

11664  
20  
8



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**EVALUACION DEL "STATUS" MINERAL DE CAPRINOS  
PASTOREANDO VEGETACION NATURAL EN EL  
ALTIPLANO POTOSINO**

**T E S I S**  
**QUE PRESENTA:**  
**JUAN OSCAR ROMERO BRITO**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE:**  
**MAESTRIA EN PRODUCCION ANIMAL**  
**(OVINOS Y CAPRINOS)**

ASESOR DE LA TESIS  
M. Scs. **MAXIMINO HUERTA BRAVO**

**FALSA FE CORDEN**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MEX.**

**1989**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## CONTENIDO

	Página
<b>RESUMEN</b>	
<b>INDICE DE CUADROS</b>	
<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos .....	2
<b>2. REVISION DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1. Generalidades .....	3
2.2. Clasificación de los minerales .....	5
2.3. Esencialidad de los minerales .....	6
2.4. Investigación sobre minerales en México .....	8
2.5. Fuentes de minerales .....	9
2.5.1. Alimento .....	9
2.5.2. Suelo .....	16
2.5.3. Agua .....	18
2.6. Revisión sobre el metabolismo general de:.....	24
2.6.1. Calcio y fósforo .....	24
2.6.2. Magnesio .....	31
2.6.3. Potasio .....	35
2.6.4. Sodio y Cloro .....	38
2.6.5. Cobre .....	41
2.6.6. Zinc .....	50

	Página
<b>3. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>57</b>
3.1. Sitio de muestreo .....	57
3.2. Procedimiento de muestreo .....	59
3.3. Análisis de muestras .....	61
3.4. Análisis estadístico .....	61
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>63</b>
4.1. Minerales en suelo .....	63
4.2. Minerales en el agua de bebida .....	66
4.3. Minerales en los forrajes consumidos .....	68
4.4. Variables estudiadas en los animales .....	77
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>93</b>
<b>6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>94</b>

## RESUMEN

### EVALUACION DEL "STATUS" MINERAL DE CAPRINOS PASTOREANDO VEGETACION NATURAL EN EL ALTIPLANO POTOSINO

JUAN OSCAR ROMERO BRITO

TESIS DE MAESTRIA EN PRODUCCION ANIMAL, FESC-UNAM. 1989

Con el objetivo de evaluar el estado de la nutrición mineral de cabras explotadas bajo condiciones de pastoreo extensivo en la región del Altiplano de San Luis Potosí (SLP) y Zacatecas, se realizaron dos muestreos que incluyeron 78 y 80 cabras adultas cada uno de la Localidad Benito Juárez, SLP, el primero en la época seca y el segundo en la época de lluvias. Las determinaciones realizadas fueron: contenido de Ca, P, Mg, K, Na, Cu y Zn en el suelo, agua de bebida, forraje seleccionado por los animales y suero sanguíneo de los caprinos, así como la edad (número de dientes), condición corporal y número de huevecillos por gramo de heces (HPGH) en cada animal y muestreo. Los resultados obtenidos de los contenidos de minerales en el suelo, agua y forrajes por época de muestreo y, los del contenido de minerales en suero sanguíneo por edad y condición fueron evaluados por medio de análisis de varianza para un diseño completamente al azar y las medias comparadas por el método de Tukey. Además, se calcularon correlaciones simples de los contenidos de minerales entre suelo, agua y forrajes consumidos, así como entre los contenidos de minerales en el suero sanguíneo de los animales y edad, condición corporal HPGH. Para evaluar los efectos de la época de muestreo, edad, condición corporal y HPGH sobre el contenido de minerales en el suero sanguíneo de los animales, se analizó la información por regresión múltiple (Procedimiento STEPWISE). Considerando el contenido de minerales en el suelo como una medida de la fertilidad, se encontró que el contenido de minerales en el suelo en las dos épocas de muestreo reveló ser adecuado en Ca, Mg, K, Cu y Zn y bajo en P. En los dos muestreos, la concentración de minerales en el agua de bebida fue muy baja, por lo cual no se considera como fuente importante de minerales para los caprinos de la región. Existieron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el contenido de minerales entre las especies de forrajes consumidos por el ganado dentro y entre los muestreos realizados. En los dos muestreos realizados, el contenido de Ca en las arbustivas y nopal fue superior ( $P < 0.05$ ) al del resto de las especies forrajeras; el contenido de Zn en todas las especies forrajeras muestreadas fue en el límite de deficiencia y el de P fue deficiente. En la época seca, el contenido promedio de minerales en los forrajes consumidos por los animales fue superior ( $P < 0.05$ ) en Ca, Mg, Cu y Zn y menor en P y Na. Relacionando el contenido promedio de minerales en los forrajes en cada época de muestreo con los requerimientos mínimos

del ganado, se encontró que los niveles de Ca y Na fueron muy superiores a los requeridos por el ganado, los de Mg, K y Cu ligeramente mayores, los de Zn marginales y los de P en nivel deficiente. Respecto al contenido de minerales en el suero sanguíneo de los animales por edad, condición y época de muestreo no se encontraron diferencias significativas. En el contenido general de minerales en el suero sanguíneo se encontró que los niveles de Ca, Mg, K y Na fueron adecuados, los de Zn en el límite de deficiencia y, los de Cu deficientes. En base a los resultados antes expuestos, se concluye que la época de muestreo afectó el contenido de minerales en el forraje consumido; la edad, condición y época de muestreo no afectaron el contenido de minerales en el suero sanguíneo de los animales y, el contenido promedio de minerales en el suero sanguíneo de los animales reveló ser de marginal a deficiente en Cu y Zn, por lo cual, la suplementación con estos minerales puede ser recomendada.

# INDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Porcentaje de los forrajes muestreados durante la estación seca en República Dominicana, Bolivia, Colombia y Guatemala que tuvieron menor concentración de minerales que el nivel crítico requerido por los rumiantes .....	10
Cuadro 2. Concentración de minerales en 2615 forrajes Latinoamericanos (base seca) y su relación con los requerimientos del ganado .....	11
Cuadro 3. Comparación del consumo de minerales en ovinos por día alimentados con pasturas libres de suelo y contaminadas .....	19
Cuadro 4. Límite de la concentración de algunas sustancias potencialmente tóxicas recomendado para el agua de bebida de ganado y aves .....	20
Cuadro 5. Composición promedio de algunos minerales en aguas de USA .....	23
Cuadro 6. Concentración de minerales en la sangre de caprinos .....	28
Cuadro 7. Contenido de minerales en el suelo en las dos épocas de muestreo y nivel en que se encuentran	64
Cuadro 8. Clasificación general de la fertilidad del suelo en base a su contenido de minerales .....	65
Cuadro 9. Contenido de minerales en el agua de bebida de los animales en las dos épocas de muestreo ....	67
Cuadro 10. Contenido promedio de minerales en la materia seca de diferentes tipos de forrajes consumidos por los caprinos en la época seca .....	69

Cuadro 11. Contenido promedio de minerales en la materia seca de los diferentes tipos de forrajes consumidos por los caprinos en la época de lluvias .....	70
Cuadro 12. Contenido promedio de minerales en la materia seca de los diferentes tipos de forrajes consumidos por los caprinos en las dos épocas de muestreo .....	71
Cuadro 13. Contenido promedio de minerales en la materia seca de los forrajes consumidos por los caprinos en las dos épocas de muestreo .....	74
Cuadro 14. Relación que guarda el contenido de minerales en el forraje con respecto al nivel crítico para ruminantes por época de muestreo .....	75
Cuadro 15. Efecto de la edad sobre el promedio de las variables estudiadas en los animales y minerales en suero .....	78
Cuadro 16. Efecto de la condición de los animales sobre las variables estudiadas en los animales y en suero .....	80
Cuadro 17. Correlaciones generales que presentaron una $P < 0.10$ entre las variables estudiadas .....	81
Cuadro 18. Efecto de la estación de muestreo sobre las variables evaluadas y minerales en suero .....	84
Cuadro 19. Ecuaciones de regresión que explican el nivel de minerales en suero sanguíneo de los animales en función de las variables estudiadas .....	87
Cuadro 20. Promedio general de las variables estudiadas en los animales en las dos épocas de muestreo ....	88
Cuadro 21. Nivel normal y crítico de minerales en suero sanguíneo para ruminantes .....	89



## 1. INTRODUCCION

La investigación sobre nutrición mineral en los animales domésticos se ha intensificado notablemente durante los últimos años, y ha dado como resultado la generación de gran cantidad de información básica y aplicada. No obstante, aún se desconocen algunos aspectos del metabolismo y los requerimientos óptimos de algunos de los minerales esenciales en la dieta de los rumiantes.

Los ovinos y bovinos son las especies de rumiantes que han sido sometidas a un mayor número de estudios para evaluar su nutrición mineral. Esto debido a que son especies con distribución mundial y con importante contribución económica y productiva. Sin embargo, la investigación sobre nutrición mineral en caprinos ha recibido poca atención. En la actualidad aún se desconocen los requerimientos óptimos de los macro y microelementos esenciales para mantenimiento, producción de leche y carne, así como la información básica del metabolismo de éstos en el organismo de los caprinos (Jacobson *et al.*, 1976; ARC, 1980; Haenlein, 1980a y b; Davendra, 1981; Gall, 1981; Kessler, 1981; NRC, 1981; Underwood, 1981; Mba, 1982).

La estimación de los requerimientos de minerales para caprinos productores de carne y de leche, se viene haciendo hasta la fecha, tomando como base los requerimientos de ovinos y bovinos lecheros, respectivamente. Estas estimaciones tienen la desventaja de carecer de especificidad para la especie, además, no consideran las diferencias nutricionales y de comportamiento alimenticio, de composición mineral de sus productos (leche,

Jennes, 1981) y, de las diferencias fisiológicas de los caprinos con los de las otras especies (Haenlein, 1980b y 1987).

Actualmente el conocimiento de los niveles normales de los minerales más importantes en los tejidos, sangre (suero y plasma) y pelo de los caprinos es muy limitado.

### **1.1. Objetivos**

El objetivo del presente trabajo es aportar conocimiento de los niveles de algunos minerales (Ca, P, Mg, K, Na, Cu y Zn) en suero sanguíneo de caprinos de acuerdo a la edad y condición corporal y su relación con los contenidos de estos minerales en el forraje consumido, agua de bebida y suelo evaluados en dos épocas del año bajo condiciones de pastoreo en vegetación natural en la región del Altiplano de San Luis Potosí y Zacatecas.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Generalidades

Para obtener el máximo potencial de crecimiento y producción en los animales domésticos, es necesario proporcionarles una alimentación que satisfaga sus requerimientos nutricionales y un medio ambiente óptimo. Sin embargo, la desnutrición (energía, proteína, vitaminas y/o minerales) es el principal problema que limita la producción y productividad pecuaria en el mundo.

De los nutrientes esenciales, la energía y proteína representan cerca del 100% de los costos de alimentación, por lo cual, la corrección de sus deficiencias resulta incosteable en algunos casos y en otros imposible desde el punto de vista práctico. Algunas vitaminas son obtenidas por los ruminantes en cantidades adecuadas mediante la síntesis que realizan algunos microorganismos que habitan el tracto digestivo y directamente del alimento y/o de transformaciones que sufren los precursores en el animal. Los problemas de desnutrición por vitaminas en ruminantes son poco comunes salvo en situaciones específicas en donde su corrección es un procedimiento sencillo y barato. Por otro lado, con alta frecuencia son reportados e identificados problemas de desnutrición mineral, los cuales pueden ser corregidos de manera sencilla y sin representar costos elevados. Las anomalías en nutrición mineral, involucran interrelaciones entre suelo, plantas y animales que pueden ser consideradas como una simple condición de deficiencia o exceso de un solo elemento, o puede ser que la interrelación entre las

concentraciones de minerales en los suelos, plantas y animales, así como de la concentración de otros factores relacionados sea más compleja y cause afecciones sobre los requerimientos y sobre la eficiencia de uso de algunos de los elementos minerales de la dieta (Allaway, 1986).

Los problemas de desnutrición mineral pueden ser debido a deficiencias, toxicidades y desbalances. De estos, las deficiencias y toxicidades severas son los casos más reportados debido a su relativa facilidad de ser diagnosticados. Desafortunadamente, los casos de deficiencias y toxicidades ligeras y los desbalances entre los minerales en la dieta y en el metabolismo general del animal, sin duda alguna se presentan con muy alta frecuencia y debido a que los animales no manifiestan signos clínicos que los caractericen, estos disturbios no pueden ser diagnosticados fácilmente. Esta situación nos hace suponer que en algunos casos, los desbalances entre minerales son de carácter permanente. Los desbalances entre minerales y las interacciones que tienen con otros factores como son vitaminas, hormonas y enzimas causan fallas en algunos procesos metabólicos o fisiológicos que dan como resultado una menor eficiencia en la producción animal. Mertz (1976) indica que las pérdidas en producción y productividad animal causadas por deficiencias, toxicidades e imbalances de minerales, son de muy alta magnitud. La investigación sobre nutrición mineral de los animales domésticos pretende llegar a conocer sus requerimientos de minerales y así poder proporcionarlos adecuadamente en la dieta. Para cumplir este propósito es necesario evaluar el aporte real

de minerales en el forraje, suelo y agua consumidos por el animal y elaborar suplementos que aporten las cantidades precisas de los elementos deficientes (Allaway, 1986).

## 2.2. Clasificación de los minerales

Existen básicamente tres formas de clasificación de los minerales detectados en los tejidos de los animales, estos son: 1) clasificación basada en su distribución preferencial en tejidos y órganos, 2) clasificación basada en el criterio cuantitativo de la presencia de los minerales en el organismo y, 3) clasificación basada en las funciones biológicas de los minerales en el organismo animal (Georgievskii, 1982). De las clasificaciones anteriores, la más utilizada es la basada en criterios cuantitativos de los minerales en el organismo animal, de esta forma, los elementos minerales son clasificados en macro y microelementos ó macrominerales y minerales trazas.

Según Underwood (1981), siete elementos son clasificados como macrominerales que son: calcio (Ca), fósforo (P), potasio (K), sodio (Na), cloro (Cl), magnesio (Mg) y azufre (S); y 15 elementos como microminerales que son: hierro (Fe), yodo (I), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), cobalto (Co), molibdeno (Mo), selenio (Se), cromo (Cr), estaño (Sn), vanadio (V), flúor (F), silicón (Si), níquel (Ni) y arsénico (As).

Otros elementos como el bario (Ba), bromo (Br), aluminio (Al), boro (B), germanio (Ge), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg), rutenio (Ru) y niobio (Nb), se encuentran presentes en los tejidos de animales, pero aun no se les ha demostrado su

participación fisiológica (Haenlein, 1980a; Haenlein, 1980b; Underwood, 1977).

Cabe destacar que los 26 elementos naturalmente presentes en los organismos vivos, los cuales cumplen funciones en la fisiología y metabolismo que los hacen esenciales, poseen números atómicos bajos. De estos elementos, el I con número atómico de 53 es el mayor. Hasta ahora no se ha demostrado que otro elemento que tenga un número atómico mayor cumpla alguna función biológica anabólica. Los elementos que poseen un número atómico superior, generalmente causan efectos adversos y son considerados tóxicos, como es el caso del plomo y mercurio (Underwood, 1981).

La localización de los elementos minerales dentro del organismo de los animales, es muy amplia y compleja, por lo cual, una clasificación en esta base es inoperante. Las funciones de los minerales en los animales se pueden agrupar en tres, que son: 1) función estructural, cuando forman parte de órganos y tejidos, 2) función reguladora, en la homeostasis de fluidos y tejidos y 3) función catalítica en los sistemas enzimáticos y hormonales (Underwood, 1981; Georgievskii, 1982).

### **2.3. Esencialidad de los minerales**

Actualmente se tiene evidencia que de los 90 elementos naturalmente presentes en la tierra, 26 son considerados esenciales para la vida animal (Underwood, 1981). Al respecto de la esencialidad de los elementos, existen divergencias entre autores. Excluyendo a los elementos carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O) y nitrógeno (N), que son los componentes básicos de

la materia orgánica, los 22 restantes son los elementos minerales bajo discusión. Mertz (1976) considera que un elemento mineral es esencial, si su deficiencia en la dieta del animal provoca consistentemente que una función fisiológica cambie del nivel óptimo al subóptimo. En una definición más amplia, Cotzias (1967) puntualiza que un elemento mineral es esencial si satisface los siguientes requisitos: i) estar presente en todos los tejidos sanos de los animales, ii) que la concentración del mineral de un animal a otro sea constante, iii) que la exclusión del mineral de la dieta provoque las mismas anomalías fisiológicas y estructurales cada vez que se ensaye en un animal y que estas anomalías sean reproducibles aún en especies diferentes; iv) que su adición en la dieta cause recuperación ó prevenga las anomalías, v) que las anomalías inducidas por deficiencias sean siempre acompañadas por cambios bioquímicos específicos y vi) que los cambios bioquímicos puedan ser prevenidos o curados cuando la deficiencia es prevenida o curada. Los anteriores requisitos son válidos para aquellos minerales que pueden ser cuantificados con las técnicas de análisis disponibles actualmente, sin embargo, una de las principales limitantes para declarar a otros elementos minerales como esenciales para la vida animal es la falta de técnicas de análisis y por consiguiente la evaluación de su participación en la fisiología de los animales (Underwood, 1981). Stika y Morrison (1981) presentan una revisión sobre los métodos analíticos para la cuantificación de minerales en los tejidos, así como algunas de las ventajas, desventajas y sensibilidades de cada uno. Blackmore y Stainer (1984) y Salisbury y Chan (1985) proponen nuevas técnicas para

facilitar la determinación de algunos minerales en fluidos y tejidos de animales.

#### 2.4. Investigación sobre nutrición mineral de ruminantes en México

Muy poco se conoce sobre el status mineral de los ruminantes en México, especialmente bajo condiciones de pastoreo. La mayor parte de la ganadería caprina nacional se explota bajo condiciones de pastoreo extensivo, que se realiza en las amplias zonas áridas y semi-áridas. Esta situación dificulta la investigación del status mineral de los caprinos. Además, existen las siguientes limitantes: 1) alta variabilidad en el origen y composición de los suelos, que a su vez, determina la presencia y disponibilidad de minerales para las plantas, los minerales disueltos en el agua de bebida y, los contenidos en la tierra que los animales ingieren intencionalmente o en la tierra adherida al forraje, 2) la amplia variabilidad de especies forrajeras que presentan diferente disponibilidad y calidad a través del año y entre años, 3) la variabilidad en precipitación pluvial y 4) las diferencias notables en manejo de los rebaños, tipos de los animales y hábitos alimenticios. Aunado a estas limitantes, es necesario considerar la falta de técnicos y laboratorios especializados así como de apoyos económicos. Por tal motivo, las investigaciones realizadas hasta la fecha en nutrición mineral en ruminantes son escasas y aisladas, y han sido realizadas especialmente en bovinos en pastoreo en la región centro norte de México y en la zona costera del golfo. Actualmente no se cuenta con un mapa del país en el cual se especifiquen las zonas deficientes ó con problemas de toxicidades



de minerales. Algunos de los trabajos de investigación sobre nutrición mineral en rumiantes en pastoreo realizados en México son: Cruz (1977); Escamilla (1978); Fuentes (1977); Guardado (1977); Ibarra (1979); Jiménez (1976); Madero (1976); Mier y Terán Puerto (1977); Monroy (1974); Obeso (1977); Ortega (1979); Sánchez (1978); Siller (1977a); Siller (1977b).

## 2.5. Fuentes de minerales

Las fuentes que proporcionan los elementos minerales a los animales son el alimento, suelo, agua y suplementos minerales que ingieren.

### 2.5.1. Alimentos

La principal fuente de minerales para los rumiantes son los alimentos y forrajes que ellos consumen, por lo cual, los factores que determinan el contenido mineral de las partes vegetativas de las plantas y semillas afectan el consumo de minerales del ganado.

Bajo condiciones normales, los rumiantes que se explotan en pastoreo no son suplementados con sales minerales adecuadas, limitándose en algunos casos a proporcionar esporádicamente sal común (McDowell et al., 1984). Por tal motivo, los rumiantes dependen grandemente de los forrajes para satisfacer sus requerimientos de minerales. Sin embargo, sólo en muy raras ocasiones los forrajes satisfacen los requerimientos de cada uno de los minerales para los animales en pastoreo (Cuadro 1). En el Cuadro 2, se resumen los datos de la composición mineral de 2615

Cuadro 1. Porcentaje de los forrajes muestreados durante la estación seca en República Dominicana, Bolivia, Colombia y Guatemala que tuvieron menor concentración de minerales que el nivel crítico requerido por los rumiantes.

Mineral	Nivel crítico en forrajes	República Dominicana	Bolivia	Colombia	Guatemala
Ca %	0.30	24	57	100	71
P %	0.25	83	100	92	57
K %	0.6-0.8	0	1	15	13
Na %	0.06	78	100	100	88
Mg %	0.20	33	64	56	76
Fe ppm	30.00	0	0	0	0
Zn ppm	30.00	86	81	74	49
Cu, ppm	10.00	64	100	100	92
Mn ppm	30-40	10	0	0	24
Co ppm	0.10	26	48	31	1
Mo ppm	≤6.00	0	0	0	0
Se ppm	0.10	48	47	74	49

McDowel (1985f)

Cuadro 2. Concentración de minerales en 2615 forrajes Latinoamericanos (base seca) y su relación con los requerimientos del ganado\*.

Mineral (%)	Requerimientos**	Conc. del mineral en los forrajes				
		Baja	(%)	Alta	(%)	
Ca	42.9	0.18-0.60 %	0-0.30	31.1	≥0.30	68.9
Co	5.4	0.05-0.10 ppm	0-0.10	43.1	≥0.10	56.9
Cu	9.0	4-10 ppm	0-10	46.6	≥10	53.4
Fe	9.8	10-100 ppm	0-100	24.1	≥100	75.9
Mg	11.1	0.04-0.18 %	0-0.20	35.2	≥0.20	64.8
Mn	11.2	20-40 ppm	0-40	21.0	≥40	79.0
Mo	5.1	≤0.01 ppm	0-3	86.4	≥3	13.6
P	43.2	0.18-0.43 %	0-0.30	72.8	≥0.30	27.2
K	7.6	0.60-0.80 %	0-0.80	15.1	≥0.80	84.9
Na	5.6	0.10 %	0-0.10	59.5	≥0.10	40.5
Zn	6.8	10-50 ppm	0-50	74.6	≥50	22.4

\* McDowell et al. (1974)

\*\* McDowell et al. (1977).

forrajes de América Latina (McDowell et al., 1974; McDowell et al., 1977). En estas recopilaciones queda de manifiesto que un alto porcentaje de los forrajes analizados contienen niveles críticos o deficientes de algunos minerales; el 43% de ellos son deficientes en Co, el 47% en Cu, el 35% en Mg, el 73% en P, el 60% en Na y el 75% en Zn.

Son muchas las publicaciones de diferentes partes del mundo en las que se indican lo inadecuado de los forrajes para satisfacer los requerimientos de minerales de los animales en pastoreo (Gomide, 1978; Underwood, 1981). Los minerales que con mayor frecuencia s**o**n reportados como deficientes en los forrajes son el P, Na, Ca, Cu, Se y Zn (McDowell, 1985a).

El contenido de minerales de plantas forrajeras y granos de cereales está afectada por varios factores interdependientes, dentro de los cuales destacan el género, especie y variedad de la planta; el tipo de suelo sobre el cual se desarrolla; la estación de crecimiento y clima; el estado de madurez de la planta; el rendimiento y manejo de las pasturas (Underwood, 1981; McDowell, 1985a).

El suelo es la fuente de todos los minerales encontrados en las plantas, por lo cual, la mayoría de las deficiencias de minerales que se presentan de manera regular en las plantas y en el ganado, están asociadas con regiones específicas y éstas, directamente relacionadas con la concentración de minerales en el suelo y de sus características (Boila et al., 1984; McDowell, 1985a). Del total de la concentración mineral en los suelos, sólo una

fracción es tomada por las plantas. La disponibilidad para las plantas de un mineral en el suelo, depende de la concentración efectiva en solución.

Existen diversos ejemplos sobresalientes que ponen de manifiesto la gran diferencia que existe en el contenido de algunos minerales entre diferentes plantas que crecen bajo las mismas condiciones, tal es el caso de los géneros de Atriplex sp y Kochia sp que contienen de 8 a 14% de NaCl en base seca cuando el contenido común en plantas alledañas es del 1% (Sherrell, 1978), otro ejemplo lo constituyen las especies del género Astragalus, las cuales aún en suelos con bajo contenido de Se, llegan a contener de 3000 a 5000 ppm de Se sobre base seca, que comparado con 10 a 20 ppm contenidos en especies forrajeras comunes que crecen en el mismo suelo hace que estas especies sean consideradas seleníferas (Scott y Thompson, 1971).

En general, el contenido de minerales en las leguminosas es superior al de las gramíneas, especialmente en Ca, K, P (Fleming, 1973) y en Zn (Boila et al., 1985). Estas diferencias prevalecen tanto en climas templados (Thomas et al., 1972) como en climas tropicales (Gomide, 1978). Existen también diferencias notables en el contenido de minerales entre diferentes especies de pastos o leguminosas que crecen en un mismo tipo de suelo (Gomide, 1978; Boila, 1984a).

A este respecto, Johnson y Butler (1957) reportan diferencias en el contenido de minerales cuando analizaron algunas variedades de Lolium perenne que crecieron bajo el mismo suelo y cortados a

igual estado fenológico.

Referente a la parte de la planta que es analizada, las semillas invariablemente contienen mayor número y concentración de minerales que el resto de la planta, existiendo diferencias notables a favor de las semillas de leguminosas comparadas con las semillas de gramíneas, de esta manera, cuando se suplementa a los animales con semillas de leguminosas u oleaginosas, el aporte de minerales es mayor.

El contenido de minerales en las diferentes partes vegetativas de las plantas, esta condicionado a la movilidad del elemento en el sistema de la planta, ya que existen minerales como el Mg que tiene baja movilidad, situación que provoca síntomas de deficiencia tanto en brotes tiernos de las plantas como en los animales que las consumen (De Alba, 1973).

Las plantas son sensibles a condiciones de deficiencias, toxicidades e imbalances de los minerales en el suelo, esto causa como primera respuesta, una disminución de la producción así como un menor almacenamiento de estos en los tejidos de las plantas. El pH del suelo es factor determinante sobre la disponibilidad biológica de los minerales presentes en el suelo para las plantas (Volkweiss y Rodríguez, 1978; Whiteman, 1980).

Sin embargo, no es posible suponer que especies forrajeras que crecen en suelos que aportan cantidades adecuadas de minerales para su crecimiento, satisfagan así mismo los requerimientos de minerales de los animales que las consumen, esto debido a que sus requerimientos y sistemas metabólicos son diferentes.

La fertilización de pastos y leguminosas es una forma de aumentar su contenido de minerales. Grunes (1973) y Gross y Jung (1981) indican que altas temperaturas y la fertilización con Mg, causan un incremento en la concentración de este elemento en los tejidos vegetales. Así mismo, Dejou et al. (1984) reportan que la fertilización con Cu y Zn en suelos volcánicos durante 2 años, causó un aumento notable en el contenido de Zn en los pastos y en menor magnitud los niveles de Cu durante 8 años siguientes a la fertilización. Sin embargo, con frecuencia se presentan casos en los que el contenido de minerales en las plantas no se eleva con la fertilización y en otros, su contenido se reduce (Gomide, 1978; Paredes et al., 1967). Saunders (1984) reporta que las heces y orina que el ganado en pastoreo deyecta sobre el suelo, causan incrementos en la producción de pastos y mejora el contenido de K, P y Mo en el forraje.

Otros factores que afectan el contenido de minerales de las especies forrajeras son el clima, el estado de madurez y la estación del año, factores que están estrechamente relacionados. Las plantas tienden a madurar en respuesta a factores internos inherentes a su constitución genética y también en respuesta a factores externos que son básicamente el clima y fotoperíodo (Whiteman, 1980). De-Sousa et al. (1980) indican que en climas tropicales del Brasil, los contenidos de Cu extractable del suelo y del forraje disponible en la estación seca y lluviosa fue de 2.1 y 1.5, y de 2.4 y 5.4 ppm, respectivamente. Cuevas et al. (1983) reporta que el contenido de minerales en pastos tropicales varió notablemente según la estación del año, encontrándose que

en verano el K y Zn fueron deficientes y que el P y Ca fueron deficientes todo el año.

A medida que avanza el estado de madurez de la planta, el contenido de P y K disminuye marcadamente y en menor magnitud disminuye el de Mg, Zn, Cu, Mn, Ca, Ni, Mo y Fe (Underwood, 1981; Fleming, 1973; Gomide, 1978), mientras que el contenido de Si usualmente incrementa a medida que la planta madura (Whiteman, 1980). La caída o en algunos casos la cosecha de las semillas, causa también disminución del contenido de minerales en la planta, provocando que el forraje remanente (pajas) sea una pobre fuente de minerales para los animales. Esta pérdida de minerales por madurez y por caída de semillas de la planta, aumenta cuando la planta permanece sobre el suelo sin cosechar, debido a que los minerales se pierden por lavado y lixiviación. Southern (1979) analizó el contenido de P y K en pajas de cebada, evaluándolas al momento de la cosecha y a cinco meses después y encontró, que los contenidos promedio de P y K disminuyeron de 0.07 a 0.04% y de 0.90 a 0.09%, respectivamente.

### 2.5.2. Suelo

Los ruminantes en pastoreo e incluso bajo condiciones de estabulación, no pueden evitar el consumo de suelo en cantidades variables. El consumo de suelo puede ser debido a la ingestión directa en lugares que el animal elige y/o por contaminación de los forrajes con suelo. Bajo condiciones normales de pastoreo, cuando el forraje disponible esta a poca altura sobre el terreno, el suelo constituye del 10 al 14% de la



MS de la dieta de ovinos (Field y Purves, 1964; Healy, 1967; Arnold et al., 1966) y en casos extremos, este consumo llega a ser del 16 al 40% (Healy, 1970; Suttle et al., 1975). El consumo de suelo por los ruminantes se ve favorecido por deficiencias nutricionales de energía, proteína y/o minerales; por mal drenaje; por alta carga animal; por parasitosis gastroentéricas; por débil estructura del suelo, por hábitos de pastoreo y otros (Healy, 1972 y 1973; McDowell et al., 1984).

El efecto nutricional de la ingestión de suelo depende de la cantidad ingerida, del contenido de minerales en este y, de la habilidad del rumiante para solubilizar y absorber los minerales liberados del suelo (Mayland et al., 1975; De Sousa, 1978). De esta manera, se pueden presentar casos de toxicidades, provocar deficiencias en minerales que están presentes en cantidades adecuadas en la dieta y/o imbalances; todos estos casos afectan la producción de los animales. En Costa Rica, Rosa (1980) reporta que la inclusión de 10% de suelo en la dieta de ovinos, causó una disminución en la absorción aparente y verdadera de P. Suttle et al. (1975) indican que en invierno la ingestión de suelo llegó a ser del 10% de la MS consumida y que este suelo contenía de 2 a 41 ppm de Mo, que puede ser la causa de una hipocuprosis inducida en ovinos, ya que el Mo es un importante antagonista en el metabolismo de Cu. Sin embargo, en ciertos casos la ingestión de suelo también puede representar fuente adicional y benéfica de algunos minerales trazas como el Co, Cu, Zn, Mn y Se (Healy, 1970; Healy, 1974; Healy et al., 1970; Miller et al., 1978; Allaway, 1986). Grace y Healy (1974) reportaron los efectos de

la adición diaria de 100 g de dos tipos de suelos a la dieta de ovinos sobre la absorción aparente y retención de macro-elementos y encontraron que la adición de suelo disminuyó las pérdidas fecales de Mg y Ca. Healy (1973) comparó la cantidad ingerida de minerales de un grupo de animales consumiendo dieta no contaminada con suelo contra otro con dieta con 14% de suelo sobre base seca (Cuadro 3). El consumo de Fe, Co, Se y I fueron mejorados de manera notable.

### 2.5.3. Agua

El agua de bebida es otra fuente común de minerales para el ganado. En los análisis de agua que se han realizado, invariablemente se detectan elementos minerales esenciales y no esenciales. Esto es debido a que el agua es un solvente universal que nos permite encontrar muchos compuestos químicos y elementos minerales disueltos ya sea en forma de iones libres, moléculas ó radicales. Las fuentes más comunes de agua para el ganado son pequeños abrevaderos, presas, ríos, riachuelos y agua subterránea. Shirley (1985) indica que todos los elementos minerales esenciales en cantidades muy variables se encuentran presentes en el agua de bebida, aunque en cantidades muy variables.

En el Cuadro 4, se presenta el límite superior recomendado para la concentración de sustancias tóxicas en el agua de bebida para ganado y aves (NRC, 1974).

El efecto nutricional ó tóxico de un elemento mineral disuelto en el agua, depende principalmente de la forma iónica en que se

Cuadro 3. Comparación del consumo de minerales en ovinos por día alimentados con pasturas libres de suelo y contaminadas.

Mineral	Consumo del mineral/día	
	Pastura limpia	Pastura contaminada
Ca, g	4.2	5.7
Mg, g	1.8	2.6
K, g	18.0	19.0
Na, g	1.2	2.7
P, g	3.0	3.7
Fe, mg	150.0	4150.0
Mn, mg	60.0	160.0
Zn, mg	18.0	24.0
Cu, mg	4.2	6.2
Mo, mg	0.6	0.7
Co, mg	0.18	0.68
Se, mg	0.06	0.21
I, mg	0.30	0.80

Healy (1973).

**Cuadro 4. Límite de la concentración de algunas sustancias potencialmente tóxicas recomendado para el agua de bebida de ganado y aves.**

Elemento	Límite Superior (mg/l ó ppm)
Arsénico	0.2
Bario	no determinado
Cadmio	0.05
Cromo	1.0
Cobalto	1.0
Cobr	0.5
Flúor	2.0
Fierro	no determinado
Piomo	0.1
Manganeso	no determinado
Mercurio	0.01
Molibdeno	no determinado
Niquel	1.0
Nitrato-N	100.0
Nitrito-N	10.0
Vanadio	0.1
Zinc	25.0

NRC (1974)

encuentre, la cual determina su disponibilidad biológica para el animal. Shirley et al. (1951) y Shirley et al. (1957) administraron a novillos sales radiactivas de fósforo-32 y calcio-45 en el agua de bebida, y encontraron que el Ca y P fueron absorbidas a niveles equivalentes como cuando los isótopos fueron incorporados en forrajes por medio de fertilizantes. En otro experimento, Chapman et al. (1962) reportaron que 12 g de sulfato de cobre administrados a novillos en cápsulas de gelatina durante un año, no causó efectos visibles de toxicidad, sin embargo, cuando la misma cantidad fue administrada vía agua de bebida, 2 novillos murieron por intoxicación con Cu a los 65 días de iniciado el experimento. Estos resultados indican que los minerales son absorbidos de similar o mejor manera cuando son administrados en solución acuosa que en forrajes o mezclas de minerales, agudizando en algunos casos los efectos tóxicos de los minerales o coadyuvando a la recuperación en los tratamientos de deficiencias. En las zonas áridas y semiáridas, la salinidad del agua de bebida puede ser mayor a la tolerancia de los rumiantes afectando negativamente el crecimiento, lactancia y reproducción (Shirley, 1985).

El consumo de agua de los animales domésticos varía considerablemente. El consumo de agua puede ser explicado en función de los factores internos del animal y de los factores externos como es el clima. Los ovinos y caprinos pueden realizar un consumo de agua desde 4 hasta 15 litros por día en climas templados (NRC, 1974). El amplio rango que existe en el consumo de agua nos indica la variabilidad que puede existir en el

consumo de minerales disueltos en el agua.

Las siguientes terminologías son útiles para definir los tipos de aguas que consumen los animales domésticos. Sólidos totales expresa la cantidad de todos los constituyentes disueltos en el agua. Salinidad indica la concentración total de iones disueltos en agua fresca. Dureza es una medida de la concentración de iones divalentes, que generalmente son Ca y Mg. Agua salada se usa para referir aguas con contenidos altos de NaCl.

La concentración de elementos minerales en el agua de bebida de los rumiantes, es generalmente inadecuada para satisfacer sus requerimientos nutricionales. Se ha reportado que agua con 1% de NaCl causó un aumento del 52.8% en el consumo de agua, sin que esto provocará efectos adversos sobre el comportamiento productivo de los animales, sin embargo, agua con 2% de NaCl causa efectos tóxicos y disminuye la temperatura rectal (Pierce, 1959; Pierce, 1960; Weeth y Haverland, 1961). Sing y Taneja (1978) concluyen que los ovinos de la raza Marwari pueden subsistir consumiendo una agua de bebida que contenga hasta 1.5% de sal por un periodo de más de 6 meses, sin que los animales presenten signos clínicos o cambios en la distribución del agua en el cuerpo. Agua con 190 ppm de Ca y Mg durante 57 días no causó problemas a los animales, pero a los 181 días disminuyó la producción de leche (Allen *et al.*, 1958).

En el Cuadro 5, se presenta el contenido de elementos minerales de las aguas superficiales de U.S.A. (Durum *et al.*, 1971). Según estimaciones realizadas, estas aguas aportan del 6 al 7% de los

Cuadro 5. Composición promedio de algunos minerales en aguas de USA\*.

Sustancia	Promedio	Max	Min
P, mg/l	0.087	5.0	0.001
Ca, mg/l	57.100	173.0	11.000
Mg, mg/l	14.300	137.0	8.500
Na, mg/l	55.100	7500.0	0.200
K, mg/l	4.300	270.0	0.060
Cl, mg/l	478.000	19000.0	0.000
Sulfato, mg/l	135.900	3383.0	0.000
Cu, ug/l	13.800	280.0	0.800
Fe, ug/l	43.900	4600.0	0.100
Mn, ug/l	29.400	3230.0	0.200
Zn, ug/l	51.800	1183.0	1.000
Se, ug/l	0.016	1.0	0.010
I <sub>1</sub> , ug/l	46.100	336.0	4.000
I <sub>2</sub> , ug/l	1.000	5.0	0.000
Co, ug/l	1.000	5.0	0.000

\* NRC (1974)

b Dantaman y Breland (1970)

c Durum et al. (1971)

requerimientos diarios de NaCl de ovinos en crecimiento y ovejas lactantes; el 5-8% de Ca para ovejas lactantes, menos del 1% de P para los rumiantes; del 4 al 11% de Mg para ovinos en general, del 10-11% de S, el 12% de Co, el 6% de Mn, el 2% de Zn, Cu y el 1% de K, Se y Fe (Shirley, 1985).

## 2.6. Revisión sobre el metabolismo general del:

### 2.6.1. Calcio y Fósforo

El Ca y P generalmente se estudian juntos, esto debido a que guardan una estrecha relación en el metabolismo en general. Especialmente, estos dos minerales tienen estrecha relación en el metabolismo del hueso y en los requerimientos del animal, los cuales a su vez son interdependientes de la concentración de cada uno en la dieta (McDowell, 1985b). Estos dos elementos componen más del 70% del contenido de minerales del cuerpo.

Aproximadamente el 99% del Ca está en forma estructural formando los huesos y dientes y la pequeña fracción restante, se encuentra en el medio extracelular cumpliendo 4 importantes funciones metabólicas: a) en la membrana celular, dentro de sus funciones se destaca la regulación de su permeabilidad, su participación en la bomba de Ca, en las contracciones musculares, en la conducción de impulsos nerviosos y como cemento intracelular, b) en la regulación de los fluidos corporales dentro de lo que se incluye su acción como elemento buffer, en el control de la viscosidad, en la transferencia de  $PO_4$  y en el mecanismo de coagulación, c) en la regulación de la división celular y d) en la regulación de secreciones hormonales (Church y Pond, 1987; Kutsky, 1981).



El Ca es un elemento mineral muy importante en el organismo de los animales, dentro de sus funciones más importantes destacan: ser constituyente importante del esqueleto, participa en la coagulación de la sangre, en la acción rítmica del corazón, en la excitabilidad de las neuronas y actúa también en la activación de enzimas. El Ca vía ADH inhibe la diuresis, actúa en la gametogénesis y mitosis, en la liberación de calcitonina, en el balance de electrolitos y transporte de P, en la irritabilidad y contractilidad muscular, en el metabolismo de energía y metabolismo del  $PO_4$  (Kutsky, 1981; Underwood, 1981). La absorción del Ca que es activa, se realiza en el duodeno y en la primera parte del yeyuno (NRC, 1985), siendo más fácilmente absorbidas las formas:  $Ca^{++}$ ; lactatos, cloruros y gluconatos de Ca, que en fitatos, compuestos complejos de Ca y sales multivalentes. La eficiencia general de la absorción de Ca fluctúa de 30 a 40%, dependiendo de la forma biológica en que se encuentre y de los niveles de vitamina D3 (Underwood, 1981; Hove 1984a y b; Skian y Hurwitz, 1985). Los principales antagonistas de la absorción de Ca, son la calcitonina, glucocorticoides, fitatos, oxalatos, fosfatos y Mg (Kutsky, 1981). Braithwaite (1981) indica que la adición de 1-hidroxicolecalciferol en la dieta mejora la absorción de Ca y P.

La participación más importante del P en el metabolismo del organismo es como ión  $PO_4$ . El 80-85% del P en el organismo esta en forma estructural formando el esqueleto y los dientes, el restante se encuentra en forma intracelular cumpliendo con 4 funciones metabólicas básicas que son: a) transportador de

energía en el metabolismo de carbohidratos ya que es componente de los enlaces fosfato de alta energía; b) como constituyente de la membrana celular ya que forma parte de los fosfolípidos, c) por ser componente importante de las cadenas de polímeros de bases (DNA y RNA) participa en los procesos genéticos y d) actúa como elemento buffer, que es importante en el transporte de Ca y, regula la presión osmótica de los fluidos intracelulares (Church y Pond, 1987; Kutsky, 1981).

Dentro de las funciones más importantes del P se puede mencionar su participación en la formación del hueso; en la respiración celular vía ATP; en la absorción de azúcares; en el transporte de impulsos nerviosos; como parte estructural de algunos compuestos como los fosfolípidos de las membranas, la mielina y el RNA; en el metabolismo de Ca; en las reacciones de fosforilación y, en el funcionamiento normal de la flora ruminal. El P es absorbido por medio de transporte activo que se realiza en el duodeno, yeyuno e íleon (Wadsworth y Cohen, 1976). La forma en que mejor se absorbe el P es cuando está con valencia 5+, siendo los compuestos inorgánicos los más absorbidos (excepto polifosfatos). Aunque en menor grado, los compuestos orgánicos son bien absorbidos (excepto los fitatos). La eficiencia de la absorción de P es de 50 a 70%, la cual aumenta cuando la dieta es deficiente (Kessler, 1981; Sklan y Hurwitz, 1985). Los antagonistas de la absorción son: Ca en exceso, óxidos de aluminio, K, Mn, Mg, Fe, testosterona y cortisol (Underwood, 1981; Kutsky, 1981).

El nivel crítico de Ca en el suero de los animales es de 9 mg/100

ml (Netherlands Committee on Mineral Nutrition, 1973). Los niveles normales de P en el suero de rumiantes jóvenes y adultos es de 6-8 y 4-6 mg/100 ml, respectivamente (Conrad, 1978; Jacobson *et al.*, 1972; Pope, 1971; Thompson, 1978). McAdam y O'dell (1982) reportan que los animales jóvenes mantienen mayor concentración de minerales en el suero sanguíneo, especialmente para Ca, P y Mg.

En el Cuadro 6 se presentan los resultados de una de las primeras evaluaciones del contenido de algunos minerales en caprinos (Lintzel, 1931). Como se puede apreciar, los contenidos de Ca y P en suero sanguíneo reportados por diversos autores, coinciden con los encontrados por Lintzel (1931).

Los requerimientos de Ca y P de los animales, domésticos son dependientes de la relación Ca:P que exista en la dieta, de esta forma, la deficiencia y/o el exceso de uno puede afectar el status nutricional del otro. La vitamina D participa estrechamente con la absorción y metabolismo de Ca y P. Por lo cual, el status de estos dos niveles puede ser afectado por el nivel de vitamina D presente en el organismo.

Los imbalances o deficiencias de estos dos minerales causan grandes pérdidas económicas, ya que los animales con mal status nutricional en Ca y P reflejan baja productividad y bajas tasas reproductivas (McDowell *et al.*, 1984; McDowell, 1985f; Ternouth y Sevilla, 1984).

Los requerimientos de Ca y P para caprinos recomendados por INRA (1981) y Gall (1981) fluctúan entre 0.21 a 0.52% Ca y 0.16 a

Cuadro 6. Concentración de minerales en la sangre de caprinos.

Mineral (ug/ml)	Toda la sangre	Células rojas	Suero
Ca	970	---	870
P	173	340	103
Mg	25	25	25
K	330	560	200
Na	2660	1560	3210
Fe	382	1100	---
Cl	2920	1480	3690
pH	-----	7.65	-----

Lintzel (1931).

0.37% P en base a materia seca de la dieta. Este amplio rango de requerimientos se debe a las variaciones que se presentan en la absorción, disponibilidad biológica de las fuentes y relación Ca:P existente en la dieta. La relación Ca:P ideal para las dietas de caprinos es de 1.2:1 (Haenlein, 1987) y para ruminantes en general el rango va de 1:1 a 2:1 (McDowell, 1985b). Wise et al. (1963) en ganado vacuno evaluaron relaciones Ca:P que fluctuaron de 0.41:1 hasta 14.3:1, encontrando que con relaciones menores de 1:1 y mayores de 7:1 se afectaba adversamente la producción y eficiencia alimenticia. Kessler (1981) indica que los requerimientos de Ca y P para mantenimiento son de 0.19 y 0.14 g/PV<sup>0.75</sup> y que por litro de leche producido se debe adicionar 1.3 y 1 g, respectivamente.

El síntoma más conocido de la deficiencia de Ca y P es la calcificación y metabolismo anormal de los huesos (Underwood, 1981; Haenlein, 1987). El consumo inadecuado de Ca en los animales causa formación de huesos débiles, baja velocidad de crecimiento, baja producción de leche y en casos de deficiencia severa se presenta tetania.

Las deficiencias ligeras de P en la dieta de los animales no produce efectos fácilmente reconocibles, excepto cuando la deficiencia es severa, dando como resultado huesos frágiles, debilidad general, pérdida de peso, comportamiento de "pica" o apetito depravado y reducción del consumo de materia seca (MS) (McDowell, 1985b; Underwood, 1981; Bass et al., 1981).

En animales jóvenes, la deficiencia de Ca y P provoca raquitismo.

Este padecimiento es debido a una insuficiente deposición de Ca y P en la matriz cartilaginosa de los huesos largos que están en formación (Church y Pond, 1985). En animales maduros, la deficiencia de Ca y P provoca osteoporosis y deformación de huesos.

Dietas deficientes en Ca y P afectan notablemente el comportamiento reproductivo, observándose parámetros bajos de fertilidad y prolificidad en ovejas y cabras. En ganado de carne explotado bajo condiciones tropicales, se han reportado incrementos sustanciales en la fertilidad cuando se suplementa con alguna fuente de P (McDowell et al., 1984).

Bajo condiciones de pastoreo extensivo, los rumiantes difícilmente satisfacen sus requerimientos de Ca y P, esto es debido a los bajos contenidos de estos elementos en el forraje disponible, por tal motivo, es recomendable la suplementación con fuentes de Ca y P, especialmente a animales en crecimiento y a hembras en la etapa de gestación tardía y lactancia (Kiatoko et al., 1978).

Las deficiencias pueden ser prevenidas por administración directa de Ca y P a los animales, ya sea a través de saladeros ó indirectamente por fertilización adecuada de los suelos en donde crecen los forrajes (McDowell, 1985b). El método más utilizado es la suplementación directa, para lo cual se utiliza harina de hueso, fosfato dicálcico, superfosfato y roca fosfórica sin flúor. Consumos inadecuados de proteína y energía reducen la retención de Ca y P en animales en crecimiento (Rosero et al.,

1983). Esto nos indica que además de proporcionar una relación Ca:P adecuada y favorecer un buen aporte y síntesis de vitamina D, es necesario proporcionar a los animales consumos adecuados de proteína y energía para asegurar que estos minerales sean utilizados eficientemente en los procesos de mineralización de huesos de animales en crecimiento (Underwood, 1981).

Los niveles máximos tolerables de Ca y P en la dieta de rumiantes es del 2% de la MS para Ca y de 0.6 a 2% de la MS para P (NRC, 1980). Los efectos de la toxicidad de Ca y P se manifiestan en la deformación de huesos, disturbios reproductivos y disminución del consumo y ganancia de peso (Underwood, 1981). Los excesos de P predisponen a la formación de cálculos urinarios (NRC, 1980). Los efectos no visibles de la toxicidad de Ca y P afectan adversamente a los elementos que son antagónicos, a los cuales les modifica su status. Elevados consumos de Ca afectan adversamente el status nutricional de P, Mg, Fe, I, Zn y Mn (Underwood, 1981; McDowell et al., 1984).

### 2.6.2. Magnesio

Los forrajes comunes que ingieren los rumiantes que pastorean zonas áridas, contienen adecuadas cantidades de Mg. La importancia práctica del Mg está relacionada a el desorden metabólico conocido como tetania de los pastos ó hipomagnesemia, que es causada por alimentar a animales altamente productores con forrajes muy tiernos, los cuales se caracterizan por contener muy bajas concentraciones de Mg.

El contenido de Mg en el organismo del animal es de

aproximadamente 0.05%; de este, un 60-70% se encuentra como constituyente de los huesos y dientes, y el restante se encuentra en tejidos blandos; y fluidos intra y extracelulares incluyendo la sangre (Underwood, 1981).

El Mg participa en tres importantes funciones metabólicas que son: a) a nivel de membranas: actúa sobre la permeabilidad de las membranas, en la contracción muscular, en la conducción de impulsos nerviosos y como antagonista del Ca; b) sobre la regulación del fluido intracelular: actúa controlando la viscosidad, funciona como elemento buffer, participa en el transporte de  $PO_4$ , activa sistemas enzimáticos, actúa como agente quelante y, es un antagonista del Ca y, c) cumple importante función en la regulación de la síntesis de proteínas.

El Mg participa en el metabolismo de carbohidratos y lípidos, además como catalizador de un amplio número de enzimas que requieren Mg para su óptimo funcionamiento (Underwood, 1981). El Mg está estrechamente relacionado con la mitocondria, en donde es requerido para la oxidación celular (fosforilación oxidativa; activa la piruvato oxidasa que permite la formación de la succinil CoA; cataliza las transferencias de fosfatos, incluyendo a la fosfatasa alcalina, hexoquinasa y deoxiribonucleasa. Así mismo, el Mg ejerce una importante participación en la actividad neuromuscular. Su importancia en el metabolismo se debe a sus propiedades como: transportador; alcalinizante, hidratador, conductor y agente quelante.

Tomas y Potter (1976) y Care et al. (1984) indican que el



reticulo-rumen es el principal sitio de absorción de Mg en los rumiantes, y que esta absorción es dependiente de los transportadores de Na, así mismo reportan que otra fracción se absorbe en el omaso, abomaso e intestinos. La eficiencia en la absorción de Mg en rumiantes aumenta a medida que disminuye su concentración en la dieta y esta varía del 30 al 50% (McLean et al., 1984). Kessler (1981) indica que la digestibilidad aparente de Mg en cabras lecheras es de 20 al 55%. Se absorbe mejor como ion libre ( $Mg^{+2}$ ), siendo su principal sinergizador el K y su principal antagonista el Ca. Sin embargo, McLean et al. (1985) indica que elevados consumos de K causan una disminución de la absorción de Mg y consecuente caída de los niveles de Mg en plasma. Las formas que son bien absorbidas en el duodeno e ileon son los lactatos, cloratos y gluconatos de Mg. Los sulfatos, óxidos, fosfatos, fitatos y compuestos complejos de Mg son poco absorbidos.

Los niveles normales de Mg en suero sanguíneo son de 18 a 32 mg/l (0.7 a 1.3 mmol/l) (Kessler, 1981).

Los requerimientos de Mg para caprinos varían con la raza, tasa de crecimiento o nivel de producción y su disponibilidad biológica en la dieta. Field et al. (1986) concluyen que entre diferentes razas de ovino existen diferencias en la absorción de Mg, la cual, fue afectada significativamente por su concentración en la dieta, obteniendo valores del 42 al 50% de absorción. Los requerimientos nutricionales de Mg para animales son adecuadamente proporcionados por los forrajes maduros o, cuando el contenido de Mg en la ración es de 0.10 satisface los

requerimientos para animales en crecimiento y 0.20% para hembras lactantes. Niveles altos de proteína, K, Ca, P y Al así como relaciones altas de Ca:P causan aumento de los requerimientos de Mg, esto debido a que provocan una disminución en su absorción (Underwood, 1981; Care *et al.*, 1984).

La deficiencia de Mg causa crecimiento pobre, hiperirritabilidad, calcificación de tejidos, diarreas, disfunción muscular, salivación profusa, convulsiones y tetania (McDowell, 1985c).

El diagnóstico de la deficiencia de Mg puede ser realizada calculando sus niveles en orina y sangre. Cuando los niveles de Mg en orina son menores de 1.2 mg/100 ml se diagnostica hipomagnesemia. Los niveles de Mg en orina y leche son los que se afectan primero en casos de deficiencias.

Los casos de hipomagnesemia en rumiantes que habitan en climas áridos y semi-áridos se presenta principalmente en los lactantes durante sus primeras 8 semanas de vida, siendo la incidencia mayor durante la 1 a 4 semana posparto. Esta deficiencia es causada por los bajos niveles de Mg en las leches maternas.

El tratamiento de animales con tetania se puede hacer con una inyección subcutánea de una solución de sulfato de magnesio al 25% o inyección intravenosa con un preparado de lactato de Mg; por medio de esto, los niveles de Mg se reestablecen en 10 minutos. Para prevenir la hipomagnesemia se recomienda dar fuentes altamente asimilables de Mg ó cambiar los animales a pasturas maduras. Otro de los procedimientos para prevenir deficiencias de Mg es la fertilización de los forrajes con Mg.

Los suplementos de sales minerales a libre acceso, por lo general no previenen la deficiencia de Mg, debido a que contienen cantidades inadecuadas para prevenir a los animales durante los periodos de alta susceptibilidad.

No se tienen reportes de toxicidad por Mg en rumiantes que son manejados bajo condiciones normales de alimentación.

### 2.6.3. Potasio

El K es el tercer mineral más abundante en el cuerpo. En condiciones normales de alimentación es difícil crear deficiencias de K. Especial atención deberá ser puesta cuando se restrinja el consumo de K por sustituir proteína verdadera por NNP ó cuando los animales estén sometidos a stress calórico situación que provoca mayor excreción de K.

El metabolismo de K está estrechamente relacionado con el de Na. En contraste con Na, el K es un elemento principalmente intracelular. Dentro de las funciones importantes del K destacan la regulación del fluido intracelular y presión osmótica, su actividad como elemento buffer, regulando la viscosidad, como transportador de CO<sub>2</sub> y en la solubilización de proteínas. Además, a nivel de membrana afecta su permeabilidad, actúa en la bomba de Na, en la contracción muscular y en el transporte de impulsos nerviosos (Underwood, 1981).

Existe un balance iónico entre K, Na, Ca y Mg. El K no se almacena en el organismo del animal, por lo cual, debe ser proporcionado en cantidades adecuadas en la dieta diaria.

El potasio es absorbido principalmente en el intestino delgado y en menor cantidad en el intestino grueso, la forma química preferida para su absorción es como ión  $(K^{+})$ . La absorción se realiza por medio de transporte activo, difusión pasiva y facilitación, lo que da una eficiencia general del 90%. La absorción se favorece por la presencia de Na, Mg e ionóforos y se afecta negativamente por la presencia de Ca y aldosterona (Kutsky, 1981).

Los niveles normales de K en suero y saliva de caprinos es de 3.6 a 4.9 mmol/l y 0.14 a 0.19 g/l, respectivamente (Kessler, 1981).

Se estima que los requerimientos de K para rumiantes en general varían de 0.5 a 0.8% de la dieta. Los requerimientos se elevan cuando se presenta cualquier condición de stress, ya que se elevan las pérdidas urinarias, otras de las formas en que se pierde K es a través del sudor y por heces fecales cuando hay diarrea (McDowell, 1985c). Las hembras lactantes lo eliminan en altas cantidades en la leche. Se ha observado que los animales pequeños tienen mayores requerimientos de K que animales adultos (Karn y Clanton, 1977). Los requerimientos de K para animales en crecimiento y hembras lactantes son mayores que para animales secos, de igual manera, animales sometidos a stress calórico requieren un aporte mayor de K en la dieta. Se estima que los requerimientos de K para cabras lactantes pastoreando zonas áridas son de 2.00% (Mba, 1982).

La deficiencia de K en los rumiantes produce disminución del consumo de alimento y, en hembras provoca una disminución de la

producción de leche. No existe sintomatología específica para diagnosticar la deficiencia de K. Los concentrados a base de granos contienen menos de 0.5% de K, lo cual los clasifica como insuficientes para satisfacer los requerimientos de los rumiantes que los consumen. La vegetación de zonas áridas posee cantidades adecuadas de K (1-4%), por lo cual, las deficiencias de K en esos ecosistemas son remotas (McDowell et al., 1984).

El diagnóstico de deficiencia de K en rumiantes es difícil. Los niveles bajos de K en suero sanguíneo indican mala nutrición de K, aunque estos bajos niveles pueden ser causados por una mala nutrición general, por un balance negativo de N (Arora y Gupta, 1964), por diarreas y por malfunción endócrina. Por tal motivo, el diagnóstico más certero del status nutricional de K se debe hacer evaluando su contenido en la dieta.

Cuando se desea prevenir deficiencias de K, es recomendable administrar melaza ó cloruro, carbonato, bicarbonato y ortofosfato de K en la dieta. El K contenido en los forrajes es eficientemente utilizado por los rumiantes, y su eficiencia aumenta cuando aumenta la cantidad de NDT en la dieta (Kincaid et al., 1984).

Cuando los animales consumen forrajes naturales, es muy difícil que se pueda presentar una toxicidad de K. Cuando se administran elevadas cantidades de melaza en la dieta, es posible que se pueda presentar una toxicidad por K. Para contrarrestar los efectos tóxicos de K se recomienda administrar mayor aporte de Na y Mg (NRC, 1980). NRC (1980) menciona que los máximos niveles

tolerables de K en la dieta son del 3% de la MS. Sin embargo, en algunos casos los rumiantes son alimentados con elevadas cantidades de melaza, situación que da como resultado aportes mayores al 3% de K en la MS de la dieta, no observándose problemas detrimentales, es decir, la toxicidad por K no es un problema práctico (McDowell, 1985c).

#### 2.6.4. Sodio y Cloro

La importancia del cloruro de sodio o sal común ha sido reconocida desde tiempos inmemorables. El fuerte apetito por sal que presentan los animales en pastoreo, especialmente en zonas tropicales, hace que sea el compuesto mineral más suplementado (McDowell, et al., 1984). En general, los forrajes a través del año normalmente no contienen adecuadas cantidades de Na para satisfacer los requerimientos de los rumiantes en sus diferentes etapas fisiológicas, por lo cual, la suplementación ad libitum con sal común a los rumiantes en pastoreo es ampliamente recomendada.

La mayor parte del Na en el organismo se encuentra como ión extracelular. Este elemento cumple diversas funciones como son: regulación del fluido extracelular del cuerpo, incluyendo la presión osmótica y sanguínea; como elemento buffer y controlador del pH; en el transporte de CO<sub>2</sub>; en la solubilización de proteínas y ácidos orgánicos; en la permeabilidad de la membrana (bomba de sodio); en la irritabilidad muscular; en la conducción del impulso nervioso y, en la absorción de glucosa.

La absorción de sodio se realiza por medio de transporte activo

en todo el tracto digestivo, la forma preferida de absorción es absorción de Na se ve favorecida con la presencia de Cl , K , Mg hexosas y aminoácidos, y es inhibida con la presencia de altas cantidades de Ca<sup>++</sup> (Kutsky, 1981).

Una de las funciones más sobresalientes del Cl es participar en la digestión de los alimentos, ya que es componente del HCl gástrico (Kutsky, 1981; Church y Pond, 1985). La absorción de Cl ocurre desde el rumen hasta el intestino grueso. La eficiencia de la absorción de Cl es cercana al 100%; del cual, aproximadamente el 80% proviene de secreciones internas tales como: saliva, fluidos gástricos, bilis y jugo pancreático (NRC, 1980). La concentración de Na en el cuerpo es controlada principalmente por aldosterona y ADH.

Schellner (1972, citado por Underwood, 1981) reporta que un consumo de sodio de 0.17% de la MS de la dieta, satisface completamente los requerimientos de Na de los caprinos. Los requerimientos de Cl para caprinos no son conocidos.

Bajo condiciones estándares de alimentación, el contenido de Cl en los alimentos es suficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales de los rumiantes, sin embargo, el contenido de Na es insuficiente, por lo cual es necesaria su suplementación. Es común que los requerimientos de Na y Cl sean referidos como porcentaje de NaCl en la MS que deben consumir los animales, siendo invariablemente el Na el elemento crítico.

La deficiencia de Na produce disminución del consumo voluntario de alimento y disminución de la digestibilidad de la MS

consumida, por consiguiente, los animales presentan disminución de los niveles productivos (ganancia de peso, producción de leche). Cuando la deficiencia de Na es por periodos prolongados, los animales pierden peso, y como síntomas característicos, presentan un aspecto demacrado y pelo aspero y sin brillo.

Los métodos más recomendados para diagnosticar las deficiencias de Na son: estimar los niveles de Na en orina y calcular la relación Na:K en saliva (Murphy y Connell, 1970). Los niveles normales de Na en la saliva de los rumiantes va de 140 a 150 mEq (3.1 a 3.3 g/l) y los de K son de 5-51 mEq (0.16-0.46 g/l) por lo tanto, la relación Na:K que puede ser considerada como adecuada es de 20:1, sin embargo, las variaciones del ratio Na:K son muy grandes y puede llegar hasta 1:1, que es un indicador de deficiencia severa de Na en la dieta. Skydsqaard (1968) indica que la relación normal en saliva de Na:K varía de 17:1 a 25:1 y que cuando este baja a 10:1 se puede sospechar de una deficiencia de Na. Sin embargo, a pesar de los cambios en la relación entre Na:K, la concentración total de mEq de Na y K en la saliva tiende a mantenerse constante, es decir, disminuye Na y aumenta K. Otra de las consecuencias de la deficiencia de Na es la disminución de la producción de saliva por día (Church y Pond, 1987).

Los rumiantes, en especial los caprinos, pueden tolerar cantidades elevadas de sal en la dieta cuando se les suministra agua de buena calidad ad libitum. En México, particularmente en la zona norte del país, el agua a que tienen acceso los animales contiene cantidades variables de sal. Se ha demostrado que una cantidad superior a 7000 ppm de NaCl disuelta en el agua causa



disminución del consumo de alimento y consumo de agua, así como también disturbios digestivos, baja digestibilidad del alimento, diarrea y pérdidas de peso (NRC, 1980). Los caprinos del desierto que están adaptados a ingerir aguas con contenidos de sal elevados, pueden soportar hasta 1.5% de sal en el agua (Sing y Taneja, 1978).

#### 2.6.5. Cobre

Las deficiencias de P y Cu son las limitantes de minerales más comunes en la alimentación práctica de animales en pastoreo (McDowell, 1985d).

El cobre es un microelemento esencial para plantas y animales (Hurley, 1981; Ammerman, 1970). En las plantas participa en el proceso de fotosíntesis, en la estabilidad de la clorofila, en la asimilación del almidón y nitrógeno, y estimula la respiración (Georgievskii, 1982). En general, las partes vegetativas de las plantas poseen mayor cantidad de cobre que las partes reproductivas como son las flores y semillas.

En el metabolismo del animal, el Cu es un elemento esencial ya que es componente o activador de numerosos sistemas enzimáticos, además, es un elemento vital para el mantenimiento de los sistemas. El estudio del Cu en la alimentación de rumiantes es importante por los siguientes aspectos:

- a) Existen zonas con insuficiente contenido de Cu tanto en los suelos como en las plantas que se desarrollan.
- b) Lactantes que se amamantan de madres que reciben bajo aporte de Cu en su dieta, manifiestan síntomas de deficiencia de Cu

(Moss et al., 1974).

- c) Existe la posibilidad de que cuando el Cu en la dieta está en cantidades óptimas, se presenten deficiencias de Cu provocadas por las complejas relaciones que tiene con otros elementos.
- d) Es importante evaluar los daños provocados por toxicidad crónica de Cu, ya que es usado amplia e indiscriminadamente como promotor del crecimiento.

Además, existe amplia documentación sobre los efectos adversos de la deficiencia de Cu sobre los desórdenes clínicos, patológicos y repercusiones en la producción de los animales. En ovinos, la deficiencia causa ataxia enzootica, mala calidad y depigmentación de la lana y pelo, debilidad y deformación de huesos, nacimiento de animales deformes y anemia (ARC, 1980; Chamberlain y Clarke, 1981; Hansard, 1983). En ovinos existen numerosos trabajos en los cuales se concluye que las deficiencias de Cu en ovinos dan como resultado crecimiento retardado en los corderos (Hogan et al., 1971; Whitelaw et al., 1979). Otra de las consecuencias comunes de la deficiencia de cobre son las diarreas que se presentan con mayor frecuencia (Bennetts y Beck, 1942).

El Cu es ampliamente utilizado en el área agropecuaria para preparar fungicidas, herbicidas, alguicidas, insecticidas, bactericidas, preservativos, pigmentos, alimentos, y aditivos de alimentos; en la medicina, el sulfato de Cu se usa como tópico fungicida, como antídoto para Zn y, el gluconato y glicinato de Cu como suplemento en la dieta, el gluconato de Cu como desodorante oral.

El contenido de Cu en los tejidos desgrasados de los rumiantes es de 2 mg Cu/kg. En ovinos, el hígado es el principal órgano que acumula Cu. Cuando la dieta es alta en Cu, el hígado llega a contener el 72 a 79% del Cu en el organismo (Georgievskii, 1982).

La concentración de Cu en el hígado está directamente relacionada con la concentración de Cu en la dieta y con las demandas fisiológicas del animal (Georgievskii, 1982). Annenkov (1982) indica que los niveles más bajos de Cu en el hígado con dietas normales en Cu, se presentan durante la gestación y lactancia. Esto indica que el Cu es fácilmente transferido del hígado a los tejidos donde es requerido (Purser *et al.*, 1984).

El contenido normal de Cu en el suero de ovinos va de 0.6 a 1.0 g/ml. Sin embargo, Bremner y Young (1978) indican que este contenido puede ser severamente disminuido cuando la dieta contiene altas cantidades de Mo y sulfatos, aún cuando el Cu esté en cantidades adecuadas en la dieta.

Existe correlación alta entre el contenido de Cu en el suero y el nivel de ceruloplasmina, así como también entre el nivel de ceruloplasmina y contenido de Cu en el hígado (Mills *et al.*, 1976; Ademosum y Munyabuntu, 1982; Blakley y Hamilton, 1985; Danks, 1981). Por tal motivo, los niveles de ceruloplasmina son utilizados como indicadores del status de Cu en los animales.

El Cu tiene diversas funciones: 1) a nivel de electrones: actúa como agente para entrelazar el colágeno y elastina; actúa como catalizador de procesos enzimáticos, y participa en el transporte de oxígeno; 2) a nivel celular: actúa como antioxidante

(dismutasas), en la síntesis de catecolamidas y fosfolípidos, en el metabolismo del hierro y de ácidos grasos no esterificados, y en las enzimas de la mitocondria que requieren de Cu como cofactor, 3) a nivel del organismo: participa en el mantenimiento de las funciones vitales, en el metabolismo y movilización de Fe, en la oxidación celular, y en el metabolismo de lípidos y aminos (Kutsky, 1981).

El metabolismo de Cu está estrechamente relacionado con el de Mo, S y Fe. Consumos elevados de Mo causan disminución de la disponibilidad de Cu, y puede llegar a producir deficiencia de Cu (Suttle *et al.*, 1975; Bremner y Young, 1978; Ward, 1978). Ward (1978) indica que consumos elevados de Mo causan disminución de la disponibilidad de Cu, situación que puede producir una deficiencia fisiológica de Cu en los rumiantes. Esta deficiencia fisiológica de Cu puede ser causada por cuatro tipos de alimentos: a) altos en Mo, generalmente superiores a 100 ppm, b) relación Cu:Mo abajo de 2:1, c) deficientes en Cu, menor de 5 ppm y, d) alto contenido de proteína, 20 a 30% de proteína en el alimento fresco.

La absorción de Cu en rumiantes se realiza principalmente en el intestino delgado, aunque una pequeña fracción es absorbida en el rumen. La eficiencia de la absorción de Cu es afectada significativamente por la forma química en que se encuentre el Cu en la dieta, que en casos extremos cuando la fuente de Cu es de baja disponibilidad biológica, esta eficiencia puede ser tan baja como del 1% (NRC, 1980). Las formas químicas de Cu mejor absorbidas son cuando esta como: ión  $(Cu^{++})$ , carbonato de Cu;

cuando esta en las formas solubles como el sulfato, nitrato y clorato de Cu y, cuando forma algunos quelatos. Los sulfatos que son producidos en el rumen por reducción de los sulfatos, al llegar al intestino delgado, forman un complejo insoluble con el Cu, lo cual causa una reducción de la disponibilidad biológica del Cu (Hussein et al., 1985a).

La mayor parte de la absorción de Cu se realiza por transporte activo, aunque una fracción es absorbida por mecanismos no específicos para el Cu. En promedio, la eficiencia en la absorción de Cu es del 1.0 al 3.0% (Hansard, 1983). La eficiencia de la absorción de Cu aumenta cuando hay alta concentración de aminoácidos y proteínas en el duodeno. Los antagonistas de la absorción de Cu son el Fe, Cd, Mg, Ag y Zn los cuales actúan como competidores; las proteínas de la bilis, porfirinas, sulfitos, sulfatos, molibdatos y fitatos actúan como capturadores de Cu (Matrone, 1970) y, la vitamina C en cantidades altas actúa como inhibidor de la absorción (Kutsky, 1981).

La absorción de Cu es mayor en animales jóvenes que en adultos y, en ambas edades de animales, la eficiencia aumenta cuando la dieta es deficiente en Cu (Suttle, 1975; Purser et al., 1984).

La principal vía de excreción del Cu son las heces fecales. Esto es debido a que en las secreciones biliares se eliminan los excesos de Cu del organismo. Otras vías de excreción son: la orina, el sudor y la leche (NRC, 1980; Auza, 1983).

Los niveles de Cu en los fluidos y tejidos son afectados por diversos factores. En este sentido, se tiene amplia evidencia de

que la raza es uno de los factores que determinan los niveles de Cu en suero e hígado de ovinos (Wiener y Field, 1970; Wiener et al., 1978). Así mismo, se ha observado que existe alta respuesta a la selección artificial aplicada para bajo y alto nivel de Cu en el suero de ovinos (Wiener et al., 1985).

En la actualidad, no se tiene evidencia suficiente para explicar las causas de las diferencias genéticas que provocan cambios en los niveles de Cu en suero de los ovinos. Wooliams et al. (1986b) establecen que la menor resistencia a infecciones en corderos, es una consecuencia clínica de deficiencias de Cu en la dieta o, de bajos niveles de Cu determinados genéticamente por la raza. Esta consecuencia tiene alta importancia práctica, ya que una suplementación apropiada con Cu, da como resultado que los animales presenten menor mortalidad y mejor comportamiento productivo. Wooliams et al. (1986a) indican que a medida que disminuye el nivel de Cu en el plasma de los ovinos que fueron seleccionados para bajo nivel de Cu, tiende a disminuir la resistencia a las enfermedades infecciosas, lo cual es una consecuencia clínica de la deficiencia de Cu.

Wooliams et al. (1986b) evaluaron bajo las mismas condiciones de manejo y alimentación la ganancia de peso de corderos provenientes de 2 líneas genéticas (alto y bajo nivel de Cu en plasma) y concluyen que los corderos de bajo nivel de Cu en plasma presentaron menores ganancias de peso y una mayor incidencia de hipocuprosis que los corderos con alto nivel de Cu en plasma. Así mismo concluyen que el análisis de la dieta no proporciona alta confiabilidad para predecir deficiencias de Cu

en los ovinos y que la suplementación para los animales con bajo nivel de Cu en plasma debe de ser a niveles cercanos a los valores de toxicidad.

Los requerimientos de Cu para los animales domésticos están estrechamente relacionados con los niveles de molibdeno (Mo) y azufre (S) inorgánico, es decir, al aumentar los niveles de MO y S en la dieta, los requerimientos de Cu son mayores (Purser *et al.*, 1984). Haenlein (1980b) indica que la deficiencia de Cu en cabras puede ser inducida por altos consumos de Cd y sulfatos en la dieta. Así mismo, a medida que aumenta el nivel de producción, aumentan los requerimientos de Cu. (De-Sousa *et al.*, 1980). Los requerimientos de Cu para satisfacer los requerimientos nutricionales de rumiantes que están alimentados en condiciones normales, son de 8-10 ppm (Underwood, 1977; NRC, 1980). Sin embargo, Purser *et al.* (1984) alimentando ovinos con diferentes cantidades de Cu, encontró que cuando la dieta contenía 8 ppm, los animales presentaron un balance cero de Cu, es decir, igual cantidad de Cu consumida era excretada.

Existe una amplia gama de productos que se usan en la agricultura y veterinaria que contienen Cu como principal ingrediente, dentro de estos destacan: fungicidas, molusquicidas, baños podales para control de gabarro, etc. Estos productos directa o indirectamente aportan Cu a los rumiantes. Otra fuente importante de Cu para los rumiantes son las heces de aves y cerdos, los cuales son alimentados con alta cantidad de Cu en sus dietas, estas heces al ser utilizadas como parte del alimento en las dietas de rumiantes, proveen de Cu y otros minerales esenciales

(Davies, 1974; Lamand, 1981b). Echevarría et al. (1985) reportan aumentos en la ganancia de peso de rumiantes que pastorean forrajes deficientes en Co y Cu cuando son suplementados con cantidades adecuadas de estos minerales.

Judson et al. (1981) reportan que 50 g de limaduras de alambre de Cu oxidado fueron más eficaces para prevenir las deficiencias de Cu en vaquillas que la administración de glicinato de Cu inyectado. En otros estudios, Judson et al. (1982), reportan que 2.5 g de partículas de alambre de Cu oxidado proporcionadas oralmente, representan una buena alternativa para suplementar Cu a pequeños rumiantes. En su estudio, no encontraron daños en el abomaso ni efectos de toxicidad. Finalmente, Judson et al. (1984) indican que las limaduras uniformes de 3.0 a 3.4 mm de largo y 1.0 a 1.2 de diámetro son las más eficientes para proporcionar niveles adecuados de Cu a los ovinos.

Otra forma eficiente de suplementar Cu a los rumiantes, consiste en depositar un cristal soluble en el rumen (Telfer et al., 1984). Sin embargo, en otros estudios se indica que la vía parental de administración de Cu, es también muy eficiente para curar o prevenir deficiencias de Cu en rumiantes (Boila et al., 1984b). Evaluaciones realizadas en zonas definidas como deficientes en Cu, Smith y Thompson (1978) reportan resultados altamente significativos en ganancia de peso en bovinos que fueron suplementados con 120 mg Cu (Glicinato de Cu) aplicado vía subcutánea.

Lamand (1981b) indica que dietas para ovinos conteniendo más de



15. mg de Cu por kg MS administradas por largos periodos, son predisponentes para que se presenten problemas severos de toxicidad. Los animales jóvenes son los que primero se afectan y los más susceptibles en casos de toxicidad (Ammerman, 1970). Los efectos de toxicidad por Cu pueden ser atenuados con suplementación de Zn, Mo y S (Bremner et al., 1976). Los síntomas característicos de la toxicidad crónica de Cu son la deformación de pezuñas y cuando la intoxicación es aguda, se presenta una hemólisis sistémica (Hansard, 1983). Fisher et al. (1981) indican que las altas cantidades de Zn interfieren bajando la absorción de Cu, esto debido a que el Zn induce la formación de un compuesto que secuestra al Cu y lo hace indisponible. Además, Field et al. (1985) reportan que administrando altas cantidades de Zn y Fe en la dieta de corderos, los contenidos de grasa en ríñon y tejido subcutáneo fueron menores que en el testigo. Van Ryssen et al. (1986) indican que 70 mg/día de Mo administrados a ovinos que reciben dietas con altos niveles de Cu, reducen los efectos de toxicidad. En condiciones normales de alimentación, cuando los niveles de Mo, S, Zn y Fe son adecuados, el nivel tóxico de Cu para ovinos y bovinos es de 25 a 100 ppm, respectivamente (NRC, 1980). Hussein et al. (1985a) y Hussein et al. (1985b) indican que el Se es un potencializador de los efectos tóxicos de Cu en caprinos y ovinos. Adam et al. (1977) reportan que dosis mayores de 40 mg de sulfato de Cu/kg/día a cabras Nubias causan severos daños en el hígado y disturbios del metabolismo de amonio, Na y K.

### 2.6.6. Zinc

En muchas regiones del mundo existen amplias zonas con suelos deficientes de Zn, en las cuales se ha observado respuesta positivas en producción vegetal y animal cuando se aplican fertilizantes que contienen Zn (Underwood, 1981). Los forrajes que crecen en suelos deficientes en Zn, tienen bajos niveles de este elemento que los hace inadecuados para satisfacer los requerimientos de los rumiantes que los consumen (McDowell y Conrad, 1977). Los niveles comunes de Zn en los cultivos forrajeros son de 17 a 60 ppm, mientras que los de los granos de cereales son de 20 a 30 ppm (ARC, 1980).

El Zn fue declarado mineral esencial para los animales por Todd *et al.* (1934) y a la fecha, se han descubierto numerosas relaciones directas e indirectas de este elemento con el metabolismo a nivel celular y general en los animales de interés zotécnico. El Zn actúa principalmente como activador de sistemas enzimáticos, de manera directa en metaloenzimas que contienen Zn y en enzimas que lo requieren como cofactor. De esta forma se ha descubierto que el Zn participa en el metabolismo de más de 200 enzimas, con ejemplos representativos en cada una de las 6 categorías de enzimas de los organismos vivos según la Nomenclatura Internacional (Galdes y Vallee, 1983). Dentro de algunas funciones específicas del Zn podemos mencionar: a) a nivel molecular, actúa como enlazados en los procesos de catalisis, como estabilizador/regulador de muchas enzimas (carboxipeptidasa A+B, anhidrasa carbonica, glutamato

deshidrogenasa, fosfatasa alcalina, alcohol deshidrogenasa, DNA polimerasa, etc.) y como estabilizador del DNA, 2) a nivel celular via acción enzimática participa en la síntesis de ácidos nucleicos, proteínas y porfirinas, es activador de la adenilcidas; tiene acción mitogénica sobre los linfocitos y, estabiliza los ribosomas, 3) a nivel de órganos, actúa en sinergismo con la hormona del crecimiento, insulina (metabolismo de carbohidratos); en el desarrollo sexual (hormonas sexuales) y en el mantenimiento de las funciones sensoriales e inmunes, en la respiración y en el desarrollo del cerebro. Por tal motivo, todos los sistemas metabólicos y órganos son limitados cuando hay deficiencia de Zn, siendo más afectados aquellos que requieren de una rápida división celular, rápido crecimiento y aquellos que son sintetizadores (Underwood, 1981). Wallworth (1987) indica que las deficiencias de Zn provocan disfunciones en cascada. Cousins (1979) revisa la importancia que tiene el Zn en el metabolismo de numerosos procesos enzimáticos, metabolismo en el intestino e hígado y, en el sistema inmune. Por tal motivo, crecimiento de órganos y tejidos y todos los procesos de reproducción son especialmente afectados por la deficiencia de Zn. La evaluación de las pérdidas en producción animal que son causadas por deficiencias netas de Zn o mal balance de Zn con otros minerales, son de consideración y aún quedan por ser estudiadas y evaluadas.

La absorción del Zn se realiza por medio de transporte activo no específico para Zn. La forma química preferida para que el Zn sea absorbido es  $Zn^{++}$ , que es cuando esta formando quelatos y sales. La absorción del Zn se presenta en todo el intestino delgado, con

una eficiencia del 15 al 51%, la cual se aproxima al 50% cuando existe deficiencia. La absorción se ve favorecida por la presencia de aminoácidos, en especial, histidina y cisteína y, péptidos y agentes quelantes. Los antagonistas de la absorción de Zn son: Cu, Cd, Fe, Cr y Calcio que actúan como competidores y, fitatos, fosfatos, Se y proteínas de la mucosa que actúan como capturadores (NRC, 1980; Kutsky, 1981; Lamand, 1981a). Solomons y Jacob (1981) indican que una relación Fe:Zn mayor de 2:1 o 3:1, causa disminución de la absorción de Zn.

La capacidad de almacenamiento del Zn en el organismo del animal es muy limitada, por lo cual, en caso de deficiencias, las pequeñas reservas corporales son movilizadas rápidamente para prevenir deficiencias. Cuando la dieta es deficiente en Zn, los niveles de Zn en suero caen drásticamente, afectándose en primera instancia el consumo de alimento, posteriormente se presenta una suspensión del crecimiento y reducción severa de la eficiencia de utilización del alimento (Miller, 1970, 1981; Mills *et al.*, 1967). Los niveles normales de Zn en el suero de los ruminantes son de 0.8 a 1.2 ug/ml y, valores menores a 0.4 ug/ml son considerados como evidencia importante de la deficiencia de Zn en la dieta (Underwood, 1981; McDowell, 1985e). Masters *et al.* (1985) indica que los animales pequeños son más susceptibles a la deficiencia de Zn y que corderos alimentados con una dieta con 5 ppm de Zn presentaron daños permanentes sobre los folículos y producción de lana. Cuando la deficiencia de Zn persiste se producen lesiones características de la piel como son dermatitis, lesiones de paraqueratosis y alopecia alrededor de los ojos,

boca y nariz y, paraqueratosis en orejas, cuello, áreas ventrales, escroto y piernas (Miller *et al.*, 1964; Underwood y Somers, 1969; Miller, 1970; Suliman *et al.*, 1988). En humanos la deficiencia de Zn causa disminución de la absorción de vitamina A y Fe (Bates y McClain, 1981). Los ruminantes que consumen dietas deficientes en Zn son más susceptibles a infecciones secundarias no específicas, de tal manera que si no son tratados adecuadamente, los animales afectados mueren como consecuencia. Otro de los signos característicos de la deficiencia de Zn es el incremento de la población bacteriana en la boca (Luecke, 1984).

Masters *et al.* (1985) reporta que dando dietas artificialmente deficientes en Zn a ovinos, los niveles de Zn en plasma disminuyen en las primeras 2 semanas, posteriormente, dieron inicio pequeñas lesiones de la piel alrededor de la boca; un mes después de dar a los animales la dieta deficiente, las fibras de lana producida fueron delgadas y de mala calidad, esto aunado a lesiones características de hiperqueratosis en la piel.

Sulliman *et al.* (1988) encontraron que la deficiencia de Zn en corderos causó lesiones en la piel, pérdida de peso y consumo de su propia lana.

La concentración de Zn en el pelo y lana secretados por los ruminantes, es una de las formas alternativas para poder diagnosticar deficiencias de Zn (Miller *et al.*, 1965). Sin embargo, este procedimiento tiene la desventaja de que diagnostica la deficiencia cuando ocurrió la producción de fibra, es decir, es un método recomendado para diagnosticar deficiencia

de Zn después de que ésta ha ocurrido. Evans (1976) indica que estimando el porcentaje de transferinas en sangre que están libres de Zn, se logra conocer el status actual de Zn en los rumiantes.

Los requerimientos mínimos de Zn para rumiantes de los caprinos varían con la raza, edad, funciones productivas y nivel de producción, así como de la composición de la dieta, particularmente de aquellos componentes que interfieren con la absorción y metabolismo del Zn (Underwood, 1981).

No se conocen los requerimientos de Zn para caprinos, la información disponible se limita a establecer límites inferiores y nivel tóxico. Aunado a esto, no se conoce la disponibilidad biológica de Zn en los forrajes comunes para rumiantes en general. Para caprinos existe limitada información sobre requerimientos de Zn. Existen diferencias importantes sobre los requerimientos de Zn para los rumiantes. A este respecto, Ott *et al.* (1965) y ARC (1980) indican que los requerimientos de Zn para ovinos en crecimiento son de 18 a 33 y de 40 a 100 ppm en la MS, respectivamente, en tanto que Mills *et al.* (1967) y Underwood y Somers (1969) indican que el nivel crítico de Zn en la dieta de animales adultos es de 15 y 17 ppm, respectivamente. Sin embargo, Underwood y Somers (1969) reportan que alimentando corderos de un año de edad con una dieta conteniendo 17 ppm de Zn de la MS, los animales presentaron crecimiento deficiente de testículos y fallas en la espermatogénesis, que comparado con una dieta con 32 ppm no hubo problemas. Esto parece indicar que los requerimientos de Zn para observar óptimo desarrollo reproductivo

son mayores a 30 ppm en la MS. Kincaid y Cronrath (1979) alimentaron becerros con 520 ppm de Zn durante 21 días y posteriormente fueron pasados a una dieta con 20 ppm encontrando que la concentración de Zn en hígado incrementó notablemente hasta los 21 días de iniciado el tratamiento, sin embargo, después de los 21 días ocurrió una disminución gradual del contenido de Zn en hígado, encontrándose que a los 35 días, su concentración, igualó a la observada por los animales control (20 ppm de Zn). Estos resultados indican que la capacidad de almacenamiento de Zn en los animales es baja.

Las deficiencias de Zn pueden ser realmente corregidas con la administración de sales de Zn, ya sea en el concentrado utilizado para dietas completas ó en suplementos minerales disponibles a libre acceso. Las formas más comunes de proporcionar Zn es como: óxidos, carbonatos ó sulfatos de Zn, lo cuales poseen buena disponibilidad biológica para los rumiantes.

Cuando se diagnostiquen dietas insuficientes en su aporte de Zn, es recomendable proporcionar de 50 a 60 ppm de Zn en la MS (Underwood, 1981), y cuando se utilice Cu como estimulante del crecimiento de los animales ó excretas de aves o cerdos con elevados contenidos de Cu se recomienda proporcionar 200 ppm de Zn en la MS, con lo cual se reducen las posibilidades de intoxicación por Cu y se mejora notablemente el balance de Cu-Zn en el animal.

Bajo situaciones de pastoreo extensivo, donde es difícil y antieconómico fertilizar las zonas de pastoreo con Zn ó

proporcionar concentrados preparados, se recomienda colocar piedras de sal o sal mineralizada conteniendo 1-2% de Zn. Con esto se asegura que los animales consuman cantidades adecuadas de Zn.

Los comprimidos pesados, intra ruminales son también una buena alternativa para suplementar Zn. Masters y Moir (1980) lo experimentaron con ovinos concluyendo que es un método que provee adecuadas cantidades de Zn para corregir deficiencias a corto plazo, como es el caso común de las deficiencias estacionales o por mayor demanda de Zn durante los periodos de gestación y lactancia.

La suplementación a sementales con fuentes de Zn, asegura y mejora en muchos casos los comportamientos reproductivos de los rumiantes (Underwood, 1981).

No se conocen los niveles tóxicos de Zn para caprinos. Para los ovinos son 300 ppm y para bovinos 500 ppm en la MS (NRC, 1980). La respuesta más sensitiva a la toxicidad de Zn, son los altos niveles de Zn en suero, hígado, riñón y páncreas. Los síntomas clínicos de la toxicidad de Zn incluyen: problemas gastrointestinales, disminución del consumo de alimento y crecimiento, comportamiento de pica, anemia, mineralización pobre de huesos, daños en el páncreas, artritis, músculo blanco, hemorragia interna y mortalidad en los neonatos (NRC, 1980).



### 3. MATERIALES Y METODOS

Los Estados de San Luis Potosí (SLP) y Zacatecas están ubicados en la zona centro del país y tienen una localización entre los 21.3 y 25.2 de Latitud Norte y, entre los 98.3 y 104.4 de Longitud Oeste y, tienen una población aproximada de 910 000 y 480 000 caprinos, que los coloca como el tercero y quinto estados en población de caprinos, respectivamente. En cuanto a productos caprinos, SLP es el primer productor de carne con 6675 ton por año y el noveno productor de leche con 8920 ton y, Zacatecas es el doceavo productor de carne caprina con 1272 ton y el onceavo productor de leche con 2941 ton por año (SARH, 1987).

#### 3.1. Sitio de muestreo

El estudio se realizó en la Localidad Benito Juárez, perteneciente al Municipio de Villa Hidalgo, Zacatecas, localizado en 22 29' LN y 101 40' LW. Esta zona se encuentra dentro del Altiplano de SLP y de Zacatecas y se caracteriza por poseer alta densidad de población caprina.

El clima corresponde a los BS Kw(i)g, el cual es seco estepario, con el verano cálido y lluvioso, con una isoyeta entre 400 y 500 mm, la temperatura media mensual fluctúa entre 12 a 18 C y la anual es de 16.9 C. La topografía de la zona es ondulada moderada, con pendientes que van del 8 al 20%, dando una altura sobre el nivel del mar de 2050 a 2250 msnm.

CETENAL (1971) reporta que el uso potencial del suelo es para vida silvestre, uso forestal y practicultura moderada a limitada.

El suelo tiene una textura media y una profundidad de 25 a 50 cm al lecho rocoso.

La vegetación predominante es chaparral, aunque existen pequeñas áreas que pueden ser dedicadas a la agricultura. Los tipos vegetativos que se encuentran son: matorral subinerme, matorral espinoso, mezquital, nopaleras, crasi-rosulifolios espinosos y pastizal nativo inducido, como componente común asociado con los anteriores tipos vegetativos (CETENAL, 1971). Las especies vegetales más comunes son: Larrea tridentata, Flourensia accina, Acacia constricta, Yucca filifera, Opuntia leptocaulis, Jatropha digica, Sporobolus airoides y Parthenium incanum.

Según COTECOCA (1978) el uso del suelo es para pastoreo muy ligero, sin embargo, el uso actual del suelo es principalmente para pastoreo con pequeños rumiantes (que en su mayoría son caprinos y en menor proporción ovinos) y, una pequeña fracción dedicada a la agricultura de subsistencia (maíz y frijol).

La condición del pastizal puede ser clasificado como pobre con tendencia a degradarse a causa de un sobrepastoreo indiscriminado de caprinos, ovinos, bovinos y equinos y prácticas nulas de manejo y conservación del recurso.

Los caprinos de esta región son clasificados como Criollos, policrómicos, con pesos promedios para machos y hembras de 38 y 30 kg, respectivamente.

El sistema de producción es pastoreo extensivo con refugio nocturno. Los animales no reciben suplemento alimenticio ni sal

común o mineralizada. El principal objetivo de producción de estos animales es la obtención del cabrito para plato y, en segundo término (con igual importancia) leche que ordeñan después de que el cabrito lechal ha sido vendido. La venta de animales adultos de desecho representa otra entrada para los productores. La producción de leche es temporal (al final de la época de lluvias) durante 1 a 2 meses con una producción menor a 1 l/día por cabra. Esta producción no rebasa los 50 litros por lactancia y por año.

### 3.2. Procedimiento de Muestreo

Con el objetivo de conocer el status mineral de los caprinos en la zona, se procedió a realizar un muestreo en el verano (antes de la época de lluvias) y otro en el otoño (al final de la época de lluvias) de 1986.

El rancho fue elegido aleatoriamente dentro de los que poseían más de 100 cabras adultas. Las áreas de pastoreo son comunes en toda la zona.

En ambos muestreos se les tomó sangre a 100 cabras, a las cuales se les obtuvo, aproximadamente 10 ml de sangre que fue extraído durante la mañana y antes que los animales salieran al pastoreo. En el mismo día se procedió a muestrear el forraje consumido, agua de bebida y suelo.

De cada animal se tomaron datos de condición corporal que fue estimada por palpación en la columna vertebral y apreciación visual del estado de carnes de los animales; número de dientes

definitivos; sexo; una muestra de heces fecales obtenida en una bolsa de plástico y, la muestra de sangre que fue tomada por punción en la yugular con agujas y tubos al vacío (Vacutainer) sin anticoagulante. Después de tomar la muestra, los tubos identificados se colocaron en posición inclinada reposando durante 3 horas, para permitir la coagulación normal y separación del suero. La centrifugación y transferencia de suero a tubos de ensayo se realizó 24 horas después del muestreo. Las muestras de suero que resultaron con alto grado de hemólisis fueron desechadas. Las muestras de suero fueron mantenidas en congelación hasta su análisis. Para conocer el grado de parasitosis gastroentérica de las cabras muestreadas, a las muestras de heces se les determinó el número de huevecillos por gramo de heces (HPGH) utilizando la técnica de flotación. Esta determinación se realizó dentro de las 24 primeras horas después de cada muestreo.

Para el muestreo de forraje consumido se utilizó la técnica de pastoreo simulado. Esta técnica consiste en seguir los animales durante el pastoreo y tomar una muestra representativa (muestra compuesta ó muestras clasificadas por forraje) del forraje donde van comiendo los animales. De esta forma se asegura que la muestra tomada es representativa de las especies y cantidad que ingieren, además, de que se evita la contaminación del forraje con saliva en el caso de extrusas. Se tomaron muestras compuestas y por especie de los forrajes que consumieron. Las muestras fueron secadas a 60 C durante 48 horas en estufas de aire forzado para evitar respiración y descomposición del

forraje. Posteriormente fueron molidas y almacenadas en frascos herméticos hasta su análisis.

El suelo se muestreó tomando pequeñas cantidades de tierra del perfil de suelo a 30 cm y se preparó una muestra general de suelo por época de muestreo.

Se tomó una muestra representativa de agua de los aguajes o represas utilizadas como abrevaderos para los caprinos.

### 3.3. Análisis de muestras

Los contenidos de P, Ca, Mg, Na, K, Cu y Zn en las muestras de suero forraje y agua se realizó por medio de espectrofotometría de absorción atómica, para lo cual se siguió la metodología descrita por Fick *et al.* (1979) y el Manual del Usuario del aparato de absorción atómica (Perkin-Elmer 4000).

El análisis de minerales en suelo se realizó en base a la metodología propuesta por Warnke y Robertson (1976).

### 3.4. Análisis estadístico

Para evaluar dentro de cada muestreo el efecto de la edad, condición y la interacción (edad x condición) sobre el nivel de Ca, P, Mg, K, Na, Cu y Zn ( $\mu\text{g/ml}$ ) en el suero de los animales, se utilizó un arreglo factorial de tratamientos bajo un diseño completamente al azar con el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Nivel de minerales en suero (Ca, P, Mg, K, Na, Cu y Zn ug/ml).

$\mu$  = Media general

$\alpha_i$  = Efecto de la  $i$ -ésima edad

$\beta_j$  = Efecto de la  $j$ -ésima condición

$\alpha\beta_{ij}$  = Efecto de la interacción

$E_{ijk}$  = error experimental

Así mismo, para encontrar las posibles relaciones entre las variables estudiadas y ecuaciones de predicción para cada mineral, se realizaron análisis de correlación y regresión múltiple, respectivamente, mediante el procedimiento STEPWISE de SAS (Helwig y Council, 1979).

Considerando que no se tiene información disponible que indique el nivel de fertilidad y/o concentración de minerales en los suelos de la región de estudio, los resultados obtenidos referentes a el suelo serán comparados con los reportados por Tavera (1985), De Sousa (1978) y Tisdale y Nelson (1975). Los contenidos de minerales en agua de bebida, forrajes consumidos y suero sanguíneo de las cabras serán comparados con valores estandares reportados en la literatura para ruminantes en general.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSION

##### 4.1. Minerales en suelo

En el Cuadro 7 se presentan los resultados del contenido de minerales en el suelo en cada época de muestreo. De acuerdo a la clasificación de la fertilidad de los suelos, realizada en base a su contenido de minerales (Cuadro 8), los niveles de minerales en los suelos muestreados en la época seca y época de lluvias, se encuentran para Mg dentro del rango MUY BUENO, los de Ca, Cu y Zn en el rango BUENO y los de P en el rango MEDIO. No se encontraron diferencias significativas en el contenido de minerales en suelo entre los dos muestreos realizados.

Los contenidos de Ca, Mg, Cu y Zn en el suelo corresponden a una clasificación de fertilidad buena, por lo cual, se espera que la vegetación que crece sobre estos suelos no presente deficiencias de éstos minerales, sin embargo, debido a que la concentración de P en el suelo tiene fertilidad MEDIA, es posible que la vegetación presente contenidos marginales ó deficientes de P. Considerando que cuando la fertilidad de los suelos es baja, ya sea por tener niveles bajos y/o por presentar imbalances de uno o más elementos minerales en la solución del suelo, las plantas limitan su crecimiento y/o reducen la concentración del elemento deficiente en sus tejidos. Por otro lado, la magnitud de la respuesta a la fertilización es altamente variable entre elementos minerales aplicados, especies y variedades vegetales, tipos de suelo y condiciones climáticas. Underwood (1981) indica que la principal razón de la existencia de áreas con deficiencias

Cuadro 7. Contenido de minerales en el suelo en las dos épocas de muestreo y nivel en que se encuentran.

Mineral (ppm)	Epoca de muestreo		
	Secas	Lluvias	
Ca	8943.0	9839.0	Muy B
P	14.8	17.6	Medio
Mg	280.7	238.7	Muy B
K	119.0	104.0	Bueno
Na	509.4	705.0	*
Cu	7.1	8.9	Bueno
Zn	3.2	3.9	Bueno

\* valor no encontrado



**Cuadro 8. Clasificación de la fertilidad del suelo en base a su contenido de minerales.**

Mineral (ppm)	N i v e l			
	Bajo	Medio	Bueno	Muy B
<sup>1</sup> P	< 11	11-20	21-35	> 35
<sup>1</sup> Ca	<500	500-900	901-1200	>1600
<sup>1</sup> Mg	< 12	12-25	26-50	> 125
<sup>2</sup> K	< 30	31-105	105-150	> 150
<sup>2</sup> Na	Valores no encontrados			
<sup>2</sup> Cu	<0.6	0.6-1.9	2-20	21-100
<sup>3</sup> Zn	<0.5	0.5-2.0	> 2.0	-----

- 1 Tavera (1985)  
 2 De Sousa (1978)  
 3 Tisdale y Nelson (1975)

de P, Na, Co y Se para animales en pastoreo, se debe a que los suelos de estas áreas presentan baja disponibilidad de estos minerales para las raíces de las plantas. No obstante McDowell (1985f) indica que la concentración de un mineral en el suelo, no es una guía determinante de su contenido promedio en los forrajes que crecen sobre ese suelo. Por lo antes expuesto, es natural que las especies forrajeras muestreadas en el presente trabajo presenten altas variaciones en su contenido de minerales.

#### 4.2. Minerales en el agua de bebida

El contenido de minerales en el agua de bebida (Cuadro 9), nos revela que en ningún caso la concentración de minerales disueltos en el agua contribuye significativamente al aporte total de minerales para los animales. Comparando los valores obtenidos en el presente trabajo con los presentados por NRC (1971), Dantaman y Breland (1970) y Durum *et al.* (1971) (Ver Cuadro 5, encontramos que: Ca se encuentra en niveles bajos (57.1 vs 21.0 y 17.0 ug/ml para la época seca y época de lluvias, respectivamente); P se encuentra en cantidades similares; Mg ligeramente bajo (14.3 vs 9.46 y 8.20 ug/ml para al época seca y época de lluvias, respectivamente); K en cantidades similares; Na en nivel bajo (55.1 vs 33.83 y 28.02 ug/ml para la época seca y época de lluvias, respectivamente), Cu y Zn en cantidades similares. Como se observa, el contenido de Ca, Mg y Na en el agua de bebida de los animales es menor al reportado para el promedio de aguas de USA, y los niveles de P, K, Cu y Zn se encuentran en cantidades similares.

McDowell *et al.* (1982) y Kiatoko *et al.* (1978) indican que las

Cuadro 9. Contenido de minerales en el agua de bebida de los animales en las dos épocas de muestreo.

Mineral (ug/ml)	Epoca de muestreo	
	Secas	Lluvias
Ca	21.00	17.00
P	0.10	0.10
Mg	9.46	8.20
K	3.30	4.00
Na	33.83	28.02
Cu	0.01	0.01
Zn	0.05	0.07

correlaciones entre el contenido de minerales en el suelo, planta y tejidos de animales entre y dentro de localidades son altamente variables y generalmente baja o no existentes. Sin embargo, en este trabajo se encontró que el contenido de minerales en el suelo y agua de bebida presentaron una correlación positiva de 0.43 y 0.42 en el muestreo durante la época seca y época de lluvias, respectivamente.

#### 4.3. Minerales en los forrajes consumidos

En el Cuadro 10, 11 y 12 se presenta el contenido promedio de minerales por tipo de forraje. Como se puede observar en estos cuadros, el contenido de minerales entre los diferentes tipos de forrajes consumidos por los animales es altamente variable. Comparando estos resultados con los presentados en el Cuadro 2, encontramos que en la época seca (Cuadro 10), los arbustos presentaron niveles muy altos en Ca; altos en K, Na y Cu; adecuados en Mg y, deficientes en P y Zn. Las especies herbáceas presentaron niveles altos en Ca, K, Na y Cu; adecuados en Mg y Zn y, deficientes en P. El nopal reveló ser una fuente muy concentrada de Ca y Mg (5.0 y 0.9 % de la MS), por lo cual aporta mayores cantidades que las requeridas por los animales; los niveles de K, Na y Cu fueron moderadamente altos y los de P y Zn deficientes. La vaina de huizache que es consumida por las cabras cuando los pastores sacuden un arbusto, resultó contener cantidades deficientes de Ca, P, Mg, Cu y Zn y, adecuada para K y Na. Similarmente, en la época de lluvias (Cuadro 11), los arbustos presentaron niveles altos de Ca, Na y Cu; adecuados de Mg, K y Zn y, deficientes en P. Las especies herbáceas revelaron

**Cuadro 10. Contenido promedio de minerales en la materia seca de los diferentes tipos de forrajes consumidos por los caprinos en la época seca.**

Mineral (ppm)	Arbustos	Hierbas	Nopal	Vaina de huizache
Ca	22 948	8 711	49 994	82
P	1 277	2 087	1 454	1 446
Mg	1 525	1 873	8 581	387
K	9 794	13 306	10 685	6 791
Na	6 271	7 624	4 347	3 980
Cu	10.4	21.4	11.0	11.3
Zn	40.2	59.6	14.6	33.1

Cuadro 11. Contenido promedio de minerales en la materia seca de los diferentes tipos de forrajes consumidos por los caprinos en la época de lluvias.

Mineral (ppm)	Arbustos	Hierbas	Nopal	Gramíneas
Ca	20 137	6 374	44 991	4 107
P	1 343	2 159	1 505	3 105
Mg	1 296	1 444	7 502	1 474
K	7 587	14 080	13 103	1 753
Na	7 872	8 190	5 018	5 955
Cu	14.0	25.4	10.4	10.6
Zn	64.4	64.5	17.2	58.9

Cuadro 12. Contenido promedio de minerales en la materia seca de de los diferentes tipos de forrajes consumidos por los caprinos en las dos épocas de muestreo.

Mineral (ppm)	Arbustos	Hierbas	Vaina de Huizache	Nopal	Gramíneas
Ca	17 720	7 309	82	47 493	4 107
P	1 364	2 130	1 446	1 479	3 015
Mg	1 338	1 616	387	8 042	1 474
K	8 894	13 770	6 791	11 894	17 526
Na	6 760	7 963	3 989	4 684	5 951
Cu	11.6	23.8	11.3	10.7	10.6
Zn	53.3	56.6	33.1	15.9	58.9

contener niveles altos de Ca, K, Na y Cu; adecuados de Mg y Zn y, deficientes en P. El nopal presentó cantidades similares a las encontradas en el muestreo de la época seca. Las gramíneas tuvieron niveles altos de Na; adecuados de Ca, P, Mg, Cu y Zn y, deficientes para K.

Comparando el contenido de minerales en los forrajes muestreados durante la época seca y época de lluvias encontramos que los niveles de Ca disminuyeron ( $P < 0.05$ ), los de P aumentaron ligeramente ( $P < 0.10$ ), los de Mg no cambiaron significativamente, los de K aumentaron ( $P < 0.01$ ), los de Na se incrementaron ligeramente ( $P < 0.05$ ) y, los de Cu y Zn no difirieron significativamente ( $P > 0.05$ ).

Cabe aclarar que en el presente trabajo durante la época seca, la disponibilidad y consumo de gramíneas fue insignificante, motivo por el cual no fueron incluidas en el primer muestreo, sin embargo, en la época de lluvias, se incrementó notablemente tanto la disponibilidad como el consumo por el ganado. De igual manera, las especies herbáceas presentaron mayor disponibilidad y fueron consumidas en mayor cantidad en la época de lluvias.

El contenido promedio de minerales en cada tipo de forrajes fue altamente variable (Cuadro 12). El contenido de Ca en la mayor parte de especies forrajeras consumidas fue de alto a muy alto; el de P sólo fue adecuado en las gramíneas y deficiente en el resto de especies; el de Mg fue elevado en nopal, adecuado en arbustos, hierbas y gramíneas y, deficiente en la vaina de huizache; los de K, Na y Cu fueron adecuados y, los de Zn



deficientes en vaina de huizache y nopal y adecuados en el resto de especies.

En el Cuadro 13 se presenta el contenido promedio de minerales en los forrajes analizados en las dos épocas de muestreo (seca y de lluvias), y en el Cuadro 14 se presenta la relación que existe entre el contenido de minerales en los forrajes muestreados y el nivel crítico de cada mineral requerido para rumiantes.

Estos resultados muestran que el contenido de minerales en los forrajes analizados, concuerda con el contenido de minerales en el suelo y agua, lo cual nos indica que el contenido promedio de minerales en los forrajes que crecen en la región, está determinado principalmente por el contenido de minerales del suelo. Se encontró que la correlación entre el contenido de minerales en el suelo y forraje en el muestreo durante la época seca y de lluvias fue de 0.88 y 0.54, respectivamente.

Como podemos observar en el Cuadro 14, los contenidos de Mg, K, Ca y Cu son moderadamente altos; los niveles de Zn son marginales y, el nivel de P es claramente deficiente. En virtud de que no existieron diferencias ( $P > 0.05$ ) en el contenido de minerales en los forrajes entre las dos épocas de muestreo, estas observaciones son válidas para las dos épocas de muestreo. Estos resultados nos permiten suponer que el forraje disponible de la zona de estudio, satisface adecuadamente los requerimientos de Ca, Mg, K y Cu de los animales, mientras que los de P y Zn serán marginales o deficientes para los animales evaluados.

Los niveles deficientes de P y Zn encontrados en los forrajes

Cuadro 13. Contenido promedio de minerales en la materia seca de los forrajes consumidos por los caprinos en las dos épocas de muestreo.

Mineral (ppm)	Epoca de muestreo			
	Secas (x EE)		Lluvias (x EE)	
Ca	19,911 <sup>a</sup>	3,444	12,158 <sup>b</sup>	3,096
P	1,523 <sup>b</sup>	84	2,003 <sup>a</sup>	124
Mg	2,352 <sup>a</sup>	491	2,225 <sup>a</sup>	500
K	9,680 <sup>b</sup>	595	13,767 <sup>a</sup>	720
Na	6,080 <sup>b</sup>	370	7,250 <sup>a</sup>	393
Cu	13 <sup>a</sup>	1	18 <sup>a</sup>	2
Zn	41 <sup>a</sup>	3	54 <sup>a</sup>	5

EE = Error estandar

Cuadro 14. Relación que guarda el contenido de minerales en el forraje con respecto al nivel crítico para rumiantes por época de muestreo.

Mineral	Nivel crítico para rumiantes en general	Relación con el nivel crítico (1.00)	
		Secas	Lluvias
Ca, ppm	3000	6.64	4.05
P, ppm	3000	0.51	0.67
Mg, ppm	1000	2.35	2.22
K, ppm	5000	1.94	2.75
Na, ppm	1000	6.10	7.20
Cu, ppm	5.00	2.67	3.57
Zn, ppm	50.00	0.82	1.08

muestreados en el presente trabajo, coinciden con lo reportado para América Latina por diversos autores (McDowell et al., 1974, 1977, 1984) (Ver Cuadro 1).

Ramírez et al. (1988) reportan que el contenido de Ca en los forrajes muestreados en julio (inicio de lluvias) fue menor que en los meses de noviembre y diciembre (final de las lluvias). Estos resultados son similares a los encontrados en el presente trabajo. Los niveles de P, K, Na, Cu y Zn en los forrajes en el muestreo durante la época seca fueron inferiores a los encontrados en la época de lluvias. Este comportamiento puede ser explicado por el efecto del agua como agente disolvente de los minerales en el suelo, haciéndolos más disponibles para las raíces de las plantas.

El contenido de minerales en los alimentos ó forrajes es uno de los principales factores que determinan la nutrición mineral de los animales. Esta aseveración es aplicable a los animales que son alimentados en condiciones de estabulación, los cuales no pueden seleccionar su dieta, ni tienen acceso a suelo. Sin embargo, cuando se desea evaluar la nutrición mineral de animales en pastoreo extensivo, el análisis del contenido de minerales en los forrajes disponibles es insuficiente para evaluar el status mineral de los animales, ya que se desconoce el consumo de MS de cada especie forrajera, la cantidad y composición de suelo y agua que consumen.

Para realizar predicciones sobre el status mineral de los animales evaluados, es necesario integrar la información obtenida

sobre el contenido de minerales en el suero sanguíneo de los animales con los del suelo, agua y forraje.

#### 4.4. Variables estudiadas en los animales

En el Cuadro 15 se presentan los resultados generales de las variables evaluadas en los animales de acuerdo a edad en número de dientes. La condición corporal de los animales presentó una clara tendencia a disminuir a medida que aumentó la edad de los animales; encontrándose que la condición corporal de los animales de 2 dientes fue mayor ( $P < 0.05$ ) que la de los animales de 8 dientes. Este comportamiento es explicado por la actividad reproductiva y productiva que realizan las cabras adultas, las cuales son sometidas a stress nutricional en las épocas de gestación y lactancia ya que no satisfacen adecuadamente sus requerimientos nutricionales, condición que origina una disminución de la condición corporal a medida que aumenta la edad. Cabe destacar que los animales no reciben suplementación en ninguna época del año.

Respecto al número de huevecillos por gramo de heces (HPGH), se presentaron diferencias ( $P < 0.05$ ) entre los diferentes grupos de edades, sin embargo, no se puede definir una tendencia o relación clara entre la edad de los animales y esta variable.

En el contenido de Ca, P, Mg, K, Cu y Zn ( $\mu\text{g/ml}$ ) en el suero sanguíneo de los animales, no se encontraron diferencias ( $P > 0.05$ ). Los niveles de Na ( $\mu\text{g/ml}$ ) presentaron diferencias ( $P < 0.05$ ) en relación a la edad de los animales, no obstante, no se puede establecer una tendencia entre la edad y niveles de Na

Cuadro 15. Efecto de la edad sobre el promedio de las variables estudiadas en los animales y minerales en suero.

Item	E d a d (No. dientes)				
	0*	2	4	6	8**
Número	3 ab	34 a	29 ab	26 ab	66 b
Cond	3.3 b	3.6 a	3.4 ab	3.3 ab	3.0 a
HPGH	466.7	747.1	534.5	676.9	747.0
	----- ug/ml -----				
Ca	128.0	137.9	145.3	133.0	139.6
P	81.8	82.5	75.0	81.8	77.5
Mg	30.7	30.9	32.4	31.2	31.9
K	195.5 b	191.2 ab	183.7 a	192.7 ab	186.3 ab
Na	2159.1	2443.7	629.6	2509.3	578.0
Cu	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6
Zn	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6

\* animales con dientes de leche

\*\* animales adultos con boca llena

Promedios en la misma hilera sin una letra en común son diferentes (P<0.05)

en el suero sanguíneo de los animales. McAdam y O'Dell (1982) indican que los niveles de Ca, P, y Mg en el suero sanguíneo de los animales jóvenes son superiores a los encontrados en adultos. Este comportamiento no fue observado en los datos analizados.

Los resultados del efecto de la condición corporal de los animales sobre las variables estudiadas en los animales se presentan en el Cuadro 16. La condición corporal de los animales en el presente trabajo puede ser considerada como aceptable, esto a pesar de la marcada estacionalidad en la producción de forrajes, condición de sobrepastoreo y no suplementación. Moctezuma y Ramírez (1988) determinaron el consumo de materia orgánica y consumo de energía digestible en cabras sometidas a pastoreo en agostaderos que tenían baja disponibilidad y calidad de forrajes durante la época seca y encontraron que el consumo observado fue insuficiente para satisfacer los requerimientos para mantenimiento y producción.

En los datos obtenidos en el presente trabajo, se encontró que la condición corporal y edad (número de dientes), presentaron una correlación de  $-0.35$  (Cuadro 17), lo cual nos indica que los animales con mejor condición fueron los más jóvenes. Las cabras con condición 2 y 3 fueron las de mayor edad ( $P < 0.05$ ) que las de condición 4 y 5.

Existieron diferencias ( $P < 0.05$ ) en los HPGH en relación a la condición corporal, no obstante, no se puede establecer una relación entre estas dos variables.

No se encontraron diferencias ( $P > 0.05$ ) en el contenido de

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

Cuadro 16. Efecto de la condición de los animales sobre las variables estudiadas en los animales y minerales en suero sanguíneo.

Variable	Condición corporal			
	2	3	4	5
Número	15 <sup>a</sup>	88 <sup>a</sup>	54 <sup>ab</sup>	1 <sup>b</sup>
Edad (no. dientes)	7.2 <sup>b</sup>	5.9 <sup>a</sup>	4.5 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>
HPGH	606.7	742.0	663.3	600.0
	----- ug/ml -----			
Ca	134.2	139.9	138.4	156.9
P	72.6	77.3	83.1	91.4
Mg	31.3	31.3	32.3	31.6
K	185.1	185.8	192.5	203.4
Na	2558.7	2526.2	2546.8	3039.9
Cu	0.5	0.5	0.6	0.7
Zn	0.7	0.6	0.7	0.7

Promedios en la misma hilera sin una letra en común son diferentes (P<0.05).



Cuadro 17. Correlaciones generales que presentan una  $P < 0.10$  entre las variables estudiadas (valor superior es correlación y el valor inferior es la probabilidad).

---

Muestreo-edad	-0.2249 .0045	Cond-edad	-0.3508 .0001
Muestreo-cond	0.1765 .0265	Cond-P	0.2033 .0104
Muestreo-Ca	-0.1958 .0137	HPGH-Zn	-0.1453 .0685
Muestreo-Na	-0.1418 .0756	P-Mg	0.3276 .0001
Ca-Mg	0.4114 .0001	P-K	0.3059 .0001
Ca-K	0.1342 .0927	P-Na	0.3536 .0001
Ca-Na	0.1667 .0363	Mg-K	0.3882 .0001
Ca-Cu	0.1380 .0838	Mg-Na	0.4654 .0001
Ca-Zn	0.1535 .0541	Mg-Cu	0.1748 .0280
Na-Cu	0.1419 .0754	Mg-Zn	0.2000 .0117
Na-Zn	0.1862 .0192	K-Na	0.1364 .0875

---

minerales en el suero sanguíneo de los animales en relación a la condición corporal. Sin embargo, se observó que los niveles de P, Mg, K, Cu y Zn ( $\mu\text{g/ml}$ ) en suero sanguíneo y la condición corporal de los animales, presentaron una correlación positiva (con un nivel de significancia  $<0.10$ ), dando valores de 0.20, 0.09, 0.13, 0.08 y 0.09, respectivamente. Estos resultados indican que la condición corporal de los animales esta asociada positivamente con los niveles de los minerales antes mencionados.

En el Cuadro 17 se presentan las correlaciones entre las variables estudiadas. La época de muestreo presentó correlación de 0.15 con el nivel de K en suero sanguíneo y correlaciones negativas de  $-0.20$  y  $-0.10$  para Ca y Na, respectivamente. El comportamiento de Ca concuerda con lo reportado por Ramírez *et al.* (1988).

La edad de los animales presentó correlación positiva ( $r=0.12$ ) con los niveles de Cu ( $\mu\text{g/ml}$ ) en el suero sanguíneo de los animales. La cantidad de HPGH presentó correlación negativa ( $r=-0.14$ ) con el nivel de Zn ( $\mu\text{g/ml}$ ) en suero sanguíneo, lo cual nos indica que a medida que aumenta el grado de infestación con parásitos gastrointestinales, los niveles de Zn en suero disminuyen debido a que los parásitos captan parte del Zn disponible y disminuyen la capacidad de absorción a través del tracto digestivo de los animales (Kutsky, 1981). Los niveles de Mg en suero sanguíneo presentaron correlación positiva mayor al 17% con los niveles de Ca, P, K, Na, Cu y Zn. Los niveles de P presentaron una correlación de 0.31 con los niveles de K y de 0.35 con los de Na.

Respecto al análisis de la información por época de muestreo, sólo se encontró que en el primer muestreo los niveles de Na en suero fueron afectados por la edad de las cabras (234.3<sup>b</sup>, 264.2<sup>ab</sup>, 272.4<sup>a</sup> y 265.4<sup>ab</sup> (µg/ml) para las condiciones 2, 3, 4 y 5, respectivamente). El resto de las variables no presentó diferencias ( $P > 0.05$ ).

En el Cuadro 18 se presentan los resultados generales de las variables estudiadas en los animales por época de muestreo. Los resultados muestran que en la época seca la edad de los animales (número de dientes) fue mayor ( $P < 0.05$ ) que la edad de los animales en época de lluvias. Este comportamiento se debe a que antes del segundo muestreo, el propietario vendió los animales de desecho. La condición de los animales en el segundo muestreo fue mayor ( $P < 0.05$ ) que en el primer muestreo, comportamiento que está estrechamente relacionado con la época de lluvias y disponibilidad de forrajes. Respecto al número HPGH, la mayor cantidad ( $P < 0.05$ ) se encontró durante la época de secas.

El contenido de minerales en suero sanguíneo de los animales entre las dos épocas de muestreo, solo presentó diferencias ( $P < 0.05$ ) entre los niveles de Ca, presentándose el mayor valor (143.81) en el primer muestreo. El resto de los minerales (P, Mg, K, Na, Cu y Zn) no presentaron diferencias ( $P > 0.05$ ). La menor concentración de Ca (µg/ml) en el suero de las cabras, se debe a que los niveles de Ca en los forrajes disminuyó sensiblemente durante la época de lluvias. A este respecto, Ramírez *et al* (1988) reportan un valor de  $r = -0.68$  entre el contenido de Ca en extrusas obtenidas por cabras y la precipitación registrada

Cuadro 18. Efecto de la estación de muestreo sobre las variables evaluadas y minerales en suero.

Variable	Muestreo 1		Muestreo 2	
	Media	EE	Media	EE
Edad	6.05 <sup>a</sup>	0.27	4.92 <sup>b</sup>	0.29
Condición	3.15 <sup>a</sup>	0.07	3.37 <sup>a</sup>	0.07
HPGH	750.00 <sup>a</sup>	67.79	630.77 <sup>b</sup>	59.90
	----- ug/ml -----			
Ca	143.81 <sup>a</sup>	3.18	133.95 <sup>b</sup>	2.31
P	77.92	1.63	79.95	2.19
Mg	31.33	0.46	31.92	0.54
K	184.51	2.89	191.81	2.73
Na	2606.21	53.69	2470.66	53.62
Cu	0.53	0.03	0.55	0.03
Zn	0.65	0.02	0.67	0.03

Promedios en la misma hilera sin una letra en común son diferentes ( $P < 0.05$ ).

durante la época de lluvias.

Estos resultados indican que la estación de muestreo tiene poco efecto sobre el contenido de minerales en el suero sanguíneo de los animales muestreados. Sin embargo, Siller (1977a) evaluó bovinos en la región de Melchor Ocampo, Municipio de Muzquiz, Coah. en el invierno y primavera, y encontró diferencias notables en el contenido de minerales en el suero sanguíneo de los animales, especialmente en los valores de Cu y Mn, los cuales presentaron niveles normales en el invierno y deficientes en primavera. McDowell (1985f) indica que en la época seca las deficiencias de minerales son menos probables que en la época de lluvias, esto debido a que durante la época seca las deficiencias de energía y proteína condicionan al animal a no ganar peso, reduciendo significativamente las necesidades de minerales, sin embargo, en la época de lluvias debido a que los aportes de nutrientes son mayores, los animales presentan altos niveles productivos, incrementando de esta manera sus necesidades de minerales.

En investigaciones previas realizadas en la zona de estudio, López (1983 y 1985) se indicó que en los meses de abril y mayo se presenta la época más crítica en cuanto a la disponibilidad y calidad de forraje en el agostadero, lo que condiciona a los animales a un balance negativo tanto de energía como de proteína. Esta información nos permite explicar la menor condición corporal ( $P < 0.05$ ) observada en el muestreo realizado durante la época seca, comparada con la de la época de lluvias.

En el Cuadro 19 se presentan las ecuaciones de regresión que fueron obtenidas por el procedimiento STEPWISE del programa SAS que explican el comportamiento del nivel de minerales en el suero sanguíneo de las cabras evaluadas. No obstante de que los coeficientes de determinación son bajos, las variables independientes seleccionadas por el programa, son las que modificaron significativamente los niveles de minerales en el suero sanguíneo de los animales, además, estas ecuaciones nos permiten predecir el comportamiento de los niveles de minerales en el suero sanguíneo ó posibles deficiencias de minerales en los animales.

En el Cuadro 20 se presentan los resultados generales obtenidos en las cabras en las dos épocas de muestreo para cada una de las variables estudiadas. El Cuadro 21, muestra los valores normales y críticos de algunos minerales en suero sanguíneo de rumiantes, los cuales, en ausencia de valores específicos para caprinos, serán utilizados como referencia. Los valores encontrados en este trabajo para Ca, P, Mg y K se encuentran dentro del rango normal, por lo cual, se puede considerar que los niveles de estos minerales en el suero sanguíneo de las cabras son normales. Sin embargo, los niveles encontrados para Cu y Zn se encuentran abajo de los niveles críticos recomendados para rumiantes, lo cual puede indicarnos que los animales no satisfacen adecuadamente sus necesidades de estos minerales. Los niveles normales de Na en suero sanguíneo reportados por McDowell (1985f), son fisiológicamente anormales y no concuerdan con los encontrados en el presente trabajo. Se encontró que en el muestreo durante la

Cuadro 19. Ecuaciones de regresión que explican el nivel de minerales en suero sanguíneo de los animales en función de las variables estudiadas.

Mineral	Ecuación	R <sup>2</sup>
Ca	$Y = 153.65 - 9.85 \text{ MUES}$	0.0383
P	$Y = 60.96 + 5.51 \text{ COND}$	0.0413
Mg	( $P > 0.05$ )	
K	$Y = 177.20 + 7.30 \text{ MUES}$	0.0231
Na	$Y = 2741.77 - 135.55 \text{ MUES}$	0.0201
Cu	$Y = .2806 + .0158 \text{ EDAD} + .0530 \text{ COND}$	0.0308
Zn	$Y = 0.6964 - 0.000055 \text{ HPGH}$	0.0211

Cuadro 20. Promedio general de las variables estudiadas en los animales en las dos épocas de muestreo.

Item	Promedio general	E.E.
Edad	5.49	0.20
Condición	3.26	0.05
HPGH	691.14	45.41
	----- ug/ml -----	
Ca	138.94	2.01
P	78.92	1.36
Mg	31.62	0.35
K	188.11	2.00
Na	2539.00	35.15
Cu	0.54	0.02
Zn	0.66	0.02



Cuadro 21. Nivel normal y crítico de minerales en suero sanguíneo para rumiantes.

Mineral	Nivel normal (ug/ml)	Nivel crítico (ug/ml)
Ca	80-120	80
P	45-65	45
Mg	10-32	10-20
K	166-200	166
Na	156-300	156
Cu	0.6-1.5	<0.60
Zn	0.6-1.2	<0.60

McDowell (1985f)

época seca y época de lluvias, el 69 y 63% de los animales, respectivamente, presentaron niveles de Cu ( $\mu\text{g/ml}$ ) en suero abajo del nivel considerado como crítico (McDowell, 1985f). Así mismo, el 41 y 38% de los animales en el muestreo durante la época seca y de lluvias, respectivamente, presentaron niveles de Zn inferiores a los niveles considerados como críticos. Esta información nos permite destacar que las deficiencias de Cu y Zn en las cabras de la zona es crítica, por lo que la suplementación con estos minerales puede ser recomendada ampliamente.

Los promedios generales de Ca, P, Cu y Zn ( $\mu\text{g/ml}$ ) encontrados en el presente trabajo son superiores (especialmente en P y Zn) a los reportados por Ramírez *et al.* (1988) quienes evaluaron estos minerales en cabras en la región de Marín Sánchez N.L., indicando una concentración de 114.2, 38.7, 0.49 y 0.33 ( $\mu\text{g/ml}$ ) para Ca, P, Cu y Zn, respectivamente.

Comparando los resultados obtenidos del contenido de minerales en suero sanguíneo de las cabras analizadas con los obtenidos por Lintzel (1931) (Ver Cuadro 6), encontramos que los niveles de P, Mg, K, y Na coinciden con los encontrados en el presente trabajo. Sin embargo, el valor de Ca es sensiblemente superior y no corresponde a los niveles normales reportados comúnmente en la literatura.

Integrando la información del contenido de minerales en suelo, agua, forrajes y suero sanguíneo de animales encontramos que los niveles de Ca en suero sanguíneo de los animales son moderadamente altos, lo cual es consecuencia de los altos

contenidos en forrajes y suelo.

Los niveles de P en suero se encuentran dentro del rango normal no obstante de ser deficientes en la mayor parte de especies forrajeras analizadas. Este comportamiento se puede explicar por la mayor eficiencia en la absorción que es estimulada por la deficiencia en la dieta y por la mayor retención metabólica de P (Bass et al., 1981; McDowell, 1985b; Underwood, 1981).

Los niveles de Mg y K en suelo, agua, forraje y suero sanguíneo de los animales se encuentran en cantidades adecuadas. Los niveles de Na en forrajes son moderadamente altos y normales en suero sanguíneo de los animales. Respecto a Cu, el nivel en suelo es bueno, en forrajes adecuado y en suero moderadamente deficiente, este comportamiento puede ser explicado por la interferencia que ejercen otros minerales contenidos en suelo que contamina los forrajes, tal es el caso de molibdeno, fierro, azufre, cadmio y magnesio, los cuales disminuyen sensiblemente su absorción. El contenido de Zn en suelo fue bueno, ligeramente deficiente en forrajes durante la época seca y adecuado en la época de lluvias y, en niveles marginales a deficientes en suero sanguíneo de los animales. Considerando que los niveles de Zn en suelo y forraje son adecuados, la deficiencia ligera que se presenta en suero puede ser debida a que los contenidos elevados de Ca en forrajes sean los que interfieren negativamente con la absorción y metabolismo del Zn en los animales.

## 5. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se concluye que:

a) El contenido de minerales en el suelo no fue diferente entre las dos épocas de muestreo. Los niveles de P fueron bajos, mientras que los de Ca, Mg, K, Na, Cu y Zn fueron adecuados.

b) El aporte de P, Ca, Mg, K, Na, Cu y Zn por el agua de bebida es muy bajo, lo cual corresponde a niveles normales.

c) Existió alta variabilidad en el contenido de minerales entre los tipos de especies forrajeras consumidas por el ganado. Asimismo existieron diferencias en el contenido de minerales de los forrajes entre muestreos. En general, los contenidos de Ca y Na en los forrajes muestreados fueron altos, los de Mg, K y Cu adecuados y los P y Zn marginales a deficientes.

d) La edad (número de dientes), condición corporal de los animales y época de muestreo no afectaron al contenido de minerales en suero sanguíneo de los animales.

e) Los niveles de Zn y Cu presentaron niveles marginales a deficientes en el suero sanguíneo de los animales. La deficiencia de Zn se explica por los niveles bajos de Zn en el forraje, mientras que la de cobre puede deberse a interacciones con otros minerales o compuestos.

f) Se recomienda suplementar a las cabras de la región que pastorean bajo similares condiciones a las del presente trabajo, con fuentes que contengan Cu y Zn.

## LITERATURA CITADA

- Adam, S.E.I., I.A. Wasti y M. Magzoub. 1977. Chronic copper toxicity in Nubian goats. *J. Comp. Path.* 87:623-627.
- Ademosum, A.A. y C.M. Munyabuntu. 1982. Sheep: metabolic interactions of copper with iron, molybdenum and sulphur. *Int. Goat and Sheep. Res.* 2:13-21.
- Allaway, W.H. 1986. Soil-plant-animal and human interrelationships in trace element nutrition. In: W. Mertz (ed). *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*, Vol. 2. 5th Edition. Academic Press Inc., New York. 11:465-488.
- Allen, N.N., D. Ansmann, W.N. Patterson y D.E. Hays. 1958. *J. Dairy Sci.* 41:688-691.
- Ammerman, C.B. 1970. Recent developments in cobalt and copper in ruminant nutrition: A review. *J. Dairy Sci.* 53:1097-1107.
- Ammerman, C.B. y R.D. Goodrich. 1973. Advances in mineral nutrition in ruminants. *J. Anim. Sci.* 57:519.
- Annenkov, B.N. 1982. Kinetics of mineral metabolism in organs and tissues. In: V.I. Georgievski, B.N. Annenkov y V.T. Samokhin (eds). *Mineral Nutrition of Animals*. Butterworths, London. pp. 257-271.
- ARC. 1980. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. Agricultural Research Council by the Commonwealth Agricultural Bureaux. London, U.K.
- Arnold, G.W., W.R. McManus y I.G. Busch. 1966. Studies in the wool production of grazing sheep. 5. Observations on teeth wear and carry over effects. *Austr. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 6:101-107.
- Arora, S.P. y B.S. Gupta. 1964. Study of interrelationship amongst sodium, potassium and protein in the serum of buffaloes and goats. *V. Vet. Anim. Husb. Res.* 8:15-22.
- Auza, N. 1983. Le cuivre chez les ruminants, une revue. *Ann. Rech. Vet.* 14:21-37.
- Barakat, M.Z. y M.M. El-Guindi. 1967. Biochemical analysis of normal goat blood. *Zbl. Vet. Med.* 14a:579-596.
- Bass, J.M., G. Fishwick, R.G. Hemingway, J.J. Parkins y N.S. Ritchie. 1981. The effect of supplementary phosphorus on the voluntary consumption and digestibility of a low phosphorus straw-based diet given to beef cows during pregnancy and early lactation. *J. Agric. Sci. Camb.* 97:365-372.

- Bates, J. y C.J. McClain. 1981. The effect of severe zinc deficiency on serum levels of albumin, transferrin, and prealbumin in man. *Am. J. Clin. Nutr.* 34:1655-1660.
- Bennetts, H.W. y A.B. Beck. 1942. Enzootic ataxia and copper deficiency of sheep in Western Australia. *Bulletin, Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*, No. 147. Australia.
- Blackmore, D.J. y P. Stainer. 1984. Methods for the measurement of trace elements in equine blood by electrothermal atomic absorption spectrophotometry. *Atomic Spectrophotometry* 5:215-216.
- Blackey, B.R. y D.L. Hamilton. 1985. Ceruloplasmin as an indicator of copper status in cattle and sheep. *Can. J. Comp. Med.* 49:405-408.
- Boila, R.J., T.J. Devlin, R.A. Drysdale y L.E. Lillie. 1984a. Geographical variations in the copper and molybdenum contents of forages grown in Northwestern Manitoba. *Can. J. Anim. Sci.* 64:899-918.
- Boila, R.J., T.J. Devlin, R.A. Drysdale y L.E. Lillie. 1984b. The severity of hypocupremia in selected herds of breed cattle in northwestern Manitoba. *Can. J. Anim. Sci.* 64:919-936.
- Boila, R.J., T.J. Devlin, R.A. Drysdale y L.E. Lillie. 1985. Geographical variability of the zinc, manganese and iron concentrations of forages grown in northwestern Manitoba. *Can. J. Anim. Sci.* 65:861-870.
- Braithwaite, G.D. 1981. Effect of 1 $\alpha$ -hidroxichoalciferol on calcium and phosphorus metabolism in sheep given high or low calcium diets. *J. Agric. Sci. Camb.* 96:291-299.
- Bremner, I., B.W. Young y C.F. Mills. 1976. Protective effect of zinc supplementation against copper toxicosis in sheep. *Brit. J. Nutr.* 36:551-561.
- Bremner, I. y B.W. Young. 1978. Effects of dietary molybdenum and sulphur on the distribution of copper in plasma and kidneys of sheep. *Brit. J. Nutr.* 39:325-336.
- Care, A.D., R.C. Brown, A.R. Farrar y D.W. Pickard. 1984. Magnesium absorption from the digestive tract of sheep. *Quat. J. Exp. Physiol.* 69:577-587.
- CETENAL. 1971. Carta topográfica F-14-A-51. comisión de Estudios del Territorio Nacional. SPP, México.
- Conrad, J.H. 1978. Soil, plant and animal tissues as predictors of the mineral status of ruminants. In: J.H. Conrad y L.R. McDowell. (eds). *Latin American Symposium on Mineral Nutrition Research with Grazing Ruminants*. Department of

Animal Science. University of Florida. Gainesville, Fla. USA. pp. 143-148.

- COTECOCA. 1978.** Coeficientes de agostaderos de la República Mexicana. Comisión Técnica Consultiva para la Determinación de los Coeficientes de Agostadero. SARH. Estado de San Luis Potosí, México.
- Cotzias, G.C. 1967.** Trace substances and Environmental Health. In: Proc. univ. Mo. Annu. Conf. 5-12pp.
- Cousins, R.J. 1979.** Regulatory aspects of zinc metabolism in liver and intestine. Nutr. Rev. 37:97-103.
- Cruz, S. S.A. 1977.** Deficiencias y toxicidades de minerales del ganado bovino en pastoreo en San Juan de Sabinas, Coahuila (verano 1977). 1. Determinación de niveles. Tesis Profesional. DCAM. ITESM, Monterrey, N.L. México.
- Cuevas, B.E., O. Balocchi, R. Anrique y M. Jorquera. 1983.** Valor nutritivo de las principales especies de una pradera permanente en la décima región. 2. Contenido de minerales. Agro Sur 11:13-22.
- Chamberlain, A.G. y S.H. Clarke. 1981.** Copper deficiency of sheep in eastern Saudi Arabia. J. Agric. Sci. Camb. 97:213-220.
- Chapman, H.L. Jr., S.L. Nelson, R.W. Kidder, W.L. Sippel y C.W. Kidder. 1962.** Toxicity of cupric sulfate for beef cattle. J. Anim. Sci. 21:960-962.
- Church, D.C. y W.G. Pond. 1987.** Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales. Limusa, México.
- Danks, D.M. 1981.** Diagnosis of trace metal deficiency—with emphasis on copper and zinc. Am. J. Clin. Nutr. 34:278-280.
- Davis, G.K. 1974.** High-level copper feeding of swine and poultry and the ecology. Fed. Proc. 33:1194-1197.
- De Alba, J. 1973.** Alimentación del Ganado en América Latina. Fournier, S.A. México.
- Dejou, J. F-X de Montard, M. Lamand y J. Bellanger. 1985.** Effects de l'application de cuivre et de zinc en sol volcanique sur les teneurs du sol et d'un ray-grass anglais en ces deux oligo-éléments. Agronomie 5:841-850.
- Devendra, C. 1981.** Socio-economic importance of goat production. In: C. Gall (ed.). Goat Production. Academic Press. London. 18:575-594.
- De Sousa, J.C. 1978.** Interrelationships among mineral levels in soil, forages, and animal tissues on ranches in northern

- Mato Grosso, Brazil. Thesis Ph.D. University of Florida. Gainesville, Fla.
- De-Sousa, J.C., J.H. Conrad, L.R. McDowell, C.B. Ammerman y W.G. Blue. 1980. Inter-relacoes entre minerais no solo, forrageiras e tecido animal. 2. Cobre e molibdenio. Pesq. Agropec. Bras., Brasilia. 15:335-341.
- De Wet, P.J. y M.M. Brown. 1966. Contributions to the study of blood constituents in domestic animals in South Africa. 4. Normal values for haemoglobin and plasma calcium, inorganic phosphate, magnesium, iron and copper in the blood of Angora goats in the Cape Midlands. Onderstepoort. J. Vet. Res. 33:343-353.
- Durum, W.H., J.D. Hem y S.G. Heidel. 1971. Reconnaissance of selected minor elements in surface waters of the United States, october 1970. USGS Geol. Surv. Circ. 643:1-49.
- Echevarria, M., M. Garcia, G. Meini, D. Stosic y L. McDowell. 1985. Effect of copper, cobalt and zinc supplementation on liveweight gain of Nellore heifers in the peruvian tropics. Nutr. Rep. Int. 32:463-468.
- Escamilla, M.R. 1978. Evaluación de la suplementación de minerales a bovinos en pastoreo de zacate Guinea (Panicum maximum, Jack) bajo condiciones de clima subtropical. Tesis Profesional. (DCAM) ITESM, Monterrey, N.L. México.
- Evans, G.W. 1976. Transferrin function in Zn absorption and transport. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 151:775-782.
- Fick, K.R., L.R. McDowell, P.H. Miles, N.S. Wilkinson, J.D. Funk, J.H. Conrad y R. Valdivia. 1979. Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales. Latin American Mineral Research Program, Anim. Sci. Department. Univ. Fla. Gainesville, Florida, USA. Agency for International Development, US.
- Field, A.C. y D. Purves. 1964. The intake of soil by grazing sheep. Proc. Nutr. Soc. 23:24-25.
- Field, R.A., G.L. Bennett y R. Munday. 1985. Effect of excess zinc and iron on lamb carcass characteristics. New Zealand. J. Agric. Res. 28:349-355.
- Field, A.C., J.A. Woolliams y C. Woolliams. 1986. The effect of breed of sire on the urinary excretion of phosphorus and magnesium in lambs. Anim. Prod. 42:349-354.
- Fischer, P.W.F., A. Giroux y M.R. L'Abbé. 1981. The effect of dietary zinc on intestinal copper absorption. Am. J. Clin. Nutr. 34:1670-1675.



- Fleming, G.A. 1973. Mineral composition of herbage. In: G.W. Butler y R.W. Bailey (ed). Chemistry and Biochemistry of Herbage. Vol. 1. Academic Press, London. pp. 529-563.
- Fuentes C., F. 1977. Deficiencias y toxicidades minerales del ganado bovino en pastoreo en Cadereyta Jiménez, N.L. (invierno-primavera). I. Determinación de niveles. Tesis Profesional. (DCAM) ITESM, Monterrey, N.L. México.
- Galdes, A. y B.L. Vallee. 1983. Categories of zinc metalloenzymes. In: H. Seigel (ed). Metal Ions and Biologic Systems. Vol. 15. Zinc and its Role in Biology and Nutrition. Marcel Dekker Inc., New York. pp. 1-54.
- Gall, C. 1981. Goats in agriculture distribution, importance and development. In: C. Gall (ed). Goat Production. Academic Press. London. 11-34.
- Georgievskii, V.I. 1982. General information on minerals. In: V.I. Georgievskii, B.N. Annenkov y V.T. Samokhin. (eds). Mineral Nutrition of Animals. Butterworths, London. pp. 11-56.
- Gomide, J.A. 1978. Mineral composition of grasses and tropical leguminous forages. In: H.J. Conrad y R.L. McDowell (eds). Latin American Symposium on Mineral Nutrition Research with Grazing Ruminants. Animal Science Department, University of Florida. Gainesville, Fla. pp. 32-40.
- Grace, N.D. y W.B. Healy. 1974. Effect of ingestion of soil on faecal losses and retention of Mg, Ca, P, K, and Na in sheep fed two levels of dried grass. New Zealand J. Agric. Res. 17:73-78.
- Gross, C.F. y B.A. Jung. 1981. Season, temperature, soil pH, and Mg fertilizer effects o herbage Ca and P levels and ratios of grasses and legumes. Agr. J. 73:629-634.
- Grunes, D.L. 1973. Grass tetany of cattle. In: Proc. 48th Annual Southwestern Fertilizer Conference 18-20 July, Tulsa Oklahoma. pp. 42-47.
- Guardado, A.R.E. 1977. Determinación de deficiencias y toxicidades de minerales del ganado bovino en pastoreo en el Estado de Nuevo León, Dr. González, N.L. (invierno) I. Determinación de Niveles. Tesis Profesional. DCAM, ITESM. Monterrey, N.L. México.
- Hansard, S.L. 1983. Microminerales for ruminants. Nutr. Abstr. Rev. B53:1-24.
- Haenlein, G.F.W. 1980a. Nutrient requirements of dairy goats—Past and present. Int. Goat and Sheep Res. 1:79-95.

- Haenlein, G.F.W. 1980b. Mineral nutrition of goats. *J. Dairy Sci.* 63:1729-1748.
- Haenlein, G.F.W. 1987. Mineral and vitamin requirements and deficiencies. *In: Proc. of fourth International Conference on Goats. Brasilia, Brasil.*
- Healy, W.B. 1967. Ingestion of soil by sheep. *Proc. New Zealand Soc. Anim. Prod.* 27:109-120.
- Healy, W.B. 1970. Ingested soil as a possible source of elements for grazing animals. *Proc. New Zealand Soc. Anim. Prod.* 30:11-19.
- Healy, W.B. 1972. *In vitro* studies on the effects of soil on elements in ruminal, "duodenal", and ileal liquors from sheep. *New Zealand J. Agric. Res.* 15:289-305.
- Healy, W.B. 1973. Nutritional aspects of soil ingestion by grazing animals. *In: G.W. Butler y R.W. Bailey (ed). Chemistry and Biochemistry of Herbage: Vol. 1. Academic Press, London. pp. 567-588.*
- Healy, W.B. 1974. Ingested soil as a source of elements to grazing animals. *In: W.G. Hoekstra, J.W. Suttle, H.E. Ganther y W. Mertz (ed). Trace Element Metabolism in Animals-2. University Park Press, Baltimore. U.S.A. pp. 448-450.*
- Healy, W.B., W.J. McCabe y G.F. Wilson. 1970. Ingested soil as a source of micro-elements for grazing ruminants. *New Zealand J. Agric. Res.* 13:503-521.
- Helwig, J.T. y K.A. Council. 1979. *The SAS User's Guide. SAS Institute Inc. USA.*
- Hogan, K.G., D.F.L. Money, D.A. White y R. Walker. 1971. Weight responses of young sheep to copper, and connective tissue lesions associated with the grazing of pastures of high molybdenum content. *N.Z. J. Agric. Res.* 14:687-701.
- Hove, K. 1984a. Effects of 1 $\alpha$ -hydroxylated metabolites of cholecalciferol on intestinal radiocalcium absorption in goats. *Brit. J. Nutr.* 51:157-164.
- Hove, K. 1984b. Intestinal radiocalcium absorption in the goat: measurement by a double-isotope technique. *Brit. J. Nutr.* 51:145-156.
- Hurley, L.S. 1981. Teratogenic aspects of manganese, zinc, y copper nutrition. *Physiol. Rev.* 61:249-295.
- Hussein, K.S.M., V. Bernt-E y A. Frank. 1985a. Selenium copper interaction in goats. *Zbl. Vet. Med. A.* 32:321-330.

- Hussein, K.S.M., A. Frank y B-E. V. Jones. 1985b. Influence of intramuscular selenium injections on copper metabolism in copper-loaded sheep. *Zbl. Vet. Med. A.* 32:729-738.
- Ibarra, C.J. C.A. 1979. Suplementación de minerales a ganado bovino en pastoreo de zacate Guinea (*Panicum maximum* Jack) durante la época seca en región subtropical. Tesis Profesional. DCAM, ITESM. Monterrey, N.L. México.
- INRA. 1981. Alimentación de los Ruminantes. Ediciones Mundiprensa. Madrid. 141-175.
- Jacobson, D.R., R.W. Hemken, F.S. Button y R.H. Hatton. 1972. Mineral nutrition, calcium, phosphorus, magnesium and potassium interrelationships. *J. Dairy Sci.* 55:935-944.
- Jacobson, N.L., K.D. Wiggers, M.H. Wiggers y G.N. Jacobson. 1976. Phosphorus in Dairy Cattle and Goat Nutrition. National Feed Ingredients Association. Iowa, USA. 43 p.
- Jennes, R. 1980. Composition and characteristics of goat milk: A review. *J. Dairy Sci.* 63:1605-16.
- Jiménez, G.E.A. 1976. Determinación de deficiencias y toxicidades de minerales en bovinos en pastoreo en el municipio de Salinas Victoria, N.L. (primavera-verano). I. Determinación de niveles. Tesis Profesional. DCAM, ITESM. Monterrey, N.L. México.
- Johnson, J.M. y G.W. Butler. 1957. Iodine content of plants. I. Method of determination and preliminary investigations of species and strain differences. *Physiology Plantarum* 10:100-111.
- Judson, G.J., D.W. Dewey, J.D. McFarlane y M.J. Riley. 1981. Oxidised copper wire for oral copper therapy in cattle. In: J. McHowell, J.M. Grawthorne y C.L. White (eds). Trace Element Metabolism in Man and Animals. Proc. of the fourth Int. Symp. Tema-4. Perth, western Australia May 11-15 1981. Australian Academic of Science. Canberra, Australia. pp. 187-190.
- Judson, G.J., T.H. Brown, D. Gray, D.W. Dewey, J.B. Edwards y J.D. McFarlane. 1982. Oxidized copper wire particles for copper therapy in sheep. *Aust. J. Agric. Res.* 33:1073-1083.
- Judson, G.J., T.H. Brown, D. Gray, D.W. Dewey y P.J. Babidge. 1984. Oxidised copper wire as a copper supplement for sheep: a study of some variables which may alter copper availability. *Aust. Vet. J.* 61:294-295.
- Karn, J.F. y D.C. Clanton. 1977. Potassium in range supplements. *J. Anim. Sci.* 45:1426-1434.

- Kessler, J., M. Manner y K. Pfister. 1980. Blood values of young and adult goats, 31. Jahrestagung der L.V.T. Munchen.
- Kessler, J. 1981. Elements minéraux majeurs chez la chevre donnees de base et apports recommandes. In: P. Morand-Fehr, A. Bourbouze y M. de Simiane. (ed). Nutrition et Systemes d'Alimentation de la chevre. Symposium International. ITOVIC. Tours France 12-15th May. 1:196-209.
- Kiatoko, M., L.R. McDowell, K.R. Fick, H. Fonseca, J. Camacho, J.K. Loosli y J.H. Conrad. 1978. Mineral status of cattle in the San Carlos region of Costa Rica. J. Dairy Sci. 61:324-330.
- Kincaid, R.C. y J.D. Cronrath. 1979. Effects of dietary zinc upon tissue zinc and percent insaturate plasma-zinc binding capacity. J. Dairy Sci. 62:572-576.
- Kincaid, R.L., D. Browning, J.D. Cronrath, B.P. Chew y J.K. Hillers. 1984. Effects of added dietary potassium and energy on milk yield and plasma metabolites of dairy calves and cows. Nutr. Rep. Int. 30:571-580.
- Kutsky, R.J. 1981. Handbook of Vitamins, Minerals and Hormones. Van Nostrand Reinhold Co. New York.
- Lamand, M. 1981a. Metabolisme et besoins en oligo-elements des chevres. In: P. Morand-Fehr, A. Bourbouze y M. de Simiane (ed). Nutrition et Systemes d'Alimentation de la Chevre. Symposium International. Tours, France 12-15th May. pp. 210-217.
- Lamand, M. 1981b. Copper toxicity in sheep. In: P. Hermite y J. Dehandtschutter (ed). Copper in Animal Wastes and Sewage Sludge. Proc. of the EEC Workshop organised by the INRA, Bordeaux, France. October 8-10, 1980. D. Reid Publishing Company. Holland. pp. 261-269.
- Lintzel, W. 1931. Der mineralstoffwechsed. In: E. Mangold (ed). Handbuch der Landwirtschaftlichen Nutztiere III. J. Springer Publ., Berlin, West Germany. pp. 210.
- López, Q.T. 1983. Estudio de cinco explotaciones caprinas en agostaderos del Altiplano Potosino. Tesis Licenciatura. UACH. Chapingo, Méx.
- López, Q.T. 1985. Caracterización de cabras criollas en agostaderos del Altiplano Potosino y factores que influyen en la reproducción y el crecimiento. Tesis Maestría. CP. Chapingo, Méx.
- Luecke, R.W. 1984. Domestic animals in the elucidation of zinc's role in nutrition. Fed. Proc. 43:2823-2828.

- Madero, R.J.G. 1976. Determinación de deficiencias y toxicidades minerales del ganado bovino en el Estado de Nuevo León. Bustamante, N.L. I. Determinación de niveles. Tesis Profesional. DCAM. ITESM. Monterrey, N.L. México.
- Masters, D.G., R.E. Chapman y J.D. Vaughan. 1985. Effects of zinc deficiency on the wool growth, skin and wool follicles of pre-ruminal lambs. *Aust. J. Biol. Sci.* 38:355-364.
- Masters, D.G. y R.J. Moir. 1980. Provision of zinc to sheep by means of an intraruminal pellet. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*
- Matrone, G. 1970. Studies on copper-molybdenum-sulphate interrelationships. In: C.F. Mills (ed). *Trace Elements Metabolism in Animals*. E. y S. Livingstone, Edinburgh, UK. pp. 354-362.
- Mayland, H.F., A.R. Florence, R.C. Rosenau, V.A. Lazar y H.A. Turner. 1975. *J. Range Manag.* 28:448-452.
- Mba, A.U. 1982. Mineral nutrition of goats in Nigeria. In: *Proc. of Third International Conference on Goat Production and Diseases*. Tucson, Arizona. USA. pp. 109-112.
- McAdam, P.A. y G.D. O'Dell. 1982. Mineral profile of blood plasma of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 65:1219-1226.
- McDowell, L.R. 1985a. Contribution of tropical forages and soil toward meeting mineral requirements of grazing ruminants. In: L.R. McDowell (ed). *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press Inc., USA. 8:165-188.
- McDowell, L.R. 1985b. Calcium, phosphorus, and fluorine. In: L.R. McDowell (ed). *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press Inc., USA. 9:189-212.
- McDowell, L.R. 1985c. Common salt (sodium y chlorine), magnesium, and potassium. In: L.R. McDowell (ed). *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press Inc., USA. 10:213-235.
- McDowell, L.R. 1985d. Copper, molybdenum, and sulfur. In: L.R. McDowell (ed). *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press Inc., USA. 11:237-257.
- McDowell, L.R. 1985e. Iron, manganese, and zinc. In: L.R. McDowell (ed). *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press Inc., USA. 13:291-315.
- McDowell, L.R. 1985f. Detection of mineral status of grazing ruminants. In: L.R. McDowell (ed). *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press Inc., New York. 15:339-357.

- McDowell, L.R. y J.H. Conrad. 1977. Trace mineral nutrition in Latin America. *World Anim. Rev.* 24:24-33.
- McDowell, L.R., J.H. Conrad, J.E. Thomas y L.E. Harris. 1974. Latin American tables of feed composition. University of Florida. Gainesville, Fla.
- McDowell, L.R., J.H. Conrad, J.E. Thomas, L.E. Harris y K.R. Fick. 1977. Nutritional composition of Latin American forages. *Trop. Anim. Prod.* 2:273-279.
- McDowell, L.R., J.H. Conrad, G.L. Ellis y J.K. Loosli. 1984. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales.* Univ. Florida, Gainesville, Fla. y La Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.
- McLean, A.F., W. Buchan y D. Scott. 1984. Magnesium absorption in mature ewes infused intrarumenally with magnesium chloride. *Brit. J. Nutr.* 52:523-527.
- McLean, A.F., W. Buchan y D. Scott. 1985. The effect of potassium and magnesium infusion on plasma Mg concentration and Mg balance in ewes. *Br. J. Nutr.* 54:713-718.
- Mertz, W. 1976. Trace elements in animal nutrition: Review paper. In: *Proceedings Series in Nuclear Techniques in Animal Production and Health.* 2-6 Feb, 1976. Vienna, Austria. pp. 3-15.
- Mier y Terán Puerto, J.E. 1977. Determinación de deficiencias y toxicidades minerales del ganado en el Estado de Nuevo León. Caderayta Jiménez, N.L. I. Determinación de niveles. Tesis Profesional. DCAM, ITESM. Monterrey, N.L. México.
- Miller, W.J. 1970. Zinc nutrition of cattle: A review. *J. Dairy Sci.* 53:1123-1135.
- Miller, W.J. 1981. Biological value of different sources of inorganic trace elements. *Feedstuffs* 30:20-22.
- Miller, W.J., W.J. Pitts, C.M. Clifton y S.C. Schmittle. 1964. Experimentally produced zinc deficiency in the goat. *J. Dairy Sci.* 47:556-559.
- Miller, W.J., G.W. Powell, W.J. Pitts y H.F. Perkins. 1965. Factors affecting zinc content of bovine hair. *J. Dairy Sci.* 48:1091-1095.
- Miller, J.K., E.W. Swanson y F.C. Madsen. 1978. Water as a source of some minerals for cattle. *Feedstuffs* 50:31-32.
- Mills, C.F., A.C. Dalgarno, R.B. Williams y J. Quarterman. 1967. Zinc deficiency and zinc requirements of calves and lambs. *Brit. J. Nutr.* 21:751-768.

- Mills, C.F., A.C. Dalgarno y G. Wenham. 1976. Biochemical and pathological changes in tissues of Friesian cattle during the experimental induction of copper deficiency. *Brit. J. Nutr.* 35:309-331.
- Moctezuma, A.R. y R.G. Ramirez. 1988. Determinación del consumo voluntario del ganado caprino en pastoreo en Marín, N.L. (enero-junio, 1987). In: *Memorias del Primer Congreso Interamericano de Producción Caprina*. Octubre, 1988. Torreón, Coah. Mex. pp. 85-88.
- Monroy, G.S.R. 1974. Estudio preliminar de las fluctuaciones del consumo de suplementos minerales en relación con el contenido de minerales de los pastos. Tesis Profesional. DCAM, ITESM. Monterrey, N.L. México.
- Moss, B.R., F. Madsen, S.L. Hansard C.T. Gamble. 1974. Maternal-fetal utilization of copper by sheep. *J. Anim. Sci.* 38:475-479.
- Murphy, G.M. y J.A. Connell. 1970. A simple method of collecting saliva to determine the sodium status of cattle and sheep. *Aust. Vet. J.* 46:595-598.
- Netherlands Committee on Mineral Nutrition. 1973. Tracing and treating mineral disorders in dairy cattle. Ministry of Agriculture and Fisheries. Wageningen.
- NRC. 1974. Nutrients and Toxic Substances in Water for Livestock and Poultry. National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D.C.
- NRC. 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. National Academy of Science, National Research Council. Washington, D.C. 577 p.
- NRC. 1981. Nutrient Requirements of Domestic Animals. No. 15. Nutrient Requirements of Goats: Angora, Dairy, and Meat Goats in Temperate and Tropical Countries. National Academy of Sciences, National Research Council. Washington, D.C.
- NRC. 1985. Nutrient Requirements of Domestic Animals. No. 5. Nutrient Requirements of Sheep. 6th Ed. National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D.C.
- Obeso, S.H. 1977. Determinación de deficiencias y toxicidades minerales del ganado bovino en pastoreo en el Municipio de Ciéniga de Flores, N.L. I. Determinación de niveles. Tesis Profesional. DCAM, ITESM. Monterrey, N.L. México.
- Ortega, D.A.J.L. 1979. Niveles de minerales en suelo, forraje y suero sanguíneo y suplementación fosfórica a becerros en pastoreo de zacate estrella africana (*Cynodon pleistostachyus*, Pilger) en región subtropical. Tesis Profesional. DCAM, ITESM. Monterrey, N.L. México.

- Ott, E.A., W.H. Smith, M. Stob, H.E. Parker y W.M. Beeson. 1965. Zinc deficiency syndrome in the young calf. *J. Anim. Sci.* 24:735-741.
- Paredes, Z.M., D.J. Sykes, J.R. Foster y J.A. Gomide. 1967. Determinação de conteúdo de mineral de treze gramíneas forrageiras para corte. *Rev. Ceres.* 13:344-360.
- Perkin-Elmer. 1976. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry: Mod 4000. Perkin-Elmer, Norwalk, Connecticut, U.S.A.
- Pierce, A.W. 1959. Studies on salt tolerance of sheep. II. The tolerance of sheep for mixtures of sodium chloride and magnesium chloride in the drinking water. *Aust. J. Agric. Res.* 10:725-735.
- Pierce, A.W. 1960. Studies on salt tolerance of sheep. III. The tolerance of sheep for mixtures of sodium chloride and sodium sulphate in the drinking water. *Aust. J. Agric. Res.* 11:548-556.
- Pope, A.L. 1971. A review of recent mineral research with sheep. *J. Anim. Sci.* 33:1332.
- Purser, D.B., J.L. Hill, J.R. Lindsay y I.N. Southey. 1984. Copper recycling in sheep. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 15:734.
- Ramírez, L.R.G., A. Rodríguez y H. Rodríguez. 1988. Contenido mineral de la dieta seleccionada por cabras en un matorral mediano espinoso, Marín, N.L. (julio-diciembre, 1986). En: *Memorias del Primer Congreso Interamericano de Producción Caprina*. Octubre, 1988. Torreón, Coah. pp. B18-B21.
- Rosa, I.V. 1980. Dietary phosphorus and trace element interrelationships in ruminants. Thesis Ph.D. University of Florida, Gainesville, Fla.
- Salisbury, C.D. y W. Chan. 1985. Simple automated wet digestion of animal tissue for determination of seven elements by atomic absorption spectroscopy. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 68:218-219.
- Sánchez, H.A.L. 1978. Evaluación de la suplementación de minerales a bovinos en pastoreo de zacate estrella africana (*Cynodon dactylon* Pilger) bajo condiciones de clima tropical húmedo. Tesis Profesional. DCAM, ITESM. Monterrey, N.L. México.
- Saunders, W.M.H. 1984. Mineral composition of soil and pasture from areas of grazed paddocks, affected and unaffected by during and urine. *New Zealand J. Agric. Res.* 27:405-412.



- Sauvant, D. 1979. Les profils biochimiques chez la chèvre laitière. Intérêt et limites. In: P. Morand-Fehr, D. Sauvant y M. De-Simiane (eds). Données Récentes sur L'alimentation de la Chèvre. INRA, Paris. pp. 70-82.
- Scott, M.L. y J.M. Thompson. 1971. Selenium content of feedstuffs and effect on dietary selenium levels upon tissue selenium in chicks and poults. Poultry Sci. 50:1742-1748.
- Schellner, G. 1972. Die Wirkung von Natriummangel und Natriumbefütterung auf Wachstum, Milch- und Milchfettleistung und Fruchtbarkeit bei Ziegen. Jahrbuch für Tierernährung und Fütterung 8:246-259.
- Sherrell, C.B. 1978. A note on sodium concentration in New Zealand pasture species. New Zealand J. Exp. Agric. 6:189-190.
- Shirley, R.L. 1985. Water requirements for grazing ruminants and water as a source of minerals. In: L.R. McDowell (ed). Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates. Academic Press Inc. USA. 3:37-57.
- Shirley, R.L., G.K. Davis y J.R. Neller. 1951. Distribution of P-32 in the tissues of a steer fed grass from land that received labelled fertilizer. J. Anim. Sci. 10:335-336.
- Shirley, R.L., W.K. Robertson, J.T. McCall, J.R. Neller y G.K. Davis. 1957. Distribution of Ca-45 in tissue of a steer fed grass from land that received labelled fertilizer. Q.J. Fla. Acad. Sci. 20:113-138.
- Siller, B.E. 1977a. Deficiencias y toxicidades de minerales en ganado bovino en pastoreo en Melchor Ocampo, Muzquiz, Coah. Invierno 1976-1977 y primavera 1977. I. Determinación de niveles. Tesis Profesional. DCAM, ITESM. Monterrey, N.L. México.
- Siller, CH.V.A. 1977b. Determinación de las deficiencias y toxicidades de bovinos en pastoreo en el Municipio de Sabinas, Coah. (Mar-Oct, 1977). I. Determinación de niveles. Tesis Profesional. DCAM, ITESM. Monterrey, N.L. México.
- Sing, N. y G.C. Taneja. 1978. A note on the effect of prolonged salt intake from drinking water on the distribution of body water in Marwari sheep of the Rajasthan desert, India. Anim. Prod. 27:357-360.
- Sklan, D. y S. Hurwitz. 1985. Movement and absorption of mayor minerals and water in ovine gastrointestinal tract. J. Dairy Sci. 68:1659-1666.
- Smith, y Thompson. 1978. Proc. Aust. Soc. Anim. Prod. 12:122-124.

- Solomons, N.W. y R.A. Jacob. 1981. Studies on the bioavailability of zinc in humans: effects of heme and nonheme iron on the absorption of zinc. *Am. J. Clin. Nutr.* 34:475-482.
- Southern, P. 1979. The value of cereal crop. In: "Our Land". University Western Australia, Australia. pp. 1-3.
- Stika, K.M. y G.H. Morrison. 1981. Analytical methods for the mineral content of human tissues. *Fed. Proc.* 40:2115-2120.
- Suliman, H.B., A.I. Abdelrahim, A.M. Sakia y A.M. Shommein. 1988. Zinc deficiency in sheep: Field cases. *Trop. Anim. Hh. Prod.* 20:47-51.
- Buttle, N.F. 1975. Changes in the availability of dietary copper to young lambs associated with age and weaning. *J. Agric. Sci.* 84:255-261.
- Buttle, N.F., B.J. Alloway y I. Thornton. 1975. An effect of soil ingestion on the utilization of dietary copper by sheep. *J. Agric. Sci., Camb.* 84:249-254.
- Tavera, G. 1985. Criterios para interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para las áreas de asistencia técnica. Publicación # 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Delegación La Laguna, Coahuila, Méx.
- Telfer, S.B., G. Zervans y G. Carlos. 1984. Curing or preventing deficiencies in copper, cobalt and selenium in cattle and sheep using tracerglass. *Can. J. Anim. Sci.* 64 (Suppl):234-235.
- Ternouth, J.H. y C.C. Sevilla. 1984. Effects of phosphorus deficiency on food intake, growth and absorption of calcium and phosphorus by lambs. *Can. J. Anim. Sci.* 64 (Suppl):221-222.
- Thomas, B., A. Thompson, V.A. Oyenuga y R.H. Armstrong. 1952. The ash constituents of some herbage plant at different stages of maturity. *Emp. J. Exp. Agric.* 20:10-22.
- Thompson, D.J. 1978. Calcium, phosphorus and fluorine in animal nutrition. In: J.H. Conrad and L.R. McDowell (eds). *Latin American Symposium on Mineral Nutrition Research with Grazing Ruminants*. Department of Animal Science. University of Florida. Gainesville, Fla, USA. pp. 47-54.
- Tisdale, S.L. y W.L. Nelson. 1975. *Soil fertility and fertilizers*. Macmillan Publishing Co. New York, USA.
- Todd, W.R., C.A. Elvehjem and E.B. Hart. 1934. Zinc in the nutrition of the rat. *Am. J. Physiol.* 107:146-156.
- Tomas, F.M. y B.J. Potter. 1976. The site of magnesium absorption from ruminant stomach. *Brit. J. Nutr.* 36:37-45.

- Underwood, E.J. 1977. Trace Elements in Human and Animal Nutrition. Fourth edition. Academic Press, Inc. New York. 545 p.
- Underwood, E.J. 1981. The Mineral Nutrition of Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. London.
- Underwood, E.J. y M. Somers. 1969. Studies of zinc nutrition in sheep. 1. The relation of zinc to growth, testicular development and spermatogenesis in young rams. Austr. J. Agric. Res. 20:889-897.
- Van-Ryssen, J.B.J., S. Van-Malsen y P.R. Barrowman. 1986. Effect of dietary molybdenum and sulphur on the copper status of hypercuprotic sheep after withdrawal of dietary copper. S. Afr. J. Anim. Sci. 16:77-82.
- Volkweiss, S.J. y N.M. Rodriguez. 1978. Propiedades de los suelos que influyen las diferencias minerales o toxicidades en los animales y las plantas. In: J.H. Conrad y L.R. McDowell (ed). Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Ruminantes en Pastoreo. Departamento de Ciencia Animal. Universidad de Florida. Gainesville, Fla. USA. pp. 22-32.
- Wadsworth, J.C. y R.D.H. Cohen. 1976. Phosphorus utilization by ruminants. In: G.J. Blair (ed). Prospects for Improving Efficiency of Phosphorus Utilization. Proc. Symp. Univ. New England, Armidale, NSW, Australia. Rev. Rural Sci. 3:143-153.
- Wallwork, J.C. 1987. Zinc and central nervous system. Progress in Food and Nutrition Science 11:203-247.
- Ward, B.M. 1978. Molybdenum toxicity and hypocuprosis in ruminants: A review. J. Anim. Sci. 46:1078-1084.
- Warncke, D.D. y L.S. Robertson. 1976. Understanding the MSU soil test report: Results and recommendations. Extension Bulletin 937. MSU, AG Facts. Cooperative Extension Service. Michigan State University, U.S.A.
- Weeth, H.J. y L.H. Haverland. 1961. J. Anim. Sci. 20:518-521.
- Whitelaw, A., R.H. Armstrong, C.C. Evans y A.R. Fawcett. 1979. A study of the effects of copper deficiency in Scottish Blackface lambs on improved hill pasture. Vet. Rec. 104:455-460.
- Whiteman, P.C. 1980. Tropical Pasture Science. Oxford University Press. New York.
- Wiener, G. y A.C. Field. 1970. Genetic variation in copper metabolism of sheep. In: C.F. Mills (ed). Trace Element Metabolism in Animals. Livingstone, Edinburgh, U.K. 92-102.

- Wiener, G., N.F. Suttle, A.C. Field, J.B. Herbert y J.A. Woolliams. 1978. Breed differences in copper metabolism in sheep. *J. Agric. Sci. Camb.* 91:433-441.
- Wiener, G., J.A. Woolliams, C. Woolliams y A.C. Field. 1985. Genetic selection to produce lines of sheep differing in plasma copper concentrations. *Anim. Prod.* 40:465-473.
- Wise, M.B., A.L. Ordoveza y E.R. Barrick. 1963. Influence of variations in dietary calcium:phosphorus ratio on performance and blood constituents of calves. *J. Nutr.* 79:79-84.
- Woolliams, C., N.F. Suttle, J.A. Woolliams, D.C. Jones y G. Wiener. 1986a. Studies on lambs from lines genetically selected for low and high copper status. 1. Differences in mortality. *Anim. Prod.* 43:293-301.
- Woolliams, J.A., C. Woolliams, N.F. Suttle, D.G. Jones y G. Wiener. 1986b. Studies on lambs from lines genetically selected for low and high copper status. 2. Incidence of hypocuprosis in improved hill pasture. *Anim. Prod.* 43:303-317.