingham University Press, Nottingham. pp: 221-236.
- Suttle, N. F., B. J. Alloway, and I. Thornton. 1975. An effect of soil ingestion on the utilization of dietary copper by sheep. *J. Agric. Sci.* 84: 249-254.
- Tripp, M. J., P. D. Whanger, J. A. Schmitz, and J. A. Butler, 1980. Incorporation of Se-75 into cellular membranes of rats and sheep. *Fed. Proc.* 39: 338.
- Ullrey, D. E. 1987. Biochemical and physiological indicators of selenium status in animals. *J. Anim. Sci.* 65: 1712-1726.
- Ullrey, D. E. 1992. Basis of regulation of selenium supplements in animal diets. *J. Anim. Sci.* 70: 3922-3927.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 2003. Los Minerales en la Nutrición del Ganado. 3ª Ed. Editorial ACRIBIA, S. A. Zaragoza, España. 637 p.
- Vaithiyanathan, S., and M. Singh. 1994. Seasonal influences on soil ingestion by sheep in an arid region. *Small Rumin. Res.* 14: 103-106.

- Valencia C., C. M. 2002. Desafíos del sistema extensivo de producción caprina.
In: Memoria de la XVII Reunión Nacional sobre Caprinocultura. 2-4 de octubre. Durango, Dgo. México. pp: 122-128.
- Van Metre, D. C., and R. J. Callan. 2001. Selenium and vitamin E. *Vet. Clin. North. Amer. Food Anim. Pract.* 17(2): 373-402.
- Van Saun, R. J., T. H. Herdt, and H. D. Stowe. 1989. Maternal and fetal selenium concentrations and their inter relationship in dairy cattle. *J. Nutr.* 119: 1128-1137.
- Vargas G., J. M. y M. Huerta B. 1996. Evaluación del estado mineral en suero sanguíneo de cabras pastoreando vegetación natural en Colón, Querétaro. *In: Memoria XI Congreso Nacional sobre Caprinocultura,* Chapingo, México. pp: 134-138.
- Waite, R., H. R. Conrad, and A. L. Moxon. 1975. Metabolism of selenium and selenium-75 in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 58: 749 (Abstract).
- Weiss, W. P., J. S. Hogan, and D. A. Todhunter. 1997. Effect of vitamin E supplementation in diets with a low concentration of selenium on mammary gland health of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81: 1728-1737.
- Whelan, B. R., N. J. Barrow, and D. W. Peters. 1994. Selenium fertilization for pasture grazed by sheep I. Selenium concentration in whole blood and plasma. *Aust. J. Agr. Res.* 45: 863-875.

- Whitehead, C. D. 2000. Nutrient elements in grassland soil-plant-animal relationship. CABI Publishing. New York, NY, USA.
- Wright, P. L., and M. C. Bell. 1966. Comparative metabolism of selenium and tellurium in sheep and swine. *Am. J. Physiol.* 211: 6-10.
- Yeh, J. J., Q. P. Gu, M. A. Beilstein, N. E. Forsberg, and P. D. Whanger. 1997. Selenium influences tissue levels of selenoprotein W in sheep. *J. Nutr.* 127: 394-402.
- Zervas, G. P. 1988. Use of soluble glass boluses containing Cu, Co and Se in the prevention of trace-element deficiencies in goats. *J. Agric. Sci. Cambridge*, 110: 155-158.

CAPÍTULO III

**ESTADO NUTRICIONAL DE GANADO CAPRINO EN PASTOREO EN LOS
LLANOS DE SAN JUAN, PUEBLA, MÉXICO**

**NUTRITIONAL STATE OF GRAZING GOATS IN LOS LLANOS DE SAN
JUAN, PUEBLA, MÉXICO**

Librado Cruz José Guadalupe*

Huerta Bravo Maximino*

Martínez Hernández Pedro Arturo*

García Muñiz José Guadalupe*

González Alcorta Mariano*

*Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco, 56230, Chapingo, Estado de México, México.

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar la concentración mineral en agua, suelo, forraje, leche y suero sanguíneo de cabras y cabritos, así como la composición química de la leche en seis rebaños caprinos en pastoreo en el estado de Puebla. Los minerales determinados fueron Ca, P, Mg, Na, K, Cu, Fe, Zn y Se en suero sanguíneo y leche, adicional a los anteriores en forraje y suelo también se estimó Mn; mientras que en agua sólo se determinaron los cinco primeros. En leche se estimaron los niveles de urea, grasa, caseína, proteína, lactosa, sólidos totales (ST), sólidos no grasos (SNG), ácido cítrico, densidad, ácidos grasos libres (AGL), crioscopía y acidez. El contenido mineral en suero sanguíneo se analizó con un modelo que incluyó el efecto de rebaño, estado fisiológico y su interacción; mientras que para agua, suelo, forraje y leche sólo incluyó el efecto de rebaño. El estatus mineral en suelo y agua mostró diferencia ($P < 0.05$) entre rebaños, no así para forraje y leche. En suero sanguíneo las concentraciones de P, K, Cu, Fe, Zn, Se y la relación Ca:P mostraron diferencia ($P < 0.05$) entre rebaños. Los cabritos tuvieron mayores niveles de Fe, P, K y una menor relación Ca:P que las cabras adultas. Los efectos principales no mostraron ($P > 0.05$) interacción en ninguna de las variables. El perfil de Fe, Mg y K en forraje y suero sanguíneo fue adecuado pero los contenidos de Na, Cu, Zn y Se en suelo, forraje y suero sanguíneo estuvieron deficientes. Se recomienda la suplementación con Na, Cu, Zn y Se al ganado en estos rebaños. La leche producida en los rebaños presentó altos niveles de grasa, proteína, caseína, ST, SNG y acidez y bajos contenidos de lactosa, Cu, Se y Zn.

Palabras clave: ganado caprino, minerales, leche, pastoreo.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the mineral content of drinking water, soil, forages, milk, and blood serum from goats and kids, as well as the physicochemical quality of milk from six flocks of goats grazing native unimproved range in the state of Puebla, México. Minerals determined for both blood serum and milk were Ca, P, Mg, Na, K, Cu, Fe, Zn y Se. The same minerals plus Mn were determined for both pasture and soil. For drinking water, the concentrations of Ca, P, Mg, Na, and K were determined. Milk samples were analyzed for urea, fat, casein, protein, lactose, total solids (TS), non-fat solids (NFS), citric acid, density, freeze point depression, free fatty acids (FFA), and acidity. The mineral content of blood serum was analyzed with a model including the fixed effects of flock, physiological state, and their interaction. The statistical model for drinking water, soil, forage, and milk included only the effect of flock. The mineral status of drinking water and soil differed ($P<0.05$) among flocks, whereas for forage and milk flock showed no effect ($P>0.05$). The concentrations of P, K, Cu, Fe, Zn, Se, and the ratio Ca:P in blood serum were influenced ($P<0.05$) by flock. The blood serum from kids showed higher levels of Fe, P, K, and a lower ratio Ca:P than goats. Flock by physiological state interaction did not show effect ($P>0.05$). The concentrations of Fe, Mg, and K in both forage and blood serum were adequate, but the content of Na, Cu, Zn, and Se in soil, forage and blood serum were below critical limits. Therefore, it is recommended to supplement Na, Cu, Zn, and Se to goats from these flocks. Milk showed high contents of fat, protein, casein, TS, SNF, and acidity, and low concentration of lactose, Cu, Se y Zn.

Key words: grazing goats, mineral status, milk.

INTRODUCCIÓN

La región de los Llanos de San Juan en el estado de Puebla, es considerada de importancia en lo que se refiere a la explotación de ganado caprino, caracterizado principalmente por el sistema de cabras lecheras, las cuales aportan 59% del volumen total de leche que produce el estado (SIAP, 2007). Sin embargo, al igual que la mayoría de los rebaños caprinos del país, esta actividad se desarrolla en condiciones marginales, donde la alimentación del ganado se basa en el pastoreo extensivo con complementación ocasional de esquilmos agrícolas, lo que ocasiona que la desnutrición limite la producción. Entre las principales deficiencias nutricionales se presenta el inadecuado aporte de minerales, lo que compromete el comportamiento productivo y reproductivo, promueve alta mortalidad y predispone a patologías infecciosas y metabólicas (Ramírez Bribiesca *et al.*, 2001a).

El estado mineral de los rumiantes en pastoreo depende de las características del suelo, agua, especie forrajera, animal explotado y prácticas de manejo de los forrajes y animales (Gutiérrez, 2003). Además, para el caso de animales recién nacidos el aporte mineral del calostro y leche es esencial para mantener en los neonatos un estatus mineral adecuado.

Un esquema de suplementación para corregir desbalances de minerales, debe basarse en un diagnóstico mineral previo de las fuentes que el animal consume y del contenido mineral de tejidos o fluidos de los animales, para que con los

resultados obtenidos, se suplementen sólo aquellos elementos que sean deficientes y se dejen de suplementar minerales que estén sobrepasando los requerimientos.

La producción de leche de cabra, no sólo en el estado de Puebla, sino en otras regiones del país, constituye una fuente de ingreso y alimento para numerosas familias campesinas. Las investigaciones nacionales sobre la composición química de la leche de cabra proveniente de explotaciones poco tecnificadas son escasas.

Por todo lo expuesto anteriormente, el objetivo del estudio fue determinar el estado mineral de agua, suelo, forraje y suero sanguíneo, así como la composición química de la leche de cabra en seis rebaños caprinos localizados en la región de los Llanos de San Juan, Puebla.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización

La investigación se realizó en seis rebaños de cabras lecheras en pastoreo de los municipios de Cuyoaco, Libres, Oriental y Tepeyahualco, que forman parte de la región de los Llanos de San Juan, Puebla. Los municipios se encuentran a una altitud promedio de 2370 m y se ubican entre los paralelos 19° 24' y 19° 43' de latitud norte y los meridianos 97° 29' y 97° 42' de longitud oeste. El clima predominante de la región es BS₁ K' w que corresponde a un clima semiseco templado con lluvias en verano y escasas a lo largo del año, con una temperatura media anual que oscila entre los 12 y 18 °C y con una precipitación de 615 mm anuales (CNEM, 1988).

Animales, alimentación y manejo

Se utilizaron 84 animales de dos estados fisiológicos (42 cabras adultas y 42 cabritos), características raciales de tipo criollo y mestizos de criollos con razas mejoradas como Alpina, Saanen y Toggenburg. Los animales provenían de seis rebaños caprinos manejados en condiciones de pastoreo extensivo en áreas de agostadero y suplementación esporádica con residuos de cosecha como rastrojo de maíz y pajas de gramíneas y leguminosas. El pastoreo se llevaba a cabo durante el día y por las noches el ganado se alojaba en corrales pequeños de encierro nocturno. La ordeña de las cabras se realizaba de manera manual de las 6:00 a las 7:00 AM.

Época del diagnóstico y procedimiento de colección de muestras

El mapeo sistemático se realizó en el mes de noviembre de 2005, colectándose sangre del ganado, además de muestras de suelo, forraje y leche en los seis rebaños caprinos.

Las muestras de sangre se obtuvieron de la vena yugular con jeringas de plástico de 20 mL y se depositaron en tubos de vidrio de 10 mL de capacidad, sin anticoagulante; posteriormente se sellaron los tubos con papel parafilm, anotando la identificación del animal y el rebaño al que pertenecían. Una vez terminado el muestreo, se realizó la separación del suero por centrifugación a 2500 rpm durante 15 minutos. El suero se conservó a -4°C hasta su análisis en el laboratorio.

Se colectaron muestras de las especies forrajeras predominantes en los lugares de pastoreo de los seis rebaños, simulándose las partes de la planta que el animal consume; es decir, el forraje que el animal selecciona durante el pastoreo. Las muestras fueron manejadas según los estándares recomendados (Fick *et al.*, 1979). Las muestras secas se molieron en un molino tipo Wiley utilizando una criba de acero inoxidable de 2 mm.

Se tomaron muestras de suelo y agua de cada uno de los rebaños. Se colectaron cinco muestras de suelo en bolsas de plástico a una profundidad de 15 cm en los terrenos de cultivo cercanos a los rebaños; posteriormente las muestras fueron secadas a 55 °C por 48 horas. Las muestras de agua se

colectaron en recipientes de plástico directamente de las fuentes que proveían al ganado y se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis.

Las muestras de leche se colectaron en viales de plástico esterilizados con capacidad de 250 mL y se obtuvieron de las cabras muestreadas para sangre, manteniendo la leche en refrigeración hasta su análisis.

Análisis de laboratorio

El análisis mineral de las muestras de agua, suelo, forraje, suero sanguíneo y leche se llevaron a cabo en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes, mientras que el análisis de composición química de la leche se realizó en el Laboratorio de Leche del Posgrado en Producción Animal; ambos laboratorios pertenecientes al Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

En todas las muestras se cuantificaron las concentraciones de Ca, P, Mg, Na, K, Zn, Cu, Fe y Se, adicionalmente en las muestras de suelo y forraje se midió el contenido de Mn. La determinación de la mayoría de las concentraciones de minerales se realizó por medio de espectrofotometría de absorción atómica (utilizando un aparato PERKIN ELMER® 4000: Fick *et al.*, 1979; Perkin-Elmer, 1976), a excepción de los contenidos de P y Se, los cuales se determinaron por colorimetría (utilizando un espectrofotómetro UV/VIS PERKIN ELMER® Lambda 2) y fluorometría, respectivamente. Por otra parte, las características fisicoquímicas de la leche de cabra se determinaron con el equipo MilkoScan FT-120.

Variables de respuesta

Las variables de respuesta fueron la concentración mineral de Ca, P, Mg, Na, K, Zn, Cu, Fe y Se en las muestras de suero sanguíneo, agua, forraje y suelo, además de Mn en estos dos últimos. Para las muestras de leche, las variables respuesta fueron las concentraciones de los minerales mencionados (excepto Mn), además del contenido de grasa, proteína, lactosa, caseína, urea, sólidos totales, sólidos no grasos (SNG), ácido cítrico, densidad, crioscopía, ácidos grasos libres (AGL) y acidez.

Análisis estadístico

Las variables de respuesta en suero sanguíneo, agua, forraje, suelo y leche se analizaron por separado. El análisis estadístico se realizó utilizando el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (2004), considerando en el modelo los efectos de rebaño, estado fisiológico y su interacción para el caso de suero sanguíneo, y sólo el efecto de rebaño en el caso de agua, forraje, suelo y leche. Los modelos estadísticos fueron los siguientes:

Para suero sanguíneo:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + E_j + (R \cdot E)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = variable respuesta, μ = media general, R_i = efecto del i-ésimo rebaño ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$), E_j = efecto del j-ésimo estado fisiológico ($j =$ cabra adultas,

cabritos), $(R \cdot E)_{ij}$ = efecto de la ij -ésima interacción rebaño por estado fisiológico, y ε_{ijk} = error aleatorio $\sim$ NIID $(0, \sigma_e^2)$.

Para agua, forraje, suelo y leche:

$$Y_{ij} = \mu + R_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = variable respuesta, μ = media general, R_i = efecto del i -ésimo rebaño ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$), ε_{ij} = error aleatorio $\sim$ NIID $(0, \sigma_e^2)$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración mineral en agua

Las concentraciones de minerales en el agua de bebida de los rebaños, se presentan en el Cuadro 5. Los niveles de P, Mg, Na y K fueron diferentes ($P < 0.05$) entre rebaños, pero no ($P = 0.126$) la concentración de Ca.

Cuadro 5. Medias de cuadrados mínimos para la concentración mineral del agua ofrecida a cabras de seis rebaños de la región de los Llanos de San Juan, Puebla.

Mineral	Rebaño ¹						EEM ²	Pr > F
	1	2	3	4	5	6		
	-----mg L ⁻¹ -----							
Ca	3.9	2.6	3.9	2.6	6.6	5.3	0.93	0.126
P	11.9 ^a	5.3 ^b	14.5 ^a	1.7 ^b	2.8 ^b	2.9 ^b	0.85	0.0002
Mg	1.8 ^{cd}	0.3 ^d	3.8 ^{bc}	6.2 ^b	14.1 ^a	15.8 ^a	0.48	<0.0001
Na	9.3 ^d	6.9 ^d	20.0 ^c	119.3 ^a	53.6 ^b	56.0 ^b	1.52	<0.0001
K	1.9 ^c	2.2 ^c	1.9 ^c	7.7 ^a	3.7 ^b	3.4 ^b	0.14	<0.0001

¹Medias en la misma hilera, sin una literal en común son diferentes ($P < 0.05$; Tukey).

² Error estándar de la media.

El agua ofrecida de los rebaños 1 y 3 mostró las concentraciones más altas de P; sin embargo, en todos los rebaños, el agua que se está ofreciendo a los animales no sólo presenta niveles de P superiores a la concentración típica de 0.09 mg L⁻¹ mencionada por Shirley y Montesinos (1978), sino que además dichos niveles están por arriba del nivel máximo tolerable de 0.7 mg L⁻¹ reportado por Puls (1988). Resultados similares de exceso de P en agua consumida por caprinos se han encontrado en otros lugares del altiplano

mexicano (Muñoz, 2005; Cruz, *et al.*, 2006), lo que indica que el agua de esta región puede representar una fuente importante de P para el ganado.

El agua ofrecida al rebaño 2 mostró la concentración de Mg más baja, siendo la única que está por debajo del rango normal de Mg (1.2 a 49 mg L^{-1}) reportadas por Appelo y Postma (1999), el agua de los demás rebaños se encuentran dentro del límite aceptable para agua de bebida de los animales (250 mg L^{-1} : Pérez *et al.* 2007). Lo anterior, aunado a que en todos los rebaños las muestras de agua tuvieron concentraciones de Ca por debajo del nivel máximo tolerable (500 mg L^{-1} : Socha *et al.*, 2001), y dentro del nivel típico (2 - 200 mg L^{-1} : Appelo y Postma, 1999), implica que el agua que consumen los animales de esta región no está considerada como de tipo “dura”, por lo que puede ser apta también para el consumo humano; además, por los bajos niveles de Ca y Mg encontrados, el agua de esta región no representa una fuente importante de estos minerales para los caprinos.

El K es un elemento que se encuentra en pequeñas cantidades en el agua y generalmente se le agrupa con el Na en los análisis (Pérez *et al.*, 2007). Las concentraciones más altas de K y Na se presentaron en el rebaño 4. Para el caso del contenido de K en agua, en todos los rebaños se encontró en el rango normal de 0.39 a 7.80 mg L^{-1} (Appelo y Postma, 1999) y por debajo del nivel máximo tolerable de 20 mg L^{-1} (Puls, 1988), lo cual indica un pobre aporte de este mineral al ganado.

Los niveles de Na en el agua ofrecida a los rebaños 4, 5 y 6 están por arriba de las concentraciones típicas (2.3-46 mg L⁻¹: Appelo y Postma, 1999), pero sin exceder el nivel máximo tolerable (1500 mg L⁻¹: Pérez *et al.*, 2007). Los contenidos de Na encontrados en este estudio se explican debido a que el Na es uno de los minerales que más comúnmente se encuentran en el agua ofrecida a los animales, según lo mencionado por Socha *et al.* (2001) y Tomlinson *et al.* (2002), quienes señalan concentraciones normales de 20 y 58% respectivamente.

Concentración mineral en suelo

Las concentraciones minerales encontradas en las muestras de suelo en seis rebaños caprinos de la región de los Llanos de San Juan, Puebla se presentan en el Cuadro 6. La concentración de Cu no fue afectada ($P = 0.742$) por el rebaño. Mientras que las concentraciones del resto de los minerales estudiados sí fueron diferentes ($P < 0.0001$) entre rebaños. En los seis rebaños, las concentraciones de Ca, P y Mg están por arriba de los niveles mínimos sugeridos para el crecimiento adecuado de las plantas; mientras que el contenido de Na, Cu, y Se resultó deficiente para las muestras de suelo de todos los rebaños. Por otro lado, Zn y Mn se encontraron por debajo del nivel mínimo en cuatro rebaños, mientras que las concentraciones de K y Fe mostraron ser deficientes en los suelos de 2 y 3 rebaños respectivamente.

Cuadro 6. Medias de cuadrados mínimos para la concentración mineral del suelo sobre el que pastorean cabras de seis rebaños de la región de los Llanos de San Juan, Puebla.

Mineral	Rebaño ¹						EEM ²	Pr > F	Nivel mín. ³
	1	2	3	4	5	6			
	-----ppm-----								
Ca	1159 ^c	1326 ^c	898 ^c	3946 ^b	3868 ^b	5693 ^a	278.8	<0.0001	70
P	176 ^a	162 ^{ab}	104 ^{bc}	110 ^{bc}	88 ^c	50 ^c	14.9	<0.0001	10
Mg	178 ^b	128 ^b	97 ^b	146 ^b	488 ^a	58 ^b	32.4	<0.0001	8.5
Na	21 ^{bc}	19 ^{bc}	21 ^{bc}	25 ^a	49 ^a	14 ^c	2.2	<0.0001	2500
K	702 ^a	294 ^{bc}	242 ^{bc}	143 ^c	452 ^{ab}	31 ^c	65.8	<0.0001	195.5
Fe	13 ^a	17 ^a	15 ^a	3.3 ^b	2.6 ^b	1.8 ^b	2.1	<0.0001	4.5
Cu	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.0002	0.742	3
Zn	1.6 ^{ab}	2.0 ^a	1.1 ^{abc}	0.6 ^{bc}	0.4 ^c	0.3 ^c	0.24	<0.0001	2.0
Mn	22 ^a	22 ^a	17 ^{ab}	8.6 ^{bc}	7.4 ^{bc}	0.45 ^c	3.03	<0.0001	19
Se	0.10 ^{ab}	0.11 ^a	0.11 ^a	0.10 ^{abc}	0.09 ^{bc}	0.08 ^c	0.003	<0.0001	0.45
pH	7.5	6.5	6.2	7.9	8.5	7.9	-----	-----	-----

¹Medias en la misma hilera, sin una literal en común son diferentes (P<0.05; Tukey).

²Error estándar de la media.

³Concentraciones sugeridas como mínimas necesarias para el crecimiento de las plantas (McDowell, 1985; Shorrocks y Alloway, S/A; Bowen, 1966; Whitehead, 2000; Gill y Rice, 1985).

Los niveles de Ca en suelo se ubicaron entre 898 a 5693 ppm, los cuales sobrepasan de 12 a 81 veces más los niveles mínimos sugeridos de 70 ppm (McDowell, 1985). Las altas concentraciones de Ca encontradas en los suelos se pueden explicar por la presencia de una gran cantidad de lugares en los que se extrae piedra caliza para su transformación a cal (óxido de calcio). Sin embargo, debido a que en algunos rebaños los niveles de K también están en exceso, puede estar ocasionando que se limite la absorción de Ca por parte de

las plantas. Olivares y Gutiérrez (2003) mencionan que los suelos de las regiones áridas y semiáridas son ricos en Ca debido a que derivan de rocas de calcita, mientras que los suelos altamente temperizados o de las zonas tropicales son generalmente pobres en este elemento.

La concentración de P en los suelos de la región muestreada cubre el requerimiento mínimo de 10 ppm (McDowell, 1985), por lo que aparentemente no existen problemas de P en las plantas. Sin embargo, Mays *et al.* (1986) mencionan que en suelos calcáreos el P se fija a las superficies del carbonato de calcio y con el paso del tiempo llega a precipitar para formar compuestos insolubles como el fosfato dicálcico, fosfato octacálcico y apatita. Por lo anterior, el contenido de P llega a ser limitante para el crecimiento de las plantas en algunos lugares (principalmente las regiones áridas y semiáridas del país) y es uno de los elementos que normalmente se aplican como fertilizantes.

El Mg se encontró en concentraciones muy superiores (hasta 57 veces) al nivel mínimo requerido por las plantas en los seis rebaños muestreados. Además, considerando la clasificación de Tavera (1985) la mayoría de las muestras de los suelos estudiados poseen un grado de fertilidad muy bueno. Sin embargo, al igual que en el caso del Ca, los altos niveles de K pudieran estar limitando su absorción por parte de las plantas. Olivares y Gutiérrez (2003) reportan que el contenido de Mg en suelos de regiones áridas y semiáridas generalmente es alto y está presente en varias fuentes de minerales como el olivino y micas de

biotita; mientras que suelos desarrollados de rocas ígneas ácidas son generalmente bajos en Mg (Minson, 1990).

Las concentraciones de Na encontradas en las muestras de suelo de la región en estudio varían de 14 a 49 ppm, por lo que no logran ser suficientes para cubrir el requerimiento mínimo sugerido para las plantas que es de 2500 ppm (Whitehead, 2000), y la mayoría de ellas no contienen suficiente Na para cubrir las necesidades de los animales (Olivares y Gutiérrez ,2003). De hecho, el Na no es un elemento esencial para las plantas, sin embargo, éstas son capaces de absorber y acumular Na en el tejido vegetal, llegando a contener hasta 2% de este mineral. Por otra parte, Gorham (1995) reporta que la flora inusual que crece en suelos salinos, tolera el Na de diferentes maneras: evitándolo (raíces profundas), excluyéndolo (glándulas saladas) y diluyéndolo (células vesicales, suculentas). Por ello, no existe siempre correlación entre la salinidad del suelo y las concentraciones de Na en las plantas (Underwood y Suttle, 2003). Además, en forrajes que acumulan Na, la concentración varía con el nivel de disponibilidad del Na y K en el suelo, por lo que incrementos en el nivel de K deprimen la concentración de Na en el forraje (Minson, 1990).

Todas las muestras de suelo de la región estudiada presentaron deficiencias de Cu, alcanzando a tener sólo el 30% del requerimiento mínimo sugerido para el crecimiento de las plantas (3 ppm; Shorrocks y Alloway, S/A). Sin embargo, esta deficiencia pudiera ser mayor si se considera el requerimiento mínimo de 6 ppm recomendado por Fageria *et al.* (1997). No obstante, la detección del nivel

adecuado de Cu en el suelo depende del método de análisis. La deficiencia de Cu se ha reportado en suelos arenosos y de aluvión, debido a deficiencias primarias de este mineral (Huerta, 1999) o a deficiencias secundarias por excesos de Fe, Mo y S (Chase *et al.*, 2000). La concentración de Fe en los suelos de tres de los rebaños estudiados fue de hasta 3.7 veces más del nivel mínimo recomendado, lo que puede estar causando un antagonismo entre Fe y Cu, que se refleja en una disminución de la absorción del Cu en los animales. Por otra parte, en el suelo de los tres rebaños faltantes, el bajo contenido de Cu se puede deber a los altos niveles de S y Mo, ya que los suelos son característicos de una región volcánica y de pH alcalino. Huerta (2003) menciona que suelos de origen volcánico poseen altos contenidos de S; mientras que suelos alcalinos o que se encuentren cerca de refinerías de petróleo contienen altas concentraciones de Mo.

En las muestras de suelo de los seis rebaños en estudio existen deficiencias de Se, al no cumplir con el requerimiento mínimo (0.45 ppm; Gill y Rice, 1985) de las plantas para su adecuado crecimiento. Resultados similares de suelos deficientes en selenio se han encontrado en el altiplano mexicano (Ordoñez *et al.*, 1990; Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001b; Cruz *et al.*, 2006;). La baja concentración de Se puede explicarse en parte por el pH ácido de los suelos. Rosemary (1990) indica que el Se elemental de los suelos se encuentra como selenito, biselenito o selenato, dependiendo del pH; si el pH del suelo es neutro o ácido, el selenito, que es la presentación más abundante del elemento, no estará disponible. Otro factor es el origen de los suelos: los rebaños en estudio

se ubican en una región volcánica, y generalmente los suelos de origen volcánico presentan bajos niveles de Se (Shamberguer, 1981). Finalmente, la presencia de otros cationes y aniones como fosfatos y sulfatos, así como metales pesados, también afectan la disponibilidad de Se de los suelos (Kabata y Pendias, 1992).

El contenido de Zn en las muestras de suelo se ubicaron entre 0.3 y 2.0 ppm, cumpliendo sólo uno de los rebaños con el nivel mínimo recomendable para el desarrollo de las plantas (2.0 ppm; McDowell, 1985). Sin embargo, tomando en consideración el nivel crítico de 3 ppm para suelos de clima templado, citado por Brown (1987) todos los suelos estarían deficientes en Zn. Huerta (1999) menciona que los problemas de deficiencia se presentan comúnmente en suelos neutros o alcalinos, lo que puede explicar la deficiencia encontrada en cuatro de los rebaños de este estudio.

Las concentraciones de Mn encontradas en las muestras de suelos resultaron ser deficientes para 4 rebaños estudiados, al encontrarse por debajo del nivel indicativo de deficiencia (19 ppm; McDowell, 1985). Resultados similares de esta deficiencia se han encontrado en regiones con suelos alcalinos (Rodríguez *et al.*, 1989; Romero *et al.*, 1990; Cruz *et al.*, 2006). Olivares y Gutiérrez (2003) mencionan que en suelos alcalinos y altos contenidos de materia orgánica son comunes las deficiencias de Mn, debido a que su solubilidad disminuye por adsorción al CaCO_3 o por precipitarse como MnO_2 . No obstante, las deficiencias de Mn en suelos calcáreos no representan un problema mayor,

debido a que la alta actividad microbiana en las cercanías de la raíz ayuda a la disponibilidad de Mn para la planta (Whitehead, 2000).

El Fe se encontró deficiente en muestras de suelos de tres rebaños, específicamente en aquellos que tuvieron los niveles de pH más altos; mientras que en los suelos con pH ácido las concentraciones de Fe estuvieron 3.7 veces más altos que el nivel mínimo recomendado (4.5 ppm; McDowell, 1985). Minson (1990) menciona que en suelos con pH altos el Fe precipita para formar compuestos insolubles como $\text{Fe}(\text{OH})_3$, por lo que su disponibilidad es muy baja, pudiendo presentarse deficiencia de este mineral en las plantas. Por el contrario, en suelos ácidos la disponibilidad de Fe se incrementa notablemente, ocasionando concentraciones elevadas en los forrajes que llegan a ocasionar interferencia con otros minerales como Cu, P y Zn (Underwood y Suttle, 2003).

El nivel de K en las muestras de suelo de cuatro rebaños se encontró por arriba del requerimiento adecuado para el crecimiento de las plantas (195.5 ppm; McDowell, 1985). La mayor parte del potasio está retenido en minerales primarios o está presente en minerales arcillosos secundarios, por lo que los suelos ricos en arcillas son generalmente altos en K (Olivares y Gutiérrez, 2003). Por otra parte, los suelos que han estado sujetos a fuertes condiciones de intemperización (suelos del trópico) son frecuentemente bajos en arcilla y K; mientras que suelos jóvenes (zonas áridas y semiáridas) o provenientes de material volcánico son ricos en arcilla y en K (Marschener, 1986). Además, los

suelos arenosos son generalmente bajos en K, lo cual puede explicar los bajos niveles encontrados en dos de los rebaños estudiados.

Concentración mineral en forraje

La concentración de los minerales determinados en las muestras de forraje en seis rebaños caprinos de la región de los Llanos de San Juan, Puebla se presenta en el Cuadro 7. Ninguno de los minerales estudiados presentó diferencia ($P>0.05$) a través de los rebaños.

Cuadro 7. Medias de cuadrados mínimos para la concentración mineral en forraje de seis rebaños caprinos en la región de los Llanos de San Juan, Puebla.

Rebaño	Minerales										Ca:P
	Ca	P	Mg	Na	K	Cu	Fe	Zn	Mn	Se	
	-----%-----					-----ppm-----					
1	0.90	0.25	0.24	0.02	1.37	2.9	235	23	106	0.11	6.6
2	1.41	0.39	0.26	0.07	2.38	3.5	690	28	98	0.11	4.7
3	0.98	0.21	0.20	0.07	2.12	3.4	528	24	58	0.11	5.3
4	1.38	0.25	0.32	0.04	1.90	2.7	337	14	29	0.10	5.7
5	0.72	0.17	0.24	0.26	1.11	1.8	291	12	37	0.11	8.7
6	1.19	0.18	0.20	0.02	1.50	2.9	263	16	24	0.10	8.9
EEM ¹	0.36	0.07	0.06	0.07	0.55	0.9	191	7.2	32.3	0.007	3.6
Pr > F	0.69	0.12	0.76	0.26	0.52	0.8	0.36	0.6	0.21	0.89	0.93
Req. ²	0.18- 0.33	0.27	0.20	0.18	0.6- 0.8	15- 25	35- 95	50- 80	60- 120	0.3	2:1
Max. ³ toler.	1.5	0.60	0.60	1.60	2.0	40	500	300	2000	5.0	4:1

¹ Error estándar de la media.

² Requerimiento mínimo de acuerdo con las necesidades de caprinos (Kessler, 1991; AFRC, 1998; Huerta, 1999; NRC, 2007).

³ Nivel Máximo Tolerable (NRC, 2005).

En los seis rebaños estudiados las muestras de forraje mostraron concentraciones de Ca, K, Mg y Fe suficientes para cubrir los requerimientos de ganado caprino, incluso en dos rebaños los niveles de K y Fe estuvieron por arriba del nivel máximo tolerable (2% y 500 ppm, respectivamente; NRC, 2005). Además, la relación Ca:P en todas las muestras de forraje fueron superiores al nivel máximo tolerable (relación 4:1; NRC, 2005). Por otra parte, el contenido de Cu, Zn y Se en las muestras de forraje de todos los rebaños no llegaron a cubrir los requerimientos mínimos recomendados para ganado caprino. Finalmente, las concentraciones de P, Mn y Na fueron deficientes en 5, 4 y 5 rebaños respectivamente.

Los niveles de Ca encontrados en las muestras de forraje variaron de 0.72 a 1.41%, por lo que sobrepasan el requerimiento promedio recomendado para ganado caprino (0.26%; Kessler, 1991). Olivares y Gutiérrez (2003) indican que las plantas contienen cantidades considerables de Ca que varían de 0.5 a 3%, dependiendo de la especie, estado fisiológico de la planta, época del año y pH del suelo. Además Huerta (2003) menciona que la deficiencia de Ca en rumiantes pastoreando gramíneas es muy rara y nunca ocurre en leguminosas. Moya *et al* (2002) estimaron las concentraciones de Ca en ocho plantas arbustivas consumidas por caprinos en un agostadero de México, encontrando diferencias significativas entre especies y estaciones del año, concluyendo que las hierbas nativas tienen cantidades más altas de Ca que las arbustivas y pastos nativos. Por otra parte, Spears (1994) menciona que un pH alto en los suelos puede explicar el por qué los arbustos contienen altos contenidos de Ca.

Además, el Ca tiende a acumularse en plantas maduras y secas, por lo que en períodos de sequía o invierno, las concentraciones de Ca en las plantas son elevadas, llegando a ocasionar relaciones de Ca:P demasiado altas (Ramírez-Orduña *et al.*, 2005).

Las concentraciones de P en las muestras de forraje que resultaron deficientes variaron de 0.17 a 0.25%. Estos valores son similares a los reportados por Barnes *et al.* (1990) y Ramírez *et al.* (2001) (de 0.1 a 0.28% y de 0.07 a 0.26%, respectivamente). McDowell (1992) señala que la deficiencia de este elemento puede ser considerada como la más difundida e importante de todos los minerales no disponibles que afectan al ganado en pastoreo. En específico, para ganado caprino la deficiencia de P puede llegar a ser más severa debido a la frecuencia de fetos múltiples (Meschy, 2000). Por último, las condiciones de sequía, heladas y el aumento en la madurez también repercuten en bajas concentraciones de P en el forraje (Spears, 1994).

La relación Ca:P se encontró en niveles de 4.7 a 8.9. Ramírez Orduña *et al.*, (2005) determinaron relaciones Ca:P desde 4:1 hasta 42:1 en especies arbustivas consumidas por cabras en una región del noreste de México. Similares relaciones amplias de Ca:P han sido reportadas por Kallah *et al.*, (2000). Lo anterior muestra que las cabras pueden soportar relaciones Ca:P elevadas sin ser afectado el metabolismo del P (Ramírez, 1999).

El nivel de Mg cubrió los requisitos del ganado caprino en todos los rebaños, donde se encontraron niveles de 0.20 a 0.32%. Resultados similares fueron

encontrados por Cerrillo *et al.*, (2004) en dietas seleccionadas por cabras pastoreando en una región semiárida del norte de México. Ramírez *et al.* (2001), reportaron en 15 especies arbustivas durante las cuatro estaciones del año, contenidos de Mg suficientes para cubrir los requerimientos de cabras adultas. Por último, la concentración de Mg en leguminosas es aproximadamente 20% mayor que en gramíneas (Underwood y Suttle, 2003).

El contenido de K en las muestras de forrajes de los seis rebaños estudiados se encontró por arriba del nivel crítico, sobrepasando en dos rebaños el nivel máximo tolerable (2%; NRC, 2005). Sin embargo, considerando el nivel máximo tolerable reportado por Underwood y Suttle (1999) de 3% no existirían problemas de exceso de este mineral. Lo anterior indica que el ganado caprino de la región en estudio no tiene problemas de deficiencia o exceso con este elemento, lo cual estaría evitando la interferencia que tienen altos niveles de K sobre la absorción y utilización del Ca y Mg en las épocas críticas del año (McDowell, 1997). Moya *et al.* (2002) reportaron que la mayoría de plantas arbustivas que crecen en las regiones semiáridas del sur de Texas y noreste de México contienen niveles de K que sobrepasan en mucho los requerimientos de rumiantes. Por otra parte, la variación estacional en la concentración de K puede estar relacionada a la disponibilidad de agua, ya que la absorción de K por la raíz está ligada a la humedad del suelo (Charley, 1977).

Las muestras de forraje de cinco de los rebaños estudiados mostraron un contenido promedio de Na que varió de 0.02 a 0.07%, lo que representa

severas deficiencias para el ganado (Huerta, 1999). La deficiencia de Na está ampliamente distribuida en el mundo, debido a que todos los tipos de alimentos son deficientes, excepto algunos arbustos de regiones semiáridas como *Atriplex ssp.* ó *Larrea tridentata* (McDowell, 1997; Moya *et al.*, 2002). Lo anterior se debe a que las plantas desérticas pueden acumular Na con el objetivo de sobrellevar el estrés salino e hídrico (Salisbury y Ross, 1994). Debido a que los forrajes normalmente no contienen suficiente cantidad de Na para cubrir los requerimientos del ganado caprino en pastoreo, debe proporcionarse sal común *ad libitum*; además, de que la sal es un excelente vehículo para proporcionar otros minerales o aditivos del alimento para rumiantes en pastoreo (Spears, 1994).

Las concentraciones de Cu determinadas en el forraje de todos los rebaños evaluados no cubren los requerimientos mínimos para ganado caprino (15-25 ppm; NRC, 2007), lo que se reflejó en deficiencias de este mineral en el suero sanguíneo de los animales que se muestrearon en todos los rebaños. El Cu en las plantas funciona como un componente esencial de un gran número de enzimas (Curtis y Barnes, 2000) y participa en algunos procesos como la formación de polen, la lignificación de las paredes celulares, así como en el metabolismo de carbohidratos y nitrógeno (Baker y Ammerman., 1995). Huerta (2003) reporta que la carencia de Cu en todo el país es muy común y que pueden ser debidas a deficiencias naturales de este mineral, por excesos de Mo en suelo y forraje (norte del país), por exceso de S en el ambiente (región del Golfo y zona centro), por exceso de hierro (región tropical húmeda), o

combinaciones de lo anterior. Además, la absorción de Cu por parte de las plantas también se limita en suelos con pH alcalino o alto contenido de materia orgánica (NRC, 2007). Por otra parte, Miller *et al.* (1988) indican que relaciones Cu:Mo en el forraje de por lo menos 4:1 se consideran seguras para evitar una deficiencia de Cu. Niveles excesivos de Fe como los encontrados en este estudio pueden explicar los bajos niveles de Cu. Algunas evidencias indican que concentraciones de Fe entre 250 y 1200 ppm pueden afectar negativamente el estatus de bovinos y ovinos (Spears, 1994); mientras que contenidos entre 549 a 990 ppm pueden causar deficiencia de cobre en ganado caprino (Ivan *et al.*, 1990).

La concentración de Fe en la mayoría de los forrajes es suficiente para satisfacer las necesidades de rumiantes en pastoreo, razón por la cuál es poco factible la presentación de la deficiencia (Moya *et al.*, 2002). Por otro lado, la mayoría de los forrajes en la región tropical húmeda y centro del país tienen concentraciones elevadas de hierro que podrían ocasionar interferencia con la utilización de otros minerales como Cu, P y Zn (Huerta, 2003). Ha sido reportado (Roy y Mukherjee, 1979) que elevados niveles de taninos condensados en los arbustos pueden reducir la absorción de Fe. Sin embargo, también se sabe que los animales en pastoreo tienen enzimas en la saliva que degradan o se asocian con taninos condensados, por lo que su presencia puede que no inhiba la digestión de la plantas o de los minerales (Van Soest *et al.*, 1986).

Las concentraciones de Zn en el forraje de todos los rebaños muestran que la región de estudio es deficiente en este mineral, al no cubrir el requerimiento mínimo del ganado en ninguno de los rebaños. Dichas deficiencias pueden deberse a la carencia de Zn en el suelo. Por otro lado, elevadas concentraciones de Fe y Ca interfieren con la absorción del Zn en los forrajes (NRC, 2001). White *et al.*, (1991) reportan que los rumiantes en pastoreo presentan deficiencia de Zn al pastorear forrajes con niveles menores a 20 ppm, ocasionando pobre crecimiento, reducción de la fertilidad y bajos niveles de Zn en plasma.

Los niveles de Mn en cuatro de los rebaños estudiados no cubren el requerimiento mínimo establecido para caprinos (60-120 ppm; NRC, 2007). Las bajas concentraciones de Mn encontradas en los suelos pueden explicar la deficiencia de este mineral en los forrajes. Además los altos contenidos de Ca pueden estar interfiriendo con la disponibilidad de Mn en los forrajes estudiados. Hay evidencia que indica que la disponibilidad de Mn en las plantas puede estar comprometida cuando una alta proporción de Ca (22-94%) se localiza en las paredes celulares (Spears, 1994). Otros minerales que se encontraron en cantidades elevadas en este estudio, y que pueden influir en la deficiencia de Mn son Fe y K (Lassiter *et al.*, 1972).

Las muestras de forraje de todos los rebaños mostraron concentraciones de Se por debajo del requerimiento mínimo para ganado caprino de 0.3 ppm recomendado por el NRC (2007). Esta deficiencia puede ser ocasionada por

deficiencias naturales de selenio en suelo, que provoca deficiencias en los forrajes (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001a). Además, debido a las altas cantidades de S que pueden presentar los suelos, por la ubicación geográfica de los rebaños, podría existir interferencia con la absorción del selenio por parte de las plantas. Las concentraciones de Se en los forrajes son generalmente un buen indicador en cuanto si una área puede clasificarse como selenodeficiente o como poseedora de altos niveles de Se disponible en el suelo (Rosemary, 1990). Sin embargo, Pastrana (1991) reportó que las concentraciones de Se en algunos suelos muestran poca relación con el contenido de Se en plantas desarrolladas en esos suelos. Finalmente, dentro de los forrajes, las leguminosas promueven una mayor deficiencia de Se que las gramíneas, debido a sus contenidos más altos de azufre y a la presencia de glucósidos cianogénicos (Whanger *et al.*, 1972).

Concentración mineral en suero sanguíneo

El nivel de significancia (probabilidad de los efectos rebaño, estado fisiológico y su interacción sobre la concentración mineral en suero sanguíneo se presentan en el Cuadro 8. Las medias de las concentraciones minerales en el suero sanguíneo se muestran en el Cuadro 9.

La concentración de calcio en suero sanguíneo de los animales no mostró diferencias ($P > 0.05$) por efecto de rebaño, estado fisiológico y su interacción. El nivel de Ca sérico encontrado en los animales de todos los rebaños está por debajo del rango normal (Cuadro 9), lo que indicaría un problema de

hipocalcemia o fiebre de leche (McDowell, 1997). Sin embargo, debido a que las muestras de forraje tuvieron niveles de Ca adecuados, la causa probable de la deficiencia de este mineral en los animales es el exceso de K que presentaron los forrajes. Underwood y Suttle (2003) mencionan que la incidencia de fiebre de leche aumenta con raciones ricas en K. Resultados similares de deficiencia de Ca sérico en ganado caprino en pastoreo fueron reportados por Vargas y Huerta (1996), donde el 96.8% de los animales (cabras adultas y cabritos) presentaron deficiencias severas de este mineral. Huerta (2003) indica que el 8% de los rumiantes de la región semiárida de México presentan deficiencias de Ca en suero sanguíneo.

El nivel de P en suero sanguíneo fue afectado ($P \leq 0.0008$) por el rebaño y estado fisiológico; mientras que la interacción de ambos efectos no fue importante ($P = 0.0790$). Existieron fluctuaciones en el nivel de P entre los seis rebaños desde 42.9 hasta 67.6 mg L⁻¹; sin embargo, en todos los rebaños los cabritos tuvieron contenidos de P sérico mayores que las cabras.

El P en suero sanguíneo se encontró dentro del rango adecuado en todos los rebaños estudiados, a pesar de que la mayoría de las muestras del forraje no contenían cantidades suficientes de P para cubrir los requerimientos de ganado caprino. Estos niveles aparentemente adecuados de P pudieron deberse a una hemólisis ocasionada por una deficiencia de Cu muy marcada en todos los animales, que provoca la liberación de P al torrente sanguíneo. Berner (1997) menciona que cuando hay una desintegración de los glóbulos rojos (hemólisis)

se libera fósforo. Resultados similares de niveles normales de P sérico y deficiencias de Cu, han sido reportados en otros estudios de caprinos en México (Romero y Huerta, 1990; Muñoz, 2005; Cruz *et al.*, 2006). Otros factores que incrementan la concentración de P en suero sanguíneo son ayuno, bajo consumo de energía, suplementación fosforada, exposición al frío, deshidratación y excitación del animal (Huerta, 1999).

La relación Ca:P también fue afectada ($P \leq 0.008$) por los efectos principales, pero no influyó ($P = 0.823$) su interacción. La relación Ca:P sérica de los rebaños se encontró entre 1.1 y 1.7; no obstante, las cabras tuvieron las relaciones Ca:P más altas en comparación con los cabritos.

Lu y Potchoiba (1991) encontraron relaciones de Ca:P de 0.75:1 y 1.3:1 en hembras y machos de las razas alpina y nubia, respectivamente, desde los tres hasta los ocho años de edad; y la relación de 1.4:1 en la etapa de mantenimiento de 10 a 50 kg de peso en la raza nubia. Mientras que Plummer (1988) encontró relaciones de 1.5:1 y 2:1 considerando a esta última como la óptima, sugiriendo tener cuidado con el exceso de fósforo ya que éste provoca la formación de cálculos renales; sin embargo, también observó que la relación 3:1 la soportaban los sementales pero causaban problemas en las hembras.

El efecto rebaño, estado fisiológico y su interacción no fue importante ($P > 0.05$) para la concentración de Mg en suero sanguíneo de los animales. Los niveles de Mg sérico se encontraron dentro del rango normal recomendado por Puls (1988) que va de 18 a 35 mg L⁻¹ (a excepción de un rebaño que presentó una

concentración promedio de 16.6 mg L^{-1}). El buen estatus de Mg encontrado en la mayoría de los animales se debe al adecuado contenido de este mineral en el forraje, ya que de acuerdo con el NRC (2007) el mantenimiento de la concentración normal de Mg en sangre depende en gran medida de la absorción del Mg dietético. No obstante, el consumo de forrajes con exceso de K así como la ingestión de aluminio en el suelo puede interferir con la absorción de Mg en los animales.

La concentración sérica de Na no fue afectada ($P>0.05$) tanto por los dos efectos principales como por su interacción (Cuadro 8). Todos los animales presentaron deficiencia de Na en suero sanguíneo, lo que se debe a la baja concentración de este mineral en el suelo y forraje, así como a la ausencia de una suplementación con sal común en todos los rebaños. Morris (1980) menciona que el análisis de Na en suero no es buen indicativo del estado nutricional de Na en el animal, ya que los signos clínicos por su deficiencia aparecen sin presentar un descenso importante en su concentración sérica. Sin embargo, en los estudios realizados en México se ha encontrado coincidencia con el contenido de los forrajes, excepto en explotaciones donde existen antecedentes de suplementación (Huerta, 1999).

El K en suero sanguíneo mostró diferencias ($P\leq 0.002$) por efecto de rebaño y estado fisiológico, mientras que no influyó ($P=0.066$) su interacción. El nivel de K sérico tuvo variaciones de hasta 27.7% entre las diferentes concentraciones

mostradas en los seis rebaños. Sin embargo, el nivel de K fue mayor en cabritos que en cabras adultas.

Las concentraciones de K en el suero sanguíneo de todos los animales estuvieron por arriba del rango normal que va de 150 a 200 mg L⁻¹ (Kaneko, 1989), lo que se pudo deber a niveles adecuados que presentó este mineral en el forraje. Además, la deficiencia generalizada de Na que presentaron los animales, también pudo ocasionar que se incrementara el K sérico con el fin de tratar de cubrir dicha deficiencia. Morris y Murphy (1972) mencionan que en deficiencias severas de Na, ocurren pequeñas depresiones de Na en suero, acompañadas de un incremento en K.

El nivel sérico de Cu en los caprinos no fue diferente ($P>0.05$) por efecto del estado fisiológico y su interacción, pero sí fue afectado ($P<0.0001$) por el rebaño. El contenido de Cu sérico fue deficiente en los animales de todos los rebaños y se encontró en los rangos de 0.36 a 0.55 mg L⁻¹. Resultados similares de deficiencia de Cu en ganado caprino se han obtenido en la región centro y norte de México (Romero y Huerta, 1990; Bravo y Martínez, 1995; Vargas y Huerta, 1996; Muñoz, 2005). La deficiencia de Cu en el ganado del presente estudio es resultado del escaso contenido de este mineral en los forrajes, y puede estar siendo empeorada por los altos niveles de Fe, pues dietas con altos niveles de Fe interfieren con la absorción del Cu (Gengelbach *et al.*, 1994). También, los altos niveles de Ca en suelo y forrajes, podrían explicar esta deficiencia cúprica, ya que el exceso de Ca puede afectar

adversamente la disponibilidad de Cu para los rumiantes (ARC, 1980). Aunado a lo anterior, el exceso de S y Mo afectan considerablemente la absorción del Cu, además de que pueden afectar su metabolismo en el animal (NRC, 2007). Por último, Solaiman *et al.*, (2006) mencionan que la concentración de Cu en suero fluctúa con la edad, nivel de estrés e incidencia de infecciones en los animales.

Las concentraciones de Fe en suero sanguíneo fueron afectadas ($P \leq 0.0005$) por el rebaño y estado fisiológico, mientras que su interacción no influyó ($P = 0.054$). La fluctuación más alta encontrada entre el nivel menor y mayor de Fe sérico dentro de los seis rebaños fue de apenas 20%, sin embargo, los cabritos presentaron un contenido de Fe sérico estadísticamente superior al de las cabras adultas.

El análisis de forraje de este estudio mostró concentraciones de Fe de 2.5 a 7 veces más del requerimiento para ganado caprino, lo que explica los adecuados contenidos de Fe sérico que tuvieron los animales. Niveles adecuados de Fe en suero sanguíneo se han encontrado en otros estudios de ganado caprino en México (Mejía *et al.*, 1988; Rodríguez *et al.*, 1989; Vargas y Huerta, 1996; Cruz *et al.*, 2006). Huerta (2003) menciona que la concentración de Fe en la gran mayoría de los forrajes es suficiente para satisfacer las necesidades de rumiantes en pastoreo, razón por la cuál es poco factible la presentación de la deficiencia. Sin embargo, Kawas (2003) indica que en suelos alcalinos ($\text{pH} > 8$)

del norte de México la disponibilidad de algunos elementos como Fe, Zn y Mn se reduce pudiendo ocasionar deficiencias de Fe en los animales.

Los niveles de Zn en el suero sanguíneo del ganado no cambiaron ($P>0.05$) por efecto del estado fisiológico y su interacción con rebaño, sólo fueron diferentes ($P<0.0001$) por efecto del rebaño. Los bajos niveles de Zn encontrados en los forrajes de los seis rebaños en estudio, pueden explicar la deficiencia de este mineral que presentaron todos los animales. Resultados similares de deficiencia de Zn se han encontrado en otras explotaciones de caprinos en México tanto en animales adultos como en jóvenes (Romero y Huerta, 1990; Bravo *et al.*, 1995; Mellado *et al.*, 2006). En un estudio realizado por etapa fisiológica en cabras criollas de México, Rodríguez *et al.* (1987) reportaron concentraciones de zinc en el suero sanguíneo de 0.41 ppm en no gestantes, 0.24 ppm en gestantes y 0.34 ppm después del parto. Por otra parte, Pond y Wallace (1986) mencionan que dietas altas en Ca pueden reducir también las concentraciones séricas de Zn en los rumiantes. Las enfermedades o el estrés tienden a deprimir transitoriamente las concentraciones de Zn en suero sanguíneo (Kincaid, 1999).

La concentración de Se sérico no varió ($P>0.05$) por efecto del estado fisiológico ni por la interacción rebaño y estado fisiológico, sólo mostró diferencias ($P=0.0002$) por rebaño. Sin embargo, en las seis explotaciones, todos los animales mostraron niveles de Se en suero por debajo de lo normal, ocasionados por deficiencias naturales de este mineral en el suelo y forraje de la región. Resultados similares de deficiencia de Se han sido reportados en

ganado caprino del altiplano mexicano (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001a; Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001b; Cruz *et al.*, 2006). Por otra parte, el consumo de forrajes altos en S y Mo tienen un efecto competitivo en la absorción de Se, ocasionando una incidencia mayor de deficiencia de Se en los animales (MacDonald *et al.*, 1976); lo que también puede explicar los bajos niveles de Se sérico encontrados en el ganado de este trabajo. Además, dietas altas en Ca han mostrado afectar negativamente la absorción de Se (Gerloff, 1992). Finalmente, a pesar de no encontrar diferencias del nivel de Se entre cabras adultas y cabritos, Stow y Herdt, (1992) mencionan que es importante conocer la edad de los animales con los cuales se trabaja, ya que los niveles normales de Se en suero presentan un incremento gradual con la edad, lo que puede llevar a errores en la interpretación de los resultados.

Cuadro 8. Nivel de significancia (probabilidad) para las variables rebaño y estado fisiológico con respecto a la concentración mineral en suero sanguíneo.

Fuente de variación	Ca	P	Mg	Na	K	Cu	Fe	Zn	Se	Ca:P
Rebaño	0.707	0.0008	0.225	0.486	0.002	<0.0001	0.0005	<0.0001	0.0002	0.008
Estado fisiológico	0.872	<0.0001	0.642	0.813	0.003	0.818	<0.0001	0.054	0.211	0.001
Rebaño*Edo. fisiológico	0.242	0.0790	0.141	0.188	0.066	0.494	0.054	0.812	0.082	0.823

Cuadro 9. Concentración mineral en suero sanguíneo de cabras lecheras y cabritos (medias de cuadrados mínimos) de seis rebaños de la región de los Llanos de San Juan, Puebla.

Mineral	Rebaño ¹						EEM ²	Estado fisiológico ¹		EEM ²	Normal ³
	1	2	3	4	5	6		Cabra	Cabrito		
Ca, mg L ⁻¹	68.4 ^a	72.3 ^a	65.7 ^a	64.2 ^a	63.1 ^a	64.6 ^a	3.86	66.4 ^a	65.9 ^a	2.23	80-120
P, mg L ⁻¹	59.7 ^{ab}	64.9 ^a	62.7 ^a	67.6 ^a	60.3 ^{ab}	42.9 ^b	4.28	51.6 ^b	68.7 ^a	2.50	40-60 ⁴ y 60-90 ⁵
Mg, mg L ⁻¹	18.1 ^a	20.4 ^a	18.3 ^a	19.5 ^a	16.6 ^a	20.3 ^a	1.16	19.1 ^a	18.8 ^a	0.67	18-35
Na, mg L ⁻¹	2383 ^a	2403 ^a	2424 ^a	2534 ^a	2356 ^a	2480 ^a	69.13	2437 ^a	2431 ^a	39.69	3200-3500
K, mg L ⁻¹	295 ^{ab}	329 ^a	264 ^b	267 ^b	258 ^b	280 ^{ab}	14.33	268 ^b	296 ^a	8.25	150-200
Fe, mg L ⁻¹	2.0 ^a	1.9 ^{ab}	1.6 ^b	1.8 ^{ab}	1.8 ^{ab}	1.6 ^b	0.08	1.6 ^b	2.0 ^a	0.05	1.0-2.5
Cu, mg L ⁻¹	0.45 ^{abc}	0.43 ^{bc}	0.55 ^a	0.36 ^c	0.49 ^{ab}	0.36 ^c	0.03	0.44 ^a	0.43 ^a	0.02	0.8-1.5
Zn, mg L ⁻¹	0.47 ^{ab}	0.42 ^{abc}	0.43 ^{abc}	0.32 ^c	0.51 ^a	0.38 ^{bc}	0.03	0.40 ^a	0.44 ^a	0.02	1.1-2.5
Se, ng mL ⁻¹	44 ^{bc}	65 ^a	36 ^c	57 ^{ab}	38 ^c	49 ^{abc}	4.21	50 ^a	45 ^a	2.41	100-115
Ca:P	1.26 ^{ab}	1.20 ^{ab}	1.11 ^b	1.10 ^b	1.13 ^b	1.70 ^a	0.13	1.41 ^a	1.05 ^b	0.07	1.0-2.0

¹Medias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (P<0.05; Tukey).

²Error estándar de la media. ³ Niveles normales en suero sanguíneo (NRC, 2007; Kaneko, 1989; McDowell, 1985; Ahmed *et al.*, 2001; Morand-Fehr, 1981; Harris, 1987). ⁴ En animales adultos. ⁵ En animales jóvenes.

Concentración mineral en leche

La concentración de los minerales determinados en las muestras de leche en seis rebaños caprinos de la región de los Llanos de San Juan, Puebla se presenta en el Cuadro 10. Ninguno de los minerales estudiados presentó diferencia ($P>0.05$) a través de los rebaños.

Cuadro 10. Medias de cuadrados mínimos para la concentración mineral en leche de cabra en seis rebaños de la región de los Llanos de San Juan, Puebla.

Minerales	Rebaño						EEM ¹	Pr>F
	1	2	3	4	5	6		
Ca, g L ⁻¹	1.70	1.56	1.54	1.65	1.24	1.75	0.150	0.26
P, g L ⁻¹	1.55	1.37	1.32	1.60	1.11	1.39	0.134	0.18
Mg, g L ⁻¹	0.22	0.19	0.16	0.16	0.16	0.24	0.022	0.06
Na, g L ⁻¹	0.48	0.33	0.40	0.31	0.32	0.43	0.043	0.06
K, g L ⁻¹	1.10	1.67	1.44	1.48	1.55	1.22	0.153	0.11
Cu, mg L ^{-1*}	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	-----	-----
Fe, mg L ⁻¹	2.10	2.31	1.89	2.38	2.12	2.37	0.340	0.87
Se, ng mL ⁻¹	8.93	8.34	8.73	9.22	9.02	9.14	0.476	0.84
Zn, mg L ⁻¹	3.90	3.34	3.21	3.66	3.28	3.47	0.350	0.07
Rel. Ca:P	1.07	1.15	1.18	1.10	1.13	1.25	0.068	0.51
Rel. Na:K	0.36	0.20	0.29	0.23	0.22	0.36	0.046	0.08

¹Error estándar de la media.

*Menor a 0.3 mg L⁻¹ debido a que en algunas muestras no se detectó cobre.

Es importante mencionar que las concentraciones de minerales en la leche de cabras, pueden no fluctuar mucho, pero estas varían dependiendo de la raza, dieta, etapa de lactación y estado de salud de la ubre (Park y Chukwu, 1988). Las concentraciones de Ca y P en las muestras de leche de la mayoría de los

rebaños estudiados estuvo por arriba de los niveles promedio reportados por varios autores (1.4 y 1.2 g L⁻¹: Morin *et al.*, 1995; 1.3 y 0.97 g L⁻¹: Guéguen, 1997; 1.5 y 1.3 g L⁻¹: Guo *et al.*, 2004; 1.29 y 0.98 g L⁻¹: Schmidely *et al.*, 2002; 1.34 y 1.21 g L⁻¹: Park *et al.*, 2007); pero por debajo de los valores encontrados por Berhane y Eik (2006) de 1.78 y 1.88 g L⁻¹, correspondientes a muestras de leche de cabras tipo lechera y cárnica, respectivamente. Meschy (2000) estableció que existe una disminución del contenido de Ca y P de la leche con el avance de la lactación. Por otra parte, Schmidely *et al.* (2002) establecieron que un alto contenido de proteína en la dieta, podría incrementar el nivel de Ca en leche, ya que 60 a 70% del Ca en leche está representado por fosfocaseinato de calcio. Además, se ha observado una relación importante entre el contenido de Ca, P y porcentaje de grasa en la leche de cabra durante varias etapas de la lactación (AFRC, 1998). En relación con el efecto de la salud de la ubre sobre los niveles de Ca y P, Bianchi *et al.* (2004) reportaron que altos conteos de células somáticas (CCS) incrementan la concentración de Ca en leche; mientras que el contenido de P soluble y total en leche no fue afectado por el CCS (Pellegrini *et al.*, 1997).

Los niveles de Mg y Na de las muestras de leche analizadas fueron similares a los encontrados en otros estudios (0.2 y 0.4 g L⁻¹: Morin *et al.*, 1995; 0.11 y 0.38 g L⁻¹: Guéguen, 1997; 0.16 y 0.67 g L⁻¹: Guo *et al.*, 2004; 0.16 y 0.41 g L⁻¹: Park *et al.*, 2007); no obstante, Khan *et al.*, (2006) reportó un nivel de Mg en leche de cabra de hasta 2.7 veces menor a los encontrados en este estudio. En contraste, la concentración de K de la leche producida en todos los rebaños fue

menor a valores indicados por otros autores (1.7 g L^{-1} : Voutsinas *et al.*, 1990; 1.9 g L^{-1} : Gajewska *et al.*, 1996; 1.9 g L^{-1} : Guéguen, 1997; 1.8 g L^{-1} : Park *et al.*, 2007). Voutsinas *et al.* (1990) mencionan que con el avance de la lactancia el contenido de Mg y Na se incrementan mientras que los contenidos de K disminuyen significativamente; la disminución de K y citrato, y el mantenimiento o aumento del nivel de Na y lactosa en leche es indispensable para mantener la presión osmótica de la leche (Park *et al.*, 2007). En cabras con presencia de mastitis, el K se escapa de la leche a través de la ruptura del epitelio de la glándula mamaria y su concentración disminuye (Raynal-Ljutovac *et al.*, 2007). Contrariamente, el Na que está presente en la sangre en altos niveles, se filtra, y su concentración en leche se incrementa cambiando de 0.351 a 0.538 g L^{-1} en cabras con bajos y altos CCS, respectivamente (Raynal-Ljutovac *et al.*, 2007).

El contenido de Fe de la leche producida en todos los rebaños fue superior a los niveles citados por otros autores (1.04 mg L^{-1} : Salih *et al.*, 1987; 0.4 mg L^{-1} : Morin *et al.*, 1995; 0.5 mg L^{-1} : Gajewska *et al.*, 1996; 0.46 mg L^{-1} : Guéguen, 1997; 0.7 mg L^{-1} : Park *et al.*, 2007). El contenido de Fe en la leche es tan bajo, que los productos lácteos usados como alimentos son pobres en este elemento si se compara con la mayoría de los alimentos (Underwood y Suttle, 2003). Por otra parte, los valores más altos de disponibilidad de Fe se atribuyen a la leche debido a que el Fe presente se encuentra en forma de una glicoproteína altamente absorbible, la lactoferrina, acompañada por dos activadores de la absorción del Fe, citrato y lactosa (Lonnerdal, 1988). Sin embargo, el Fe unido a

lactoferrina no es absorbido bien por todas las especies (Underwood y Suttle, 2003).

En las muestras de leche colectadas, las concentraciones de Cu, Zn y Se no presentan fluctuaciones importantes a través de los rebaños. Khan *et al.* (2006) evaluaron el contenido mineral en leche de cabras durante dos estaciones del año y reportaron concentraciones promedio de Cu, Zn y Se (0.35 mg L^{-1} , 3.5 mg L^{-1} y 14 ng mL^{-1} , respectivamente) superiores a la mayoría de los valores mencionadas en este trabajo. Park *et al.* (2007) proporcionaron niveles promedio en leche de cabra de 0.5 y 5.6 mg L^{-1} para Cu y Zn, y de 13.3 ng mL^{-1} para Se, los cuales son mayores a los encontrados en este estudio.

Park y Chukwu (1988) mencionan que la leche producida por la raza Anglo-Nubia contiene niveles significativamente mayores de Cu y Zn que los de la leche de la raza Alpina francesa. Mientras que el contenido de Se en la leche de cabra junto con la humana, contienen niveles más altos de Se que la leche de vaca (Park *et al.*, 2007). Además, cantidades pequeñas de Se (<3%) están asociadas con la fracción lipídica de la leche.

Composición química de la leche de cabra

La composición química determinada en la leche de cabra producida en seis rebaños caprinos de la región de los Llanos de San Juan, Puebla se presenta en el Cuadro 11.

Las proporciones de urea, caseína, proteína, lactosa, sólidos totales (ST), ácido cítrico, así como la acidez y el punto crioscópico (crioscopia) fueron diferentes entre rebaños ($P<0.05$); mientras que los porcentajes de grasa, sólidos no grasos (SNG), ácidos grasos libres (AGL) y densidad fueron similares ($P>0.05$).

Cuadro 11. Medias de cuadrados mínimos para la composición química de la leche de cabra en seis rebaños de la región de los Llanos de San Juan, Puebla.

Compuesto	Rebaño ¹						EEM ²	Pr>F
	1	2	3	4	5	6		
Urea, %	0.06 ^{ab}	0.05 ^b	0.06 ^{ab}	0.07 ^{ab}	0.08 ^a	0.07 ^{ab}	0.006	0.021
Grasa, %	7.02 ^a	6.24 ^a	8.10 ^a	6.55 ^a	6.00 ^a	8.00 ^a	0.600	0.059
Caseína, %	4.44 ^{ab}	3.56 ^{ab}	3.45 ^{ab}	3.84 ^{ab}	3.28 ^b	4.88 ^a	0.346	0.016
Proteína, %	6.00 ^{ab}	4.58 ^{ab}	4.18 ^b	4.82 ^{ab}	4.11 ^b	6.34 ^a	0.503	0.012
Lactosa, %	3.48 ^b	4.06 ^{ab}	4.38 ^a	4.27 ^a	4.32 ^a	3.85 ^{ab}	0.186	0.012
Sólidos totales, %	17.45 ^{ab}	15.84 ^{ab}	17.66 ^{ab}	16.57 ^{ab}	15.46 ^b	19.35 ^a	0.883	0.049
SNG, %	10.31 ^a	9.60 ^a	9.40 ^a	10.00 ^a	9.30 ^a	11.14 ^a	0.447	0.060
Acido cítrico, %	0.04 ^c	0.10 ^a	0.08 ^{abc}	0.07 ^{abc}	0.09 ^{ab}	0.05 ^{bc}	0.010	0.003
Densidad, g/mL	1.030 ^a	1.030 ^a	1.028 ^a	1.031 ^a	1.030 ^a	1.031 ^a	1.030	0.329
Crioscopia, °C	-0.61 ^{ab}	-0.56 ^b	-0.57 ^{ab}	-0.58 ^{ab}	-0.54 ^b	-0.72 ^a	0.035	0.018
AGL, mmol/10 L	0.92 ^a	0.71 ^a	0.79 ^a	0.79 ^a	0.98 ^a	0.66 ^a	0.181	0.811
Acidez, °D	25.3 ^a	17.9 ^a	15.0 ^b	18.2 ^a	16.4 ^b	29.5 ^a	2.846	0.005

¹Medias en la misma hilera, sin una literal en común son diferentes ($P<0.05$; Tukey).

²Error estándar de la media.

Las concentraciones de urea en leche encontradas en todos los rebaños estudiados fueron similares a las mencionadas por el AFRC (1998), cuyos valores comprenden de 0.061 a 0.078%. Sin embargo, Min *et al.* (2005) reportaron concentraciones de urea en leche entre 0.016 a 0.022% para cabras de la raza alpina; mientras que Morand-Fehr *et al.* (2007) presentaron niveles

de urea en leche de la raza Sarda que oscilaban de 0.032 a 0.063%. Rajala-Schultz *et al.* (2001) mencionan que el nitrógeno ureico en leche (NUL) puede ser utilizado como una herramienta para monitorear la eficiencia de alimentación, la relación energía proteína en la dieta y el estado de salud del animal en vacas lecheras. El promedio de NUL para vacas lecheras fue de 12.6 mg dL⁻¹ (Rajala-Schultz *et al.*, 2001), pero en el presente estudio el NUL de la leche producida en los seis rebaños osciló de 23 a 37 mg dL⁻¹, y fue similar al encontrado en otros trabajos (Brown-Crowder *et al.*, 2001; Min *et al.*, 2005). Buttler (1998) reportó que concentraciones de NUL de cerca de 19 mg dL⁻¹ se asociaba con alteración del pH uterino y reducción de la fertilidad en vacas lecheras. El nivel óptimo de NUL no ha sido determinado para cabras lecheras, pero estos valores parecen ser más altos que para vacas lecheras (Rajala-Schultz *et al.*, 2001).

El contenido de grasa, proteína, y ST de este estudio fueron superiores a los estimados por Huerta (2007; comunicación personal) de una recopilación de diversos trabajos, cuyos valores fueron de 4.1, 3.3, y 13%, respectivamente. Mientras que la concentración de lactosa de este trabajo fue menor que la indicada por el mismo autor, cuyo valor fue de 4.5%. También Guo *et al.* (2004) determinaron concentraciones de grasa, proteína, lactosa y ST de 3.61, 3.57, 4.47 y 12.3%, respectivamente. En contraste, Berhane y Eik (2006) reportaron valores similares a los de este estudio para grasa, proteína y ST de 7.87, 4.8 y 17.2%, respectivamente. Además, laschi *et al.*, (2004) al analizar leche de las razas Boer y Feral entre la semana cuatro y seis de lactación determinaron

niveles en intervalos parecidos a los de esta investigación de grasa, proteína y lactosa (2.3-14.9, 2.9-6.7 y 4.5 a 6.0 %, respectivamente). Por otra parte, en leche de cabras criollas alimentadas en un sistema semiextensivo de México se determinaron contenidos para grasa, proteína y ST de 4.22, 4.3 y 13.97%, respectivamente (Torres *et al.*, 1995).

Albenzio *et al.* (2006) mencionan que la composición de la leche de cabra varía por factores como la raza, etapa de lactación, estación climática y número de parto. En este sentido, Prasad *et al.* (2005) indican que los contenidos de grasa, proteína, lactosa y ST son altos al inicio de la lactación, descienden alrededor del pico de lactación, y se incrementan al final del mismo periodo (excepto lactosa que tiende a disminuir). Lo anterior se debe a que existe una relación inversa entre la cantidad de leche producida y la concentración de componentes de la misma (Eknæs *et al.*, 2006).

Por otra parte, a medida que aumenta el número de parto los porcentajes de grasa, proteína, lactosa y ST se reducen gradualmente (Prasad *et al.*, 2005). Sin embargo, después del quinto parto, no existen más reducciones y mucho de la disminución de ST se debe a la caída en la concentración de lactosa (Degen, 2007). Los cambios mencionados anteriormente, parecen ser el resultado del deterioro normal de la ubre o de una mayor prevalencia de problemas de mastitis conforme los animales tienen mayor edad (Leitner *et al.*, 2004).

Los porcentajes de SNG en las muestras de leche de los seis rebaños estudiados fueron mayores a los reportados por Simos *et al.* (1991) de 8.9% en

promedio. Berhane y Eik (2006) reportaron contenidos para SNG de entre 8.3 a 10.2%, los cuales son parecidos a los obtenidos en las muestras de leche de este estudio. Por otra parte, Clark y Sherbon (2000) publicaron valores de SNG de acuerdo con el genotipo de las cabras, donde la leche de la raza Nubia presentó el mayor porcentaje (9.01%), seguida de las razas La Mancha, Saanen, Alpina y Toggenburg (8.7, 8.3, 8.1 y 7.6%, respectivamente). Además, Voutsinas *et al.* (1990) mencionan que los SNG se incrementan conforme avanza la lactación; por lo que está negativamente correlacionado con la producción de leche (Greyling *et al.*, 2004).

Las concentraciones de caseína encontradas en este estudio son mayores a las reportadas en otros estudios (2.3-2.6% Sanz-Sampelayo *et al.*, 1998; 1.9% Khaled *et al.*, 1999; 2.7%: Fernández *et al.*, 2004; 2.9%: Albenzio *et al.*, 2006). La caseína es llamada frecuentemente la proteína del queso, ya que las moléculas de caseína (micelas de caseína) son responsables de la formación de la estructura del queso (Soryal *et al.*, 2005). Guo *et al.*, (2001) mencionan que la leche de verano tiene mayor potencial para la producción de queso, ya que contiene una alta proporción de caseína y una mayor cantidad de ésta se relaciona con el contenido de grasa. Por otra parte, la leche producida por cabras alpinas es la que posee el mayor contenido de caseína comparada con leche de las razas La Mancha, Saanen, Alpina y Toggenburg (Clark y Sherbon, 2000). Soryal *et al.* (2005) reportaron que la leche de cabras Nubia produjo 60% más queso que la leche de la raza Alpina, lo que se debió a que la leche de las cabras nubia tuvo 58% más caseína que la de la raza Alpina.

La acidez en la mayoría de las muestras de leche fue superior a la reportada por Voutsinas *et al.* (1990) de 16.6° D y Chacón (2004) de 17.7° D, lo que pudo ser resultado de la variación en el contenido de proteína, pues ésta contribuye a la acidez natural de la leche (con base en las medias reportadas en el Cuadro 11, $R^2= 0.97$, $P<0.001$). La acidez de la leche es un criterio muy importante de calidad. Por lo general posee un valor de pH cercano a la neutralidad y que varía entre 6.5 y 6.8 (Park *et al.*, 2007). La acidez porcentual expresada como ácido láctico varía entre 0.14 a 0.23% en la leche fresca (Park *et al.*, 2007), tolerándose un máximo de 0.18% (Herrera, 1995). En la industria, la acidez de la leche puede medirse en grados Dornic (°D), donde un valor de 19 °D es comúnmente el máximo de acidez tolerable para el procesamiento posterior de la leche (Chacón, 2004).

La densidad de las muestras de leche de todos los rebaños se encontró dentro del intervalo normal de 1.029 a 1.039 g mL⁻¹ reportado por Park *et al.* (2007). La densidad es una característica de la leche que presenta poca variación, siempre y cuando la leche sea pura, esto es, que no se le haya adicionado agua o que no provenga de cabras enfermas por mastitis. Chacón (2004) menciona que la densidad es una medición directa de la concentración de sólidos en la leche, y que una densidad menor a 1.029 puede ser un indicador de adulteración con agua.

El punto de congelamiento de la leche (crioscopia) de los seis rebaños en estudio se ubicó en el rango normal de -0.540 a -0.573 °C reportado por Park *et*

al. (2007). Sánchez *et al.*, (2005) reportaron puntos de congelamiento de leche de cabra en un rango de -0.564 a -0.590 °C, al evaluar diferentes tratamientos de preservación de la leche. La crioscopia es la característica más constante de la leche y se utiliza para detectar adulteraciones con agua. Si el punto crioscópico está por encima de -0.540 °C indica que la leche ha sido adulterada con agua. Por otra parte, los constituyentes solubles (lactosa y sales) determinan el punto de congelación y son los responsables para que éste sea menor que el del agua (Spreer, 1991).

Los contenidos de AGL en la leche producida de todos los rebaños son inferiores al nivel que se considera como tolerable (2 mmol L⁻¹: Eknæs *et al.*, 2006). Los AGL han sido ligados con el sabor propio de la leche de cabra, observándose correlación positiva entre su contenido y el sabor del queso; así, la degradación de los ácidos grasos origina cetoácidos y cetonas que son componentes importantes para el aroma y sabor del queso de cabra (Chacón, 2004). Los AGL presentes en la leche cruda se generan por la hidrólisis enzimática de la grasa láctea, proceso comúnmente denominado lipólisis (Sábido *et al.*, 2004) Taverna *et al.* (2001) reportaron diferencias significativas (P<0.01) en el contenido de AGL en leche de vaca entre muestras provenientes de ordeño matutino y vespertino. La velocidad de desarrollo de la lipólisis es mayor en la leche ordeñada en la tarde, pudiendo asociar este comportamiento al mayor contenido de grasa de la leche de la tarde (3.77 mg/100 mL de leche) que la de la mañana (2.90 mg/100 mL de leche).

Las diferencias encontradas en la composición química de la leche de cabra de este estudio pudieron deberse a la variación que se tiene con el avance de la lactancia, pues las cabras muestreadas estaban en diferentes etapas de lactancia.

CONCLUSIONES

El estado mineral del suelo y forraje de los rebaños caprinos ubicados en la región de Los Llanos de San Juan, Puebla muestra niveles de sodio, cobre, zinc y selenio por debajo de los requerimientos mínimos, lo que provoca que el ganado caprino presente deficiencias importantes de estos elementos. Por lo anterior, se recomienda la suplementación con estos minerales para corregir las deficiencias encontradas.

Debido a que tanto las cabras adultas como los cabritos tuvieron niveles de calcio sérico por debajo del rango normal, conviene revisar la incidencia de fiebre de leche en los rebaños de la región.

La concentración de hierro, magnesio y potasio en las muestras de forraje y suero sanguíneo cumplen con el nivel mínimo recomendado, por lo que se debe evitar su adición a los suplementos minerales que se ofrezcan al ganado caprino, para evitar problemas de interferencia con otros minerales.

La leche producida en los rebaños estudiados muestra bajos niveles de cobre, zinc y selenio, lo que se debe a las deficiencias que presenta el suelo, el forraje y las cabras lecheras, por lo que se puede suponer que los cabritos que se alimenten con esta leche no cubrirán sus requerimientos de estos minerales.

Las cabras de los rebaños en estudio producen leche con altos niveles de grasa, proteína, caseína, sólidos totales, sólidos no grasos y acidez; mientras que el contenido de lactosa se encuentra por debajo del rango adecuado.

LITERATURA CITADA

- AFRC (Agricultural and Food Research Council). 1998. Technical Committee on Responses to Nutrients, Report 10. The nutrition of goats. Nutrition Abstracts and Reviews (Series B) 67(11). CAB International. London, UK. pp: 1-115.
- Ahmed, M. M. M., T. F. M. Hamed, and M. E. S. Barri. 2001. Variation of zinc and copper concentration in the plasma of Nubian goats according to physiological state. Small Rumin. Res. 39(2): 189-193.
- Albenzio, M., M. Caroprese, R. Marino, A. Muscio, A. Santillo, and A. Servi. 2006. Characteristics of Garganica goat milk and Cacioricotta cheese. Small Rumin. Res. 64: 35-44.
- Appelo, C. A. J., and D. Postma. 1999. Ground water and pollution. Rotterdam: Balkema. pp: 1-121.
- ARC, 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux (CAB). The Gresham Press, England.
- Baker, D. H., and C. B. Ammerman. 1995. Copper bioavailability. *In*: Ammerman, C. B., Baker, D. H., and Lewis, A. J. (Eds.). Bioavailability of Nutrients for Animals: Amino acids, Minerals, and Vitamins. Academic Press, San Diego.

- Barnes, T. G., L. W. Varner, L. H. Blankenship, T. J. Fillinger, and S. C. Heineman. 1990. Macro and trace mineral content of selected south Texas deer forages. *J. Range Manage.* 43: 220-223.
- Berhane, G., and L. O. Eik. 2006. Effect of vetch (*Vicia sativa*) hay supplementation on performance of Begait and Abergelle goats in northern Ethiopia I. Milk yield and composition. *Small Rumin. Res.* 64: 225-232.
- Berner, Y. N. 1997. Phosphorus. *In: Handbook of nutritionally essential mineral elements.* Boyd L. O'Dell and Rogers, A. S. (ED.), Marcel Decker, Inc. New York. 170 p.
- Bianchi, L., A. Bolla, E. Budelli, A. Caroli, C. Casoli, M. Pauselli, and E. Duranti. 2004. Effect of udder health status and lactation phase on the characteristics of Sardinian ewe milk. *J. Dairy Sci.* 87: 2401-2408.
- 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. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 68 p.
- Brown-Crowder, I. E., S. P. Hart, M. Cameron, T. Sahlu, and A. L. Goetsch. 2001. Effects of dietary tallow level on performance of Alpine does in early lactation. *Small Rumin. Res.* 39: 233-241.

- Brown, J. R. 1987. Soil testing: sampling, correlation, calibration and interpretation. Soil Science Society of America. Inc. SSSA. Special Publication, No. 21, Madison, Wisconsin, USA. 144 p.
- Butler, W. R. 1998. Optimizing protein nutrition for reproduction and lactation: A review. *J. Dairy Sci.* 81: 2533–2539.
- Cerrillo S., M. A., C. Nevárez G., R. G. Ramírez, L., A. Núñez G., G. García D., and A. S. Juárez, R. 2004. Mineral profile of diets consumed by range Spanish goats in a shrubland of North México. *In: Proceedings of the Abstracts of the 8th International Conference on Goats.* University of Pretoria, South Africa. July 4-9. pp: 117-119.
- Chacón V., A. 2004. Acidez y peso específico de la leche de cabra de un grupo de capricultores de la meseta central costarricense. *Mesoamerican Journal of Agronomy*, 15: 179-183.
- Charley, J. L. 1977. Mineral cycling in rangeland ecosystems. *In: Soseebe, R. E.* (Ed.), *Rangeland Plant Physiology.* Range Sci. Ser. No. 4. Society for Range Management, Denver, CO, pp: 215-256.
- Chase, C. R., D. K. Beede, H. H. Van Horn, J. K. Shearer, C. J. Wilcox, and G. A. Donovan, 2000. Responses of lactating dairy cows to copper source, supplementation rate, and dietary antagonist (iron). *J. Dairy Sci.* 83: 1845-1852.

- Clark, S., and J. W. Sherbon. 2000. $\text{Alpha}_{s1}\text{-casein}$, milk composition and coagulation properties of goat milk. *Small Rumin. Res.* 38: 123-134
- CNEM (Centro Nacional de Estudios Municipales). 1988. Enciclopedia de los municipios de México: los municipios de Puebla. Secretaría de Gobernación y Gobierno del Estado de Puebla, México.
- Cruz H., E. y M. Domínguez B. 2006. Determinación del estado mineral en cabras bajo condiciones de pastoreo en agostadero. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 49 p.
- Curtis, H., and N. S. Barnes. 2000. Procesos de transporte en las plantas. En: Shnek y Flores (Ed.), *Biología*, Sexta edición en español. Editorial Médica, Panamericana, pp: 982-1006.
- Degen, A. A. 2007. Sheep and goat milk in pastoral societies. *Small Rumin. Res.* 68: 7-19.
- Eknæs, M., K. Kolstad, H. Volden, and K. Hove. 2006. Changes in body reserves and milk quality throughout lactation in dairy goats. *Small Rumin. Res.* 63: 1-11.
- Fageria, N. K., V. C. Baligar, and C. A. Jones. 1997. Growth and mineral nutrition of field crops. 2nd edition, revised and expanded. NY, EUA. 624 p.

- Fernández C., G., P. Sánchez S., T. Sánchez A., E. Contreras A., and M. De la Fuente, J. 2004. Influence of betaine on milk yield and composition in primiparous lactating dairy goats. *Small Rumin. Res.* 52: 37-43.
- Fick, K. R., L. R. McDowell, H. P. Miles, S. N. Wilkinson, D. J. Funk, H. J. Conrad, and R. Valdivia. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Animal Science Department, University of Florida. Florida, USA. 98 p.
- Gajewska, R., M. Nabrzyski, Z. Ganowiak, and D. Kucharska. 1996. Evaluation of the health aspects of goat milk. *Rocz. Panstw. Zakl. Hig.* 47: 295-301.
- 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.
- Gerloff, B. J. 1992. Effect of selenium supplementation on dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 70: 3934-3940.
- Gill, W. W. y H. B. Rice. 1985. Factors affecting selenium status of forages. *Animal Nutrition and Health.* May, 1985: 26.
- Gorham, J. 1995. Sodium content of agricultural crops. In: Phillips, C. J. C., and Chiy, P. C. (Eds.) *Sodium in agriculture.* Chalcombe Publications, Canterbury, UK, pp: 17-32.

- Greyling, J. P. C., V. M. Mmbengwa, L. M. J. Schwalbach, and T. Muller. 2004. Comparative milk production potential of Indigenous and Boer goats under two feeding system in South Africa. *Small Rumin. Res.* 55: 97-105.
- Guéguen, L. 1997. La valeur nutritionnelle minérale du lait de chèvre. *In*: Freud, G. (Ed.), Intérêts nutritionnels et diététique du lait de chèvre. INRA, Niort, pp: 67-80.
- 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 milk. *J. Dairy Sci.* 84(Suppl.), E79-E83.
- Guo, M., Y. W. Park, P. H. Dixon, J. A. Gilmore, and P. S. Kindstedt. 2004. Relationship between the yield of cheese (Chevre) and chemical composition of goat milk. *Small Rumin. Res.* 52: 103-107.
- Gutiérrez O., E. 2003. Manejo para una suplementación eficiente de minerales a ganado en pastoreo. *In*: Memoria del Curso Suplementación Mineral de Ganado en Zonas Áridas y Semiáridas. Agosto de 2003. Monterrey, N.L. pp: 65-73.
- Harris, B. Jr. 1987. Feeding and management of dairy goats. FCES Publication No. 761, University of Florida, Gainesville, FL. USA. 101 p.
- Herrera C., A. 1995. Manual de laboratorio de química de alimentos San Pedro de Montes de Oca, San José. Ed. EQUIC. 100 p.

- Huerta B., M. 1999. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. *In: Memoria del II Seminario Internacional Estrategias de Suplementación a Bovinos en Pastoreo.* 28 y 29 de octubre. Chapingo, Edo. de México. pp: 153-184.
- Huerta B., M. 2003. Signos de deficiencia y respuestas a la suplementación mineral del ganado en pastoreo. *In: Memoria del Curso Suplementación Mineral de Ganado en Zonas Áridas y Semiáridas.* Agosto de 2003. Monterrey, N.L. pp: 48-64.
- Iaschi, S. P. A., J. Hui, F. N. Chong, A. Strange, M. Strange, R. Bencini, and G. K. Tay. Comparison of the milk quality of the south African Boer and Australian rangeland goats. *Small Rumin. Res.* 53: 181-184.
- Ivan, M., M. Hidiroglou, S. L. Al-Ismaily, H. S. Al-Sumry, and R. B. Harper. 1990. Copper deficiency and posterior paralysis (Shalal) in small ruminants in the sultanate de Oman. *Trop. Anim. Health Prod.* 22: 217-225.
- Kabata, P. A., and H. Pendias. 1992. Trace elements in soils and plants. CRC Boca Raton, Ann Arbor, London. pp: 78-226.
- Kallah, M. S., J. O. Bale, U. S. Abdullahi, I. R. Muhammad, and R. Lawal. 2000. Nutrient composition of native forbs of semi-arid and dry sub-humid savannas of Nigeria. *Anim. Fed. Sci. Technol.* 84: 137-145.
- Kaneko, J. J. 1989. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals.* 3rd Ed. New York, Academic Press.

- Kawas J., R. 2003. Importancia de los microminerales en la producción y salud del ganado. *In: Memoria del Curso Suplementación Mineral de Ganado en Zonas Áridas y Semiáridas*. Agosto de 2003. Monterrey, N.L. pp: 31-41.
- Kessler, J. 1991. Mineral nutrition of goats. *Goat Nutr.* 46: 104-119.
- Khaled, N. F., J. Illek, and S. Gadjdûsek. 1999. Interactions between nutrition, blood metabolic profile and milk composition in dairy goats. *Acta Vet. Brno.* 68: 253-258.
- Khan, Z. I., M. Ashraf, A. Hussain, L. R. McDowell, and A. M. Yaseen. 2006. Concentrations of minerals in milk of sheep and goats grazing similar pastures in a semiarid region of Pakistan. *Small Rumin. Res.* 65: 274-278.
- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. *Proceedings of the American Society of Animal Science*. pp: 1-10.
- Lassiter, J. W., W. J. Miller, F. M. Pate, and R. P. Gentry. 1972. Effect of dietary calcium and phosphorus on Mn metabolism following single tracer intraperitoneal and oral doses in rats. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 133: 345-348.
- Leitner, G., U. Merin, and N. Silanikove. 2004. Changes in milk composition as affected by subclinical mastitis in goats. *J. Dairy Sci.* 87: 1719-1726.

- Lonnerdal, B. 1988. Trace elements in infancy: a supply/demand perspective. *In*: Hurley, L. S., Keen, C. L., Lonnerdal, B., and Rucker, R. B. (Eds.). Proceedings of Sixth International Symposium on Trace Elements in Man and Animals. Plenum Press, New York, pp: 189-195.
- Lu, C. D., and M. J. Potchoiba. 1991. Nutrition and management of growing goats. American Institute for Goat Research. Langston University. Langston, Oklahoma. U.S.A.
- MacDonald, J. W., R. G. Christian, G. R. Whenham, and J. Howell. 1976. A review of some aspects of vitamin E – selenium responsive diseases with a note on their possible incidence in Alberta. *Can. Vet. J.* 17: 61–71.
- Mays, D. A., S. R. Wilkinson, and C. V. Cole. 1986. Phosphorus nutrition of forages. In the role of Phosphorus in agriculture. Ed. F. E. Khasawneh. ASA, CSSA, SSSA. Madison, Wisconsin, USA.
- Marschener, H. 1986. Mineral nutrition in higher plants. Academic Press.
- McDowell, L. R. 1985. Detection of mineral status of grazing ruminants. *In*: L. R. McDowell (Ed.) Nutrition of grazing ruminants in warm climates. Academic Press, Inc. Orlando. pp: 339-357.
- McDowell, L. R. 1992. Minerals in Animal and Human Nutrition. Academic press, San Diego. p. 524.

- McDowell, L. R. 1997. Minerals for grazing ruminants in tropical regions. 3rd Edition. Bulletin, University of Florida, Gainesville, FL, USA, 81 p.
- Mejía H., I., D. Rodríguez H., C. Pérez J. y J. Rodríguez L. 1988. Evaluación de minerales en suelo, forraje y ganado caprino en el municipio de Zaragoza, Coahuila. *In*: Memoria del Primer Congreso Internacional de Producción Caprina. Torreón, Coah., México. pp: 826-829.
- Mellado M. S. Rodríguez C., R. López A., and A. Rodríguez F. 2006. Relation among milk production and composition and blood profiles and fecal P and nitrogen in goats on rangeland. *Small Rumin. Res.* 65: 230-236.
- Meschy, F. 2000. Recent Progress in the assessment of mineral requirements of goats. *Livest. Prod. Sci.* 64: 9-14.
- Miller, J. K., N. Ramsey, and F. C. Madsen. 1988. The trace elements in the ruminant animal; digestive physiology and nutrition, D. C. Church, ed. Englewood Cliffs. NJ: Prentice-Hall. pp: 343-400
- Min, B. R., S. P. Hart, T. Sahlu, and L. D. Satter. 2005. The effect of diets on milk production and composition, and on lactation curves in pastured dairy goats. *J. Dairy Sci.* 88: 2604-2615.
- Minson, D. J. 1990. Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press, Inc. San Diego, California. 483 p.

- Morand-Fehr, P. 1981. Nutrition and feeding of goat- application to temperature climatic condition. *In*: Gall. C. (Ed.), Goat Production. Academic Press, London, UK. pp: 193-232.
- Morand-Fehr, P., V. Fedele, M. Decandia, and Y. Le Frileux, 2007. Influence of farming and feeding systems on composition and quality of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.* 68: 20-34.
- Morin, D. E., L. L. Rowan, W. L. Hurley, and W. E. Braselton. 1995. Composition of milk from llamas in the United States. *J. Dairy Sci.* 78: 1713-1720.
- Morris, J. G. 1980. Assessment of sodium requirements of grazing beef cattle: A review. *J. Anim. Sci.* 50: 145-152.
- Morris, J. G., and G. W. Murphy. 1972. The sodium requirements of beef calves for growth. *J. Agric. Sci.* 78: 105-108.
- Moya, R. J. G., R. G. Ramírez L., R. Foroughbachkch, Hauad, L. A., and H. González R. 2002. Variación estacional de minerales en las hojas de ocho especies arbustivas. *Ciencia UANL*. Vol. 1: 59-65.
- Muñoz G., J. C. 2005. Estudios en minerales para pequeños rumiantes y su ambiente en el estado de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 119 p.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th revised edition. National Academy Press. Washington, D. C. 381 p.

- NRC. 2005. Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition. Committee on Minerals and Toxic Substances in Diets and Water for Animals. National Academy Press. Washington, D. C. 510 p.
- NRC. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. The National Academy Press. Washington, D. C. 345 p.
- Olivares S., E. y E. Gutiérrez O. 2003. Flujo de minerales en agua, suelo y planta. *In: Memoria del Curso Suplementación Mineral de Ganado en Zonas Áridas y Semiáridas*. Agosto de 2003. Monterrey, N.L. pp: 11-21.
- Ordoñez R., J. A., V. Velázquez O. y R. Rosiles M. 1990. Niveles de Se, Cu y Co en suelo y forraje y su importancia sobre los problemas de deficiencia en corderos alimentados bajo condiciones de pastoreo en San Felipe del Progreso, Estado de México. *In: Memoria del III Congreso Nacional de Producción Ovina*. Tlaxcala, Méx. pp: 92-95.
- Park, Y. W., and H. I. Chukwu. 1988. Macro-mineral concentrations in milk of two goat breed at different stages of lactation. *Small Rumin. Res.* 1: 157-165.
- Park, Y. W., M. Juárez G., M. Ramos T., and G. F. W. Haenlein. 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.* 68: 88-113.

- Pastrana, R., L. R. McDowell, J. H. Conrad, and N. S. Wikinson. 1991. Mineral status of sheep in the Paramo region of Colombia. II. Trace minerals. *Small Rumin. Res.* 5: 23-24.
- Pellegrini, O., F. Remeuf, M. Rivemale, and F. Barillet. 1997. Renneting properties of milk from individual ewes: influence of genetic and non-genetic variables, and relationship with physicochemical characteristics. *J. Dairy Res.* 64: 355-366.
- Pérez C., A., C. Moscuza, D. Grassi, and A. Fernández C. 2007. Composición mineral del agua de bebida en sistemas de producción lechera en Córdoba, Argentina. *Vet. Méx.* 38(2): 154-164.
- Perkin-Elmer, 1976. *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry*. Perkin-Elmer Corp. Connecticut, USA.
- Plummer, R. S. 1988. Mineral supplementation in goat's diets. *Dairy Goat J.* 66(4): 52.
- Pond, W. G., and M. H. Wallace. 1986. Effect of gestation-lactation diet calcium and zinc levels and of parenteral vitamins A, D and E during gestation on ewe body weight and on lamb weight and survival. *J. Anim. Sci.* 63: 1019-1025.
- Prasad, H., H. A. Tewari, and O. P. S. Sengar. 2005. Milk yield and composition of the Beetal breed and their crosses with Jamunapari, Barbari and Black Bengal breeds of goat. *Small Rumin. Res.* 58: 195-199.

- Puls, R. 1988. Minerals Levels in Animal Health. Diagnostic data. Sherpa International. Clearbrook, Canada. 240 p.
- Rajala-Schultz, P. J., W. J. A. Saville, G. S. Frazer, and T. E. Wittum. 2001. Association between milk urea nitrogen and fertility in Ohio dairy cows. J. Dairy Sci. 84: 482–489.
- Ramírez-Bribiesca J., E., J. L. Tórtora P., L. M. Hernández C., and M. Huerta B. 2001a. Main causes of mortalities in dairy goat kids from the Mexican plateau. Small Rumin. Res. 41: 77-80.
- Ramírez-Bribiesca J., E., J. L. Tórtora P., M. Huerta B., and L.M. Hernández C. 2001b. Diagnosis of selenium status in grazing dairy goat on the Mexican plateau. Small Rumin. Res. 41: 81-85.
- Ramírez-Orduña, R., R. G. Ramírez L., H. González R., and G. F. W. Haenlein. 2005. Mineral content of browse species from Baja California Sur, México. Small Rumin. Res. 57: 1-10.
- Ramírez L., R. G. 1999. Feed resources and feeding techniques of small ruminants under extensive management conditions. Small Rumin. Res. 34: 215-230.
- Ramírez L., R. G., G. F. W. Haenlein, and M. A. Núñez G. 2001. Seasonal variation of macro and trace mineral contents in 14 browse species that grow in northeastern México. Small Rumin. Res. 39: 153-159.

- Raynal-Ljutovac, K., A. Pirisi, R. De Crémoux, and C. Gonzalo. 2007. Somatic cells of goat and sheep milk: Analytical, sanitary, productive and technological aspects. *Small Rumin. Res.* 68: 126-144.
- Rodríguez D., T., L. Rodríguez C., J. Rodríguez L. y M. De Luna C. 1987. Concentración de minerales en el suero sanguíneo de cabras criollas: antes del empadre, durante la gestación y después del parto. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.
- Rodríguez D., T., C. Pérez J., I. Mejía H. y J. Rodríguez L. 1989. Evaluación de minerales en agua, suelo, forraje y ganado caprino del municipio de Zaragoza, Coahuila. In: Memoria de la Quinta Reunión Nacional sobre Caprinocultura, Zacatecas, Zac. pp: 170-173.
- Romero B., J. O. y M. Huerta B. 1990. Evaluación de siete minerales en caprinos pastoreando vegetación natural en Villa Hidalgo, Zacatecas. In: Memoria VI Reunión Nacional sobre Caprinocultura, San Luis Potosí, SLP. pp: 32-35.
- Rosemary, H. N. 1990. Selenium. In: Heavy metals in soils. Alloway, B. J. (Ed.). Blackie, Glasgow and London. pp: 237-260.
- Roy, S. H., and S. Mukherjee. 1979. Influence of foods tannins on certain aspects of iron metabolism. Part I: Absorption and excretion in normal and anemic rats. *Indian J. Biochemistry Phys.* 16: 93-98.

- Sábido S., A. S., I. Castañeda A., R. González P., M. I. Morales G., M. Cigarroa B. y R. Figueroa H. 2004. La metformina y los ácidos grasos libres. Estudio clínico. Revista Med. IMSS, 42: 285-292.
- Salih, Y., L. R. McDowell, J. J. Hentges, R. M. Mason, and C. J. Wilcox. 1987. Mineral content of milk, colostrum, and serum as affected by physiological state and mineral supplementation. J. Dairy Sci. 70: 608-612.
- Salisbury, F. B., and C. W. Ross. 1994. Fisiología en condiciones de estrés. *In*: Philip, N. G. (Ed.), Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana, México, D.F, pp: 639-667.
- Sánchez A., T., R. Sierra D., F. Luengo C., C. Corrales J., T. Morales C., H. Contreras A., and M. Gonzalo C. 2005. Influence of storage and preservation on somatic cell count and composition of goat milk. J. Dairy Sci. 88: 3095-3100.
- Sanz-Sampelayo, M. R., J. Pérez L., N. Boza J., and J. Amigo L. 1998. Forage of different physical forms in the diets of lactating Granadina goats: nutrient digestibility and milk production and composition. J. Dairy Sci. 81: 492-498.
- SAS. 2004. SAS/STAT User's Guide (Release 9.1). Cary, NC, USA. SAS Inst. Inc.
- Schmidely, F., F. Meschy, J. Tessier, and D. Sauvant. 2002. Lactation response and nitrogen, calcium, and phosphorus utilization of dairy goats differing

by the genotype for α_{s1} -casein in milk, and feed diets varying in crude protein concentration. J. Dairy Sci. 85: 2299-2307.

Shamberguer, J. R. 1981. Biochemistry of Selenium. Plenum Press. New York and London.

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.

Shorrocks, V. M., and B. J. Alloway. S/A. Copper in plant, animal and human nutrition. Ed. Copper Development Association. 84 p.

SIAP-SAGARPA. 2007. Anuario estadístico. Leche de caprino: producción, precio y valor 2006. <http://www.siap.gob.mx/> (Consultado el 15 de agosto de 2007).

Simos, E., L. P. Voutsinas, and C. P. Pappas. 1991. Composition of milk of native Greek goats in the region of Metsovo. Small Rumin. Res. 4: 47-60.

Socha, M. T., J. G. Linn, D. J. Tomlinson, and A. B. Johnson. 2001. Impact of variation in chemical composition of water on potential palatability and mineral intake of dairy cattle. J. Dairy Sci. 84(Suppl. 1): 85 (Abstr.).

- Solaiman, S. G., C. E. Shoemaker, and G. H. D. Andrea. 2006. The effect of high dietary Cu on health, growth performance, and Cu status in young goats. *Small Rumin. Res.* 66: 85-91.
- Soryal, K., F. A. Beyene, S. Zeng, B. Bah, and K. Tesfai. 2005. Effect of goat breed and milk composition on yield, sensory, quality, fatty acid concentration of soft cheese during lactation. *Small Rumin. Res.* 58: 275-278.
- Spears, J. W. 1994. Minerals in forage. In: Fahey jr., G.C. (Ed.). *Proceedings of the National Conference on Forage, Quality, Evaluation and Utilization.* University of Nebraska. Lincoln, Nebraska, E.U. pp: 281-317.
- Spreer, E. 1991. *Lactología industrial, leche, preparación y elaboración, máquinas instalaciones y aparatos productos lácteos.* 2ª Ed. ACRIBIA, Zaragoza, Esp.
- Stowe, H. D., and T. H. Herdt. 1992. Clinical assessment of selenium status of livestock. *J. Anim. Sci.* 70: 3928-3933.
- Tavera, G. 1985. *Criterios para interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para áreas de asistencia técnica.* Pub. No 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Delegación Laguna. 122 p.
- Taverna M., A., R. Páez M., M. Chávez V., G. Charlón V., y V. Quaino O. 2001. Efecto de distintos grupos de ordeño sobre la concentración de ácidos

grasos libres en la leche y su evolución durante la conservación. Anuario 2001. INTA Rafaela.

Tomlinson, D. J., M. T. Socha, C. K. Swenson, and B. J. Johnson. 2002. Efectos de minerales inorgánicos en el desempeño de Ganado lechero y de engorda. *In: Memoria de la XXX Reunión Anual de la Asoc. Méx. Prod. Anim.* Guadalajara, Jalisco, México. 13 al 15 de octubre.

Torres A., J. F., J. Magaña C. y A. Aguilar C. 1995. Composición de la leche de cabras criollas durante la lactancia y su relación con el número de parto. *In: Memoria del Congreso Internacional en Producción Caprina.* Zacatecas, Zac., México. pp: 208-211.

Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 2003. The mineral nutrition of livestock. CABI Publishing, 3rd edition. London, England. pp: 185-212.

Underwood, E. J., y N. F. Suttle. 2003. Los Minerales en la Nutrición del Ganado. 3^a Ed. Editorial ACRIBIA, S. A. Zaragoza, España. 637 p.

Van Soest, P. J., N. L. Conklin, and P. J. Horvath. 1986. Tannins in foods and feeds. *In Proceedings.* Cornell, Univ. Ithaca, N.Y. pp: 115-122.

Vargas G., J. M. y M. Huerta B. 1996. Evaluación del estado mineral en suero sanguíneo de cabras pastoreando vegetación natural en Colón, Querétaro. *In: Memoria XI Congreso Nacional sobre Caprinocultura,* Chapingo, México. pp: 134-138.

- Voutsinas, L., C. Pappas, and M. Katsiari. 1990. The composition of Alpine goat's milk during lactation in Greece. *J. Dairy Res.* 57: 41-51.
- Whanger, P. D. 1972. Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. *Journal American College of Nutrition*, 21: 223-232.
- White, C. L., B. S. Chandler, and D. W. Peter. 1991. Zinc supplementation of lactating ewes and weaned lamb grazing improved Mediterranean pastures. *Aust. J. Exp. Agric.* 31: 183.
- Whitehead, C. D. 2000. Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationship. CABI Publishing. New York, NY, USA.

CAPÍTULO IV

**SUPLEMENTACIÓN CON BOLOS DE SELENIO A CABRAS LECHERAS EN
PASTOREO**

**SUPPLEMENTATION WITH SELENIUM BOLUSES IN GRAZING LACTATING
DAIRY GOATS**

Librado Cruz José Guadalupe*

Huerta Bravo Maximino*

López Arellano Raquel**

Martínez Hernández Pedro Arturo*

García Muñiz José Guadalupe*

González Alcorta Mariano*

*Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco, 56230, Chapingo, Estado de México, México.

**División de ciencias Químico-Biológicas, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.

RESUMEN

La deficiencia de selenio (Se) es un problema importante que afecta al ganado caprino del Altiplano Mexicano. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la administración oral de bolos de Se en el contenido de este mineral en suero sanguíneo y leche, así como en la calidad fisicoquímica de la leche producida por cabras en lactación. Cuarenta cabras lecheras alimentadas en pastoreo extensivo de dos rebaños (20 animales por cada rebaño) se asignaron aleatoriamente a dos tratamientos de 0 y 500 mg de Se por bolo. La leche y sangre de las cabras se muestreó a 1, 8, 15, 22, 36 y 50 días para determinar las concentraciones de Se y la calidad fisicoquímica en leche. Los datos fueron analizados utilizando un modelo mixto con medidas repetidas en el tiempo. Cabra se consideró como efecto aleatorio mientras que rebaño y tratamiento fueron los efectos fijos. Además se probaron como covariables el peso inicial, el peso final y el número de parto. La concentración de ácidos grasos libres (AGL), ácido cítrico y Se en leche fue afectada ($P < 0.05$) por la interacción tratamiento x rebaño. En un rebaño, la leche de las cabras suplementadas mostró 15.7% más Se en comparación a las no suplementadas. Sin embargo, en el otro rebaño los contenidos de Se fueron similares ($P > 0.05$) entre los dos grupos de cabras. La concentración de Se en suero sanguíneo fue afectada ($P = 0.0037$) por la interacción tratamiento x rebaño x día del experimento. En ambos rebaños las cabras suplementadas mantuvieron niveles más elevados ($P < 0.05$) durante el experimento con relación a las no suplementadas (158 ng mL^{-1} vs 82 ng mL^{-1} y 174 ng mL^{-1} vs 47 ng mL^{-1}). La concentración de Se sérico en las cabras suplementadas en los dos rebaños mostró un pico al día 8 que difirió ($P < 0.05$) con respecto a los demás días del experimento, sin embargo, este incremento fue mayor ($P < 0.0001$) en uno de los rebaños (292 ng mL^{-1} vs 194 ng mL^{-1}). Se concluye que la administración de bolos conteniendo 500 mg de Se a cabras en lactación incrementa el contenido de Se en leche y mantiene niveles adecuados de este mineral en suero sanguíneo durante 50 días.

Palabras clave: cabras, selenio, leche, suero sanguíneo, pastoreo.

ABSTRACT

Selenium (Se) deficiency is a problem of goats grazing in the Mexican central plateau. The objective of this study was to determine the effect of supplementing oral selenium (Se) boluses on blood serum and milk selenium concentrations, as well as the physicochemical quality of lactating dairy goats. Forty lactating dairy goats grazing native range from two flocks (twenty animals from each flock) were assigned randomly to two treatments: 0 and 500 mg of Se per bolus. Blood and milk samples were collected at 1, 8, 15, 22, 36, and 50 d post treatment to determine Se concentrations and the physicochemical quality of milk. Data were analyzed using a mixed model with repeated measures. Goat was the random effect while flock and treatment were the fixed effects. Initial live weight, final live weight, and number of kidding were included as covariates, when appropriate. The content of solids non fat (SNF), citric acid, and Se in Milk were affected ($P=0.05$) by flock x treatment interaction. In one flock, the supplemented goats had 15.7% more milk Se in comparison with non-supplemented animals. However, there was no response in milk Se concentration in the other flock. Concentrations of Se in blood serum were influenced ($P=0.0037$) by treatment x flock x sampling day interaction. In both flocks, supplemented goats maintained higher Se levels ($P<0.05$) during the experiment than non-supplemented goats (158 ng mL^{-1} vs 82 ng mL^{-1} y 174 ng mL^{-1} vs 47 ng mL^{-1}). Concentrations of Se in blood serum for supplemented goats in both flocks showed a peak on the 8th day post dosing that differed ($P<0.05$) from other sampling days. However, this peak was higher ($P < 0.0001$) in one flock (292 ng mL^{-1} vs 194 ng mL^{-1}). It is concluded that administering boluses containing 500 mg of selenium in dairy goats increases the content of Se in milk, and maintains appropriate levels of this mineral in blood serum during 50 days.

Key Words: grazing goats, selenium, milk, blood serum.

INTRODUCCIÓN

El selenio (Se) es un componente esencial de las selenoproteínas, como la glutatión peroxidasa, que se encarga de eliminar los peróxidos producidos durante el metabolismo (Behne y Kyriakopoulos, 2001). Actualmente, la relación del Se con la función tiroidea, es uno de los elementos de mayor importancia en la comprensión de los efectos de su deficiencia sobre la capacidad productiva de los animales (Beckett y Arthur, 2005).

La deficiencia de Se representa una importante limitación a la producción animal, particularmente en el caso de rumiantes, donde se le asocia con bajos parámetros productivos y reproductivos, así como a depresión de la respuesta inmune. En cabritos, corderos y terneros la deficiencia de Se produce la enfermedad del músculo blanco, que se caracteriza por la degeneración del músculo esquelético, ocasionando trastornos locomotores y muerte de los animales (Van Metre y Callan, 2001).

En regiones del Altiplano Mexicano se han reportado deficiencias de Se en los suelos, forrajes y caprinos (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001a; Cruz y Domínguez, 2006), lo que ha llegado a ocasionar en algunos rebaños una mortalidad superior al 60% de los cabritos (Ramírez-Bribiesca *et al.*, 2001b).

Algunas de las formas mediante las cuales se puede corregir la deficiencia de Se en los rumiantes son: inclusión en forma de sales en el alimento; aplicación

de inyecciones subcutáneas; dosificación bucal de Se sódico y suplementos intrarruminales de liberación controlada, en forma de bolos (Gutiérrez *et al.*, 2006).

Los bolos de Se han sido utilizados para suministrar a bajo costo este elemento en animales que consumen forrajes deficientes de este mineral, proporcionando Se por periodos de tiempo relativamente largos, hasta de tres o cuatro años (Donald *et al.*, 1993). En México, se ha demostrado que la administración de Se por medio de bolos incrementan los niveles de Se sérico en ovinos (Blanco *et al.*, 2000; Gutiérrez *et al.*, 2005) y bovinos (Del Razo, 2002; Amador, 2005; Martínez, 2006). Sin embargo, el efecto de la administración de los bolos con Se no ha sido determinado en cabras lecheras alimentadas en sistemas de pastoreo extensivo. Por lo anterior, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la suplementación con bolos de Se sobre: a) la composición química de la leche (contenido de nitrógeno ureico, caseína, proteína, grasa, lactosa, sólidos totales, sólidos no grasos, ácido cítrico, densidad, crioscopía, ácidos grasos libres, acidez y cenizas), y b) las concentraciones de Se en leche y suero sanguíneo de cabras lecheras en pastoreo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización

La fase experimental se llevó a cabo en dos rebaños de cabras lecheras en pastoreo localizados en el municipio de Tepeyahualco de Hidalgo perteneciente a la región de los Llanos de San Juan, Puebla. El municipio se encuentra a una altitud de 2323 m y se ubica a 19° 30' latitud norte y 97° 29' longitud oeste. El clima predominante de la región es BS₁ K' w que corresponde a un clima semiseco templado con lluvias en verano y escasas a lo largo del año, con una temperatura media anual que oscila entre los 12 y 18 °C y con una precipitación de 577.5 mm anuales (CNEM, 1988).

Animales, alimentación y manejo

Se utilizaron 40 cabras criollas encastadas con Alpina, Saanen y Toggenburg, todas en producción de leche, alimentadas por pastoreo extensivo sobre agostadero y con suplementación esporádica con esquilmos agrícolas como rastrojo de maíz y paja de gramíneas y leguminosas. Las cabras eran expuestas al agostadero de 8 a 10 horas al día, el resto del tiempo estaban en encierro y previo a la salida al agostadero eran ordeñadas aproximadamente entre las 6:00 a las 7:00 horas.

Tratamientos

Se evaluaron dos tratamientos: cabras suplementadas con bolos conteniendo selenio y cabras no suplementadas. Los bolos tuvieron un peso aproximado de

7.3 g con dimensiones aproximadas de 5 cm de largo por 1.5 cm de ancho y 1 cm de espesor. La fuente de Se fue selenito de sodio (Na_2SeO_3), equivalente a 500 mg de Se elemental por bolo. Los bolos se elaboraron en la FESC-UNAM de acuerdo con lo descrito por Amador (2005). La administración de los bolos a los animales fue vía bucal, con una dosis de un bolo por animal (500 mg Se), efectuándose el primer día del experimento.

Diseño experimental

Dentro de cada rebaño, las cabras se agruparon por tratamientos, en un diseño completamente al azar, utilizándose 10 cabras por tratamiento, donde cada cabra fue considerada como una unidad experimental.

Duración del experimento y número de muestreos

El periodo experimental tuvo una duración de 50 días, del 4 de noviembre al 22 de diciembre de 2006. En este periodo se realizaron un total de 6 muestreos que fueron a 1 (inicio), 8, 15, 22, 36 y 50 días pos-dosificación.

Obtención y procesamiento de las muestras y registro de datos

Las muestras de sangre se obtuvieron de la vena yugular en tubos vacutainer sin anticoagulante. Posteriormente, se centrifugaron a 2500 rpm para separar el suero, el cual se conservó en refrigeración hasta su análisis en el laboratorio.

Las muestras de leche se colectaron en viales de plástico esterilizados con capacidad de 250 mL y se mantuvieron en refrigeración para su análisis posterior.

Por último, al inicio y al final del experimento (día 1 y 50) se registró el peso vivo de cada una de las cabras.

Análisis de laboratorio

La fase de análisis de laboratorio se realizó en los laboratorios de Nutrición de Rumiantes y de Calidad de Leche; ambos laboratorios pertenecientes al Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

Las características fisicoquímicas de la leche se determinaron con el equipo MilkoScan FT-120. Mientras que la concentración de selenio en leche y suero sanguíneo se determinó mediante la técnica de luminiscencia descrita por Geahchan y Chambon (1980), utilizando el espectrofotómetro de luminiscencia PERKIN ELMER® LS30.

Variables de respuesta

Las variables de respuesta fueron la concentración de selenio en suero sanguíneo y leche, así como los contenidos en leche de nitrógeno ureico (NUL), caseína, proteína, grasa, lactosa, sólidos totales (ST), sólidos no grasos (SNG), ácido cítrico, densidad, crioscopía, ácidos grasos libres (AGL), acidez y cenizas.

Análisis estadístico

Los resultados de todas las variables de respuesta tanto en suero sanguíneo como en leche se analizaron usando el procedimiento Mixed de SAS (SAS, 2004), considerando al efecto de cabra como aleatorio y rebaño y tratamiento como efectos fijos. Para la mayoría de las variables se procedió al registro de medidas repetidas a través del tiempo.

Además se probaron como covariables el peso vivo inicial (PVi), el peso vivo final (PVf) y el número de parto (NP), dejando en el modelo únicamente las covariables que resultaron significativas y eliminando aquellas que no presentaron efecto ($P > 0.05$). La instrucción LSMEANS se usó para obtener las medias por cuadrados mínimos para los efectos principales y las interacciones.

El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + T_i + R_j + D_k + (T^*R)_{ij} + C_l(T^*R)_{ij} + (T^*D)_{ik} + (R^*D)_{jk} + b_1(PVi - \mu_{PVi}) \\ + b_2(PVf - \mu_{PVf}) + b_3(NP - \mu_{NP}) + \varepsilon_{ijklm}$$

Donde:

Y_{ijklm} = variable respuesta,

μ = media general,

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento (i = suplementadas, no suplementadas),

R_j = efecto del j-ésimo rebaño (j = 1 y 2),

D_k = efecto del k-ésimo día del experimento ($k = 1, 8, 15, 22, 36$ y 50),

$(T^*R)_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento y el j-ésimo rebaño,

$C_l(T^*R)_{ij}$ = efecto aleatorio de la l-ésima cabra anidada en el i-ésimo tratamiento y el j-ésimo rebaño $\sim$ NIID $(0, \sigma_c^2)$,

$(T^*D)_{ik}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento y el k-ésimo día del experimento,

$(R^*D)_{jk}$ = efecto de la interacción entre el j-ésimo rebaño y el k-ésimo día del experimento,

b_1 = coeficiente de regresión lineal asociado al peso vivo inicial de las cabras,

μ_{PVi} = media estimada de la covariable peso vivo inicial de las cabras,

b_2 = coeficiente de regresión lineal asociado al peso vivo final de las cabras,

μ_{PVf} = media estimada de la covariable peso vivo final de las cabras,

b_3 = coeficiente de regresión lineal asociado al número de parto de las cabras,

μ_{NP} = media estimada de la covariable número de parto de las cabras, y

ε_{ijklm} = error experimental $\sim$ NIID $(0, \sigma_e^2)$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 12 se muestra el nivel de significancia de las fuentes de variación identificadas sobre la concentración de Se en suero sanguíneo y leche, así como en las características fisicoquímicas de la leche.

La concentración de Se sérico fue afectada ($P=0.0037$) por la interacción de segundo orden (rebaño x tratamiento x día del experimento). Mientras que los contenidos de selenio, ácidos grasos libres (AGL) y ácido cítrico en leche se afectaron ($P\leq 0.0377$) por la interacción de primer orden (tratamiento x rebaño). Además, el tratamiento afectó ($P\leq 0.0280$) el punto crioscópico y la concentración de cenizas en leche.

Con relación a las demás variables de respuesta, estas no se afectaron ($P>0.05$) por la administración del bolo con selenio. Sin embargo, la interacción rebaño x día del experimento influyó ($P\leq 0.0333$) en la concentración en leche de proteína, grasa, caseína, nitrógeno ureico (NUL) y sólidos totales (ST). El contenido de sólidos no grasos (SNG) y la densidad fueron diferentes ($P<0.05$) entre día del experimento. Finalmente, los niveles de lactosa y el grado de acidez en la leche variaron ($P<0.05$) con rebaño y el día del experimento. De acuerdo con lo anterior, en este apartado sólo se discutirán las variables en las que la administración del bolo de selenio o su interacción con otros efectos hayan sido significativas.

Cuadro 12. Nivel de significancia (probabilidad) de las fuentes de variación por variable de respuesta medida en suero sanguíneo y leche.

Variable	Fuente de variación							Pi	Pf	NP
	Trat.	Reb.	Trat.*Reb.	Día	Trat.*Día	Reb.*Día	Trat.*Reb.*Día			
Se sérico	<0.0001	0.0719	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0007	0.0037	0.0276		
Se en leche	0.0974	0.1706	0.0106	0.8287	0.1203	0.5164	0.8793	0.0311		0.0063
Proteína	0.0919	<0.0001	0.3213	<0.0001	0.3710	0.0175	0.2338			
Grasa	0.5295	0.0040	0.2365	<0.0001	0.2723	0.0007	0.5832			
Lactosa	0.3457	<0.0001	0.5714	0.0452	0.9133	0.0726	0.9603			0.0012
Caseína	0.2411	0.0520	0.3882	0.0010	0.5981	0.0333	0.3760			
NUL	0.5407	0.0026	0.7234	<0.0001	0.3827	0.0002	0.9337		0.0339	
ST	0.2426	0.0662	0.2739	<0.0001	0.5988	0.0002	0.3476			
SNG	0.1465	0.9991	0.8858	<0.0001	0.8437	0.3770	0.5430	0.0244		0.0175
AGL	0.0017	0.8355	0.0377	0.0045	0.7493	0.0109	0.5699			
Acidez	0.6308	<0.0001	0.9781	<0.0001	0.5332	0.1088	0.3501			0.0390
Ácido cítrico	0.9264	<0.0001	0.0243	0.4718	0.7687	0.0582	0.6430			0.0007
Densidad	0.1467	0.5330	0.0672	<0.0001	0.2921	0.0756	0.9071	0.0414		
Crioscopia	0.0049	0.2537	0.0634	<0.0001	0.7913	0.0004	0.7883			0.0137
Cenizas	0.0280	0.0265	0.7287	<0.0001	0.7271	0.0021	0.9089			

Trat=tratamiento; Reb= rebaño. Covariables: Pi= Peso inicial; Pf= Peso final; NP= número de parto.

Concentración de selenio en suero sanguíneo

Debido a que la concentración de selenio en suero sanguíneo fue afectada ($P=0.0037$) por la interacción tratamiento x rebaño x día del experimento, la discusión estará enfocada sobre este efecto, lo cual se ejemplifica en las Figuras 2 y 3. Esta interacción de segundo orden pudo originarse por el diferente manejo y alimentación aplicados en cada rebaño, lo que a su vez ocasionó un patrón de respuesta al Se muy particular en cada rebaño.

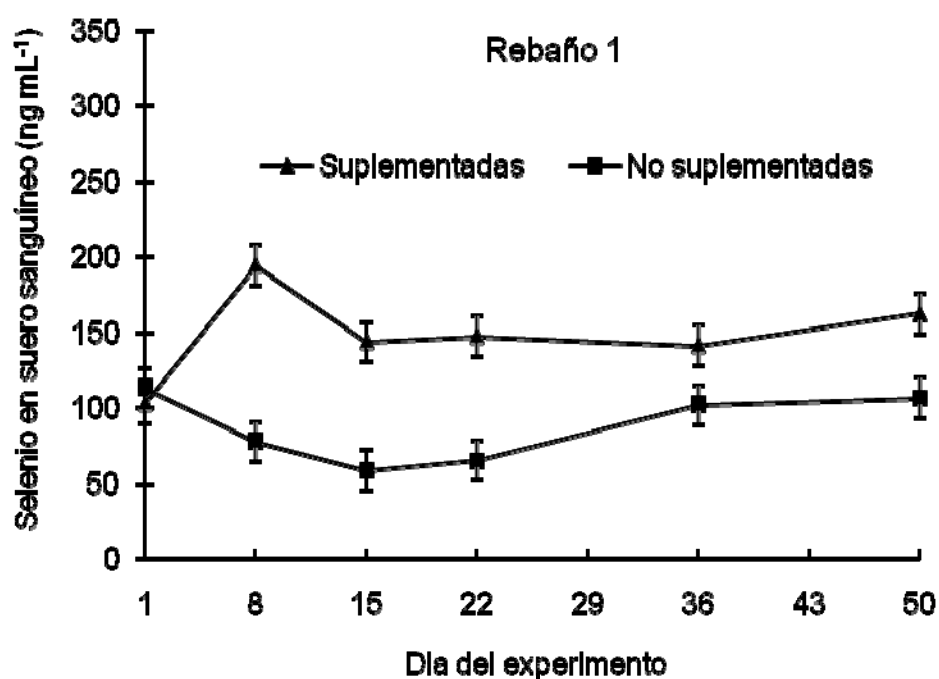


Figura 2. Concentración de selenio en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de cabras suplementadas y no suplementadas con bolos de selenio a diferentes días del experimento en el Rebaño 1.

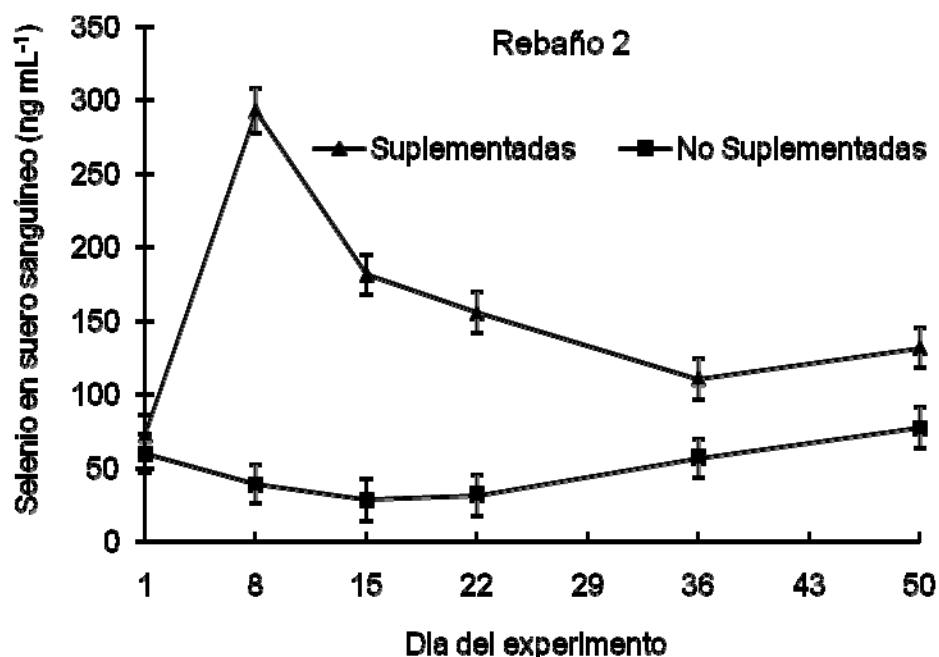


Figura 3. Concentración de selenio en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de cabras suplementadas y no suplementadas con bolos de selenio a diferentes días del experimento en el Rebaño 2.

En ambos rebaños, la concentración inicial (día 1) de Se en suero sanguíneo fue similar ($P > 0.05$) entre los dos grupos de cabras (suplementadas y no suplementadas), además, esta concentración fue menor a la sugerida como adecuada ($120\text{-}160 \text{ ng mL}^{-1}$) por Stowe y Herdt (1992). Las cabras del Rebaño 1 mostraron una concentración mayor de Se sérico a las del Rebaño 2, en este último rebaño las cabras estaban en un estado deficitario más agudo, al no alcanzar ni la concentración mínima de 100 ng mL^{-1} sugerida para rumiantes en pastoreo por McDowell *et al.* (1993).

Las concentraciones de Se en suero sanguíneo al día 1 de este experimento para las cabras suplementadas y no suplementadas del Rebaño 2 fueron de 60 y 72 ng mL⁻¹, respectivamente, comparable a los datos reportados por Cruz y Domínguez (2006) en suero sanguíneo de cabras vacías, pero superiores a cabras en etapa de lactación (60 ng mL⁻¹ y 50 ng mL⁻¹, respectivamente). El-Ghany *et al.* (2006) reportaron valores de entre 100 y 160 ng mL⁻¹ de Se sérico para cabras gestantes, los cuales son similares a los encontrados en las cabras dosificadas con y sin bolos de Se del Rebaño 1 (113 y 103 ng mL⁻¹, respectivamente).

Las cabras de los dos rebaños dosificadas con los bolos de Se, incrementaron significativamente ($P<0.0001$) la concentración de Se sérico al día 8 con respecto al día 1, siendo el nivel de Se sérico del día 8 como el máximo nivel alcanzado durante los 50 días que duró el experimento. Sin embargo, este nivel fue mayor ($P<0.0001$) en las cabras suplementadas del Rebaño 2 en comparación con las del Rebaño 1 (292 vs 194 ng mL⁻¹). Judson *et al.* (1988) reportaron picos en los niveles de Se sanguíneo en ovinos después de la primera semana de administrarles bolos que contenían de 100 a 400 mg de Se. Gutiérrez *et al.* (2005) encontraron el mayor contenido de Se en sangre de ovejas dos semanas después de la aplicación de bolos que contenían 250 y 500 mg de Se. Lo anterior sugiere que la suplementación de Se por medio de bolos genera incrementos del contenido de Se sanguíneo en las primeras semanas después de su aplicación. Van Metre y Callan (2001) indican que el suero sanguíneo actúa como un gran banco de Se en el cuerpo, lo que le hace

ser un indicador muy sensible a los cambios en el consumo de este mineral; por lo tanto, cualquier incremento en el consumo de Se por parte de los animales, tiende a provocar variaciones importantes en el contenido sérico pocos días después de las modificaciones en el consumo.

Después del incremento en la concentración de Se sérico al día 8 del experimento, al siguiente muestreo (día 15), dicha concentración disminuyó en ambos rebaños y este cambio fue estadísticamente significativo ($P \leq 0.0059$). Sin embargo, esta diferencia entre el día 8 y 15 del experimento sobre el contenido de Se en suero sanguíneo, fue mayor en el grupo de cabras suplementadas del Rebaño 2 (111 ng mL^{-1}) en comparación con la que presentó el grupo del Rebaño 1 (51 ng mL^{-1}). Esta elevación y posterior disminución en los valores séricos de Se pudieron deberse a la estabilización metabólica que presentaron los animales. Handreck y Godwin (1970) indican que la absorción de Se por lo tejidos está influenciada por el estatus que tenga este mineral en el ganado, por lo que animales selenodeficientes retienen mayor cantidad de Se en los tejidos comparados con animales con mejores niveles de Se. Lo anterior puede explicar por qué el grupo de cabras suplementadas en el Rebaño 2, además de mostrar un incremento mayor en el día 8 en comparación con las cabras suplementadas en el otro rebaño, también manifestaron la caída más fuerte en el contenido de Se sérico al día 15.

Aumentos en las primeras semanas después de la administración de bolos de Se en el contenido sanguíneo de este mineral, así como posteriores

disminuciones han sido reportadas en ovejas (Kuchel y Buckley, 1969; Blanco *et al.*, 2000) y vacas lecheras (Del Razo, 2002; Amador, 2005).

A partir del día 15 y hasta el día 50 del experimento, el contenido de Se en suero sanguíneo de las cabras suplementadas en el Rebaño 1, no mostró diferencias ($P>0.05$), manteniendo niveles en el rango de 144 a 163 ng mL⁻¹. Estos valores siempre estuvieron por encima de los señalados como concentraciones normales de referencia (120-160 ng mL⁻¹: Stowe y Herdt, 1992). Blanco *et al.* (2000) reportaron que en ovejas suplementadas con bolos que contenían 460 mg de Se, los niveles de Se en sangre permanecieron constantes del día 30 al día 90 post-dosificación, manteniendo niveles adecuados de este mineral durante este periodo.

Las cabras suplementadas del Rebaño 2, continuaron con la gradual disminución ($P\leq 0.0147$) en Se sérico hasta 36 días posdosificación, pero para el día 50 se encontró un repunte, mostrando las cabras una concentración de Se sérico similar ($P=0.1943$) al del día 22 del experimento. Los niveles de Se en los días que duró el experimento excedieron los 100 ng mL⁻¹ sugeridos para rumiantes en pastoreo (McDowell *et al.*, 1993). Del Razo (2002) al suplementar bolos con 911 mg de Se a vacas secas y en lactación, encontró una disminución en la concentración de Se sanguíneo del día 15 al día 43 y un incremento al siguiente día de muestreo (día 57).

Coincidente con lo señalado por Zervas (1988), Serra *et al.* (1996), Millar y Meads (1987) y Hayashida *et al.* (2006), con la administración de Se vía bolos,

las cabras mostraron concentraciones de Se en suero sanguíneo superiores al de las cabras sin Se extra, durante el tiempo que se dio seguimiento a dichas concentraciones. Sin embargo, el estudio no permitió observar hasta qué momento el bolo mantiene niveles de Se adecuados en ganado caprino, por lo que se recomienda ampliar el tiempo de experimentación en estudios posteriores.

Concentración de selenio en leche

El contenido de Se en leche fue afectado ($P=0.0106$) por la interacción tratamiento x rebaño (Figura 4). En el Rebaño 1 la leche de las cabras suplementadas superó ($P=0.0016$) en Se al de la leche de las cabras no suplementadas. Mientras que en el Rebaño 2, el nivel de Se en leche no fue diferente ($P=0.5112$) entre los dos grupos de cabras (suplementadas y no suplementadas). Además, el contenido de Se en la leche producida por las cabras suplementadas del Rebaño 1 fue similar ($P>0.05$) al encontrado en la leche producida por las cabras de los dos grupos del Rebaño 2.

El nivel de Se en leche de los dos grupos de cabras para ambos rebaños se encontró dentro del intervalo de $8.6-10.1 \text{ ng mL}^{-1}$, el cual está por debajo de contenido promedio reportado por Guéguen (1997) y Park *et al.* (2007) que es de 20 y 13.3 ng mL^{-1} , respectivamente.

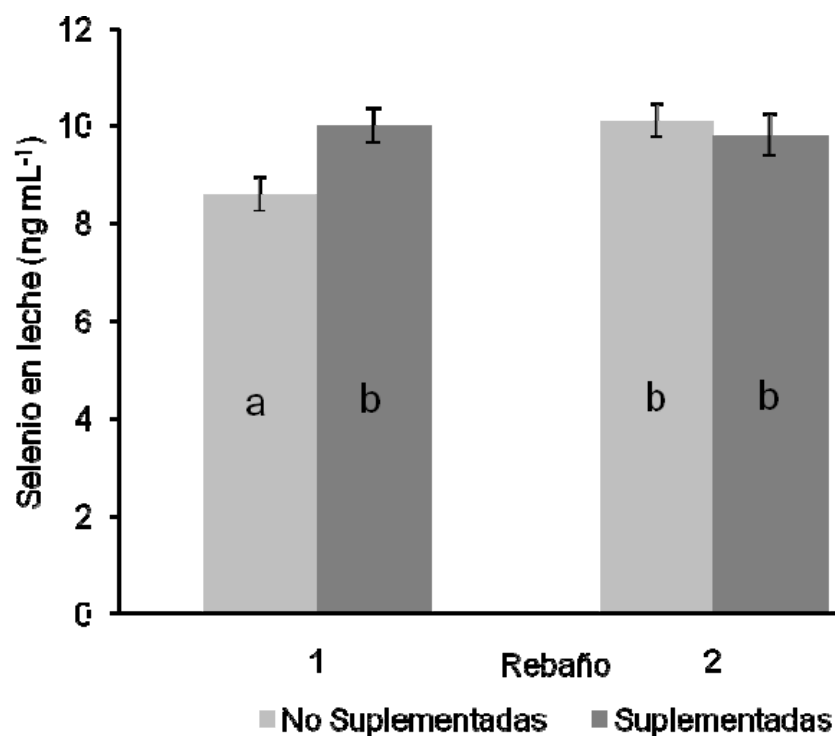


Figura 4. Concentración de selenio en leche (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de cabras suplementadas y no suplementadas con bolos de selenio en dos rebaños.

En el Rebaño 1, la leche de las cabras suplementadas mostró 15.7% más selenio que la de las no suplementadas, lo que se considera un aumento modesto de solamente 1.36 ng mL⁻¹. Serra *et al.* (1996) reportaron que cinco meses después de la administración de bolos de vidrio soluble de Se en cabras, los niveles de Se en la leche producida por el grupo de animales tratados fueron más altos que en la leche del grupo control (5.1 a 2.5 ng mL⁻¹). Orden *et al.*

(2000) después de tres meses de haber administrado bolos de vidrio soluble que proporcionaban $0.14 \text{ mg Se d}^{-1}$ en cabras lecheras en pastoreo encontraron concentraciones superiores de Se en la leche producida por cabras dosificadas que en las del grupo testigo (6.87 vs 3.42 ng mL^{-1}). Resultados similares de incrementos en el contenido de Se en leche producidos por la suplementación de este mineral han sido reportados en vacas lecheras (Grace *et al.*, 1997; Knowles *et al.*, 1999; Givens *et al.*, 2004; Heard *et al.*, 2004), ovejas, (Gardner y Hogue, 1967; Davis *et al.*, 2006), cerdas (Loudenslager, 1984) y mujeres (Lönnerdal, 1986).

La transferencia de Se desde el plasma sanguíneo a leche parece deberse a un proceso de biorreducción (Conrad y Moxon, 1979). Maus *et al.* (1980) mencionan que la glándula mamaria no se activa en la regulación de transferir Se del plasma a leche. Sin embargo, lo anterior no se puede confirmar, ya que el mecanismo de transporte de Se a través de las células epiteliales mamarias no ha sido explicado (Allen y Miller, 1981). Por otra parte, la concentración de Se en leche no se eleva proporcionalmente a la adición de Se en la dieta o en el suplemento y llega a un cierto nivel en el cual no hay aumento en la secreción de Se por esta vía (Ceballos y Wittwer, 1996). Por lo anterior, generalmente es difícil incrementar en grandes cantidades la concentración de Se en leche por efecto de la suplementación de este mineral (Perry *et al.*, 1977). Además, las repuestas en los niveles de Se en leche pueden estar influidas de manera importante por la forma de este mineral en la dieta o suplemento, ya que el Se

natural produce niveles de Se en leche más altos que los compuestos de Se inorgánicos tales como selenito de sodio (Ullrey, 1987).

Finalmente, es importante mencionar que el Se es considerado junto con el Yodo, uno de los ejemplos más prometedores para incrementar eficientemente sus concentraciones en leche, ya sea por medio de la dieta o por suplementos orales o parenterales (Knowles *et al.*, 2006). Lo anterior toma relevancia, ya que la leche puede ser un vehículo efectivo para el consumo de Se por los humanos, especialmente para los niños, por lo cual es necesario continuar con trabajos de investigación enfocados al enriquecimiento de minerales en los alimentos.

Contenido de ácidos grasos libres (AGL), ácido cítrico, cenizas y crioscopía en leche

No se encontraron estudios relacionados con el efecto de la suplementación de Se sobre los contenidos en leche de AGL, ácido cítrico, cenizas y la característica de punto crioscópico, por lo que en este apartado solamente se describirán las diferencias y similitudes más importantes que resultaron del análisis estadístico.

El contenido de AGL en leche fue afectado ($P=0.0377$) por la interacción tratamiento x rebaño, lo que se ejemplifica en la Figura 5. En el Rebaño 2, el nivel de AGL fue menor ($P=0.0006$) en la leche de cabras suplementadas en comparación al de las cabras sin Se extra. En el Rebaño 1, la leche de ambos grupos de cabras mostró similar ($P=0.4318$) concentración de AGL y con un

valor igual al de la leche de las cabras del Rebaño 2 indistintamente de recibir o no Se extra.

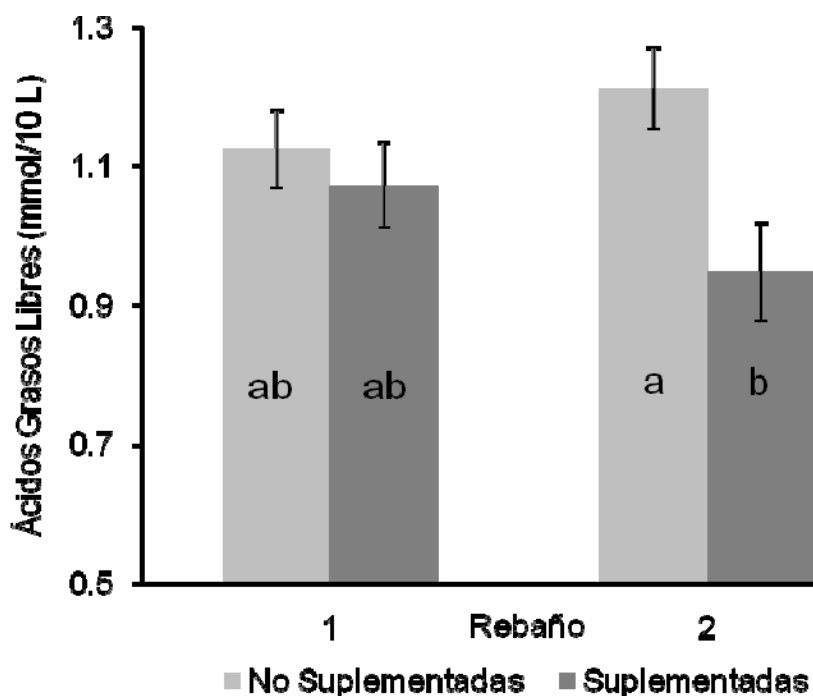


Figura 5. Contenido de ácidos grasos libres (AGL) en leche (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de cabras suplementadas y no suplementadas con bolos de selenio en dos rebaños.

La concentración de AGL en leche promedio para todas las cabras fue inferior al nivel máximo tolerable de 2 mmol L^{-1} para leche de cabra reportado por Eknæs *et al.* (2006). Los AGL han sido ligados con el sabor propio de la leche de cabra, observándose correlación positiva entre su contenido y el sabor del queso; así, la degradación de los ácidos grasos origina cetoácidos y cetonas que son componentes importantes para el aroma y sabor del queso de cabra (Chacón, 2004).

La Figura 6 muestra la interacción tratamiento x rebaño que fue significativa ($P=0.0243$) para el contenido de ácido cítrico en leche. En el Rebaño 1, el porcentaje de ácido cítrico en leche fue similar ($P>0.05$) entre las cabras no suplementadas y suplementadas; teniendo estas últimas concentraciones significativamente más altas de ácido cítrico en leche ($P<0.05$) que las encontradas en la leche producida por los dos grupos de cabras del rebaño 2. Además, el nivel de ácido cítrico no fue diferente ($P=0.1290$) en la leche producida por los dos grupos de cabras del Rebaño 2.

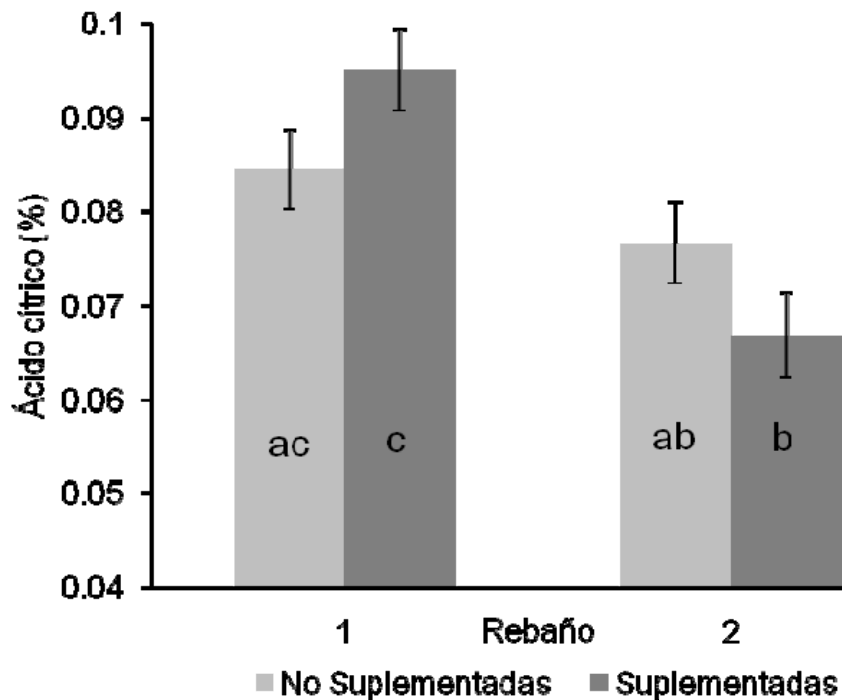


Figura 6. Porcentaje de ácido cítrico en leche (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de cabras suplementadas y no suplementadas con bolos de selenio en dos rebaños.

El ácido cítrico en la leche actúa como un conservador natural, de tal manera, que mientras mayor sea el contenido de ácido cítrico en la leche, ésta tardará más tiempo en descomponerse, debido fundamentalmente a que la acidez del producto evita el desarrollo de las bacterias (Alderete, 2007). De acuerdo con lo anterior, la leche producida por las cabras que recibieron el bolo de Se en el Rebaño 1, se esperaba que se conservará más tiempo en comparación con la leche producida por los dos grupos de cabras del Rebaño 2.

Cuadro 13. Punto crioscópico y contenido de cenizas en leche (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de cabras con y sin Se extra. Promedio de dos rebaños.

Parámetro	Cabras sin Se	Cabras con Se	Significancia
Crioscopia (°C)	-0.5511 $\pm$ 0.005	-0.5323 $\pm$ 0.005	P<0.05
Cenizas (%)	1.0102 $\pm$ 0.011	0.9757 $\pm$ 0.011	P<0.05

El Cuadro 13 muestra el efecto significativo que presentaron los tratamientos en el contenido de cenizas y el punto crioscópico de la leche de cabra. Las diferencias encontradas en las dos variable entre los dos grupos de cabras (con y sin bolo de de Se) son muy modestas. Para el caso de crioscopía, la leche producida por las cabras suplementadas tuvo un punto de congelamiento menor en valor absoluto que las cabras no suplementadas, sin embargo, el punto crioscópico de las muestras de leche de ambos grupos se encontró dentro del

valor normal de $-0.53\text{ }^{\circ}\text{C}$ reportado por Alais (1998). Park *et al.* (2007) mencionan que valores absolutos de crioscopia por debajo de $-0.53\text{ }^{\circ}\text{C}$, hacen sospechar una adición de agua a la leche.

El contenido de cenizas fue marginalmente mayor en las cabras que no recibieron bolo de Se en comparación con el grupo de cabras dosificadas. El porcentaje de cenizas en leche para ambos grupos de cabras fue mayor a los reportados por otros autores ($0.71\text{-}0.84\%$: Fernández *et al.*, 2004; 0.83% : Guo *et al.*, 2004; $0.71\text{-}0.80\%$: Albenzio *et al.*, 2006; 0.8% : Park *et al.*, 2007), pero se encontraron dentro del rango de 0.7 a 1.3% reportado por Huerta (2007; comunicación personal) de una recopilación de diversos análisis de minerales en leche de cabra.

CONCLUSIONES

La administración de bolos de selenio a cabras lecheras en pastoreo incrementó la concentración de este mineral en suero sanguíneo y mantuvo niveles adecuados durante 50 días posdosificación.

Las cabras dosificadas con el bolo de selenio, alcanzaron el mayor nivel de este mineral en suero sanguíneo a los ocho días posdosificación, siendo mayor en las cabras que tuvieron el estatus inicial de selenio más bajo.

En el grupo de cabras que tuvieron mayores concentraciones de selenio sérico al inicio del experimento, las que recibieron el bolo de selenio produjeron leche con 15.7% más selenio que las cabras no suplementadas. Mientras que en el grupo de cabras con menores concentraciones de selenio en suero sanguíneo al inicio del experimento, tanto las cabras dosificadas como las que no recibieron bolo produjeron leche con niveles similares de selenio.

De todas las características evaluadas en la leche de cabra, los bolos de selenio afectaron el contenido de ácidos grasos libres, ácido cítrico y cenizas, así como también el punto de congelamiento; sin embargo, debido a que no existen estudios acerca de estos efectos, es necesario realizar mayores investigaciones para sustentar estos resultados.

LITERATURA CITADA

- Alais, C. 1998. Ciencia de la leche. Principios de Técnica Lechera. Editorial CECSA, México, D.F. 252 p.
- Albenzio, M., M. Caroprese, R. Marino, A. Muscio, A. Santillo, and A. Servi. 2006. Characteristics of Garganica goat milk and Cacioricotta cheese. Small Rumin. Res. 64: 35-44.
- Alderete J., M. 2007. Ácido cítrico: el ingrediente que nos falta. Revista de Alimentos Argentinos, 12: 1-7.
- Allen, J. C., and W. J. Miller. 1981. Transfer of selenium from blood to milk in goats and noninterference of copper with selenium metabolism. J. Dairy Sci. 64: 814-821.
- Amador G., E. 2005. Desarrollo de un bolo intra-ruminal para la liberación prolongada de yodo y selenio y su evaluación en ganado bovino. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuautitlán, Izcalli, Edo. de México. México. 139 p.
- Beckett, G. J., and J. R. Arthur. 2005. Selenium and endocrine systems. J. Endocrinol. 184: 455-465.
- Behne, D., and A. Kyriacopoulos. 2001. Mammalian selenium-containing proteins. Annu. Rev. Nutr. 21: 453-473.

- Blanco O., M. A., S. A., Spross, y R. Rosiles M. 2000. Evaluación de comprimidos intrarruminales de selenio por concentración sanguínea y lanar de corderas semiestabuladas. Vet. Méx. 31(2): 121-127.
- Ceballos M., A., y M. F. G. Wittwer. 1996. Metabolismo del selenio en rumiantes. Arch. Med. Vet. 28: 5-18.
- Chacón V., A. 2004. Acidez y peso específico de la leche de cabra de un grupo de capricultores de la meseta central costarricense. Mesoamerican Journal of Agronomy, 15: 179-183.
- CNEM (Centro Nacional de Estudios Municipales). 1988. Enciclopedia de los municipios de México: los municipios de Puebla. Secretaría de Gobernación y Gobierno del Estado de Puebla, México.
- Conrad, H. R., and A. L. Moxon. 1979. Transfer of dietary selenium to milk. J. Dairy Sci. 62: 404-411.
- Cruz H., E. y M. Domínguez B. 2006. Determinación del estado mineral en cabras bajo condiciones de pastoreo en agostadero. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 49 p.
- Davis, P. A., L. R. McDowell, N. S. Wilkinson, C. D. Buergelt, R. Van-Alstyne, R. N. Weldon, and T. T. Marshall. 2006. Effects of selenium levels in ewe diets on selenium in milk and the plasma and tissue selenium concentrations of lambs. Small Rumin. Res. 65: 14-23.

- Del Razo R., O. E. 2002. Características productivas y nivel de selenio y hormonas tiroideas en vacas lecheras suplementadas con bolos con selenio, bolos con selenio y yodo o bolos con yodo. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 102 p.
- Donald, G. E., J. P. Langlands, J. E. Bowles, A. J. Smith, and G. L. Burke. 1993. Selenium supplements for grazing sheep. Development of an intra-ruminal pellet with an extended life. *Anim. Feed Sci. Technol.* 40: 295-308.
- Eknæs, M., K. Kolstad, H. Volden, and K. Hove. 2006. Changes in body reserves and milk quality throughout lactation in dairy goats. *Small Rumin. Res.* 63: 1-11.
- El-Ghany H., A., A. Revilla V., R. López A., E. Ramírez B. y J. Tórtora P. 2006. Relaciones en la concentración de selenio entre cabras gestantes y sus fetos. *In: Memoria de la XXI Reunión Nacional sobre Caprinocultura.* 4-6 de octubre. Toluca, Edo. de México.
- Fernández C., G., P. Sánchez S., T. Sánchez A., E. Contreras A., and M. De la Fuente, J. 2004. Influence of betaine on milk yield and composition in primiparous lactating dairy goats. *Small Rumin. Res.* 52: 37-43.

- Gardner, R. W., and D. E. Hogue. 1967. Milk levels of selenium and vitamin related to nutritional muscular dystrophy in suckling lambs. *J. Nutr.* 93: 418.
- Geahchan, A., and P. Chambon. 1980. Fluorometry of selenium in urine. *Clin. Chem.* 26: 1272-1274.
- Givens, D. I., A. Allison, B. Cottrill, and J. S. Blake. 2004. Enhancing the selenium content of bovine milk through alteration of the form and concentration of selenium in the diet of the dairy cow. *J. Sci. Food Agric.* 84: 811-817.
- Grace, N. D., J. Lee, A. R. Mills, and A. F. Death. 1997. Influence of Se status on milk Se concentrations in dairy cows. *N. Z. J. Agric. Res.* 40: 75-78.
- Guéguen, L. 1997. La valeur nutritionnelle minérale du lait de chèvre. *In: Freud, G. (Ed.), Intérêts nutritionnels et diététique du lait de chèvre.* INRA, Niort, pp: 67-80.
- Guo, M., Y. W. Park, P. H. Dixon, J. A. Gilmore, and P. S. Kindstedt. 2004. Relationship between the yield of cheese (Chevre) and chemical composition of goat milk. *Small Rumin. Res.* 52: 103-107.
- Gutiérrez, O. C., Kurt, S. S. A., Rosiles, M. R., Ducoing, W. A., and Ortiz, H. A. 2005. Selenio sanguíneo y fecal en ovinos a partir de comprimidos inorgánicos intrarruminales. *Vet. Méx.* 36: 313-324.

- Gutiérrez O., C., R. Rosiles M. y W. A. Ducoing. 2006. Liberación de selenio en soluciones amortiguadoras a partir de comprimidos elaborados con diferentes tipos de aglomerantes. *Vet. Méx.* 37: 291-301.
- Handreck, K. A., and K. O. Godwin. 1970. Distribution in the sheep of selenium derived from ^{75}Se -labelled ruminal pellets. *Aust. J. Agric. Res.* 21: 71-84.
- Hayashida, M., A. Orden E., M. Cruz E., C. Cruz, L., and T. Fujihara. 2006. Effect of soluble glass bolus administration on the blood selenium concentration in grazing Philippine goats under backyard conditions. *J. Anim. Sci.* 77: 595-602.
- Heard, J. W., G. P. Walker, P. J. Royle, G. H. McIntosh, and P. T. Doyle. 2004. Effects of short-term supplementation with selenised yeast on milk production and composition of lactating cows. *Aust. J. Dairy Technol.* 59: 199-203.
- Judson, G. J., T. H. Brown, B. R. Kempe, and R. K. Turnbull. 1988. Trace element and vitamin B₁₂ status of sheep given an oral dose of one, two or four soluble glass pellets containing copper, selenium and cobalt. *Aust. J. Exper. Agric.* 28: 299-305.
- Knowles, S. O., N. D. Grace, T. W. Knight, W. C. McNabb, and J. Lee. 2006. Reasons and means for manipulating the micronutrient composition of milk from grazing dairy cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131: 154-167.

- Knowles, S. O., N. D. Grace, K. Wurms, and J. Lee. 1999. Significance of amount and form of dietary selenium on blood, milk, and casein selenium concentrations in grazing cows. *J. Dairy Sci.* 82: 429-437.
- Kuchel, R. E., and R. A. Buckley. 1969. The provision of selenium to sheep by means of heavy pellets. *Aust. J. Agric. Res.* 20:1099-1107.
- Lönnerdal, B. 1986. Critical review: effects of maternal dietary intake on human milk composition. *J. Nutr.* 116: 499-513.
- Loudenslager, M. J. 1984. Importance of colostrum to the biological antioxidant status of the neonatal pig and his competence to maintain homeostasis following parenteral iron administration. M. S. Thesis, Michigan State Univ. East Lansing.
- Martínez C., E. 2006. Diagnóstico y suplementación mineral de ganado bovino en condiciones tropicales. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 102 p.
- Maus, R. W., F. A. Martz, R. L. Belyea, and M. F. Weiss. 1980. Relationship of dietary selenium to selenium in plasma and milk from dairy cows. *J. Dairy Sci.* 63: 532-537.
- McDowell, L. R., J. H. Conrad, F. G. Hembry, R. Valle, y J. Velázquez. 1993. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. 2ª Edición, Departamento de Zootecnia, Universidad de Florida, Gainesville. 76 p.

- Millar, K. R., and W. J. Meads. 1988. The efficacy of intraruminal pellets composed of elemental selenium and iron in sheep. *N. Z. Vet. J.* 36: 53-55.
- Orden E., A., M. Cruz E., and T. Fujihara. 2000. Selenium supplementation in grazing goats: effects on blood and milk selenium, and growth performance of kids born to does receiving selenium-soluble-glass-bolus. *In: Proceedings of the Abstracts of the 7th International Conference on Goats.* France, May 15-21. pp: 101-103.
- Park, Y. W., M. Juárez G., M. Ramos T., and G. F. W. Haenlein. 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Rumin. Res.* 68: 88-113.
- Perry, T. W., P. G. Board, and M. J. Palmer. 1977. Selenium in milk from feeding small supplements. *J. Dairy Sci.* 60: 1698-1700.
- Ramírez-Bribiesca J., E., J. L. Tórtora P., L. M. Hernández C., and M. Huerta B. 2001a. Main causes of mortalities in dairy goat kids from the Mexican plateau. *Small Rumin. Res.* 41: 77-80.
- Ramírez-Bribiesca J., E., J. L. Tórtora P., M. Huerta B., and L.M. Hernández C. 2001b. Diagnosis of selenium status in grazing dairy goat on the Mexican plateau. *Small Rumin. Res.* 41: 81-85.
- SAS. 2004. *SAS/STAT User's Guide (Release 9.1).* Cary, NC, USA. SAS Inst. Inc.

- Serra A., B., K. Nakamura, D. Serra S., A. Orden E., C. Cruz L. and T. Fujihara. 1996. Effect of selenium in soluble glass bolus on selenium content of milk and blood of goats. *Biol. Trace Elem. Res.* 55: 207-212.
- Stowe, H. D., and T. H. Herdt. 1992. Clinical assessment of selenium status of livestock. *J. Anim. Sci.* 70: 3928-3933.
- Ullrey, D. E. 1987. Biochemical and physiological indicators of selenium status in animals. *J. Anim. Sci.* 65: 1712-1726.
- Van Metre, D. C., and R. J. Callan. 2001. Selenium and vitamin E. *Vet. Clin. North. Amer. Food Anim. Pract.* 17(2): 373-402.
- Zervas, G. P. 1988. Use of soluble glass boluses containing Cu, Co and Se in the prevention of trace-element deficiencies in goats. *J. Agric. Sci. Cambridge*, 110: 155-158.