

Universidad Autónoma Chapingo

Departamento de Zootecnia
Chapingo, Méx.



✓ "Diagnóstico del Estado Mineral de Ovinos Bajo Condiciones
de Pastoreo en Tenango del Valle, México".

T E S I S



Que como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION ANIMAL.

DIRECCION ACADÉMICA *P r e s e n t a :*
DEPTO. DE SERVICIOS ACADÉMICOS
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Ignacio Arturo Domínguez Vara

Bajo la Dirección de: M Sc. Maximino Huerta Bravo



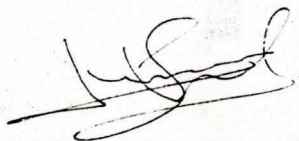
1993

7166

ESTA TESIS SE REALIZO BAJO LA DIRECCION DEL M. Sc. MAXIMINO HUERTA BRAVO, REVISADA Y ACEPTADA POR EL COMITE ASESOR Y JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION ANIMAL, ESPECIALISTA EN NUTRICION.

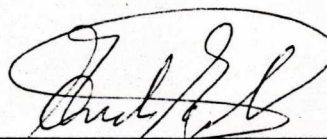
CHAPINGO, MEXICO; MAYO DE 1993

PRESIDENTE



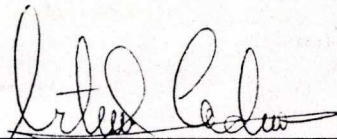
M. Sc. MAXIMINO HUERTA BRAVO

SECRETARIO



Ph. D. ANDRES AGUILAR SANTELISES

VOCAL



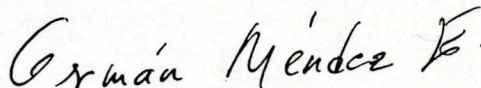
M. C. J. ARTEMIO CADENA MENESES

SUPLENTE



Ph. D. GERMAN MENDOZA MARTINEZ

SUPLENTE



M. C. GERMAN MENDEZ EGUIA LIS

25006

1

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar un agradecimiento especial al presidente de mi comité asesor académico y director de tesis M. Sc. Maximino Huerta Bravo, por su invaluable asesoría y amistad en forma permanente para mi formación académica y científica, y en la realización de ésta investigación.

A los profesores miembros del comité revisor y jurado examinador, con especial reconocimiento al Ph. D. Andres Aguilar Santelises por sus atinadas observaciones y sugerencias que ayudaron a enriquecer el presente trabajo.

Agradezco profundamente a todos los profesores del programa de posgrado en producción animal, cuyos conocimientos ayudaron a mi formación profesional.

También agradezco a mis compañeros y amigos estudiantes de posgrado del Departamento de Zootécnia por sus ideas y sugerencias ofrecidas durante mi estancia en la Universidad Autónoma Chapingo.

Agradezco infinitamente a la Universidad Autónoma Chapingo y al Gobierno de México, quién a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) aportó el financiamiento económico para la realización de mis estudios de Maestría.

Finalmente, agradezco a todas las personas que colaboraron en los trabajos de campo y de laboratorio, al personal administrativo, y de las secciones de forrajes y nutrición del Departamento de Zootécnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

DEDICATORIA

La formación profesional es muy importante para el individuo, pero requiere además, de otros conocimientos para su realización integral como persona. Este trabajo es el resultado de muchos momentos sacrificados alejado de mi familia; por esta razón agradezco a mi esposa Imelda Medina de Domínguez y a mi hijo Ignacio Alexis Domínguez Medina por su ayuda y comprensión durante todos estos años. Asimismo, doy gracias a mis familiares por su ayuda moral brindada en todo momento. Debemos comprender que los sacrificios experimentados persigen un futuro mejor para nuestra familia. Espero corresponder con amor y dedicación para un bienestar común.

CONTENIDO

	Página
Indice de cuadros	ii
Indice de figuras	iv
Indice de apéndices	iv
Lista de abreviaciones	v
Resumen	vi
Introducción	1
Revisión de literatura	3
1. Importancia de los elementos minerales en el organismo .	4
1.1 Sistema de clasificación mineral	5
1.2 Estado nutricional y productividad del animal	7
2. Interrelaciones entre suelo-planta-animal	9
2.1 Estado mineral del suelo	10
2.2 Estado mineral del forraje	14
2.3 Estado mineral del animal	17
3. Fuentes y disponibilidad de minerales para animales	21
3.1 Alimento	21
3.2 Suelo	23
3.3 Agua	24
4. Descripción de los elementos minerales de mayor im- portancia en nutrición animal	25
4.1 Calcio	25
4.2 Fosforo	30
4.3 Magnesio	38
4.4 Potasio	44
4.5 Cobre	49
4.6 Zinc	58
4.7 Fierro	65
Hipótesis	71
Materiales y métodos	72
Resultados y discusión	88
Conclusiones	127
Literatura citada	129
Apéndice	146

INDICE DE CUADROS

Cuadro No.	Página
1. Clasificación mineral basada en su función biológica	4
2. Factores que influyen en el estado mineral del animal ...	18
3. Contenido mineral de pastos en México, requerimientos minerales de rumiantes y deficiencias probables	22
4. Valores medios de minerales, pH y MO en suelo de 6 explotaciones de ovinos en Tenango del Valle, México	88
5. Niveles de significancia para los efectos de explotación época y la interacción explotación * época sobre la concentración mineral en suelos de la zona de Tenango del Valle, México	89
6. Valores medios de minerales, pH y MO en suelos en la zona de Tenango del Valle, México durante dos épocas	89
7. Coeficientes de correlación entre minerales del suelo, combinación de dos épocas	94
8. Valores medios de minerales en forrajes de 6 explotaciones de ovinos, en Tenango del Valle, México	97
9. Niveles de significancia para los efectos de explotación, época y la interacción explotación*época sobre la concentración mineral en forrajes de Tenango del Valle, México	98
10. Valores medios de minerales en forrajes de la zona de Tenango del Valle, México durante dos épocas	101
11. Coeficientes de correlación entre minerales del forraje, combinación de dos épocas	105
12. Concentración mineral en muestras de agua durante dos épocas, en 6 fincas ovinas de la zona aledaña a Tenango del Valle, México	107
13. Concentración mineral promedio de dos épocas, en suero sanguíneo de ovinos de 6 explotaciones, en la zona de Tenango del Valle, México	108
14. Niveles de significancia para efectos de explotación, edad, época y las interacciones sobre la concentración mineral en suero sanguíneo de ovinos, de la zona de Tenango del Valle, México	109

15. Concentración mineral promedio en suero sanguíneo de ovinos de diferente edad, en la zona aledaña a Tenango del Valle, México	116
16. Concentración mineral promedio en suero sanguíneo de ovinos durante dos épocas, en la zona de Tenango del Valle, México	117
17. Coeficientes de correlación entre minerales del suero sanguíneo de ovinos, combinación de dos edades y dos épocas	119
18. Coeficientes de correlación entre minerales del suelo con forraje y suero sanguíneo de ovinos jóvenes y adultos en 6 fincas de Tenango del Valle, México	121
19. Interacciones significativas entre elementos minerales del forraje con suero de ovinos de 6 fincas de Tenango del Valle, México	123
20. Ecuaciones de regresión determinadas para minerales en suero de ovinos muestreados en Tenango del Valle, México	125

INDICE DE FIGURAS

Figura No.	Página
1. Relación entre las concentraciones de Cu en plasma y Cu en hígado	53
2. Localización geográfica de la zona de estudio	73
3. Distribución de los materiales volcánicos lava y lahar en la zona de estudio	76
4. Ubicación del área de estudio (municipios) dentro de la clasificación de suelos del Valle de Toluca según sus propiedades físicas y químicas	77
5. Cartografía series-fases de suelo de las explotaciones de ovinos estudiadas	80

INDICE DE APENDICES

Cuadro No.	Página
21. Datos individuales del nivel mineral en suelo, durante las dos épocas, en las 6 explotaciones	147
22. Datos individuales del nivel mineral en forrajes, durante las dos épocas en las 6 explotaciones	149
23. Datos individuales del nivel mineral en suero sanguíneo de ovinos jóvenes y adultos, durante dos épocas en las 6 explotaciones	152
24. Clasificación de la fertilidad del suelo según su contenido de minerales	157
25. Concentraciones minerales en suelo sugeridas como mínimas necesarias	158
26. Clasificación de suelos para el nivel de P mediante el método Bray-1	158
27. Niveles críticos de micronutrientes en suelo, extractables con DTPA para cultivos sensibles	158
28. Concentración aproximada de micronutrientes en hojas maduras que pueden clasificarse como deficiente, suficiente, excesiva o tóxica	159

ABREVIACIONES UTILIZADAS

ADN = Acido Desoxiribonucleico

ADP = Adenosin Di-fosfato

ARN = Acido Ribonucleico

ATP = Adenosin Tri-fosfato

AGV = Acidos Grasos Volátiles

DMS = Digestibilidad de la Materia Seca

EDTA = Acido Etilen Diamino Tetracético

g = gramos

ha = hectárea

ID = Intestino Delgado

Kg = Kilogramo

l = litro

mg = miligramo

MO = Materia Orgánica

MS = Materia Seca

NNP= Nitrogeno No Proteico

pH = Concentración de iones hidrógeno

ppm = partes por millón

TGI = Tracto Gastrointestinal

$\mu\text{g/ml}$ = Microgramos por mililitro

GDP = Ganancia de peso

"DIAGNOSTICO DEL ESTADO MINERAL DE OVINOS BAJO CONDICIONES DE
PASTOREO EN TENANGO DEL VALLE, MEXICO".

Ignacio A. Domínguez Vara, M. C. en Producción Animal

M. Sc. Maximino Huerta Bravo: Director de Tesis

RESUMEN

Con la finalidad de identificar posibles deficiencias y/o excesos minerales, se muestrearon en dos épocas del año: el suelo, agua, forraje y suero sanguíneo de veinte ovinos (diez corderos y diez adultos) de cada una de seis explotaciones, ubicadas en la zona aledaña a Tenango del Valle, México. Se determinaron los niveles de P, Ca, Mg, K, Zn, Cu y Fe. Las concentraciones minerales en el suelo fueron diferentes ($P < 0.05$) entre explotaciones y épocas. Asimismo, se observó un efecto significativo ($P < 0.05$) de la interacción (explotación*época). Los suelos de la zona fueron deficientes en P, Zn y Cu; adecuados en Mg y K; y abundantes en Ca y Fe. El pH fue ligeramente ácido. Hubo efectos significativos ($P < 0.05$) de explotación, época y de la interacción (explotación*época) sobre el contenido mineral de los forrajes. En general los pastos mostraron niveles deficientes de Mg, Zn y Cu; suficiente Ca y K; y abundante P y Fe. El agua no contribuyó de manera importante, en ninguna época del año, para cubrir los requerimientos minerales en el animal. La concentración mineral en el suero de los animales fue diferente ($P < 0.05$) entre explotaciones, y también se observaron efectos significativos ($P < 0.05$) de edad, época y de las interacciones (explotación*época; edad*época; y explotación*edad*época) sobre el contenido mineral en suero sanguíneo. Los análisis indicaron que los ovinos, principalmente corderos, presentan carencias severas de Cu; niveles adecuados de Ca, Mg, K y Zn; y exceso de P y Fe. Los resultados obtenidos permiten concluir que en la zona existen desbalances minerales en los ovinos, acentuándose más durante la estación lluviosa; y que la deficiencia de Cu es un problema serio, cuyo origen parece ser una deficiencia natural del elemento tanto en suelo como en forraje, exacerbada posiblemente por el exceso de Fe.

INTRODUCCION.

Los rumiantes ocupan un lugar estratégico en la historia de la especie humana, utilizan alimento de baja calidad biológica y aportan al hombre productos de alta calidad nutritiva, tales como carne y leche, sin competir con la alimentación de éste (Van Soest, 1982). Para los países en desarrollo donde hay un notable atraso tecnológico y escasez de alimentos, el reconocimiento de este factor es crucial.

En los sistemas de producción animal bajo condiciones de pastoreo, los animales dependen casi exclusivamente de los forrajes para cubrir sus requerimientos nutricionales, la mayoría de los pastos son especies nativas, cuya calidad es buena solo durante las lluvias y antes de su madurez. En la estación seca, la cantidad de forraje disminuye y normalmente es acompañada por deficiencias nutrimentales que agravan el estado nutricional del animal dando como resultado que el comportamiento productivo y reproductivo disminuyan, mientras que la mortalidad se incrementa.

Los estudios han confirmado que los forrajes rara vez satisfacen las necesidades del animal para cada mineral, ocasionando desbalances que afectan severamente la ganadería (McDowell et al., 1978). Los minerales se han ubicado como el tercer factor nutricional más limitante en la producción animal, por lo que se han observado incrementos en el uso de suplementos. Sin embargo, la falta de información apropiada sobre el nivel mineral en áreas específicas, ocasiona que no se tengan los beneficios deseados.

McDowell y Conrad (1977), postularon que después de controlar las enfermedades críticas, la nutrición mineral adecuada es el factor con el mayor potencial y a menor costo para incrementar la industria ganadera en América Latina; pero se requiere de información específica antes de que cualquier deficiencia pueda ser corregida. Por lo tanto, no se justifica suministrar minerales extra a menos que realmente se requieran (Loosli, 1978).

La información apropiada sobre nutrición mineral puede ser el punto de partida para ayudar a mejorar la producción de carne de ovino, aumentar la fertilidad en ovejas, el porcentaje de partos, y reducir el alto índice de mortalidad de corderos que se han reportado en los rebaños del Estado de México (Orcasberro et al., 1982)

El presente estudio fue conducido para proporcionar información básica sobre el estado mineral de ovinos de Tenango del Valle, México bajo condiciones de pastoreo extensivo. Los objetivos inmediatos de esta investigación fueron:

1. Establecer si existen deficiencias o toxicidades minerales específicas en la zona.
2. Determinar si existen diferencias en el estado mineral entre corderos y animales adultos.
3. Establecer las interrelaciones entre el contenido mineral del suelo, agua, forraje y animal, así como las diferencias minerales entre explotaciones durante dos épocas del año.

REVISION DE LITERATURA

Desde el punto de vista estructural, las plantas y animales superiores tienen la misma composición elemental. La materia orgánica, formada por los elementos carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, comprende del 96-98% del peso, mientras que el resto está constituido por la fracción inorgánica o mineral. Hasta la fecha se han identificado más de 60 elementos en las cenizas de órganos y tejidos de animales superiores, 45 se han determinado cuantitativamente y son componentes intrínsecos del organismo. Actualmente no existe controversia acerca de la esencialidad de 16 minerales (Underwood y Mertz, 1987). Debido a su cantidad en el animal los elementos P, Ca, Mg, K, Na, S y Cl se han denominado macrominerales, mientras que al Fe, Zn, Cu, Mn, I, Co, Mo, Se y Cr se les ha clasificado como micronutrientes porque se encuentran en concentraciones bajas o vestigiales en los tejidos. Existe otro grupo de microelementos cuya esencialidad se ha demostrado en condiciones particulares (dietas purificadas) y/o para algunas especies animales que probablemente sean incluidos dentro del grupo de elementos esenciales, como el Flúor, Litio, Silicio, Vanadio, Níquel, Arsénico, Plomo, Estaño, Cadmio, Boro, Aluminio, Bromo, Bario, Estroncio y Titanio (Georgievskii, 1982; Underwood y Mertz, 1987). Además de los elementos mencionados, los tejidos animales y vegetales contienen de 20 a 30 minerales adicionales en concentraciones pequeñas y variables, para los que no se han descubierto funciones vitales en el organismo (Cuadro 1). La presente revisión pretende describir la

importancia de los minerales P, Ca, Mg, K, Zn, Cu y Fe en la nutrición , así como los factores del medio ambiente que afectan su disponibilidad, metabolismo y aprovechamiento por el animal.

Cuadro 1. Clasificación de minerales basada en su función biológica.

Minerales esenciales		Probablemente esenciales		Función incierta	
Fósforo	Fierro	Flúor	Cadmio	Germanio	Zirconio
Calcio	Cobre	Litio	Boro	Antimonio	Plata
Magnesio	Cobalto	Silicio	Aluminio	Cesio	Escandio
Potasio	Manganeso	Vanadio	Bromo	Tinio	Galio
Cloro	Iodo	Níquel	Bario	Berilio	
Sodio	Selenio	Arsénico	Estroncio	Bismuto	
Azufre	Molibdeno	Plomo	Titanio	Torio	
Zinc	Cromo	Estaño		Uranio	

(Georgievskii, 1982; Underwood y Mertz, 1987).

1. Importancia de los elementos minerales en el organismo

Los minerales juegan papeles muy diversos en los organismos. Se ha aceptado que el Ca, P y Mg, son muy importantes en las estructuras ósea y dental; el Na, K y Cl lo son en el equilibrio ácido-básico y regulación de la presión osmótica de los fluidos corporales, mientras que el Zn, Cu, Fe y Se entre otros, forman parte de sistemas enzimáticos o transporte de sustancias (McDowell et al., 1984).

Nutricionalmente, se ha establecido que los microorganismos del tracto gastrointestinal requieren de los siguientes elementos: fósforo, calcio, magnesio, sodio, potasio, azufre, hierro, manganeso, zinc, cobre, cobalto, molibdeno y iodo (Durand y Kawashima, 1980; Huerta, 1981). Por lo anterior, se supondría que

existe una demanda competitiva entre el animal y los microorganismos. Sin embargo, los minerales requeridos por el animal son obtenidos durante la digestión del alimento y de los microorganismos (Georgievskii, 1982b). Un posible inconveniente en la nutrición mineral de rumiantes es que los requerimientos de hierro, manganeso y cobalto de los microorganismos son superiores a los del animal (Durand y Kawashima, 1980).

El K es indispensable para el crecimiento del Bacteroides Succinogenes, el P es esencial para procesos energéticos y de reproducción celular, el Mg, Fe, Zn, Cu y Mo son componentes o activadores de enzimas bacteriales, el Co es utilizado por bacterias productoras de vitamina B12, el S se requiere para digerir la celulosa, asimilación de NNP y síntesis de vitaminas del complejo B, mientras que el K, Na y Cl, y en cierto grado el P, además de ser esenciales en los procesos metabólicos del animal, también participan en la creación de un medio óptimo para los microorganismos del TGI (McDowell et al., 1984). El Ca y Mg son componentes de membranas celulares de microorganismos Gram negativos.

1.1 Sistema de clasificación mineral

Durante los últimos 50 años, se han identificado y estudiado los elementos esenciales, aceptándose que todo proceso bioquímico importante en el organismo, requiere la participación de elementos minerales, y que un sistema racional de alimentación animal debe basarse en la teoría del metabolismo mineral. Sin embargo,

la delimitación entre los elementos orgánicos y minerales, además de ser arbitraria, no está bien definida. De esta forma el metabolismo mineral sólo es un eslabón en la cadena metabólica general (Georgievskii, 1982). Un ejemplo es el metabolismo del P, y en cierto grado para S, Mg, Fe y Zn, el cual combina los procesos de proteínas, carbohidratos, otros minerales y el metabolismo energético.

La clasificación de elementos minerales en animales está basada en tres criterios.

1. Localización preferencial en tejidos y órganos específicos. Basado en su tropicidad.
2. Concentración en el organismo. Criterio cuantitativo.
3. Significancia en funciones vitales. Función biológica.

Si se aplican las normas estrictamente, el sistema es imperfecto fisiológicamente hablando, pues según el criterio de tropicidad, algunos minerales como el Mg y P no cumplen totalmente el requisito (Georgievskii, 1982).

El criterio de funciones biológicas es el de mayor interés para fisiólogos, bioquímicos y nutriólogos. Los minerales se agrupan en tres clases (Cuadro 1). Los elementos esenciales incluyen a todos los macro y algunos microminerales y elementos traza, lo cual reafirma la teoría de que la concentración de un elemento no es indicativa de su significancia biológica. Asimis-

mo, en todos se ha demostrado su esencialidad para una o más funciones orgánicas.

Los criterios para clasificar a un elemento dentro del grupo de esenciales son:

- 1) Estar invariablemente presente en concentraciones similares en cada individuo.
- 2) Seguir la misma secuencia en tejidos diferentes.
- 3) Producir en condiciones experimentales, síntomas de deficiencia definitiva y cambios bioquímicos definidos en los tejidos.
- 4) Prevenir o eliminar los síntomas y cambios cuando se adicione el mineral al alimento.
- 5) Que no sea reemplazado totalmente por otro.
- 6) Influencia directa en el organismo y metabolismo.
- 7) Estar presente en el animal recién nacido y/o excretado en la leche.
- 8) No acumularse en tejidos a niveles tóxicos.
- 9) Underwood (1975) clasifica a un elemento como esencial si su deficiencia resulta consistentemente en un deterioro de la función óptima a subóptima.

1.2. Estado nutricional y productividad del animal

Los niveles nutricionales inadecuados interfieren con la producción animal en muchas partes del mundo. En América Latina, las deficiencias nutricionales, incluyendo los desbalances minerales, limitan la producción ganadera.

Debido a que México es un país cuyas condiciones geográficas y climáticas son muy variadas, la producción animal tiene que enfrentarse a una serie de adversidades que limitan su progreso. Así, los estudios sobre minerales de animales, principalmente en rumiantes, que se han realizado en diferentes estados de la República Mexicana, indican que los animales bajo condiciones de pastoreo, en el trópico y altiplano, frecuentemente presentan niveles minerales marginales o deficientes (Larios et al, 1976; Barradas, 1980; Brito, 1989; Méndez, 1989; Ramírez y Tórtora, 1990; Ordoñez, 1989; Rodríguez, 1990; López, 1990).

De igual manera, los forrajes tropicales y templados que se han evaluado, muestran concentraciones variables de minerales, las cuales en la mayoría de las ocasiones no satisfacen los requerimientos del animal (Barradas, 1980; Méndez, 1989; Rodríguez, 1990; López, 1990).

Por otro lado, se ha observado que la concentración mineral del suelo, varía según las características de la zona y prácticas de manejo del suelo, lo cual influye marcadamente sobre el nivel mineral de la planta y del animal (Kubota y Allaway, 1972).

Considerando los puntos anteriores, es evidente que el territorio mexicano, desafortunadamente, presenta las condiciones propicias para que los animales domésticos, principalmente rumiantes en pastoreo, padezcan desbalances minerales, y que, entre más estudios sobre nutrición mineral se realicen, más reportes sobre estos trastornos nutricionales se tendrán; por lo

que una vez identificados los problemas, la prácticas adecuadas de suplementación mineral, ofrecen una alternativa con gran potencial para mejorar la producción animal, y para aprovechar más eficientemente los recursos naturales (bosques, trópicos, agostaderos, etc.) del país.

2. Interrelaciones entre suelo-planta-animal.

Las interacciones entre suelo-planta-animal son muy complejas, por lo que un análisis químico para estos tres factores y minerales específicos debe hacerse de manera integral y complementarse con diagnósticos clínicos y patológicos del animal (Underwood, 1977). Los desórdenes minerales en el animal, no necesariamente son un reflejo del estado mineral del suelo o forraje. De esta forma y debido a que los minerales están en diferente forma química y solubilidad variable, dependiendo de su ambiente físico o químico, experimentan interacciones en cada uno de sus estados de liberación, consumo, movilidad, función y excreción en el organismo (Reuter, 1975).

La susceptibilidad de los animales a desbalances, deficiencias o toxicidades parece haberse incrementado con la intensificación de la producción agropecuaria (Reuter, 1975) e industrialización. Al parecer la creación de variedades vegetales y animales altamente productivos, y la sobreutilización de fertilizantes, especialmente N, P, y K, resulta en trastornos minerales. Finalmente, la contaminación del ambiente (Shirley, 1978) y

alimentos por desechos industriales y agropecuarios (NRC,1980) resulta en un serio problema para la óptima nutrición mineral del animal.

2.1. Estado mineral del suelo

La fuente original de minerales para los organismos vivos es el suelo. Sin embargo, para que la planta adquiriera los nutrientes debe superar varios factores, situación que se complica aún más en el animal (Kubota y Allaway, 1972; Rosa, 1980). Aún cuando el contenido mineral del suelo frecuentemente no se relaciona de manera directa con el consumo mineral de la planta, sí puede indicar o evidenciar la posibilidad de un exceso o deficiencia de ciertos elementos traza como el Cu, Zn o Se (Egan, 1975).

Se ha reconocido que el contenido y disponibilidad de los minerales en el suelo están influenciados por varios factores. A continuación se revisan los de mayor interés:

- a) Durante los procesos de formación del suelo, el material parental originó diferentes tipos de suelo, con concentración mineral variable (Kubota y Allaway, 1972; Fitzpatrick, 1984). Indudablemente otros factores pedológicos (Benson y Matrone, 1976), así como el tiempo y la transformación de las rocas y material parental influyeron en la formación de los suelos y en la disponibilidad de sus componentes minerales. En términos generales, los reportes indican que las rocas ígneas ácidas y las sedimentaciones granulares o material parental metamórfi-

co, contienen concentraciones menores de elementos traza esenciales que las rocas ígneas más básicas y sedimentos granulares finos (Thorton y Webb, 1970). Las plantas que crecen en zonas granulares o metamórficas, muestran la misma tendencia (Reith, 1970). En suelos calcáreos no es común la deficiencia de Mn, a menos que esté en forma de óxido de manganeso y en presencia de suelos neutros o alcalinos. Los suelos derivados de rocas ígneas presentan altas concentraciones de Mg, Fe y Co, mientras que suelos originados de granito o arenosos son más resistentes a la intemperie y contienen menos Co (Fleming, 1973). Las deficiencias de Cu en plantas, generalmente están asociadas con histosoles ácidos (Kubota y Allaway, 1972).

- b) La posición geográfica y el clima también afectan el estado mineral. Se ha observado que áreas distantes de los océanos o a grandes altitudes, frecuentemente son deficientes en Iodo. En zonas con precipitación y temperatura elevadas, las plantas frecuentemente presentan deficiencias minerales, debido a erosión y lavado del suelo (Pfander, 1971).
- c) Debido a que la MO puede formar una combinación estable con iones metálicos e incrementar la disponibilidad de micronutrientes para las plantas, su contenido en el suelo es muy importante para determinar su estado mineral, y se ha indicado que puede afectar el contenido mineral del forraje en mayor grado que el contenido

mineral del suelo per se (Williams, 1963). La MO es importante en el movimiento de los metales y en el deterioro de rocas y minerales con liberación de micronutrientes, esto se ha confirmado al observar que los ácidos orgánicos al disminuir el pH solubilizan las rocas y minerales. Por otro lado, (Stevenson y Ardakani, 1972) mencionan que el efecto promotor del crecimiento notado con sustancias húmicas, puede deberse en parte, a un incremento en el consumo de nutrientes, especialmente Fe. La MO del suelo toma parte en los procesos de absorción y retención de los micronutrientes en la planta (Aubert y Pinta, 1977). Sin embargo, hay reportes que indican que suelos con alto contenido de MO son deficientes en Cu (Boyd y Knezer, 1972) y Zn (Becker et al., 1953).

- d) El pH influye de manera importante sobre la solubilidad y disponibilidad de los minerales para las plantas. Se ha aceptado que a un pH de 5.5 a 8.5 la planta absorbe la mayor cantidad de minerales (Reid y Hovarth, 1980). Sin embargo, para los elementos como Mn, Fe, Zn, Cu y Co hay una relación negativa entre el pH y la cantidad de minerales disponibles para la planta, mientras que para Mo y Se es positiva (Pfander, 1971; Hartmans, 1970). Por otro lado, Mills y Williams (1971) indican que los macroelementos como el P son más disponibles a pH de 6.0, y que en un pH ácido el contenido de Mg del forraje es mayor

porque favorece su paso hacia la raíz, mientras que algunos microelementos disminuyen su disponibilidad a un pH de 7.0.

- e) La humedad del suelo puede influir considerablemente sobre la concentración mineral de las plantas. Los estudios de Hernando et al. (1968) indican que en los suelos con poca humedad el nitrógeno de la planta aumenta, mientras que el P disminuye, y que los niveles de Ca, K y Mg no varían con un patrón definido por el efecto de humedad del suelo. Sin embargo, Hausembuiler (1980) indica que en presencia de humedad, la reducción química de Cu, Fe y Co a una valencia menor causó incrementos en su solubilidad y disponibilidad.
- f) Estudios diversos han confirmado que las temperaturas bajas del suelo limitan la absorción mineral, lo cual se atribuye a una inhibición de los mecanismos de extensión radicular y permeabilidad de las membranas (Fitzpatrick, 1984). El ejemplo más claro se observa con el P, concluyéndose que la absorción del elemento se incrementa cuando la temperatura asciende de 15 a 25°C (Knoll et al. 1964).

Finalmente, es importante mencionar las observaciones de Kubota y Allaway (1972) quienes concluyen que la distribución geográfica de varios elementos traza ha sido afectada por ciertas actividades del hombre tales como: incendios y desertificación,

uso desbalanceado de fertilizantes, nivelación del campo para irrigación, cultivo de especies vegetales altamente productivas y cambio de terrenos secos a irrigados. De esta forma, se ha observado que una elevada tasa de fertilización con N puede reducir o eliminar las leguminosas de praderas mixtas y causar una disminución de elementos como el Co, Cu, Mo y P en la pradera, pues estas especies contienen mayor cantidad de estos nutrientes que las gramíneas. La fertilización intensa de los cultivos y los incrementos en la producción, resultan en concentraciones subóptimas de elementos minerales (Boyazoglu, 1973).

2.2. Estado mineral del forraje

Según la declaración de Fleming (1973), los elementos minerales constituyen aproximadamente el 10 % de la MS del forraje. Además, el estado mineral de la planta debería representar la concentración en forma disponible del suelo donde ésta crece, y reflejarse en el estado mineral de los animales que la consumen. Sin embargo, el nivel mineral de la planta puede no estar relacionado directamente con el contenido total de elementos traza del suelo. Similarmente, en la mayoría de los casos de deficiencia aguda, hay suficientes minerales traza en el suelo como para cubrir las necesidades del cultivo, si estos estuvieran en forma total y rápidamente disponibles (Mitchell et al ., 1957).

El perfil de los elementos minerales en la planta depende, además de las características del suelo, de la interacción de varios factores, algunos relacionados con la planta, tales como,

especie, género y variedad del vegetal, estado de madurez, rendimiento y manejo de la pradera; y otros con el ambiente tales como: estación, precipitación, temperatura, luz, etc. (McDowell et al., 1977; Minson, 1990).

2.2.1 Factores que influyen en la concentración mineral de las plantas

- a) Las formaciones geológicas recientes y alcalinas son más abundantes en microelementos que aquellas regiones antiguas, arenosas, granulosas y más ácidas (Hartmans, 1970). Conforme el pH se incrementa, la disponibilidad para la planta y el consumo de elementos como Fe, Mn, Zn, Cu y Co disminuye, mientras que las concentraciones de Mo y Se aumentan (Miller et al., 1972; Pfander, 1971).
- b) El contenido mineral de las plantas varía ampliamente entre géneros y especies. Se ha aceptado que las arbustivas y leguminosas son más ricas en elementos esenciales que las gramíneas (Fleming, 1973), y que conforme la planta madura, el contenido mineral declina debido a procesos naturales de dilución y translocación de nutrientes hacia el sistema radicular (Tergas y Blue, 1971). En la mayoría de las circunstancias los elementos como P, K, Mg, Na, Cl, Cu, Co, Fe, Se, Zn y Mo declinan con la madurez (Underwood, 1981).
- c) El manejo y nivel de producción del forraje afecta la composición mineral de la planta. Así, la presión de

pastoreo puede determinar las especies de forraje predominantes y cambiar la relación hoja/tallo radicalmente, por lo que afecta directamente el contenido mineral de la pradera. Incrementos en la producción de forraje ocasionan una mayor tasa de extracción mineral en el suelo, por lo que aquellas explotaciones más productivas son más susceptibles a deficiencias minerales. El sobreuso de fertilizantes como N y K, incrementa la incidencia de tetania de los pastos. Además, el K reduce drásticamente el contenido de Na del pasto (Underwood, 1981).

La estación del año, temperatura, precipitación, luz, etc. afectan el contenido mineral de la planta, pero su severidad varía con la especie vegetal de que se trate. En zonas tropicales, con temperaturas y precipitaciones elevadas hay un lavado de los suelos, lo cual predispone a deficiencias minerales, en las plantas y animales. Estos trastornos se han ubicado en períodos específicos del año (Little, 1981). La concentración mineral de la planta no es constante, y depende de la movilización de los elementos dentro de ella. Wallace et al. (1978) observó que la fertilización con niveles diferentes de P, afectó el contenido de algunos micronutrientes en hojas, tallos y raíces en forma diferente dependiendo del pH. Sin embargo, De Sousa (1978) observó una correlación inversa del nivel de Ca y P (0.2 y 0.08 % P vs 0.34 y 0.67 % Ca) para las estaciones húmeda y seca, respectivamente. McDowell (1976) indica que cualquier característica del pasto que limite su consumo y digestibilidad,

tales como contenido proteico bajo ($< 7.0 \%$), lignificación y alta proporción tallo/hoja, también puede limitar el consumo total de minerales por el animal.

2.3. Estado mineral del animal

Al igual que en el suelo y la planta, el estado mineral en el animal está influenciado por varios factores (Cuadro 2). Sin embargo, cuando se utiliza un diagnóstico apropiado, las concentraciones en el animal son mejores indicadores del estado mineral del ganado que los niveles en otros materiales (McDowell, 1976).

En el Cuadro 2 se indican los factores inherentes a cada componente que pueden afectar el nivel mineral en el animal. La presentación de enfermedades tales como hipocalcemia, hipomagnesemia, ataxia enzootica en especies diferentes, sugiere que ciertos animales no son capaces de cubrir sus requerimientos nutricionales (Wiener, 1971), lo que los predispone a padecer deficiencias. Los ovinos, particularmente los corderos, son más susceptibles a padecer una deficiencia de Cu que los bovinos (ARC, 1980). Se ha detectado que bajo condiciones de pastoreo, los Bos indicus son más susceptibles a la deficiencia de Co que los Bos taurus (Correa, 1957; citado por Jerez, 1982). Existe una gran variación dentro de raza y especie en la eficiencia de absorción para ciertos minerales de la dieta: en vacas lecheras 5 a 35 % para Mg, en ovinos adultos 40 a 80 % para P y 2 a 10 % para Cu (Field, 1981; ARC, 1980).

Los animales jóvenes en crecimiento pueden ser más eficientes en el uso de nutrientes específicos que animales adultos. Por ejemplo, en condiciones de privación de Mg, los animales maduros pueden remover de su esqueleto sólo un 2 %, mientras que los jóvenes pueden disponer de hasta un 30 % para satisfacer sus necesidades fisiológicas (Rook y Storry, 1962).

Cuadro 2. Factores que influyen en el estado mineral del animal

Componente	Factor
Animal	Variación genética: especie, raza, sexo. (1, 3) Edad. (2, 5) Estado fisiológico (4) Nivel de producción (2)
Elemento	Disponibilidad biológica del mineral: forma química, Coeficiente de absorción, (4, 7), Solubilidad (7). Interacciones minerales y con otros compuestos (8). Concentración en el alimento (9).
Ambiente	Estación: tipo de forraje, madurez (10). Prácticas de manejo (8): fertilización, carga anim. Parasitismo (8). Ingestión de suelo (11).
Dieta	Ambiente físico en el TGI: fase líquida (12) pH ruminal. Velocidad de paso del alimento. Sitio del TGI donde se absorbe (12)

1 = Wiener, 1971; 2 = ARC, 1980; 3 = Jerez, 1982; 4 = Field, 1981; 5 = Rook y Storry, 1962; 7 = Ammerman et al., 1977; 8 = Mills, 1974; McDowell et al., 1983; McDowell, 1976; 9 = Miller y Stake, 1974; 10 = Little, 1970; Fleming, 1973, Miller, 1983; 11 = Healy, 1973; Mayland et al., 1977; 12 = Cragle, 1973.

El nivel de producción y estado fisiológico tienen gran influencia sobre los requerimientos del animal (ARC, 1980). Los requerimientos de una vaca gestante en su primera lactación, pueden ser sustancialmente mayores que en una vaca adulta seca.

Un punto clave en la estimación del estado mineral, es la disponibilidad biológica del mineral en cuestión (Ammerman y Miller, 1972), debiéndose considerar la forma química del elemento y los fenómenos involucrados en los procesos de digestión del animal: solubilidad, estabilidad y coeficiente de absorción (Ammerman et al., 1977).

La disponibilidad mineral está influenciada por interacciones de elementos tales como: Ca-P, Ca-Zn, Cu-Mo, Cu-Fe, Se-Ar, Se-S, Fe-P, Na-K, Mg-K (Mills, 1974; McDowell et al., 1983). Así como por la interacción de elementos minerales con las vitaminas D, E y B12, sustancias bociogénicas y quelatos como los ácidos oxálico y fítico (Miller, 1983; McDowell, 1976).

Los avances en el conocimiento de éstas interacciones han permitido estimar la absorción de ciertos minerales en el TGI. Así, se ha predicho el coeficiente de absorción del Cu a partir del conocimiento de la concentración del Mo y S en la dieta (ARC, 1980). Por otro lado, se han implementado medidas para aminorar el efecto tóxico de otros. El Cd se usa con cierta efectividad para reducir la acumulación de Zn y Cu en el hígado de fetos y corderos recién nacidos (Miller y Stake, 1974), mientras que los compuestos arsenicales se han utilizado para reducir el efecto tóxico del Se (NRC, 1980).

Las condiciones ambientales imperantes y el manejo del hombre también pueden afectar el contenido mineral. Entre otros se mencionan la madurez del forraje, fertilización, carga animal

Little, 1970; Fleming, 1973; Miller, 1983). Debido a que en la estación seca los forrajes contienen concentraciones bajas de minerales, se esperarían deficiencias en el animal, sin embargo, éstas son más frecuentes en la época de lluvias, cuando abundan otros nutrientes y el animal es más productivo (McDowell, 1976).

Otros factores importantes son el parasitismo y la ingestión de suelo. El primero puede enmascarar el estado mineral real del animal. Si es severo, puede producir una deficiencia de Fe en animales en pastoreo (McDowell, 1976). Los Strongylus y la Fasciola hepática reducen el contenido de Cu en el hígado de rumiantes (Boyazoglu, 1973).

La ingestión de suelo, aún cuando se ha considerado como accidental, representa una fuente mineral para el animal, pero tiene efectos muy negativos sobre la salud y estado mineral de éste (Rosa, 1980; citado por Jerez, 1982). Healy (1973) estima que los bovinos en pastoreo intensivo ingieren 600 Kg de suelo al año. Mayland et al. (1975) y Mayland et al. (1977) reportan cantidades de 5-30% de suelo en heces de bovinos y ovinos en pastoreo; además indican que el polvo ingerido en tallos y hojas es insignificante.

Los investigadores anteriores coinciden en que el problema está relacionado con el manejo del hato, con la estación del año, las deficiencias minerales, el tipo de suelo y planta, y conducta animal individual. Finalmente, Cragle (1973) sugiere que la disponibilidad de los minerales durante los procesos de diges-

ción, puede ser afectada por factores tales como: concentración en el alimento, fase líquida, velocidad de paso, pH y sitio de absorción en el TGI.

3. Fuentes y disponibilidad de minerales para animales

Los minerales que el animal consume provienen del alimento y de suplementos elaborados con ingredientes de origen geológico o industrial. El aporte mineral del agua puede o no contribuir significativamente a los requerimientos del animal (Underwood, 1981); mientras que la ingestión accidental o no de suelo, aporta cantidades apreciables de elementos minerales, tales como Cu, Mn, Se, etc. (McDowell, 1985b).

3.1. Alimento

El ganado en pastoreo generalmente no recibe suplementación mineral, por lo que depende casi exclusivamente del forraje para cubrir sus requerimientos. Sin embargo, por razones diferentes, las plantas en pocas ocasiones satisfacen los requerimientos para todos los elementos. La literatura indica que muchos de los forrajes de varios países de América Latina presentan niveles deficientes o marginales para ciertos elementos. Así, de 2615 forrajes evaluados, el 43 % fue deficiente en Co, el 43 % en Cu, el 35 % en Mg, el 73 % en P, el 60 % en Na y el 75 % en Zn (McDowell et al., 1978). Los estudios realizados en México sobre el contenido mineral de forrajes en diferentes partes del país, se resumen en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Contenido mineral de pastos en México, requerimientos minerales de rumiantes y deficiencias probables.

Región y Autor	P	Ca	Mg (%)	Mineral K	Zn	Cu	Fe	Se
	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1 Muzquis, Coah.	0.09	0.7	0.07	0.2	118	138	1087	
2 Sabinas, Coah.	0.026	0.5	0.082	0.57	503	84	870	
3 Cadereyta, NL.	0.1	1.4	1	1.5	35	60	400	
4 Sabinas, NL.		0.8	0.4	0.9	84	82	663	
5 Cadereyta, NL.		1.04	0.19	1.1	421	88	291	
6 Sabinas, Coah.	0.06	1.57	0.3	0.71	663	5	846	
7 Cienega, NL.		0.33	0.37	2.1	52	48	190	
8 Tempoal, Ver.	0.18	0.33	0.21	0.82	29	111	107	
9 Nte. Ver.	0.33	0.5	0.16	1.2	30	7	270	0.12
10 Ocampo, Coah.	0.15	0.6	0.3	1.5	280	6.5	170	
11 Muzquis, Coah.	0.15	1.4	0.25	1.1	30	6.5	300	
12 Sur de Coah.	0.2	0.36	0.3	1.8	65	13	300	
13 Quintana Roo.	0.4	1.7			180	15		
14 Zacatecas.	0.3	0.41	0.14	1.7	59	11		
15 Venado, SLP.	0.06	1.5	0.15		70	3.5		
16 Chorreños, Dgo	0.3	0.95	0.5	0.7	32	2.51	35.1	
17 Tlaxcala.	0.29	0.42	0.35		24.3	17.2		
18 Sn F del P., Mex.						16		.002
Promedio	0.18	0.85	0.59	1.13	57.3	39.6	684.2	0.06
Requerimiento*	.18-.43	.16-.6	.04-.18	.6-.8	10-50	4-10	10-100	0.2
Deficiencias	+	++	++	+++	+	+	+++	+++

* (NRC, 1984). + Observado. ++ Probable. +++ Poco probable.
Adaptado de Rodríguez (1990).

1 Siller (1976), 2 Cruz (1977), 3 Fuentes (1977), 4 Gámez (1977), 5 Mier y Teran (1977), 6 Siller (1977), 7 Obeso (1977), 8 Ortega (1979), 9 Barradas (1980), 10 Mejía (1984), 11 Mejía (1986), 12 Súmuano (1987), 13 Méndez (1989), 14 Romero (1989), 15 Rodríguez (1990), 16 López (1990), 17 Ramírez et al. (1992), 18 Ordoñez (1989).

Los subproductos de origen animal (harina de pescado, harina de hueso, harina de carne, etc.) son importantes fuentes de minerales para el animal, principalmente de Ca, P, Zn, Fe y Se (Underwood, 1981). Asimismo, las excretas de animales, principalmente de aves de engorda y postura, son una excelente fuente de

minerales, incluso pueden ser tóxicas en ciertos elementos como el Cu (Fontenot, 1981).

La leche varía en su contenido mineral según la especie animal en el siguiente orden: cerda > oveja > vaca > cabra > yegua. En general, es rica en Ca, P, K, Cl y Zn pero deficiente en Mg, Cu, Fe y Mn (Underwood, 1981).

Los factores que determinan las concentraciones de minerales en los forrajes son los que establecen la capacidad del alimento para cubrir los requerimientos del animal en forma adecuada.

3.2. suelo

Bajo ciertas condiciones, la ingestión involuntaria de suelo puede ser considerable y dar lugar a un consumo mayor de ciertos elementos con respecto al forraje, de tal manera que en ocasiones el consumo de Cu, debido a la cantidad de suelo ingerido, puede ser varias veces mayor que lo consumido en el forraje (McDowell, 1985b). La cantidad de elementos consumidos depende de su concentración en el suelo y de la cantidad de tierra que el animal ingiere, lo cual es muy variable. Según McDowell (1985b), el suelo ingerido diariamente por bovinos varía de 0.9 a 1.6 Kg/cabeza. Healy (1973) estima que los bovinos y ovinos en pastoreo ingieren 600 y 75 Kg/año, respectivamente. Healy (1974) indica que el suelo puede constituir del 10 al 25 % del consumo de la MS total, e incluso en ovejas alcanzar el 40 % durante el invierno. Los factores involucrados en la ingestión del suelo, así como sus consecuencias en la salud del animal se discutieron en

el segundo capítulo.

3.3. Agua

El agua no es la fuente principal de minerales para el animal, sin embargo, aunque en cantidades altamente variables, y sin llegar a cubrir los requerimientos diarios del animal (1 a 28 %; Shirley y Montesinos, 1978) contiene a todos los elementos minerales esenciales para éste (McDowell et al., 1983), e incluso en algunas áreas con fluorosis endémica, contiene fluoruros en exceso, y en otras la presencia de aguas saladas ocasiona consumos elevados de Cl y Na. Además, el consumo de aguas <<duras>> puede conducir a una ingestión alta de Ca o Mg, o ambos (Underwood, 1977; 1981; Shirley, 1985). Por otro lado, el agua proveniente de cuencas que atraviesan zonas industriales, puede representar un peligro potencial para la salud y productividad, tanto de los animales como de los humanos, ya que puede ser fuente de consumo de metales pesados y sustancias tóxicas que se acumulan en tejidos, o bien que se eliminan con la leche (NRC, 1980).

4. Descripción de los elementos minerales de mayor importancia en nutrición animal

4.1. Calcio

Es un nutriente crítico en la formulación de raciones para todas las especies de ganado (NRC, 1981). Su importancia en el organismo radica en su papel estructural y metabólico tanto a nivel celular como tisular. Participa en la coagulación, impulso nervioso, contracción muscular, secreciones pancreática y gástrica, permeabilidad de membranas, estabilidad proteica y enzimática (Carafoli y Crampton, 1978; Georgievskii, 1982a). El Ca abunda en la naturaleza como carbonato, sulfato, fluoruro de calcio, y fluoroapatita (Georgievskii, 1982a). Los forrajes normalmente contienen niveles adecuados de Ca (0.5 - 1.0 % de la M.S.), su nivel óptimo es de 4 - 6 g/Kg de MS.

Algunos factores tales como acidez del suelo ($\text{pH} < 5$), exceso de Mn soluble, Fe y/o Al, pueden causar carencia de Ca en la planta y ocasionar un crecimiento pobre de la planta (Warncke et al ., 1976). Por lo tanto, una deficiencia del elemento, aunque rara, puede presentarse (Havling y Westfall, 1985). Los signos de deficiencia se detectan en las hojas jóvenes porque el Ca no se transporta de tejidos maduros a tiernos (Loneregan et al., 1968). El Ca participa en el funcionamiento de la membrana celular, crecimiento radicular, protege a la raíz de cationes metálicos como el Cu, Zn, Mg y Sr, en el desarrollo de las paredes celulares, y como cofactor de enzimas hidrolíticas (Jones,

1972).

El encalado de suelos de clima templado, con pH mayor a 6, y concentraciones altas de iones de Al, debe tomarse con precaución, ya que puede reducir el contenido de Cu, Zn, Mn, y Fe en el forraje, e incrementar el de Mo, Se y P en el mismo (Gomide et al., 1969; Pope, 1971).

4.1.1. Calcio en tejidos y fluidos del animal

El 99 % del Ca del organismo se encuentra en el esqueleto (huesos y dientes), el resto (1 %) se distribuye en tejidos blandos y fluidos, para actuar en varias funciones metabólicas esenciales (Church y Pond, 1976; Underwood, 1981; Georgievskii, 1982a). Los rumiantes normalmente contienen de 9 a 12 mg de Ca/100 ml de plasma, y debido a que su concentración está regulada por mecanismos complejos (De Luca, 1979, Miller, 1979) los niveles sanguíneos (plasma o suero) frecuentemente no son buenos indicadores del status del Ca.

4.1.2. Metabolismo del calcio

La utilización y metabolismo del Ca en el animal están influenciados por varios factores: por un lado los inherentes al animal, tales como edad, peso, estado fisiológico, raza, tasa de ganancia de peso, niveles de vitamina D y de Ca en el mismo animal (Peeler, 1972; NRC, 1984); y por otro la disponibilidad biológica del elemento, así como la concentración de Ca, P y vitamina D en la dieta. Las hormonas tirocalcitonina y paratiroid-

dean afectan la utilización del Ca (Beeson et al., 1975). Una deficiencia del elemento en la dieta estimula la secreción de la paratiroidea, la cual controla la producción del metabolito activo de la vitamina D en el hígado, y ésta al unirse con fosfatasas en la mucosa intestinal, ayuda en la absorción del Ca por transporte activo (Georgievskii, 1982a). Los ácidos biliares se unen con las sales de Ca de los ácidos grasos insaturados ayudando así en la absorción del elemento.

El Ca se absorbe principalmente en forma iónica en el píloro e intestino delgado por mecanismos de difusión y transporte activo. Su grado de absorción varía según los requerimientos del animal y concentración en la dieta (Grace et al., 1974; Tylor, 1974; Wasserman, 1981). Así, mientras que con dietas deficientes en Ca se incrementa la eficiencia de absorción, principalmente durante la preñez y lactación (Braithwaite, 1983; NRC, 1989), la presencia de un exceso de fosfatos, iones de Al y Mg, y grasas la deprimen. El flúor deprime la absorción del Ca (Ramberg y Olson, 1970), principalmente en animales jóvenes. Según NRC (1989), las fuentes inorgánicas de Ca presentan mayor disponibilidad, pero se ha comprobado que los terneros y corderos absorben más del 90 % del Ca de la leche, mientras que en animales adultos la absorción del Ca varía de 22 a 25 %. La absorción verdadera de Ca y P en rumiantes es 1.5 a 2 veces mayor que la aparente. Sin embargo, Braithwaite (1983) reportó que ovejas al parto estuvieron en balance negativo de Ca por absorción insuficiente.

En condiciones normales en el animal maduro, el Ca del

alimento y el de origen endógeno se eliminan principalmente por el tracto gastrointestinal, y en pequeña cantidad en la orina, pero en edad temprana ocurre lo contrario, y en las vacas la leche es otra importante fuente de excreción (Georgievskii, 1982a).

4.1.3. Requerimientos y desbalances de calcio

Los requerimientos de Ca están influenciados por factores del animal tales como especie, edad, peso, tipo y nivel de producción. El coeficiente de absorción es mayor a edad temprana, pero los requerimientos también son mayores debido a una mayor tasa de crecimiento del esqueleto. Altas tasas de ganancia, producción de leche elevada, dietas altas en grasa y la preñez causan un incremento en los requerimientos del Ca (NRC, 1984; 1985; 1989).

Los requerimientos de Ca en los animales domésticos de diferentes clase y tasa de producción se han calculado con el método factorial (ARC, 1980; NRC, 1984; 1985; 1988; 1989) en dos etapas:

- a) requerimiento neto:** Es la suma de las cantidades depositadas en los productos (ganancia de peso, leche y/o feto) y las pérdidas endógenas.
- b) requerimiento en la dieta:** Es el requerimiento neto dividido entre el coeficiente de absorción. Sin embargo, el método presenta las desventajas de la dificultad para

medir las pérdidas endógenas, y la variación biológica considerable en el coeficiente de absorción, lo que afecta el cálculo de los requerimientos en la dieta. A pesar de lo anterior, se han aceptado, al menos en bovinos y ovinos, valores de 0.68 para animales adultos y 0.95 para terneros y corderos alimentados con leche, como coeficientes de absorción, respectivamente, y un valor de 16.0 mg Ca/Kg PV/d para pérdidas endógenas (ARC, 1980).

La deficiencia de Ca en animales productores de carne, bajo condiciones de pastoreo es rara (Underwood, 1981; McDowell et al., 1983). Sin embargo, en cabras lecheras y vacas altas productoras pastando forraje nativo, suplementado con concentrados, se puede presentar la hipocalcemia o fiebre de leche (Loosli, 1978). En casos más graves, los animales con tasa de crecimiento elevada, alimentados con dietas altas en grano y con gramíneas como forraje, pueden padecer de cálculos urinarios (NRC, 1985). La deficiencia de Ca se manifiesta por ganancias pobres, baja digestibilidad de nutrientes, bajo nivel de Ca en sangre (menos de 100 μg Ca /ml de suero), fragilidad ósea, y en algunos casos tetania.

El exceso de Ca es raro en la práctica, los animales pueden tolerar una relación Ca:P en la dieta de hasta 7:1 (NRC, 1989), siempre que el nivel de P sea el adecuado. Sin embargo, debe recordarse que un exceso puede causar una deficiencia de P, Mg, Zn, Cu, Fe, I y Mn por reducir su absorción en el intestino

(Georgievskii, 1982a). En la alimentación con ensilado de maíz y granos, un 20 a 30 % de Ca por arriba de sus requerimientos puede ser benéfico (Miller, 1983), pero con dietas mixtas la inclusión de Ca a un nivel de 0.95- 1.0 % de la MS, puede reducir el consumo y afectar el comportamiento del animal (Miller, 1983).

4.2 Fosforo

Es un elemento esencial para el desarrollo del esqueleto, crecimiento, reproducción y transferencia de energía (NRC, 1980). Sin embargo, es el nutriente potencialmente más limitante en los ecosistemas agrícolas (Black, 1968). El 75 a 80 % del P se concentra en el esqueleto, mientras que en sangre sólo hay un 0.4 % del total. En bovinos se ha estimado que por cada Kg de PV hay 6.3 g de P (ARC, 1980). El P tiene más funciones que cualquier otro mineral, se encuentra en todas las células y es esencial en muchos procesos metabólicos (NRC, 1980; Minson, 1990). En rumen, es requerido por los microorganismos para la fermentación del forraje (Komizarczuk et al., 1984) y para la síntesis de proteína microbiana.

El P abunda en la naturaleza, su concentración en suelo oscila de 0.08 a 0.12 % (Georgievskii, 1982a). Las regiones húmedas generalmente contienen 490 ppm, mientras que en las zonas áridas se incrementa ligeramente a 510 ppm (Larsen, 1967). Debido a la disociación del ácido fosfórico, el P en el suelo se encuentra en forma iónica, es poco móvil y por lo tanto hay pocas pérdidas por lixiviación o volatización, pero se dificulta su

paso hacia la planta, principalmente en suelos con pH alcalino, con contenido de MO bajo y en suelos ácidos con concentraciones de Fe y Al elevadas, al parecer debido a una precipitación del elemento (Black, 1968). Así, se ha indicado que el factor principal que incrementa la concentración de P durante la primavera, es la liberación de fosfatos de residuos de la MO del suelo. La alta concentración de P en suelos puede disminuir la absorción de otros nutrientes hacia la planta, tales como Cu, Fe y Zn (Brown et al., 1968). La disponibilidad del P, depende, entre otros factores, del contenido de P en la roca parental y grado de lavado del P soluble del suelo (Reid y Hovarth, 1980). Sin embargo, la concentración en suelo depende de su composición mineral, pH, MO, contenido de humedad y aireación del mismo (Watanabe et al., 1965; Munson, 1978).

En plantas una parte del P se encuentra en forma de fitatos, éstos varían de 30 a 85 % (Lolas et al., 1976); la otra parte está como P inorgánico. Nutricionalmente los fitatos son más importantes, pues son altamente disponibles para los microorganismos del rumen (Minson, 1990). La madurez aumenta el contenido de fitatos, y se ha sugerido que son igualmente disponibles que el P inorgánico cuando el nivel de P en el forraje es alto. El ácido fítico predomina en las semillas, mientras que en la parte vegetativa lo es el P inorgánico (Taylor, 1979). La variación de la disponibilidad verdadera del P en gramíneas y leguminosas es muy amplia, pero se desconoce si se debe a diferencias entre forrajes o a las pruebas experimentales (Suttle, 1987). En la

planta, el P forma parte de fosfolípidos, nucleoproteínas, ADN, ATP y ADP, por lo que es esencial para ésta (Miller, 1983). Su concentración normal en plantas es del 0.2 % de la MS, y una deficiencia reduce la capacidad productiva de los forrajes, con signos de clorosis, coloración púrpura, y disminución de la producción de MS, debido a una floración temprana (Buttler y Jones, 1973).

4.2.1 Fosforo en tejidos y fluidos del animal

El contenido de P en animales adultos es: en tejido fresco, 0.60 a 0.75 %; en tejido seco, 1.9 a 2.5 %; y en cenizas, 16 a 17 %. En animales recién nacidos varía entre especies, siendo mayor en bovinos y cerdos con respecto a conejos y aves, mientras que en adultos las diferencias entre especies se deben al grado de depositación de grasa (Georgievskii, 1982a). El 83 % del P está en huesos en forma de hidroxapatita, su porcentaje en hueso es de 18 a 19. El esqueleto contiene P lábil, mientras que en tejidos blandos y fluidos corporales hay P orgánico en su mayoría.

En sangre el P se encuentra como complejos orgánicos e inorgánicos a razón de 3 a 4:1 en rumiantes y 10:1 en aves. Su concentración en rumiantes es de 22 mg/100 ml de sangre, formada por 11-13 y 4-7 mg/100 ml de fracción ácido-soluble e inorgánica, respectivamente (Georgievskii, 1982a).

4.2.2 Metabolismo del fosforo

El animal ingiere fosfatos inorgánicos, y compuestos orgá-

nicos fosforados tales como fitatos, fosfolípidos y fosfoproteínas. El jugo gástrico disuelve los fosfatos solubles y algunos insolubles y separa el ácido fosfórico de los compuestos orgánicos mediante fosfatasas presentes en el intestino delgado. La digestión del ácido fítico varía entre especies, es baja en aves, media en cerdos y alta en rumiantes debido a la acción de las fitasas bacteriales del rumen (Georgievskii, 1982a). Por otro lado, la asociación del P con elementos tales como Ca, Mg, Zn, Mn, ácidos grasos y MO reduce su disponibilidad para el animal. En forrajes la disponibilidad verdadera del P es alta, mayor para leguminosas con respecto a gramíneas, aunque tal vez se deba a la mayor retención de Ca por ovinos alimentados con leguminosas y a su mayor requerimiento para P (Reid et al., 1979). En los granos de cereales húmedos, en las fuentes proteicas de origen animal y en el heno de alfalfa el P es altamente disponible (Hew et al., 1982), mientras que en las oleaginosas su disponibilidad es baja.

El rumen es casi impermeable al P, los sitios principales de absorción son el duodeno y yeyuno, por medio de difusión simple y transporte activo. La cantidad de P absorbida en duodeno está relacionada directamente con la cantidad de P en la dieta y no con las necesidades de P del animal (Braithwaite, 1976). La alimentación restringida reduce la retención de P e incrementa su excreción, en consecuencia se reduce la absorción aparente del elemento. Sin embargo, a medida que se incrementa el consumo de P, se reduce su coeficiente de absorción (Braithwaite, 1984). La

eficiencia de absorción del P es variable en los rumiantes: terneros, 94 %; en desarrollo, 78 %; vacas lecheras, 43 %, bovinos de carne, 58 %; mientras que en corderos es de 73% y en ovinos adultos de 60 % (ARC, 1980).

Diversos factores pueden afectar la absorción de P, tales como contenido proteico del forraje y concentraciones de Ca en la dieta (Braithwaite, 1984). Además, cantidades excesivas de Fe, Cu, I y Mn también pueden disminuir la asimilación del P (Georgievskii, 1982a).

El P se elimina en heces y orina, pero cantidades variables pasan vía saliva para reabsorberse en el tracto digestivo posterior. De esta manera se controla el balance del P salival y las pérdidas endógenas fecales, las cuales están relacionadas, en parte, con el consumo o absorción. Las pérdidas endógenas totales de P en bovinos se han establecido en 12 mg/Kg PV/d, mientras que para corderos son de 14 mg/Kg PV/d (ARC, 1980).

4.2.3 Requerimientos y desbalances de fosforo

Los coeficientes de absorción de P estimados por el ARC, (1980) fueron obtenidos con dietas adecuadas en P, por lo que con dietas deficientes en P los valores pueden ser mayores, y por lo tanto los requerimientos serían un 40 % menores, sobretodo en animales con alto rendimiento (Minson, 1990).

Los requerimientos de P como porcentaje de la dieta para niveles de producción diferentes, pueden estimarse conociendo el

consumo de forraje ad libitum de acuerdo con el objetivo de producción. En bovinos para carne con PV de 200 a 600 Kg y GDP de 0 a 1 Kg varían de 0.8 a 2.5 g P/Kg de MS, mientras que para vacas en producción con PV de 400 a 600 Kg y producción de leche de 0 a 30 kg/d varían de 1.4 a 4.3 g P/Kg de MS.

En corderos castrados con PV de 20 a 40 Kg y GDP de 0 a 300 g/d, sus requerimientos son de 0.8 a 3.3 g P/Kg de MS, mientras que para ovejas lactantes con PV de 40 a 75 Kg y con 0 a 3 Kg de leche/d varían de 1.2 a 3.6 g P/kg de MS. Si los requerimientos se estiman según el PV y las GDP tenemos que para bovinos de carne con PV de 200, 300 y 400 Kg son de 13, 14 y 21 g de P/d, respectivamente; mientras que para corderos con PV de 10, 20 y 30 Kg y GDP de 200 g/d son de 1.7, 1.9 y 2.1 g de P/d, respectivamente (ARC, 1980). Los requerimientos de P difieren entre animales con un tamaño similar, lo cual puede deberse a diferencias en la capacidad de remoción del P del esqueleto. Así, la cantidad de P potencialmente resorbible no se conoce, y es difícil predecir si los animales en pastoreo responderán a la suplementación con P (Minson, 1990).

Los forrajes inmaduros usualmente contienen suficiente P para todas las formas y niveles de producción animal, con excepción para niveles de producción de leche altos (Minson, 1990).

La deficiencia de P en la dieta causa algunas formas de raquitismo, retraso o cese en el crecimiento, fragilidad ósea,

cojera y muerte. Hay una disminución del nivel de P inorgánico, fosfolípidos, colesterol, y un incremento de la actividad de la fosfatasa alcalina en sangre. Además, se reducen los niveles de vitamina A en hígado. Los síntomas clásicos de hipofosforosis son: trastornos del apetito, osteofagia que predispone a la enfermedad de botulismo (Underwood, 1981), osteomalasia y desmineralización dental. Sin embargo, los primeros síntomas son disminución del PV y de la producción láctea, debido a que se reduce el consumo de alimento; aparentemente no se altera la digestibilidad del alimento, pero si se reduce la utilización de la energía (Georgievskii, 1982a). El nivel de P en sangre no cae inmediatamente, pero se observan trastornos en la actividad productiva y en la función reproductiva. Sin embargo, el P no actúa directamente sobre la reproducción, sino que el trastorno es un reflejo del desbalance metabólico general, por un menor suministro del elemento (Georgievskii, 1982a).

Un exceso de P en la dieta de rumiantes, principalmente en ovinos, puede ocasionar trastornos como urolitiasis o cálculos urinarios. Esto se debe a que el exceso de P se elimina principalmente vía riñón y no en heces (NRC, 1980). El nivel máximo tolerable por ovinos es de 0.37 a 0.69 % de la dieta. Un exceso de P en animales jóvenes puede producir raquitismo, por incrementar los requerimientos de Ca.

La relación Ca:P en rumiantes es importante con dietas bajas en P. La literatura indica que una relación Ca:P amplia puede reducir la tasa de crecimiento y el consumo de alimento debido a

que se deprime la digestibilidad de la dieta (Ricketts et al., (1970). La relación Ca:P recomendada es 2:1, sin embargo, el ARC (1980) indicó que no es posible establecer una proporción óptima de Ca:P para cubrir las necesidades de los animales.

Para estudiar la concentración de P tanto en los alimentos como en los animales, se han considerado varios métodos: la concentración de P en los forrajes, puede compararse con los requerimientos del animal, pero el problema es muestrear el forraje para obtener una muestra representativa. La colección del forraje con animales fistulados no se recomienda, porque la muestra se contamina con el P de la saliva en un rango de 35 a 273 % (Langlands, 1966; Little, 1972). La determinación de P en la saliva, tiene la desventaja de que no hay un valor crítico abajo del cual un animal sea deficiente en P. Los niveles de P en rumen, aun cuando dependen de la cantidad de P que entra con el alimento y saliva, tienen una correlación positiva alta con la concentración de P inorgánico en suero ($r = 0.75$). Debido a que el P en la orina puede variar por muchos factores, no es un buen método para evaluar el contenido de P en rumiantes (Minson, 1990). El nivel de P en sangre puede variar en forma normal, pero los rumiantes mantienen su concentración dentro del rango de 40 a 70 mg de P/litro de plasma. Esta variación se debe a factores tales como: niveles de P diferentes en la dieta, ayuno o consumo de energía bajo, estación del año, y consumo de Ca. En situaciones de ayuno, deshidratación, frío y excitación, el P tiende a incrementarse (Minson, 1990), por lo que su determinación en

sangre estará sobreestimada.

4.3. Magnesio

Es uno de los elementos minerales reconocidos como esenciales para el organismo (NRC, 1980). Participa en el intercambio hidroeléctrico, forma complejos con proteínas y ácidos nucleicos; es esencial para la formación de acetil-CoA y succinil Co-A, activa todas las enzimas que participan en la transferencia del P de ATP hacia ADP, y participa en el sistema enzimático como activador o cofactor de más de 300 enzimas (Minson, 1990). Además, activa el proceso de fosforilación oxidativa en la mitocondria de la célula. Por lo anterior el Mg es esencial en todos los procesos vitales (ARC, 1980). En rumiantes, además de prevenir la tetania hipomagnesémica y mantener la producción de leche (Minson, 1990; Underwood, 1981) es indispensable para la actividad normal de la microflora ruminal, probablemente por activar las enzimas microbiales (Georgievskii et al., 1982). Además, los estudios in vivo indican que la suplementación con Mg incrementa la digestibilidades de la celulosa y de la MS de los forrajes (Bales et al., 1978).

El Mg se concentra en el esqueleto (65 a 68 %), músculos (25-28 %) y sólo un 7 a 8 % en otros tejidos y fluidos (NRC, 1980; Georgievskii, 1982a). Su concentración es menor en animales jóvenes, lo cual indica que el crecimiento y la mineralización ósea se acompañan por la acumulación de Mg. Su contenido promedio en animales adultos es: vaca de 600 Kg de PV (240 g), cerda 100

Kg (30 g) y ovino 50 Kg (15 g).

El Mg es un elemento alcalino, abundante en la naturaleza (Georgievskii, 1982a). Sin embargo, los suelos derivados de rocas ígneas ácidas generalmente son bajos en Mg, al igual que suelos derivados de rocas sedimentarias (Metson, 1974).

La disponibilidad del Mg del suelo es baja para la planta y depende de la concentración del Ca, pH y otros cationes. Asimismo, las temperaturas bajas y la saturación hídrica del suelo deprimen la absorción de Mg por la planta (Elkins y Hoveland, 1977), mientras que el pH ácido (4.5 a 5.5) favorece su paso hacia la raíz.

En las plantas, el Mg forma parte de la clorofila, es esencial en la fotosíntesis, y componente de la fitina en semillas; actúa como cofactor enzimático en la glucólisis y ciclo de Krebs. Su concentración promedio en 930 muestras analizadas fue de 2.3 g de Mg/Kg de MS con un rango de variación de 1 a 9 g. La concentración en gramíneas y leguminosas templadas fue menor que en las especies tropicales y el 65 % de gramíneas templadas tuvo menos de 2 g de Mg/Kg de MS, lo cual puede no satisfacer los requerimientos del animal, mientras que en gramíneas tropicales sólo el 14 % fue deficiente (Minson, 1990).

La concentración de Mg en los forrajes es muy variable y esta influenciada por diversos factores tales como el tipo de suelo, estación del año, intensidad de luz y temperatura, los cuales controlan su disponibilidad y absorción. Lo anterior

probablemente explique la ausencia de reportes de hipomagnesemia en bovinos pastando forrajes tropicales durante el verano (Minson, 1990).

Un exceso de K en el pasto puede deprimir la absorción de Mg en el tracto digestivo por modificar la relación Na:K y producir hipomagnesemia (Greene et al., 1983). Esto es importante en rumiantes alimentados a base de forrajes de clima templado suplementados con melaza y urea.

Alimentos con alto porcentaje de PC (forrajes tiernos de primavera) pueden disminuir la absorción del Mg en mayor grado que forrajes maduros. Al parecer, la alta concentración de amonio y un pH alcalino en rumen, favorecen la formación de un complejo insoluble que reduce la absorción del Mg a 24 %. La mayor formación de AGVs favorece la presencia de jabones de Mg, lo cual disminuye su absorción, mientras que la madurez del forraje y la presencia de carbohidratos disponibles la incrementan, tal vez por inhibir el efecto negativo de amonio en rumen (Giduck y Fontenot, 1987; Minson, 1990). Finalmente, la absorción del Mg de leguminosas es menor que de gramíneas, posiblemente por su mayor contenido proteico.

4.3.1 Magnesio en tejidos y fluidos del animal

Los bovinos contienen 0.38 g Mg /Kg de PV (ARC, 1980), el 70 % se concentra en hueso y el 1 % en el líquido extracelular (Martens y Rayssiguier, 1980; NRC, 1984). Los rumiantes intentan mantener una concentración en sangre que varía de 18 a 30 mg de

Mg/l (Grace y McRae, 1972). Este nivel sólo se logra si el elemento se absorbe continuamente en el tracto digestivo, debido a que las reservas corporales son bajas y su movilidad en tejido óseo es muy reducida, principalmente en animales adultos (Martens y Rayssiguier, 1980).

En el torrente sanguíneo el Mg se encuentra en forma ionizada (65 %) o ligado a proteínas (35 %). En los animales domésticos su nivel varía de 1.8 a 3.2 mg/100 ml y esta correlacionado directamente con su concentración en la dieta. Así, niveles de 1.2 a 1.7 mg se consideran marginales y niveles inferiores a 1.1 mg como deficientes (Georgievskii, 1982a).

En rumen su concentración varía de 15 a 20 mg/100 ml, y la saliva aporta aproximadamente el 4 a 5 % del total del Mg presente.

4.3.2 Metabolismo del Magnesio

Debido a que los alimentos varían ampliamente en su contenido de Mg, el animal ingiere cantidades variables del elemento, en donde su biodisponibilidad y coeficiente de absorción son los factores más importantes que predisponen a una deficiencia en rumiantes (Wilson et al., 1969).

El Mg del forraje tiene una disponibilidad potencial alta para rumiantes, se libera rápido en rumen. Sin embargo, otros factores tales como el contenido de K, Ca, PC, grasas y fertilización nitrogenada deprimen su solubilidad y absorción en rumen,

por lo que su paso hacia sangre frecuentemente es bajo (Minson, 1990).

El Mg del alimento es transformado a una forma ionizada por los jugos gástricos para facilitar su absorción, la cual se lleva a cabo en rumen, duodeno y parte proximal del intestino grueso (NRC 1980). Su tasa de absorción es baja y aunque en grado bajo, puede deprimirse por un exceso de grasa, Ca y ácidos orgánicos como el fítico y oxálico (Georgievskii, 1982a). El Mg absorbido se deposita en hueso, músculo o se utiliza directamente para la síntesis de leche.

En condiciones normales el Mg se elimina en heces, y debido a que el 95 a 97 % del Mg filtrado en glomérulo se reabsorbe en los túbulos renales, su eliminación vía orina es muy baja (ARC, 1980). Un exceso de Mg en la dieta puede incrementar su eliminación en orina, mientras que una deficiencia reduce su excreción. Las cabras muestran una habilidad alta para compensar la deficiencia de Mg en el alimento, pues reducen su tasa de excreción en orina y leche (NRC, 1981).

4.3.3 Requerimientos y desbalances de Magnesio

La cantidad de Mg requerida como porcentaje de MS de la dieta depende del requerimiento absoluto del animal y de la eficiencia de absorción en el tracto digestivo (Minson, 1990).

Los animales en pastoreo raramente requieren consumir forrajes con más de 2 g de Mg/Kg de MS, principalmente los no lactan-

tes; así las vacas pueden cubrir sus requerimientos al consumir 12 a 14 Kg de forraje (Georgievskii, 1982a). Sin embargo, como se ha mencionado, la absorción de Mg puede estar deprimida por una alta concentración de N y amonio en rumen. Además, el coeficiente de absorción varía con el tipo de dieta consumida, la especie animal y el estado fisiológico de este. Hay reportes de casos de hipomagnesemia en ovejas pastando forraje de primavera, cuya composición porcentual fue 0.15 de Mg, 4.1 de K y 2.6 de N (NRC, 1984), por lo que se consideró que los requerimientos anteriormente estimados por el NRC (1975) eran demasiado bajos.

La pérdida endógena fecal de Mg en bovinos y ovinos se ha estimado en 2.8 a 3.0 mg de Mg/Kg de PV/d (ARC, 1980; Georgievskii, 1982a). Con respecto al coeficiente de absorción, aun cuando varía según la dieta, el ARC (1980), establece un valor general de 0.29 en ganado adulto y de 0.70 en rumiantes jóvenes, de tal manera que los requerimientos aceptados hasta ahora como porcentaje de la MS de la dieta son: en terneros con GDP de 0 a 1 Kg varían de 0.15 a 3.0 g/d, bovinos en crecimiento con GDP de 0 a 1.5 Kg de 1 a 8.2 g/d y en ovinos con GDP de 0 a 400 g de 0.05 a 1.18 g/d. Obviamente para animales gestantes y lactantes los requerimientos son mayores (ARC, 1980).

En los sistemas de producción animal, la deficiencia de Mg puede causar pérdidas directas por muerte, cuando la hipomagnesemia se presenta en forma aguda, e indirectas cuando aparece en forma subclínica crónica (Young y Rys, 1977). En la primera, la tetania hipomagnésica es el signo clásico de la deficiencia de

Mg en rumiantes, acompañada de postración en decúbito lateral con rigidez intermitente, salivación profusa, convulsiones y muerte (NRC, 1980; 1984); en animales adultos es más severa y rápida, posiblemente por la poca movilidad del elemento en el hueso (Ammerman y Henry, 1983). Los signos primarios incluyen una disminución del consumo de alimento, hiperemia y calcificación de tejidos blandos (Underwood, 1981; Ammerman y Henry, 1983). Los animales lactantes son susceptibles a la deficiencia de Mg porque la leche tiene una baja concentración del elemento.

Por otro lado, la hipermagnesemia puede afectar adversamente el comportamiento animal, ya que deprime el consumo y la GDP; los síntomas de un exceso son: letargo, diarrea y trastornos locomotores (NRC, 1980).

Finalmente, la suplementación con Mg puede mejorar su concentración en el animal y el comportamiento de éste, siempre y cuando la fuente mineral contenga buen grado de pureza y absorción, y se suministre con el alimento para que se mejore la DMS y el consumo de alimento (Minson, 1990).

4.4 Potasio

Es el tercer elemento mineral más abundante en el organismo, representa aproximadamente el 0.3 % del cuerpo (NRC, 1985). Es esencial para animales y plantas; es uno de los elementos más móviles y funcionales; participa en la regulación del equilibrio ácido-básico, en la presión osmótica, en los procesos metabólicos de la célula, como cofactor de la enzima ATPasa, la cual trans-

forma el grupo fosfato de ATP a ADP; y participa en la síntesis de proteína, en la excitabilidad de las células muscular y nerviosa, y en el funcionamiento del músculo cardíaco (Underwood, 1977; NRC, 1980; Georgievskii, 1982a). En rumen, mantiene cierta acción tampón e influye sobre el nivel de humedad en el contenido ruminal, por lo que contribuye a mantener un medio óptimo para la fermentación microbiana. Es indispensable para la actividad normal de la microflora, en particular para los microorganismos celulolíticos (Georgievskii, 1982a).

El K representa del 1.5 a 2.6 % de la corteza terrestre (Georgievskii, 1982a; NRC, 1980). En suelo se encuentra como ion K^+ en solución, forma en la que es absorbido por la planta, pero su disponibilidad para ésta es variable, debido principalmente, a su interacción con minerales arcillosos (Tisdale y Nelson, 1975). Los suelos arcillosos con alto contenido de MO son ricos en K, mientras que los arenosos frecuentemente son deficientes.

En las plantas, el K se encuentra en todos los tejidos, pero su concentración es mayor en los órganos vegetativos que en los granos. Se encuentra en el protoplasma celular como ion libre o enlazado. Participa en la síntesis de almidón y proteína, así como en la respiración e hidratación celular. Su concentración varía según el estado vegetativo, tipo de suelo y fertilización. En general, aun cuando su contenido es bajo en los forrajes maduros o mal conservados, su deficiencia en la planta es rara, ya que suelos con más de 120 ppm de K en forma disponible permiten un crecimiento adecuado. La deficiencia de K en plantas puede

ocasionar alteraciones en el metabolismo del nitrógeno y carbohidratos, los signos de deficiencia se observan en las hojas viejas por su papel fotosintético y translocación de carbohidratos. Además, deprime el crecimiento radicular en el periodo vegetativo, e incrementa la susceptibilidad a enfermedades (Epstein, 1972). Sin embargo, el nivel de K en la planta rara vez es menor al 1 % de la MS, pero los forrajes expuestos a la intemperie pueden presentar un nivel pobre de K (NRC, 1980).

4.4.1 Potasio en tejidos y fluidos del animal

El K representa en el animal adulto del 0.55 a 0.80 % del peso corporal en base seca, mientras que en animales jóvenes es del 0.18 a 0.20 % del PV. Su contenido promedio es de 1550 g en vacas de 600 Kg, 180 g en cerdos de 100 Kg y de 115 g en ovinos de 50 Kg de PV (Georgievskii, 1982a).

El K depositado en hueso disminuye con la edad y aumento de peso, pero en músculos tiende a incrementarse, probablemente por la mayor depositación de grasa, por lo anterior se ha concluido que el músculo es el sitio principal de almacén del K en el organismo (Georgieskii, 1982a).

La distribución del K en el organismo es irregular, pero su nivel en plasma es similar para todas las especies. Su concentración en sangre es de 40 a 50 mEq/l, en vacas es mayor cuando retornan a la pradera y durante la preñez avanzada.

La fuente principal de K para el animal es el alimento, la

saliva aporta cantidades pequeñas (ARC, 1980), por lo que su concentración en rumen se ha estimado en 25 a 75 mEq/l de líquido ruminal (Georgievskii, 1982a).

4.2.2 Metabolismo del potasio

El K contenido en los vegetales, en forma de carbonato, cloruro o sales de K de ácidos orgánicos, es altamente soluble, por lo que casi el 100 % es asimilable en todo el TGI (Dobson y Phillipson, 1968), pero principalmente en el ID. Su absorción se realiza probablemente por difusión, como resultado de su baja concentración en sangre o gradiente electroquímico (Dillon y Scott, 1979). Su absorción varía con la cantidad consumida, así, a mayor nivel en dieta hay una mayor digestibilidad del elemento. Un consumo de K elevado incrementa las secreciones digestivas y el nivel de K y agua en el organismo, lo cual causa un incremento en la tasa de pasaje del quimo por el TGI (Georgievskii, 1982a), por lo que puede disminuir la digestibilidad total de la dieta.

El K asimilado llega a los tejidos vía sangre, para ser metabolizado en músculos, riñón, hígado y cerebro.

Casi todo el K eliminado del cuerpo es de origen endógeno, su excreción es vía riñón y también por piel, pero está influenciada por la cantidad de K y Na en la dieta, y por la hormona aldosterona (NRC, 1980).

4.4.3 Requerimientos y desbalances de potasio

Los alimentos comúnmente utilizados en la alimentación de rumiantes, con posible excepción de dietas altas en concentrados, aportan mas K del requerido por el animal (ARC, 1980). Sin embargo, los requerimientos varían entre especies (mayor en rumiantes que en no-rumiantes: 0.4 a 0.8 vs 0.2-0.4 % de la MS; NRC, 1980), y están influenciados por el estado fisiológico y clima (ARC, 1980; Georgievskii, 1982a).

Las pérdidas vía piel en clima templado son de 0.1 a 0.2 g de K/d (aproximadamente el 1% del K consumido), mientras que en el trópico son de 1.1 a 1.8 g/d (ARC, 1980).

Las pérdidas de K en heces se han estimado en 1 g de K/Kg de MS consumida, mientras que en orina el valor calculado es de 37.5 mg de K/Kg de PV. Estos valores son dependientes del consumo y tamaño corporal del animal (ARC, 1980). Los requerimientos establecidos para rumiantes son: bovinos en crecimiento, 5 g (0.5% de la MS), vacas lecheras, 8 g (0.8% de la MS) y ovinos 4 g de K/Kg de MS consumida (ARC, 1980; NRC, 1985). Los requerimientos de K para producción son pequeños, excepto con tasas altas de producción de leche o en condiciones de estrés por embarque, donde pueden ser de 1.2 a 2.2 % de la MS (Hutcheson et al., 1979; Minson, 1990).

La deficiencia de K en animales en pastoreo es rara. Sin embargo, debido a la pobre reserva en el animal (Underwood, 1977), la susceptibilidad a la carencia aumenta con dietas altas en

concentrados, con alto contenido de NNP, en dietas con alta proporción de ensilado y con heno maduro deteriorado (NRC, 1985). Los signos que pueden presentarse son: disminución del consumo de alimento, retraso en el crecimiento, debilidad muscular, envaramiento, parálisis, pelo erizado, atonía intestinal, mayor consumo de agua y menor producción de leche (ARC, 1980, NRC, 1980, 1985).

Un exceso de K en la dieta puede causar urolitiasis (NRC, 1985), deprimir el nivel de Mg, y predisponer a tetania (Green et al., 1983), reducir la GDP e incluso ocasionar daño reproductivo. El nivel máximo tolerable en la dieta es de 3% (NRC, 1980).

4.5 Cobre

Este elemento fue identificado en los sistemas biológicos en el siglo XIX, pero hasta el XX se clasificó como elemento traza esencial (NRC, 1980). Su inclusión junto con el Fe como suplemento fue todo un acontecimiento en la historia de la investigación en la nutrición; desde entonces se elucidó el importante papel del Cu en la presentación de enfermedades, tales como la ataxia enzootica ovina, enfermedad súbita bovina, ruptura aórtica en cerdos y pavos, despigmentación del pelo y lana, y la presentación de la anemia. El Cu es esencial en la formación y maduración del eritrocito, cataliza la incorporación del Fe a la estructura del grupo Hem, por lo que su deficiencia causa una disminución de los eritrocitos (Georgievskii, 1982b).

El contenido de Cu en el suelo tiene una variación geográfi-

ca alta, como lo indica la incidencia de la deficiencia natural del elemento en la ganadería de varias partes del mundo (NRC, 1980). Su concentración en la superficie terrestre es de 0.007 %, que representa sólo 1/600 parte del contenido de Fe (Georgievskii, 1982b). El Cu en el suelo esta unido a arcillas y MO, las plantas lo absorben como ion cúprico o sales orgánicas complejas. Los suelos pueden ser deficientes en Cu por una concentración baja total en forma natural, o por una disponibilidad pobre, como ocurre en suelos jóvenes de textura arenosa, con poca arcilla, y en suelos ásperos ferruginosos o ferralíticos compuestos de aluminio e hidróxido de Fe, o suelos calcáreos desarrollados en yeso, piedra caliza y rocas arenosas sementadas (Alloway y Tills, 1984; Minson, 1990; Mills, 1964). Así, cuando el nivel de Cu es adecuado, su disponibilidad puede bajar por la formación de complejos de Cu con la MO, principalmente en suelos con más de 10 % de MO (Alloway y Tills, 1984; Minson, 1990). Además, la naturaleza del material parental que dio origen al suelo, el humus, la concentración de arcillas, el pH y la MO del suelo son factores que influyen en la disponibilidad del Cu para la planta (Aubert y Pinta, 1977; Minson, 1990). El pH y la concentración de Mo en el suelo pueden afectar el nivel de Cu, de tal manera que en suelos ácidos, con alto contenido de Mo como ocurre en las rocas volcánicas metamórficas y sedimentarias la disponibilidad del Cu para la planta y animal esta reducida (Davis, 1974). Si aunado a lo anterior hay un exceso de azufre, se presenta la reacción entre Cu-S para formar sulfuros, los cuales son poco disponibles para la planta (Davis, 1974; Beeson y Matrone, 1976). Por otro lado,

si el nivel de Cu es bajo, la fertilización del suelo con N o superfosfato, puede agravar su deficiencia en forrajes (Minson, 1990), siendo más drástica en las épocas frías (Meetson et al., 1979; Langlands et al., 1981). Finalmente, Kubota et al. (1963) indican que la saturación hídrica del suelo afecta poco la concentración de Cu en forrajes, pero puede incrementar la de Mo en el suelo y en el mismo forraje, por lo que un exceso de humedad puede causar deficiencia de Cu en rumiantes en pastoreo por un antagonismo en su absorción.

En las plantas, el Cu es esencial, forma parte de varias enzimas, ayuda en la asimilación del N y almidón, aumenta la estabilidad de la clorofila y estimula la respiración (Georgievskii, 1982b). Aproximadamente el 70 % del Cu se encuentra en los cloroplastos y tiene cierta afinidad por los lípidos (Nason y McElroy, 1966). Su concentración en planta varía de 8 a 20 ppm. Su deficiencia puede presentarse con menos de 6 ppm de la MS (Evans, 1973).

El valor promedio de Cu en 1278 muestras analizadas fue de 6.1 mg/Kg de MS, y el 50 % fue deficiente con menos de 5 mg (Minson, 1990). Los forrajes de América Latina generalmente tienen concentraciones mayores, y sólo el 23 % de las muestras analizadas fue deficiente (McDowell et al., 1977).

La literatura indica que en ambiente templado las leguminosas tienen mayor nivel de Cu que las gramíneas, mientras que en el trópico ocurre lo contrario, y que la variación es mayor en

pastos. Asimismo, se indica que en la inmadurez el contenido de Cu es similar en hojas y tallos, mientras que con la edad su contenido es menor en tallos (Minson, 1990).

4.5.1 Cobre en tejidos y fluidos del animal

En los animales adultos representa el 0.0002 a 0.00025 % del cuerpo, treinta veces menor que el contenido de Fe, mientras que en el animal recién nacido, varía según el contenido de Cu materno. En rumiantes su concentración se estabiliza aproximadamente a los 6 meses, cuando el rumen ya está desarrollado y los procesos metabólicos se han normalizado (Minson, 1990).

El contenido de Cu hepático en el ternero es de 13 a 14 mg, en lechones de 3.5 a 4 mg, mientras que en ovinos adultos es de 7.2 a 7.9 mg. En otros tejidos ovinos, el contenido de Cu es de 8 a 12 mg en músculo, 9 en piel y pelo, y 2 en el esqueleto (NRC, 1980; Georgievskii, 1982b; NRC, 1985). El hígado, cerebro, bazo, hueso, piel y pelo tienen niveles de Cu altos, pero su contenido depende del contenido de Cu en la dieta, de la especie y edad del animal (Underwood, 1977); en músculo, riñón, páncreas y corazón el nivel es medio y no depende de la concentración en la dieta (Georgievskii, 1982b). Ciertas partes del ojo, especialmente las áreas pigmentadas tienen bastante Cu, en ocasiones mayor que en hígado (NRC, 1980).

El nivel de Cu en sangre varía de 0.6 a 1.1 mg/l, y está muy relacionado con el nivel en hígado (Figura 1).

Niveles de 0.2 mg de Cu/l de suero en corderos reducen la supervivencia y tasa de crecimiento (Suttle, 1986), niveles de 0.5 y 0.3 mg/l en corderos en crecimiento y vacas lecheras, respectivamente, causan signos de deficiencia de Cu (McDowell et al., 1983). La diferencia en el valor crítico recomendado puede deberse al contenido de Mo en el forraje, de tal manera que si éste tiene entre 5 y 20 mg de Mo/ Kg de MS puede haber una respuesta positiva a la suplementación con Cu, siempre y cuando se alcance un nivel de 0.7 mg de Cu/l de sangre (Hogan et al., 1971).

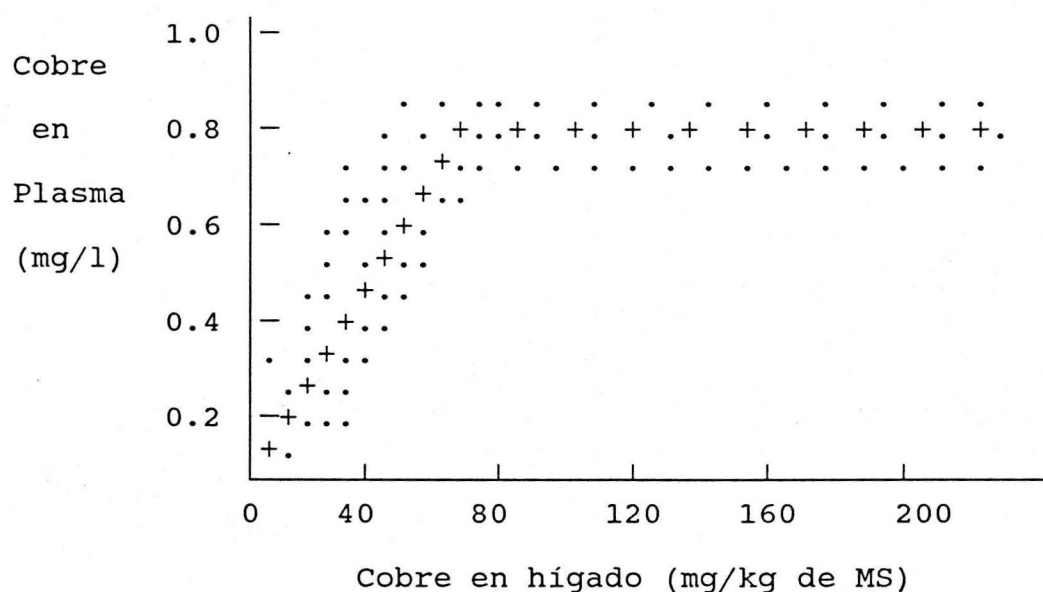


Figura 1. Relación entre las concentraciones de Cu en plasma y Cu en hígado. Adaptado de Hartmans (1969).

La concentración de Cu en pelo y vellón esta altamente correlacionada con el nivel de Cu en plasma, así, un nivel bajo en los primeros indica una deficiencia crónica del elemento, con alta posibilidad de respuesta a la suplementación (Kellaway et

al., 1978).

4.5.2 Metabolismo del cobre

La eficiencia de utilización del Cu por los rumiantes está influenciada por factores inherentes a la dieta (heno, forraje, concentrado, niveles de Cd, Zn, Fe, S y Mo) y otros inherentes al animal (edad, raza, estado fisiológico) (ARC, 1980; NRC, 1985). El Cu presente en la planta se absorbe en duodeno y rumen, en forma de complejos solubles estables, tal vez unido a aminoácidos y no en forma iónica. Si la dieta contiene niveles altos de S y Mo se reduce su absorción rápidamente (Georgievskii, 1982b). Asimismo, la combinación de Cu-tiomolibdato y los sulfitos no son aprovechados por el animal, pero debido a que el Mo libre en rumen si es absorbido ocasiona una movilización del Cu tisular, con la consecuente disminución en el hígado (Dick et al., 1975).

El Cd, Fe y Zn, al igual que la ingestión de suelo deprimen la absorción del Cu (Minson, 1990), esto se agrava cuando los suelos deficientes en Cu y altos en Fe se combinan con forrajes con alto contenido de S (Suttle et al., 1984). El ARC, (1980) indica que el efecto del S sobre la disponibilidad del Cu para rumiantes es mayor que el del Mo, e independiente de éste, postulando que cuando los niveles de S aumentan de 1 a 5, y el de Mo de 1 a 10 mg/Kg de MS, el coeficiente de absorción del Cu se reduce de 5 a 1 %. Asimismo, suelos con estructura pobre y forraje corto pueden representar el 10 % del consumo de MS y disminuir la disponibilidad del Cu hasta en un 50 % (Helly, 1967; Suttle, 1975).

La absorción de Cu es alta en animales jóvenes (80 a 90 %) y baja en adultos (8 a 6 %); mayor en rumiantes que en monogástricos, principalmente en vacas lecheras, y mayor en alimentos concentrados que en henos o forrajes frescos (ARC, 1980; Georgievskii, 1982b). Si la dieta contiene niveles de Ca de 10 a 90 g/Kg de MS, puede deprimir la retención de Cu en hígado, esto es importante, pues animales en pastoreo pueden consumir estas cantidades de Ca con forrajes contaminados con suelos calcáreos (ARC, 1980). Por otro lado, consumos de Fe de 2.6 a 52 g/d/animal pueden reducir la disponibilidad de Cu de 0.56 a 0.036 % (Abdelatif, 1968), y niveles de Zn de 18 a 100 mg/Kg de MS deprimen la acumulación de Cu en hígado (Mills, 1974) y reducen la cantidad de Cu almacenado en esta glándula en poco tiempo (Bremner et al., 1976).

El Cu es esencial para la microflora, su concentración en el líquido ruminal varía de 0.1 a 1 mg/l, y debido a su alta solubilidad en este medio se ha indicado que es fijado por los microorganismos (Georgievskii, 1982b). Asimismo, el Cu es fijado en hígado, médula ósea, bazo, páncreas y músculo, participa en la osteogénesis, protección del organismo, pigmentación y queratinización de pelo y plumas, además de formar parte de sistemas enzimáticos importantes (Georgievskii, 1982b).

La concentración de Cu en bilis es mayor que en sangre, por lo que el sistema biliar se ha identificado como la vía principal de excreción del Cu absorbido en la mayoría de las especies (Underwood, 1977) y es el mecanismo principal para mantener la

homeostásis del Cu en el cuerpo, pues en la orina su nivel es mínimo (NRC, 1980; Georgievskii, 1982b).

4.5.3 Requerimientos y desbalances de cobre

El metabolismo del Cu difiere entre y dentro de razas, lo cual ocasiona variaciones en los requerimientos mínimos de cobre en el animal, principalmente en los ovinos (Wiener et al., 1985; Woolliams et al., 1985; Field, 1984). Las diferencias son heredables parcialmente, y parecen deberse al grado de absorción diferente, reflejándose en la concentración de Cu en el animal y en la incidencia a deficiencias y toxicidades en diferentes razas, de tal manera que la cantidad de Cu adecuado para un animal puede ser deficiente para otro y posiblemente toxica para alguno (Wiener et al., 1985).

Underwood (1977) menciona que cuando la alimentación es adecuada para la utilización del Cu, 4-5 ppm para aves y cerdos, y 8 a 10 ppm para rumiantes parecen ser suficientes. Sin embargo, el ARC (1980) calculó los requerimientos netos para mantenimiento y producción considerando una disponibilidad de Cu en el forraje de 4 %, por lo que el requerimiento para animales adultos diferentes varió de 6 a 13 mg de Cu/ Kg de MS, e indica que estos valores deben ajustarse cuando se conozcan las concentraciones de S y Mo en el forraje. Por otro lado, Suttle (1983, citado por Minson, 1990) modificó los valores estimados por el ARC (1980) en función del contenido de Mo en el forraje y tipo de animal; así cuando el nivel de Mo es menor a 1 mg/Kg de MS, los requerimien-

tos para corderos son de 1 mg de Cu/Kg de MS, en crecimiento, de 8 a 10 mg; preñez de 9 a 11 mg, y para lactación de 7 a 8 mg; mientras que si el contenido de Mo es mayor a 1 pero menor de 3 mg/Kg de MS, los requerimientos de Cu son 1.5, 17 a 21, 19 a 23 y 14 a 17 mg de Cu/ Kg de MS, respectivamente.

Los forrajes con menos de 2 ppm de Cu no cubren los requerimientos de los animales, pero si el suelo contiene 2 ppm de Mo y la concentración de Cu en el forraje está entre 7 y 12 mg/Kg de MS, difícilmente se presenta una deficiencia en el animal (Minson, 1990).

La deficiencia de Cu en animales domésticos se ha detectado en varias partes del mundo, los signos clínicos pueden variar con la edad y especie animal (Georgievskii, 1982b). En corderos se conoce como ataxia neonatal o "swayback", pero puede presentarse semanas después del nacimiento (NRC, 1985). Los corderos presentan problemas locomotores del tren posterior, incoordinación, debilidad, inanición, degeneración mielínica y muerte (Howell, 1970; Underwood, 1977; Miller, 1979). El hundimiento de la columna vertebral del cordero es quizás el signo más notable de la deficiencia de Cu, además ocasiona anemia, retraso del crecimiento, despigmentación de pelo y lana, deformaciones óseas, fracturas y fatiga al caminar lo cual deteriora severamente la productividad del animal en general (Minson, 1990; NRC, 1985; Underwood, 1977). La diarrea es un síntoma clásico, particularmente cuando la deficiencia de Cu es inducida por un exceso de Mo en el forraje (Davis, 1974).

Los rumiantes particularmente los ovinos, son más susceptibles a la toxicidad por Cu que los no rumiantes. Debido a que el Cu se requiere en cantidades pequeñas y su nivel máximo tolerable es un valor bajo, el riesgo por intoxicación es alto, sobretodo cuando los niveles de Mo, S y Fe en la dieta son bajos.

Además, el uso indiscriminado de productos con Cu como aditivos en el alimento, desparasitante o promotores del crecimiento en aves y cerdos ha ocasionado que los rumiantes alimentados con excretas consuman concentraciones altas de Cu (NRC, 1980; Georgievskii, 1982b). La intoxicación por Cu puede presentarse en dos fases: una en donde hay una acumulación progresiva de Cu en tejidos (6 a 10 semanas), con un período prehemolítico, daño hepático, hipercupremia, apatía, disminución del consumo, poli-dipsia e incremento en la frecuencia cardiaca; y otra caracterizada por intoxicación aguda con hemólisis de los eritrocitos, bilirrubinemia, ictericia, espasmos, coma y muerte (NRC, 1980; Georgievskii, 1982b; NRC, 1985).

En ovinos el suministro oral de sulfato de Cu en dosis de 9 a 20 mg/Kg de PV puede ser tóxico, mientras que en bovinos el nivel tóxico es de 200 mg/Kg de PV (NRC, 1980). Niveles altos de PC en la dieta (10 a 20 %) reducen la susceptibilidad a intoxicación con Cu porque se deprime su absorción (ARC, 1980).

4.6 Zinc

Es un metal esencial para plantas y animales, su deficiencia en rumiantes fue diagnosticada primero en Finlandia (Mills, 1978;

NRC, 1980), pero la importancia de suplementarlo se demostró en 1955 cuando se comprobó que la paraqueratosis en cerdos era causada por la deficiencia del elemento en la dieta (NRC, 1980).

El Zn es esencial para el crecimiento y desarrollo normal, activa algunas enzimas y es componente de varias metaloenzimas tales como la anhidrasa carbónica, carboxipeptidasa pancreática y deshidrogenasa de los ácidos glutámico y láctico entre otras. Además, forma complejos con nucleótidos y parece que su función es mantener la configuración definida del ARN, así que tiene un efecto indirecto en la biosíntesis de proteínas y en la transmisión de la información genética (Georgievskii, 1982b; NRC, 1980). En rumiantes es indispensable para prevenir la paraqueratosis en piel, mantener normales el consumo de alimento, la tasa de crecimiento, desarrollo testicular, espermatogénesis y concepción (Minson, 1990).

El Zn constituye del 0.002 a 0.004 % de la superficie terrestre (Georgievskii, 1982b). En suelos de textura arenosa su concentración varía de 10 a 30 ppm, lo cual debe cubrir el requerimiento de las plantas. Sin embargo, la presencia de carbonatos, hidróxidos y fosfatos, así como un pH alcalino frecuentemente se asocian con disponibilidad baja del Zn para la planta, mientras que los sulfatos y el ion Cl^- aumentan su disponibilidad (Fleming, 1973; Olsen, 1972).

En las plantas, el Zn participa en procesos metabólicos importantes, tales como reducción de sustancias, transformación

de carbohidratos, formación de clorofila y auxinas (sustancias del crecimiento), síntesis de ARN, y es requerido para la síntesis de triptófano (Georgievskii, 1982b; Bremner, 1970).

El sistema radicular de la planta absorbe el Zn^{+} en forma iónica para que sea distribuido en todos los tejidos; se encuentra en su mayoría en forma soluble, mientras que la fracción insoluble generalmente se asocia con la fibra (Little, 1970).

La concentración de Zn en los forrajes varía entre 7 y 100 mg/Kg de MS, con un valor promedio de 36 mg encontrado en 719 muestras analizadas, de las cuales el 11 % tuvo niveles inferiores a 20 mg, por lo que para algunas formas de producción animal no son suficientes (Minson, 1990). Las diferencias en la concentración de Zn pueden ser debidas a la variación entre especies vegetales, madurez de la planta o nivel y disponibilidad del elemento en el suelo. Así, se ha observado que los forrajes templados, principalmente las gramíneas, tienen concentraciones menores de Zn que los de clima tropical (Metson et al., 1979). Además, conforme la planta madura disminuye su contenido de Zn, principalmente en los tallos (Fleming, 1973).

Por otro lado la fertilización nitrogenada causa un incremento del Zn en el forraje, tal vez por que reduce el pH del suelo (Miller et al., 1974a). Su variación a través del año no es consistente, pues en ocasiones es mayor en invierno y otras en verano (McDonald y Wilson, 1980; Minson, 1990).

4.6.1 Zinc en tejidos y fluidos del animal

La concentración de Zn en el animal es baja (NRC, 1980) y varía con la edad, especie y alimentación. Los terneros y lechones recién nacidos tienen aproximadamente 500 y 25 mg de Zn respectivamente, mientras que en adultos el nivel es mayor, su distribución es: en esqueleto (28 %), hígado (8 %), sangre (2 %) y otros órganos (18 %), por lo que los tejidos anteriores junto con el páncreas y las gónadas son las más sensibles a cambios en el nivel de Zn en la dieta (Georgievskii, 1982b). El iris, coroides y próstata tienen concentraciones altas de Zn (Underwood, 1977). En sangre completa el nivel varía de 0.25 a 0.60 mg de Zn/100 ml (Georgievskii, 1982b), mientras que en el plasma el ARC (1980) establece un rango tentativo como normal de 0.9 a 1.5 mg de Zn/l en rumiantes (0.1 a 0.2 mg/100 ml), pero se ha comprobado que varía con la edad y especie animal (NRC, 1984).

En sangre se encuentra en dos formas, una unida firmemente a globulinas y tiene funciones enzimáticas, y la otra ligada débilmente a albúminas y realiza la función de transportar al Zn. En eritrocitos la mayoría del Zn es componente de la enzima anhidrasa carbónica (Georgievskii, 1982b).

4.6.2 Metabolismo del Zn

El Zn se absorbe principalmente en el intestino delgado, y en grado menor en abomaso; al parecer las fuentes orgánicas vegetales y las sales minerales tienen absorción similar, pero es menor en animales no rumiantes, e inversamente proporcional a su

concentración en la dieta (Miller y Cragle, 1965; Georgievskii, 1982b; NRC, 1984). Los rumiantes lactantes absorben el Zn más eficientemente (50 %) que los animales en crecimiento (30 %) o maduros (20 %) (ARC, 1980). El proceso de paso del elemento hacia la célula es rápido, se almacena en hueso, hígado y otros tejidos blandos, así el Zn del plasma, hígado, páncreas y hueso es una fuente rápida intercambiable cuando la dieta es deficiente (Georgievskii, 1982b).

La absorción del Zn puede limitarse por factores relacionados con la dieta, tales como la vía del suministro (oral o parenteral), concentraciones de Ca altas y con presencia de ácido fítico o fitatos vegetales (Oberleas y Moody, 1981), histidina, nivel y tipo de proteína (NRC, 1988). Además, elementos como el P, Cd, Cu, vitamina D y agentes quelantes reducen la intensidad de absorción del Zn.

La movilización del Zn en el cuerpo esta regulada por el nivel de consumo y requerimiento del animal (NRC, 1980), la ruta primaria de su excreción es el tracto digestivo (heces, bilis y secreciones pancreáticas); cantidades pequeñas se eliminan con orina, sudor y saliva (Georgievskii, 1982b), por lo que se ha aceptado que el mecanismo homeostático efectivo opera a nivel intestinal.

4.6.3 Requerimientos y desbalances de Zinc

En rumiantes el requerimiento se ha estimado por el método factorial, utilizando datos del Zn retenido en varios tejidos,

pérdidas endógenas en heces y orina, y considerando la disponibilidad aparente del elemento en la dieta con un coeficiente de absorción de 30% (ARC, 1980). Sin embargo, debido a los diversos factores que influyen en la disponibilidad del Zn del suelo para la planta, y sobre la absorción por el animal, así como el estado fisiológico de éste, los requerimientos de Zn en la dieta no están bien definidos.

La información del ARC (1980) indica que con 7 mg de Zn/Kg de MS de la dieta se evita la presencia de signos de deficiencia, pero no se mantiene el nivel de Zn en sangre dentro del rango considerado tentativamente como normal en rumiantes (0.9 a 1.5 mg/l), concluyendo que el requerimiento mínimo sería de 14 mg/Kg de MS de la dieta. Por otro lado, estudios de Underwood y Somers, (1969) en carneros indican que 17 mg /Kg de MS no son suficientes para una espermatogénesis normal, concluyendo que el requerimiento estaría entre 17 y 32 mg de Zn/Kg de MS. Pond y Wallace (1986) sostienen que 19 a 25 mg de Zn son adecuados para corderos en crecimiento. Finalmente la literatura indica que los carneros y toros requieren mayor cantidad de Zn para el crecimiento testicular y espermatogénesis que para crecimiento corporal, y que la oveja lactante es muy susceptible a la deficiencia de Zn, por lo que el requerimiento mínimo sugerido es de 20 mg/Kg de MS para crecimiento y 33 mg/Kg de MS para machos adultos y hembras gestantes o lactantes (NRC, 1985). Un exceso de Cd, Ca, Fe, Mn, Mo y Se, así como las infecciones bacterianas y/o virales pueden incrementar los requerimientos de Zn (ARC, 1980).

Debido a la variación en la concentración de Zn en los forrajes, los rumiantes en pastoreo pueden no cubrir sus requerimientos, principalmente los sementales y aquellos con tasas de crecimiento altas. El valor crítico recomendado para el diagnóstico de la deficiencia en rumiantes es menor a 0.6 a 0.8 mg de Zn/l de plasma (McDowell , 1985a). Sin embargo, la interpretación de los resultados de la determinación de Zn en plasma no es fácil por su sensibilidad a cambios en el nivel de Zn en la dieta, y por que los signos clínicos sólo aparecen cuando el nivel está permanentemente abajo de 0.4 mg/l (Mills, 1967; ARC, 1980;). La deficiencia de Zn causa una disminución en el consumo de alimento, en la GDP, con zonas alopésicas, salivación, inflamación de mucosas, hiperqueratinización en piel; en machos deterioro de la función reproductiva con atrofia testicular y espermatogénesis defectuosa; en hembras afecta el ciclo reproductivo desde el estro hasta el parto y lactación (Hidiroglou, 1979; Miller, 1979b; Underwood, 1981).

La aparición de los desórdenes por deficiencia de Zn difieren en la mayoría de las condiciones de campo en varios aspectos (ARC, 1980). Mayland et al. (1975) reportó la deficiencia en rumiantes en pastoreo debida a una concentración baja en forrajes o presencia de inhibidores de su utilización, caracterizada por rendimiento pobre, indiferencia, hinchazón del rodete coronario, cuello y cabeza, y dermatitis severa con incoordinación y anomalías reproductivas.

Los rumiantes toleran niveles de Zn relativamente altos (10

veces la dosis óptima) (Georgievskii, 1982b), pero su tolerancia depende de la dieta, principalmente de las concentraciones de minerales que afectan su absorción y utilización por el animal (NRC, 1984). Ott et al. (1965) indicaron que de 900 mg a 1000 mg de Zn/Kg de MS en la dieta deprimen el comportamiento; raciones con 3 g de Zn/Kg durante 8 semanas causaron deficiencia de P y muerte en corderos (Davies et al., 1979). El exceso de Zn puede causar diarreas, artritis, pérdida de peso, anemia, deficiencia de Fe, Mn, Ca, P y una reducción drástica del nivel de Cu en el animal (NRC, 1980; 1988). Parece que 150 mg de Zn/Kg de MS son bien tolerados, pero debe considerarse el efecto adverso en un rango de 150 a 420 mg. Los animales gestantes pueden ser menos tolerantes a un exceso de Zn. Jensen, 1975; citado por Minson, 1990) menciona que el nivel de Se en la dieta es muy importante en la toxicidad del Zn y que un nivel de 0.5 ppm de Se en la dieta protege contra 4000 ppm de Zn.

4.7 Fierro

Es un metal esencial para plantas y animales (NRC, 1980). En el animal, la mayoría del Fe se encuentra en forma de compuestos orgánicos, principalmente en hemoglobina y mioglobina, las cuales participan de manera importante en el transporte, fijación y almacén de oxígeno. Además, forma parte de enzimas tales como citocromo, citocromo oxidasa, catalasa y peroxidasa, las cuales son importantes en los procesos de respiración celular (Georgievskii, 1982b; NRC, 1984). Su importancia en la eritropoyesis se demostró en el siglo XVII, cuando se utilizó en el

tratamiento contra la anemia. Así, la frecuencia de este padecimiento en muchas poblaciones humanas enfatiza su importancia en la dieta como un nutriente marginalmente adecuado (NRC, 1980).

El contenido de Fe en la superficie terrestre es mayor del 5 %, se encuentra principalmente en forma de óxidos de Fe y sulfuros, casi nunca en estado elemental (Georgievskii, 1982b). Su contenido es más abundante que el de los macrominerales como Ca, Mg, P, K y S (NRC, 1980).

Los forrajes tienen cantidades variables de Fe, su contenido está influenciado por la especie vegetal, estado fenológico y por el tipo de suelo, pero generalmente varía de 100 a 700 ppm, y puede exceder las 1000 ppm, mientras que los cereales contienen entre 30 y 60 ppm (NRC, 1980; 1984). La mayoría del Fe en la planta se encuentra en estado férrico formando complejos lábiles con ácidos orgánicos, proteínas y carbohidratos (NRC, 1980). Su concentración en hojas verdes es alta, por lo que está correlacionado con el contenido de clorofila, pero disminuye conforme la planta madura; en pajas de cereales, oleaginosas, harina de carne y pescado su contenido es alto, mientras que en los granos de cereales y tubérculos es bajo (Georgievskii, 1982b).

4.7.1 Fierro en tejidos y fluidos del animal

En animales adultos representa en promedio de 0.005 a 0.006 % del tejido fresco y del 0.14 a 0.17 % en cenizas. Su concentración es 2 y 30 veces mayor que la del Zn y Cu, respectivamente. En animales recién nacidos es menor, un lechón contiene aproxima-

damente 50 mg de Fe (NRC, 1988), pero la variación cualitativa en animales adultos difiere entre especies (Georgievskii, 1982b).

La mayoría del Fe corporal está en forma orgánica, aproximadamente el 75 % se encuentra en la hemoglobina y mioglobina, por lo que su mayor concentración está en sangre y en los órganos con funciones hematopoyéticas, hemolíticas y de almacén de eritrocitos. Así, del total del Fe, el 65 % se localiza en sangre, 10 % en hígado, 10 % en bazo, 8 % en músculos, 5 % en esqueleto y 2 % en otros órganos. Finalmente su distribución en los componentes sanguíneos no es uniforme, en suero su concentración varía de 0.11 a 0.20 mg/100 ml (Georgievskii, 1982b).

Las variaciones de la concentración de Fe en sangre se deben a los cambios del nivel de hemoglobina y a factores que influyen en ésta, además, se ha postulado que ciertos aminoácidos participan en fijar el Fe en el plasma.

4.7.2 Metabolismo del hierro

El mecanismo por el cual se extrae el Fe del alimento para su absorción por el animal no se conoce con precisión, se cree que los complejos de Fe son desdoblados por el ácido hidroclicórico y la pepsina del jugo gástrico, y al reducirse la forma férrica a un estado ferroso la sal resultante (FeCl_2) es ionizada y absorbida (Georgievskii, 1982b). La absorción del Fe se realiza en el duodeno y el proceso incluye dos fases: adquisición del Fe por la pared intestinal y su transporte en sangre por los epiteliositos intestinales. El ion ferroso que entra en sangre es oxidado a

ácido férrico, se une a una β -globulina específica llamada transferrina y de esta forma se transporta hacia los tejidos (NRC, 1980) para almacenarse intracelularmente en hígado, bazo, médula ósea y otros órganos en forma de ferritina y hemosiderina.

El coeficiente de absorción en el rumiante varía de 30 a 60 % cuando la dieta aporta de 60 a 30 mg de Fe/día (ARC, 1980) y se incrementa si hay una deficiencia marginal del elemento (NRC, 1984; 1988; 1989).

La absorción del Fe disminuye de 72 % a 43% cuando se aumenta el suministro de Fe (sulfato ferroso o citrato férrico) de 10 a 40 mg/Kg de dieta. Así, la disponibilidad verdadera del Fe disminuye cuando se incrementa su concentración en la dieta (ARC, 1980), pero puede aumentar si la dieta es deficiente o durante la eritropoyesis intensa (Georgievskii, 1982b).

Por otro lado existe la teoría de que cuando la membrana mucosa intestinal se satura con Fe en forma de ferritina la absorción del elemento cesa. Los agentes quelantes y antioxidantes facilitan la absorción del Fe, mientras que los fosfatos, y ácidos orgánicos que dan origen a sales de Fe insolubles la deprimen, al igual que el incremento en la tasa de pasaje del quimo (Georgievskii, 1982b).

Las pérdidas endógenas se excretan vía bilis y epitelio intestinal descamado, y en menor grado en orina y sudor (Underwood, 1977).

4.7.3 Requerimientos y desbalances de fierro

Los requerimientos de Fe en los animales domésticos generalmente se cubren con alimentos naturales, pero bajo ciertas circunstancias puede ser limitante. Así, los animales jóvenes alimentados con leche o sustitutos de ésta, las vacas lactantes consumiendo forraje crecido en suelos deficientes y gallinas con producción de huevo alta son más susceptibles a una deficiencia debido a que tienen requerimientos mayores (Georgievskii, 1982b). En animales adultos el requerimiento es menos crítico, mientras que en la etapa de crecimiento difiere debido a la producción de hemoglobina y formación de mioglobina muscular (ARC, 1980). Los lechones requieren de 50 a 150 mg/Kg de leche sólida (Miller et al., 1982), mientras que en los destetados se ha aceptado un valor de 80 mg/Kg de dieta (ARC, 1980). En ovejas al final de la preñez el requerimiento mínimo aceptado es de 30 mg de Fe/día (equivalente a 20 mg/Kg de MS de la dieta); NRC, 1985), y en corderos de 25 a 70 mg/Kg de MS, mientras que para bovinos lactantes y adultos es de 100 y 50 mg/Kg de MS respectivamente (NRC, 1984; 1989). Finalmente, el ARC (1980) establece un requerimiento de 30 mg/Kg de MS para rumiantes destetados.

Debido a que el contenido de Fe en forrajes es alto, además de su asimilación rápida y reutilización por el animal, la deficiencia nutricional en animales en pastoreo es rara. Sin embargo, en los animales jóvenes, debido a una concentración baja del Fe en la leche (de 1 a 4 mg de Fe/l) y a un pobre almacén del mismo en hígado, pueden agotarse rápidamente sus reservas y desarrollar

anemia microcítica hipocrómica como resultado de una síntesis inadecuada de Hb, lo cual ocasiona un crecimiento retrasado, disminuciones del consumo y eficiencia de utilización del alimento (ARC, 1980; NRC, 1984; 1989).

En condiciones de pastoreo el exceso de Fe en forma moderada pero permanente causa una saturación hepática con sulfato de Fe coloidal y hemosiderina, los cuales son dañinos para el animal (Georgievskii, 1982b). Aún cuando el NRC (1980) indica que un valor de 500 mg de Fe/Kg de MS de la dieta debe considerarse como el nivel tolerable máximo en ovinos y de 1000 mg de Fe/kg de MS en bovinos, hay un reporte de que niveles de 250 mg de Fe/kg de MS provoca deficiencia de Cu en becerros (Humphries et al., 1985). El punto más importante cuando hay un exceso de Fe en la dieta, es el efecto deprimente que hay sobre la asimilación del Cu y P por el animal, además disminuye el consumo de alimento, la tasa de crecimiento y la eficiencia alimenticia. La mucosa intestinal del lechón absorbe Fe activamente, por lo que un exceso en la dieta (200 mg) favorece el crecimiento de bacterias ocasionando irritación de la mucosa intestinal y diarreas (Knight et al., 1983). Los signos de intoxicación crónica son: diarrea, hipertermia, acidosis metabólica, deficiencia de Cu y P (Standish y Ammerman, 1971; ARC, 1980; NRC, 1980; 1984; 1985).

HIPOTESIS

En las areas de pastoreo para los rebaños de ovinos de las localidades de Santa Cruz Pueblo Nuevo, La Laguna, San Lucas y Chalma existen desbalances minerales cuya severidad es diferente a través del año.

MATERIALES Y METODOS

1. Localización y descripción de la zona de estudio

El Estado de México es económicamente una área Jerárquica central, sin embargo, puede clasificarse como una región socioeconómica de planificación (Avila, 1990). Tiene una extensión territorial de 23,244.22 km² y forma parte de la región geoeconómica real centro-este, constituida por seis estados y el Distrito Federal (Fig. 2). Limita al norte con los estados de Querétaro e Hidalgo; al sur con Morelos y Guerrero; al oriente con Puebla y Tlaxcala; al occidente con Michoacán y Morelos; e internamente con casi todo el Distrito Federal.

Las actividades productivas son muy diversas, existen desde grandes parques industriales, áreas de agricultura comercial tipo capitalista, hasta regiones de agricultura de subsistencia o autoconsumo. El Estado se localiza en la región agrícola de la meseta central, su ubicación físico-geográfica es en la cordillera neovolcánica, entre la altiplanicie meridional y la depresión del Balsas. Por lo anterior, el estado mexiquense presenta una topografía muy variada, observándose desde zonas boscosas altas hasta lomeríos, valles y cerriles con menor altitud. Estas características ecológicas influyen para que se presenten una diversidad tanto de climas y suelos, como de flora y fauna en el Estado de México.

El inventario nacional de ovinos para 1990 fue de 5,846,000 cabezas, cifra similar a la de hace 4 décadas. El reporte oficial

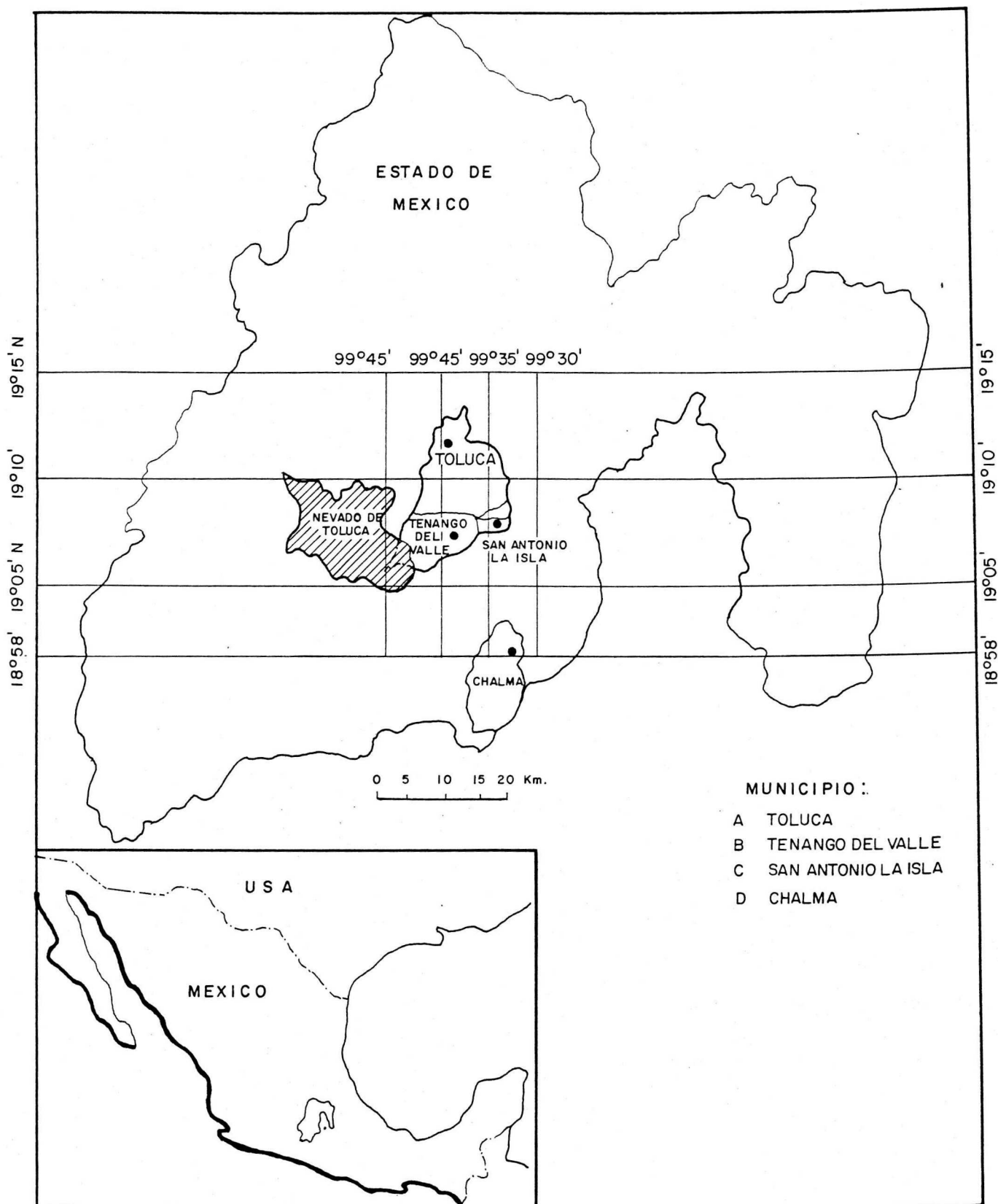


Figura 2 - Localización geográfica de la zona de estudio.

indica que el Estado de México ha ocupado el primer lugar durante 20 años (1970-1990) en número de ovejas, con alrededor de 800,000 cabezas (SARH, 1990). El ganado ovino del Estado está conformado por cruza de animales nativos, típicos de las zonas boscosas, con razas Suffolk, Rambouillet y Hampshire. Su potencial genético, al igual que la mayoría de los ovinos del centro del país, es bajo, y sólo una pequeña proporción de los productores utiliza razas puras (Orcasberro et al., 1982).

Los ovinos se distribuyen en todo el país, pero cerca del 80% se concentra en tan sólo 12 estados de la meseta central, alrededor de la Ciudad de México (Arbiza y De Lucas, 1992). Si consideramos que aproximadamente el 70% del territorio nacional es apto para desarrollar actividades ganaderas, el potencial de producción para la especie ovina en México sería de 20 millones de cabezas (Arbiza y De Lucas, 1992).

1.1. Clima

El estudio se realizó en seis explotaciones ovinas aledañas al municipio de Tenango del Valle, México (figura 2). Cinco de ellas se localizan entre los paralelos 19° 06' latitud norte y 99° 35' longitud oeste. El clima está clasificado como Cb (w2)(w)i, es templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual entre 12 a 18°C y una precipitación promedio al año mayor a 1000 mm. La altitud varía de 2300 a 4000 msnm (García, 1988). La sexta explotación se localiza entre los paralelos 18° 58' latitud norte y 99° 30' longitud oeste, a una altitud de

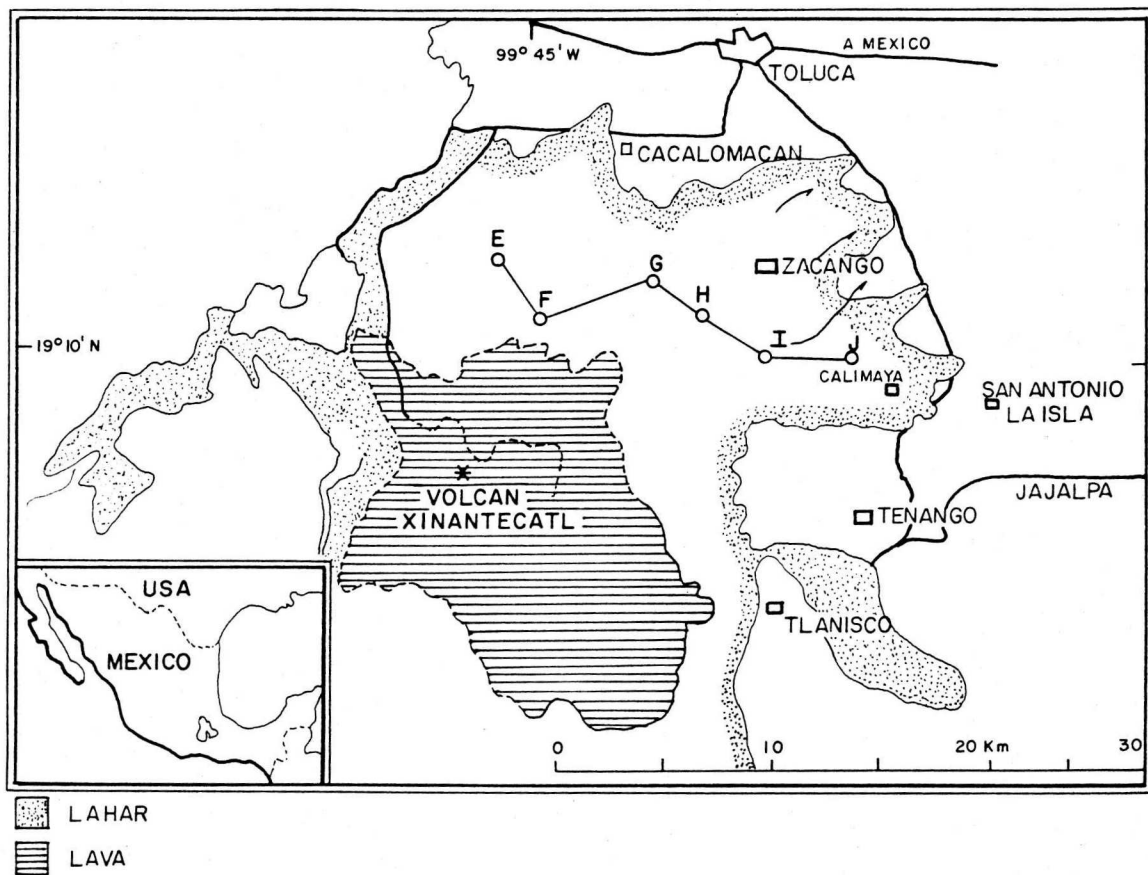
1840 msnm. Tiene un clima semicálido subhúmedo, y está clasificado como (A) Ca (w2) (w)ig con lluvias en verano, temperatura promedio entre 18 a 22°C y precipitación anual de 1000 a 1500 mm (García, 1988).

1.2. Suelo

Los suelos de la zona datan de la edad cenozoica, formados durante los periodos terciario y cuaternario. Litológicamente se clasifican como rocas ígneas extrusivas, caracterizadas geológicamente por el predominio de rocas volcánicas terciarias representadas por lavas basálticas y andesíticas, y por formaciones volcánicas pleistocénicas consistiendo de lavas dacíticas y lahares (Arevalo et al., 1986; SPP, 1981) (figura 3).

Gastorena (1971) describió las propiedades físicas y químicas de los suelos del Valle de Toluca, agrupandolos en cuatro zonas. En la zona "D", área de influencia de Tenango del Valle se encuentran las explotaciones estudiadas en el presente trabajo. Esta área define el antiguo lecho de las lagunas del Lerma y zonas aledañas con suelos aluviales profundos. Los suelos presentan texturas migajon arenosas, pH ligeramente ácido (6.01 a 6.5), contenido de materia orgánica extremadamente rico (4 a 10 %), contenido de P medio (8 a 20 ppm), nivel de potasio muy rico (168 ppm), Ca muy rico (800 a 2000 ppm) y de Mg (200 a 400 ppm) (figura 4).

Los suelos predominantes a lo largo de la vertiente del



E, F, G, H, I, J = ZONIFICACION VERTICAL A LO LARGO DE LA VERTIENTE DEL VOLCAN NEVADO DE TOLUCA.

Figura 3 - Distribución de los materiales volcánicos lahar y lava en la zona de estudio (adaptado de Arevalo *et al.* (1986).

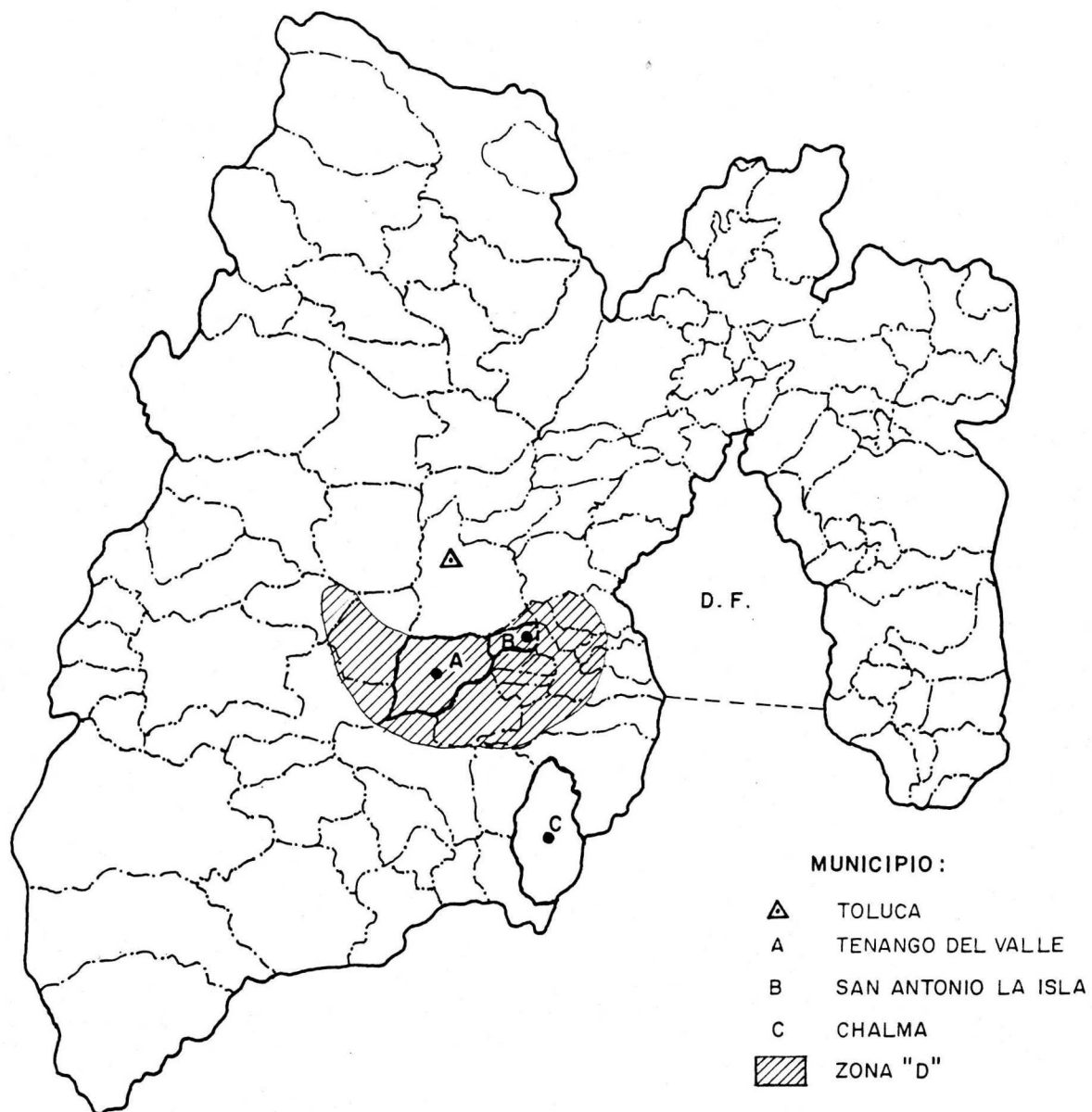


Figura 4 - Ubicación del área de estudio (municipios) dentro de la clasificación de suelos del valle de Toluca según sus propiedades físicas y químicas Adaptado de Gastorena (1971).

volcán Nevado de Toluca o Xinantecatl son Andosoles típicos (81.2 %), distribuidos en zonas pedoclimáticas Criico-údic, Frígico-údic y Mésico-údic. Se caracterizan por pendientes pronunciadas y temperaturas bajas, lo cual limita el uso agrícola; se recomienda se utilicen para uso forestal y ganadero en forma controlada.

En la parte de altitud media hay valles intermontados con uso del suelo agrícola y forestal, el primero presenta problemas de retención (fijación) del P. Esta desventaja disminuye hacia la parte baja de la vertiente, pero la necesidad de elementos primarios, N, P y K se hace presente, por lo que se recomienda hacer aplicaciones según se requiera (Arevalo et al., 1986; Flores, 1988).

El área corresponde a la clasificación de Andisoles propuesto por ICOMAND, 1987 (Comite Internacional de los andisoles) el cual aplica bien a los suelos mexicanos derivados de cenizas volcánicas (Flores, 1988).

Las tres primeras fincas (pueblo nuevo 1, pueblo nuevo 2 y la laguna) se ubican en la parte media de la vertiente del volcán, en la zona pedoclimática clasificada como Friico-húmico, a una altitud entre 3500 a 4000 msnm; el suelo es humedo todo el año y presenta evolución rápida por desforestación. La andisolización, favorecida por un clima frío y humedo, constituye el proceso pedogenético característico del área (Arevalo et al., 1986). La erosión en cárcavas, los derrumbes y deslizamientos son

procesos morfogénéticos que pueden llegar a dominar la formación del suelo si no se regulan la explotación forestal y ganadera.

Según el estudio de Arevalo et al., (1986) los suelos de estas fincas son de la serie XX Santa cruz pueblo nuevo, pertenecen a la familia Ustifluvent típico, vítrico, méxico; son suelos color café oscuro de textura migajón arenosa, con profundidad somera, poco desarrollados, con topografía de planicie y pendientes de 2 a 6 %. Presenta un cambio brusco de la materia orgánica en los primeros 30 cm de profundidad (figura 5).

Las explotaciones 4 y 5 (San lucas 1 y 2) se localizan en el valle, donde los suelos son más áptos para la agricultura. Predomina el pedoclima México-húdico, se encuentran a una altitud de 2320 msnm, la precipitación esta bien distribuida, y la mineralización secundaria es lenta por lo que se acumula la materia orgánica con valores de 9 a 15 %.

Según el estudio de Flores, (1988) los suelos de estas dos explotaciones caén en la serie I Almoloya, pertenecen a la familia Melanacuand, vítrico, méxico, cenizoso, amorfo (palagenita, alofano). Son suelos mal drenados con manto freático superficial, de somero a poco profundos (pendiente de 0 a 3 %), de color negro, alto contenido de materia orgánica (10 a 12 %), presentan un perfil formado sobre deposito lacustre enriquecido de material volcánico y un perfil poco desarrollado. Es un sitio anegado con drenaje internamente extremadamente malo y la vegetación es tular (figura 5). Esta area presenta un pH ligeramente ácido

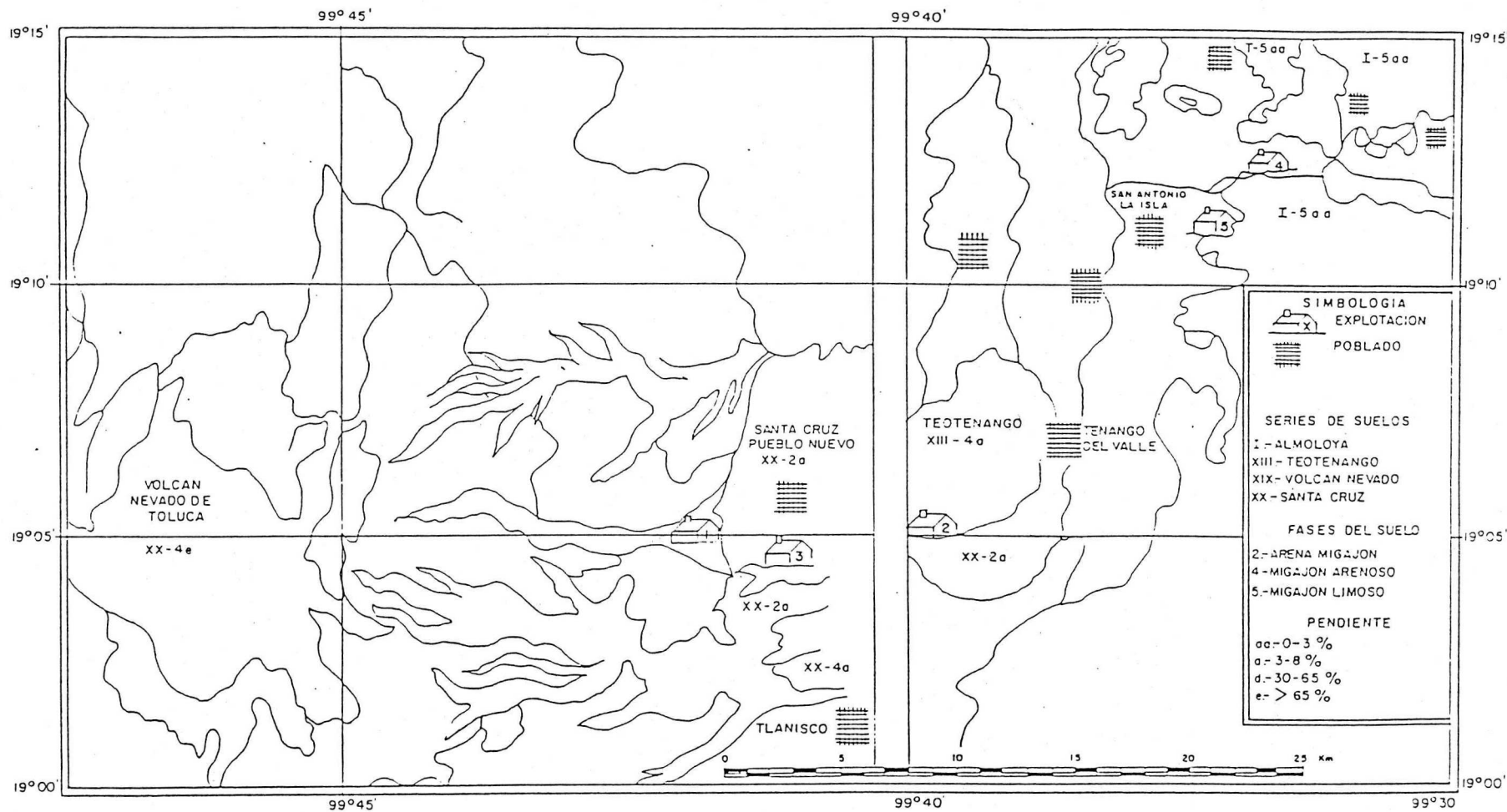


Figura 5.- Cartografía series-fases del suelo de las explotaciones de ovinos estudiadas. Adaptado de Arevalo et al (1986) y Flores (1988).

(5.3), alto contenido de materia orgánica y retención de P del orden de 51 %.

Arevalo et al., (1986) concluye que la zonificación vertical a lo largo de la vertiente del Nevado de Toluca tiene influencia significativa sobre la evolución de la materia orgánica, intensidad del intemperismo de las rocas y en la evolución de los suelos. Así, el contenido de óxidos de sílice y bases disminuye al pie de la vertiente, mientras que los óxidos de Fe y Al aumentan en contenido en la misma dirección (figura 3).

La explotación 6 (Chalma) se caracteriza por estar en una zona entre montañas y lomeríos, sus suelos son poco profundos, pedregosos y con drenaje superficial rápido. Están clasificados como Castanozem lúvico, Andosol húmico, Litosol y Vertisol pélico (SPP, 1981).

1.3. Vegetación

La vegetación predominante varía en cada zona térmica (Arevalo et al., 1986).

El área de pastoreo para cada rebaño estudiado fluctúa de 10 a 25 hectáreas. En las explotaciones 1, 2 y 3, las cuáles son las de mayor altitud, predominan las especies de pastos y herbáceas nativos tales como Lupinus montanus, Mühlenbergia macroura, Stipa ichu, Teriba festuceae, Lupinus exaltatus, Targetes coronopifolia y Conyza coronopifolia asociados con bosque de pino y encino; en las explotaciones 4 y 5, predominan los pastizales bajos, representados principalmente por Pennisetum clandestinum "kikuyo", y

en menor grado por Poa Sp. y Lolium multiflorum. (identificadas en el área de Botánica de la UACH). En las 5 explotaciones anteriores se observó un sobrepastoreo durante la mayor parte del año. También utilizan residuos de cosechas en las épocas críticas. Finalmente la explotación 6 tiene praderas con especies cultivadas de Estrella africana (Cynodon ulenfuensis) y pasto Rhodes (Chloris gayana). El manejo es pastoreo rotacional, pero sin periodos de descanso definidos.

2. Prácticas de manejo de los rebaños

Los rebaños estudiados son representativos de la clase de animales típicos de la zona de interés. En 5 rebaños el número de animales varía de 60 a 250, el genotipo de los ovinos (cruzas de razas lanares) es indefinido, predominando los caras negras; su alimentación es a base de pastoreo (8-10 horas), casi nunca reciben suplementos y no hay una época de empadre definida. Sus propietarios son campesinos y carecen de una finalidad específica de producción. La explotación 6 tiene 400 ovinos de raza pelibuey, cuenta con programas sanitario, reproductivo y nutricional. El objetivo es la producción de animales para abasto y pie de cría.

3. Sitios de muestreo

Seis rebaños de ovinos con características de manejo similares (pastoreo extensivo), fueron seleccionadas, para estudiar en forma integral la concentración mineral en suelo, agua y forraje, y relacionarla con el status mineral en suero sanguíneo

de los animales durante dos épocas del año. Los elementos analizados por su importancia en la salud y nutrición del animal fueron P, Ca, Mg, K, Zn, Cu y Fe.

3.1. Colección y preparación de las muestras

La toma de muestras se llevó a cabo al final de la estación de secas (1 a 6 de Junio) y final de la época de lluvias (20 a 26 de Octubre) de 1990.

3.1.1. Suelo

El área de pastoreo se dividió según sus características de ladera, cerril o valle en fracciones de 2 a 5 hectáreas, de las cuales se tomaron de 8 a 12 muestras primarias (de 0.5 a 1.0 Kg) de suelo, a una profundidad de 0 a 40 cm. Las muestras se mezclaron y homogeneizaron, y por medio de cuarteo se obtuvo una muestra compuesta de aproximadamente 1 kg por cada fracción de terreno (Aguilar, 1990, comunicación personal). El proceso se repitió cinco veces en cada explotación, para obtener 5 muestras compuestas por cada finca.

3.1.2. Forraje

La colección del forraje se realizó en la misma zona de muestreo del suelo, mediante una modificación a la técnica de "Hand Plucking" descrita por Wayne (1964). Durante las horas de mayor actividad de pastoreo animal se cortaron manualmente partes de las plantas que éstos consumían (la altura de corte varió de 1 a 5 cm). Las muestras se mezclaron y por cuarteo se obtuvieron

cinco muestras por explotación. Cada muestra compuesta fue procesada en un molino Willey con criba de acero inoxidable de 1 mm.

3.1.3. Agua

Se tomaron muestras de las fuentes de agua (arroyos, pozos, piletas, bebederos) en cada explotación. Se colectaron 50 ml de agua en matraces volumétricos previamente deionizados, para su análisis mineral posterior.

3.1.4. Suero sanguíneo

En cada explotación se seleccionaron al azar 20 animales (10 corderos y 10 adultos), a los cuales se les extrajeron de 10 a 12 ml de sangre mediante punción de la vena yugular. Las muestras fueron identificadas y centrifugadas, y el suero obtenido se congeló a -20°C , para la determinación posterior de elementos minerales (Fick *et al.*, 1979).

4. Análisis de muestras

Las determinaciones del perfil mineral en las muestras de suelo y agua fueron practicadas en el Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo, mientras que los análisis del forraje y suero se realizaron en el Departamento de Zootecnia de la misma Universidad.

4.1 Suelo

El P se extrajo mediante una solución de Bray-1, (Bray y

Kurtz, 1945). Los elementos Ca, Mg y K fueron extraídos por medio de una solución de acetato de amonio 1 N a pH de 7.0 (relación suelo:solución de 1:5), el K fue determinado por espectrofotometría de emisión de flama, mientras que el Ca y Mg se determinaron por volumetría con EDTA. Los microelementos Zn, Cu y Fe se extrajeron en solución DTPA (relación 1:4), y fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica de flama en un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo 4000, siguiendo el procedimiento descrito por Fick et al. (1979). Los valores de pH del suelo se obtuvieron utilizando una relación suelo-agua de 1:2, con un potenciómetro, mientras que los de materia orgánica se determinaron mediante la técnica descrita por Walkley-Black (Allison, 1965).

4.2 Agua

El Na y K se determinaron mediante espectrofotometría de emisión de flama, el Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica y el Cl por volumetría con AgNO_3 .

4.3 Forraje.

El análisis de Ca, Mg, K, Zn, Cu y Fe se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Fick et al. (1979). Su determinación se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica. Para evaluar la concentración de P en la planta se siguió el método colorimétrico propuesto por Harris y Popat (1954).

4.4 Suero

El contenido de P orgánico en suero se determinó por el método de Harris y Popat (1954), mientras que los elementos Ca, Mg, K, Zn, Cu y Fe se determinaron mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica descrita por Fick et al. (1979) utilizando un aparato Perkin Elmer modelo 4000.

5. Análisis estadístico

Los datos del contenido mineral en suelo y forrajes se analizaron mediante el paquete estadístico SAS (1985), para un diseño completamente al azar, de acuerdo con el modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \text{Expi} + \text{Epocaj} + \text{Exp*Epocaij} + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = concentración mineral en suelo y forraje.

μ = media común a todas las observaciones.

Expi = efecto de la i-ésima explotación.

Epocaj = efecto de la j-ésima época.

Exp*Epocaij = efecto de la interacción explotación*época

E_{ijk} = error aleatorio, $NI (0, \sigma^2)$

El efecto de las explotaciones estudiadas, de la época del año y de la edad de los animales sobre la concentración de minerales en el suero sanguíneo de los ovinos, se determinó por análisis de varianza de tres criterios de clasificación, con el paquete estadístico SAS (1985), para un diseño completamente al azar según el modelo siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \text{Expi} + \text{Epocaj} + \text{Edadk} + \text{Exp*Epocaij} + \text{Exp*Edadik} + \\ \text{Epoca*Edadjk} + \text{Exp*Epoca*Edadijk} + E_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = concentración mineral en suero.

μ = media común a todas las observaciones.

Expi = efecto de la i-ésima explotación.

Epocaj = efecto de la j-ésima época.

Edadk = efecto de la k-ésima edad

Exp*Epocaij = efecto de la interacción explotación*época.

Exp*Edadik = efecto de la interacción explotación*edad.

Epoca*Edadjk = efecto de la interacción época*edad.

Exp*Epoca*Edad = efecto de la interacción explotación*época*edad.

E_{ijkl} = error aleatorio $\approx \text{NI } (0, \sigma^2)$.

Los promedios se compararon con la prueba de Duncan.

Por último, para identificar las posibles relaciones entre las variables estudiadas, y para desarrollar las ecuaciones de predicción que expliquen la variación mineral en los animales se determinaron, por análisis de correlación y regresión múltiple, los coeficientes de correlación entre minerales de las muestras de suelo, forraje y suero sanguíneo, mediante el procedimiento "Stepwise" de SAS (1985).

RESULTADOS Y DISCUSION.

1. Contenido mineral en los suelos.

En el Cuadro 4 se indican los promedios y el error estándar de la media de la concentración mineral, pH y MO de las muestras de suelo analizadas de cada explotación. Además, se indica el número y porcentaje de muestras deficientes.

Cuadro 4. Valores medios de minerales, pH y MO en suelo de 6 explotaciones de ovinos en Tenango del Valle, México.

Exp1	P	Ca	Mineral Mg	K	Zn	Cu	Fe	pH	MO
	----- (ppm) -----								
1	3.90cd	805.7d	64.4b	96.0b	2.143b	0.259d	32.06c	4.9e	13.8a
2	16.20c	972.1d	150.8b	111.8b	1.632b	0.446d	44.03c	5.5d	5.9c
3	1.80c	1076.0d	140.9b	129.5b	1.107b	0.240d	40.85c	5.4d	11.3ab
4	47.40a	3627.2a	1617.5a	520.8a	6.530a	0.999c	163.12a	5.8c	16.1a
5	33.20b	2877.7b	1594.2a	231.0b	2.110b	1.70 b	67.06bc	7.6a	7.6bc
6	6.20cd	2136.3c	1306.1a	185.7b	1.990b	2.050a	95.77b	6.4b	3.4c
ESM1	2.4	97	49	39	0.6	0.08	9	0.11	1

+	25.0	140.0	30.0	60.0	2.0	0.6	4.5	----	----
++	33(55.0)	0	2(3.3)	7(12)	34(56)	29(48)	0	38(63.3)	----

lError estándar de la media.

+ Concentraciones mínimas necesarias Tavera (1985); Tisdale y Nelson (1975); Valdes *et al.* (1985); CSTPA (1980); Viets y Lindsay (1973); De Sousa (1978).

++ Número y porcentaje de muestras deficientes.

n = 10 muestras por explotación.

abcde Valores en la misma columna sin una literal en común son diferentes (P < .05).

El contenido mineral, los valores de pH y MO del suelo fueron diferentes (P < .05) entre las explotaciones estudiadas. El efecto significativo puede deberse, principalmente, a los diferentes tipos de suelos, así como al pH y MO encontrados.

Se observaron efectos significativos de época ($P < .05$) sobre la concentración de P, Ca, Mg, K, Cu, y en el contenido de MO del suelo, mientras que el Zn, Fe y pH no fueron diferentes ($P > .05$) entre estaciones (Cuadro 6). Asimismo, hubo efecto significativo ($P < .05$) de la interacción explotación*época sobre el nivel de P, Ca, Mg, K, Fe y MO (Cuadro 5).

Cuadro 5 . Niveles de significancia para los efectos de explotación, época y la interacción explotación * época sobre la concentración mineral en suelos de la zona de Tenango del Valle, México.

Efectos	Mineral								
	P	Ca	Mg	K	Zn	Cu	Fe	pH	MO
Explotacion	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Epoca	**	**	**	**	ns	*	+	+	**
Expl * Epoca	**	**	**	**	ns	ns	**	ns	**

+ = significativo a ($P < .10$)
 * = significativo a ($P < .05$)
 ** = significativo a ($P < .01$)
 ns = no significativo ($P > .10$)

Cuadro 6. Valores medios de minerales, pH y MO en suelos en la zona de Tenango del Valle, México durante dos épocas.

Epoca	Mineral								
	P	Ca	Mg	K	Zn	Cu	Fe	pH	MO
	(ppm)								
Secas	10.3x	2257.1x	100.6x	135.5x	2.28x	0.87x	80.7x	6.0x	11.7x
Lluvias	25.9y	1574.5y	618.9y	289.3y	2.88x	1.026y	66.8x	5.9x	7.7y
ESMI	1.35	56	29	22	0.3	0.05	5	0.06	0.6

lError estándar de la media.

xyvalores en la misma columna sin una literal en común son diferentes ($P < .05$).

El nivel de P en las explotaciones varió de 1.80 a 47.40

ppm. Los valores medios de P en las explotaciones 1, 3 y 6 se consideran deficientes. El 55 % de las muestras analizadas tuvo concentración menor al nivel mínimo necesario (25 ppm). Lo anterior puede explicarse por la clase de suelo, características de su capacidad de uso, topografía, grado de erosión y altitud. El valor medio de la zona fue similar al reportado por López (1990), pero muy superior al encontrado por Barradas (1980), Méndez (1989) y Rodríguez (1990) en otras regiones del país.

Los valores de Ca fueron diferentes entre explotaciones ($P < .05$). Si consideramos un valor crítico de 900 ppm de Ca como lo indica Tavera (1985) su nivel estaría elevado para la zona, particularmente en las explotaciones 4 y 5, las cuales también presentaron el nivel más alto de P, pero si tomamos el nivel de 140 ppm de Ca reportado por Breland (1976) como valor medio las concentraciones estarían sumamente elevadas. Estos resultados pueden deberse al origen calcáreo de los suelos de la zona (SPP, 1981). Los valores observados son similares a los encontrados por Mejía (1984), Mejía (1986) y López (1990), pero inferiores que los reportados por Barradas (1980) y Méndez (1989).

Con respecto al Mg, los suelos de las explotaciones 1, 2, y 3 mostraron niveles adecuados, por lo que se consideran muy buenos según Tavera (1985), pero en el resto se observó un exceso de Mg en los suelos. Así, los valores medios de las tres primeras fincas son similares a los reportados por Gámez (1977), Barradas (1980), Súmuano (1987) y Rodríguez (1990), mientras que los valores de las tres siguientes son similares a lo reportado por

Méndez (1989). Los niveles son considerados suficientes para el crecimiento de las plantas (Valdes et al., 1985).

Los valores medios de K oscilaron de 96 a 520.8 ppm, sólo la explotación 4 fue diferente ($P < .05$) al resto. Los valores se consideran de buenos a muy buenos (DeSousa, 1978), sin embargo, el 12 % de las muestras fue deficiente en K. Estos resultados son similares a los reportados por Barradas (1980), Jerez (1982), Mejía (1986) y Súmuano (1987), pero superiores a los reportados por López (1990).

El Zn fue deficiente en las explotaciones 2, 3, y 6, por lo que el 56 % de las muestras tuvo niveles menores a 2 ppm, lo cual según (McDowell, 1985b) puede predisponer a deficiencias de Zn en los animales. Sólo la explotación 4 fue diferente ($P < .05$) al resto. Barradas (1980), Méndez (1989) Rodríguez (1990) y López (1990) reportan valores similares a los del presente estudio.

En lo referente al Cu, las concentraciones promedio por explotación variaron de 0.240 a 2.050 ppm, observándose diferencias ($P < .05$) entre explotaciones. Los suelos de las explotaciones 1, 2 y 3 fueron deficientes en Cu. Así, el 48 % de las muestras analizadas tuvo valores inferiores a 0.6 ppm. Según Tavera (1985) sólo la finca 6 tendría suelos con nivel bueno de Cu.

Según los resultados obtenidos con respecto al Cu, en las explotaciones 5 y 6 habría poca probabilidad de que se presentara una deficiencia del elemento en los animales (McDowell, 1985b), a diferencia de las fincas 1, 2, 3 y 4 donde el riesgo

sería alto. Una de las posibles razones de las concentraciones bajas de cobre en los suelos de la zona, podría ser el exceso de Ca, lo cual promueve la presencia de carbonatos en la raíz de la planta, precipitando el Cu en solución (Kabata-Pendias y Pendias, 1986). Por otro lado, Miller et al. (1981) mencionan que más del 50 % del Cu total en los suelos se encuentra libre y en forma no extractable, y que una fracción esta asociada a óxidos de Fe y otra se une a la MO.

El promedio general del valor del Cu en los suelos de la zona es similar al reportado por Mejía (1984), Súmuano (1987) y Rodríguez (1990), inferior al de Mier y Teran (1977) y Barradas (1980), pero superior al de Méndez (1989) y López (1990).

El contenido de Fe varió de 32 a 163 ppm, encontrándose diferencias ($P < .05$) entre explotaciones. Los resultados indican un exceso de Fe en la zona, principalmente en las explotaciones 4 y 6. Los valores son superiores a los requerimientos de las plantas forrajeras (Valdes et al., 1985). Los niveles son similares a los reportados por Barradas (1980), Mier y Teran (1977), pero superiores a los encontrados por Mejía (1986), Méndez (1989) y López (1990).

Los valores de pH fueron diferentes ($P < .05$) entre fincas. El promedio general para la zona fue de 5.9, considerandose como medianamente ácido Moreno (1978), por lo que no es óptimo para el crecimiento del pasto (Tavera, 1985). Este valor está fuera del rango de 6.5 a 7.0 aceptado como óptimo (Reid y Horvath,

1980). Según la clasificación de Moreno (1978) el pH de la explotación 1 es muy fuertemente ácido, para la 2 y 3 es fuertemente ácido, para la 4 medianamente ácido, para la 6 ligeramente ácido y para la 5 muy ligeramente alcalino.

El contenido de MO en el suelo varió ($P < 0.05$) entre explotaciones. Esto se explica porque en las fincas muestreadas existen suelos volcánicos (explotaciones 1-5) y suelos no volcánicos (explotación 6). Así, según la clasificación de Stchevers *et al.* (1971) el contenido de MO en la finca 2 se considera bajo, para la 5 medio y para la 1, 3 y 4 alto, mientras que para la finca 6 se considera medio. Asimismo, las explotaciones 2 y 6 cuyos niveles de MO se consideran bajo y medio, respectivamente presentaron deficiencias de P en los suelos.

Los resultados obtenidos indican que en la zona de estudio los suelos son deficientes en P, Zn y Cu, adecuados en Mg y K, y abundantes en Ca y Fe, y que el pH es ligeramente ácido.

1.1 Efecto de época sobre el nivel mineral en los suelos.

El Cuadro 6 contiene los valores medios de minerales, pH y MO de los suelos de la zona estudiada en base a la época del año.

El contenido de P, K y Cu de los suelos fue menor ($P < .05$) en la época seca, mientras que el contenido de Ca, Mg y MO fueron inferiores ($P < .05$) en la época lluviosa. Esto puede deberse, al menos en parte, al efecto del contenido de humedad del mismo suelo en las épocas de muestreo (Beeson y Matrone, 1976). Sin

embargo, para el Zn, Fe y pH su nivel no vario ($P > .05$) entre épocas. López (1990) no observó cambios ($P > .01$) en el contenido mineral del suelo durante las estaciones lluviosa o seca.

1.2 Correlaciones entre elementos minerales del suelo.

Los coeficientes de correlación entre los minerales del suelo, pH y MO, así como la probabilidad, se indican en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación entre minerales, pH y MO del suelo, combinación de dos épocas¹.

Mineral	P	Ca	Mg	K	Zn	Cu	Fe	pH
Ca	0.190a 0.144b							
Mg	0.159 0.223	0.944 0.0001						
K	0.740 0.001	0.244 0.060	0.164 0.207					
Zn	0.589 0.001	0.361 0.004	0.275 0.033	0.564 0.0001				
Cu	0.276 0.032	0.403 0.001	0.590 0.0001	0.334 0.0089	0.162 0.215			
Fe	0.274 0.033	0.769 0.0001	0.754 0.0001	0.356 0.0052	0.612 0.0001	0.352 0.0057		
pH	0.262 0.042	0.533 0.0001	0.624 0.0001	0.141 0.279	-0.092 0.481	0.680 0.0001	0.093 0.475	
MO	-0.238 0.066	0.511 0.0001	0.349 0.0062	-0.094 0.472	0.253 0.050	-0.360 0.0046	0.474 0.0001	-0.265 0.040

¹ Número de observaciones n= 6

a Coeficiente de correlación

b Probabilidad $> |R|$ bajo H_0 : $Rho = 0$

MO = Materia orgánica

El análisis indicó que el P tuvo una correlación positiva

($P < .01$) con el K ($r = 0.74$) y Zn ($r = 0.58$), respectivamente. La relación del P con el K puede deberse al contenido de MO encontrada en los suelos, pues los suelos con alto contenido de MO son ricos en K (Tisdale y Nelson, 1975). Además la liberación de fosfatos de residuos de la MO del suelo es el factor principal que incrementa la concentración de P en el suelo durante la primavera Black, (1968).

El Ca fue el mineral que más estuvo correlacionado con el resto, su coeficiente de correlación con el Mg ($r = 0.94$) y Fe ($r = 0.76$) fue altamente significativo ($P < .0001$); con el Zn, Cu, pH y MO fue intermedia; y con el K baja. La correlación entre el Mg y los elementos Cu y Fe, y con el pH fue alta ($P < .0001$). Otras correlaciones significativas lo fueron K con Zn ($r = 0.56$; $P < .0001$), Zn con Fe ($r = 0.61$; $P < .0001$), Cu con pH ($r = 0.68$; $P < .0001$) y el Fe con la MO ($r = 0.47$; $P < .0001$). La única correlación negativa significativa fue entre el Cu y la MO ($r = -0.36$; $P < .004$).

2. Concentración mineral en los forrajes.

En el Cuadro 8 se presentan los valores del contenido mineral promedio, así como el error estándar de la media de las muestras de forraje analizadas en las 6 explotaciones. El nivel de minerales en los forrajes, así como la relación Ca:P fue diferente ($P < .05$) entre explotaciones. Se observó efecto ($P < .05$) de época sobre el contenido de P, Mg, Cu, Fe y la relación Ca:P. El efecto de la interacción explotación*época fue

significativo ($P < .05$) para P, Mg, K, Zn, Cu y Fe (Cuadro 9). Estos resultados tienen explicación, aunque parcial, por las diferencias minerales encontradas en los suelos, ya que Underwood (1981) indica que la cantidad de minerales en forraje refleja, en la mayoría de los casos, la fertilidad o pobreza del suelo donde éste crece.

La explotación 4 presentó el nivel promedio más alto de P en el forraje (0.77 %), el cual difiere ($P < .05$) del resto de las fincas. El promedio para cada explotación y en general para la zona fue mayor de 0.25 % de la MS, valor aceptado por el NRC (1985) como requerimiento mínimo para ovinos en crecimiento. Los valores medios de las explotaciones 2, 4 y 5 coinciden con lo que indica Underwood (1981) con respecto al reflejo de la concentración mineral encontrada en los suelos de las mismas fincas. Sin embargo, para los ranchos 1, 3 y 6 se esperaría una deficiencia de P en los forrajes, situación que no se presentó en dichos pastos. Parte de esta contradicción entre niveles de P en el suelo y niveles en el forraje puede deberse al efecto de pH y MO observados en los suelos, al diferente nivel crítico de P en suelo sugerido por autores diversos, interrelaciones entre minerales. Además, debe considerarse el efecto posible del método de muestreo utilizado sobre el contenido de P cuantificado en los forrajes.

Los valores del presente estudio son superiores que los reportados por Barradas (1980), Jerez (1982), Méndez (1989), López (1990) y Rodríguez (1990).

Cuadro 8. Valores medios de minerales en forrajes de 6 explotaciones de ovinos, en Tenango del Valle, México.

Expl	Mineral							
	P	Ca	Mg	K	Ca:P	Zn	Cu	Fe
	----- (%)			-----		----- (ppm)		
1	0.43b	0.45ab	0.09c	1.30bc	1.24ab	26.95ab	2.62b	520.5bc
2	0.43b	0.42ab	0.11bc	1.1bcd	1.01bc	29.70ab	1.49cd	679.8ab
3	0.35b	0.47a	0.13b	1.37b	1.43a	25.95ab	1.46cd	679.90ab
4	0.77a	0.40ab	0.19a	2.82a	0.70c	34.11a	4.02a	371.10c
5	0.47b	0.34b	0.17a	0.86cd	0.84c	30.24ba	2.34bc	806.71a
6	0.42b	0.42ab	0.17a	0.76d	1.17ab	19.84b	1.13d	255.32c
ESM10.04	0.04	0.01	0.15	0.11	3.8	0.30	90	
+	0.25	0.30	0.15	0.8	1.2:1	30	5.0	50.0
++	5(4.3)	26(21)	68(56)	31(26.3)	88(74.6)	84(70)	107(95)	5(4)

1Error estándar de la media.

+ Requerimientos para crecimiento, McDowell *et al* (1977); (NRC, 1985).

++ Número y porcentaje de muestras deficientes.

abcdvalores en la misma columna sin una literal en común son diferentes ($P < .05$)

El contenido de Ca en todas las explotaciones fue mayor de 0.3 % de la MS, por lo que se considera suficiente para el crecimiento de ovinos (NRC, 1985). Esto coincide con los valores encontrados en los suelos, pues en todos se detectó una hipercalcemia, por lo que no se esperaría deficiencia en el pasto. Sin embargo, el 21 % de los forrajes analizados fue deficiente en Ca. Estos valores son ligeramente similares a los reportados por Barradas (1980) donde algunos forrajes fueron deficientes en Ca, aún y cuando los suelos fueron calcáreos. Asimismo, los valores son superiores que los reportados por Méndez (1989), López (1990) y Rodríguez (1990). Sin embargo, los reportes son variados: Méndez (1989) encontró niveles altos de Ca en suelo y adecuados en forraje, López (1990) y Rodríguez (1990)

detectaron un exceso en suelo y también en plantas.

Cuadro 9 . Niveles de significancia para los efectos de explotación, época y la interacción explotación * época sobre la concentración mineral en forrajes de la zona de Tenango del Valle, México.

Efectos	Mineral							
	P	Ca	Mg	K	Ca:P	Zn	Cu	Fe
Explotación	**	+	**	**	**	+	**	**
Epoca	**	+	**	ns	**	ns	*	**
Expl * Epoca	**	ns	**	**	ns	**	**	*

+ = significativo a ($P < .10$)
 * = significativo a ($P < .05$)
 ** = significativo a ($P < .01$)
 ns = no significativo ($P > .10$)

Con respecto al Mg en forrajes se detectó que en las explotaciones 1, 2 y 3 su concentración fue menor a 0.15 % de la MS, considerado como deficiente, mientras que en las explotaciones 4, 5 y 6 fue inferior a 0.20 %, valor aceptado como marginalmente deficiente. Por lo anterior, el 56 % de las muestras fue deficiente, sin embargo, en los suelos, contrario a lo observado en el forraje, se detectó un ligero exceso en todas las explotaciones. Los resultados del Mg son similares a los reportados por Barradas (1980) y Rodríguez (1990), pero inferiores a lo indicado por Jerez (1982), Méndez (1989) y López (1990).

Los forrajes de las explotaciones 1, 2, 3, 4 y 5 tuvieron suficiente K para el crecimiento de los ovinos, pero en la 6, así como en el 26.3 % de las muestras analizadas hubo carencia. Los valores medios son similares a los de Barradas (1980) y Jerez

(1982), pero superiores a los de López (1990).

La relación Ca:P en los forrajes de las explotaciones 2, 4, 5 y 6 fue inferior a 1.2:1. Por lo anterior, el 74.6 % de las muestras tuvo una relación Ca:P inferior a 1.2:1. Estos resultados eran de esperarse dados los niveles de P y Ca encontrados en los forrajes. Cuando el P está elevado en relación al calcio, existen mayores posibilidades de daños renales en los borregos (NRC, 1985).

Los niveles de Zn en forrajes fueron diferentes ($P < .05$) entre fincas. Estos resultados indican que los pastos de las explotaciones 4 y 5 sí cubren los requerimientos recomendados por el NRC (1985) para ovinos en crecimiento, pero el resto presentaron concentraciones marginales, y el 70 % de las muestras puede considerarse deficiente en Zn.

El contenido de Zn en la explotación 4 fue el más elevado (34.11 ppm) y coincidió con el mayor nivel de Zn encontrado en el suelo para la misma explotación (6.530 ppm). Los resultados presentados en el Cuadro 8 indican que los niveles de Zn en el forraje reflejaron la concentración de este mineral en el suelo.

Los resultados de este estudio son similares a los reportados por Barradas (1980), Jerez (1982) y López (1990), pero inferiores a los indicados por Méndez (1989) y Rodríguez (1990).

El Cu fue el mineral que nutricionalmente llamó más la atención, éste elemento fue deficiente en todas las explotacio-

nes, pero con grado diferente ($P < .05$) entre ellas, de tal manera que el 95 % de las muestras de pasto analizadas fue deficiente.

Las fincas más afectadas fueron la 2, 3 y 6, y la menos afectada fue la 4. Los valores de Cu en forrajes, excepto para la finca 6, si coincidieron con el nivel encontrado en los suelos de la región, considerandose un buen reflejo para éste mineral, lo cual explica al menos en parte, la carencia de Cu en el forraje (Underwood, 1981).

Estos resultados son similares a los reportados por López (1990) y Rodríguez (1990), pero inferiores a los de Barradas (1980), Jerez (1982) y Méndez (1989).

Las concentraciones de Fe en los pastos variaron ($P < .05$) entre fincas, pero estuvieron muy por arriba del nivel recomendado (50 ppm) para el crecimiento de ovinos (NRC, 1985). Lo anterior puede explicarse por la naturaleza de los suelos y el alto contenido de Fe cuantificado en éstos, el cual varió de 32.06 a 163.12 ppm, cuando el nivel mínimo necesario es de 4.5 ppm (Valdes et al., 1985). A pesar de lo anterior, el 4.3 % de las muestras de pasto analizadas fue deficiente. En las explotaciones 4 y 6 se detectó el mayor nivel de Fe en suelo, pero presentaron los niveles más bajos en el forraje. Los valores de este estudio difieren de los reportados por Barradas (1980) y Jerez (1982), ellos encontraron concentraciones más cercanas a lo normal, mientras que López (1990) reportó valores diferentes a los indicados aquí, pero deficientes (menos de 36 ppm en pastos).

2.1 Efecto de época del año sobre las concentraciones minerales en forraje.

En el Cuadro 10 se presentan las concentraciones medias de minerales y su error estándar de forrajes de la zona de estudio, durante dos épocas del año.

Cuadro 10. Valores medios de minerales en forrajes de la zona de Tenango del Valle, México durante dos épocas.

Epoca	Mineral							
	P	Ca	Mg	K	Ca:P	Zn	Cu	Fe
	-----	-----	(%)-----	-----		-----	(ppm)-----	-----
1	0.40x	0.44x	0.16x	1.36x	1.24x	27.35x	1.87x	263.15x
+	3(5.3)	6(10)	28(49)	11(19)	38(67)	44(73)	55(98)	4(7)
2	0.55y	0.39x	0.13y	1.41x	0.91y	28.30x	2.46y	851.54y
+	2(3.3)	20(30)	40(63)	20(33)	50(82)	40(74)	52(91)	1(1.6)
ESM30.02	0.02	0.006	0.09	0.06	2.2	0.17	52	

1= Secas 2= LLuvias

+ Número y porcentaje de muestras deficientes por época.

3Error estándar de la media.

xyvalores en la misma columna sin una literal en común son diferentes ($P < .05$).

Las concentraciones de P, Mg, Cu, Fe y relación Ca:P fueron diferentes ($P < .05$) entre épocas, mientras que las de Ca, K y Zn no variaron ($P > .05$). Estas diferencias pueden explicarse, al menos parcialmente, por los efectos estacionales debidos al clima, maduración del pasto y especies vegetales de la zona.

La concentración de P fue menor en la época seca, en la cual el forraje está más lignificado y senescente, y hay una traslocación de nutrientes hacia el sistema radicular (Gomide, 1976). Los valores medios de la zona para cada época se consideran elevados, y no coinciden con lo reportado por Kalmbacher *et al.* (1984) y

López (1990) ya que indican niveles menores en ambas épocas, sin variación estacional significativa ($P > .01$).

El contenido de Ca en forrajes fue similar ($P > .05$) para las épocas seca y lluviosa (0.44 a 0.39 % de la MS, respectivamente). Lo anterior puede ser causado por la relativa baja movilidad del Ca en los forrajes (Gomide, 1976). Estos valores son inferiores a los reportados por López (1990), pero coinciden en no tener un efecto de época en la concentración de Ca en los pastos.

El Mg fue superior en la época de secas, pero en ambas estaciones se observó una deficiencia del elemento, sus valores medios fueron 0.16 y 0.13 % para las estaciones de secas y lluvias, respectivamente, y no cubren las necesidades del animal. Valores similares (0.13 y 0.11 % de Mg) reportaron Greene et al. (1987) para pastos durante las estaciones fría y cálida, respectivamente. Los valores de este estudio son inferiores a los de López (1990) y no coinciden con lo generalmente aceptado, de que el contenido de Mg depende de la relación verde:seco del pasto, pues el nivel fue superior ($P < .05$) en la época de secas.

El K no fue afectado ($P > .05$) por la estación del año, sus valores medios fueron adecuados para el crecimiento de animales en ambas épocas. Numéricamente el K fue mayor en la época de lluvias, lo cual se explica por los niveles de humedad del suelo (Loneregan, 1973) y por su mayor contenido de K en el suelo durante esta época. Los valores de K de este estudio son superio-

res a los reportados por López (1990).

La relación Ca:P fue más afectada durante la época de lluvias, esto debido a una mayor concentración de P en el pasto durante este tiempo.

El Zn no mostró variación ($P > .05$) entre épocas, su nivel fue adecuado en las dos estaciones. Sin embargo se observó un valor numérico mayor durante las lluvias. Esto coincide con lo indicado por Greene et al. (1975), quien menciona que al inicio del crecimiento el Zn se concentra en el material vegetativo y después, debido a la floración, se distribuye a otras partes.

Los valores medios de Cu difirieron ($P < .05$) entre épocas, en ambas fueron deficientes, pero principalmente durante la estación seca (el 98.2 % de las muestras analizadas fue deficiente). Lo anterior puede explicarse debido a que durante el crecimiento el Cu se concentra en la base de los tallos y hojas, pero en la floración de trasloca hacia la parte aérea, por lo que la concentración de Cu en hojas disminuye linealmente con la madurez (Jacques et al., 1975). Estos resultados concuerdan con los de Thiel y Finek (1973), quienes mencionan que la deficiencia de Cu en el forraje es un reflejo de la deficiencia de Cu del suelo. Estos valores son similares a los reportados por López (1990) en épocas de seca y lluvia.

El Fe fue el elemento con una hiperconcentración en las plantas, aunque se observó un efecto ($P < .05$) de estación, en ambas épocas se encontró muy elevado (263.15 y 851.54 ppm),

principalmente en la época de lluvia. Los niveles son considerados muy elevados con respecto al requerimiento de las plantas forrajeras y de los rumiantes. La mayor concentración en la época de lluvia se explica, porque durante el desarrollo vegetativo hay una acumulación de Fe, la cual disminuye con la madurez. En general el exceso de Fe cuantificado en los pastos se debe a la alta concentración del mineral identificada en los suelos de la zona. Los resultados del presente estudio son muy superiores a los reportados por otros autores (Barradas, 1980; Jerez, 1982; López 1990), pero similares a los reportados por Súmuano et al. (1988).

Los datos indican que durante la época de secas los forrajes fueron deficientes en Zn y Cu, adecuados en Ca, Mg y K, y abundantes en P y Fe; mientras que en la de lluvias hubo carencia de Mg, Zn y Cu, suficiente Ca y K, y más abundancia de P y Fe.

2.2 Correlaciones entre minerales del forraje

Los coeficientes de correlación y su probabilidad entre minerales del forraje se presentan en el Cuadro 11.

Una correlación positiva significativa ($P < .0001$) se observó entre el P y los elementos K ($r = 0.63$) y Cu ($r = 0.73$), mientras que entre el P y Ca:P hubo una correlación negativa cuyo coeficiente fue -0.56 ($P < .0001$). La correlación del P con el K y Cu del forraje puede explicarse por la relación que guardan los tres elementos con respecto a la MO, pues como se mencionó anteriormente la MO libera fosfatos que la planta absorbe,

los suelos con alto contenido de MO son ricos en K, el cual es absorbido por la raíz de la planta, y el Cu esta unido a la MO del suelo. Sin embargo, hay reportes de suelos deficientes en Cu cuyo contenido de MO era alto Boyd y Knezer (1972). Algo similar ocurrio en el presente trabajo.

Cuadro 11. Coeficientes de correlación entre minerales del forraje, combinación de dos épocas¹.

Mineral	P	Ca	Mg	K	Ca:P	Zn	Cu
Ca	-0.1022a 0.270b						
Mg	0.199 0.030	0.42 0.0001					
K	0.638 0.0001	0.149 0.105	0.411 0.0001				
Ca:P	-0.567 0.0001	0.693 0.0001	0.125 0.177	-0.154 0.099			
Zn	0.151 0.110	0.239 0.0085	0.213 0.022	0.152 0.108	-0.054 0.569		
Cu	0.730 0.0001	0.012 0.896	0.137 0.152	0.538 0.0001	-0.393 0.0001	0.141 0.140	
Fe	0.147 0.122	-0.179 0.051	-0.173 0.065	-0.142 0.136	-0.299 0.0014	0.024 0.788	0.187 0.052

¹ El número de observaciones varió de 108 a 126.

a Coeficiente de correlación; b Probabilidad > |R| bajo Ho: Rho = 0

El Ca, excepto con el Mg ($r = 0.42$) y Ca:P ($r = 0.69$) ($P < .0001$), estuvo poco correlacionado con el resto de minerales.

La relación entre el Ca y el Mg se explica porque la disponibilidad del Mg para la planta depende parcialmente del nivel de Ca y pH del suelo, así, al aumentar el Ca en un medio ácido se favorece el paso del Mg hacia la raíz Elkins y Hoveland (1977).

Otras correlaciones positivas ($P < .0001$) de magnitud media fueron entre el Mg con K ($r = 0.41$) y K con Cu ($r = 0.53$), mien-

tras que Ca:P con Cu mostró una correlación negativa media ($r = -0.39$; $P < .0001$).

En general se observaron menos correlaciones entre minerales del forraje que las encontradas entre los minerales del suelo.

3. Concentración mineral en las fuentes de agua.

En el Cuadro 12 se presentan los niveles de minerales en el agua de bebida de cada explotación durante las dos estaciones, así como el promedio general.

El contenido de Ca fue menor en las explotaciones 1 y 3 durante las dos épocas, mientras que el promedio para la estación de secas fue mayor (16.032 vs 9.81 mg/l) que en la de lluvias. Estos valores son inferiores a los reportados por (NRC, 1974; Méndez, 1989; Rodríguez, 1990). La baja concentración de Ca en el agua de las explotaciones mencionadas puede deberse a que es agua corriente que proviene directamente del volcán Xinantécatl, mientras que en las otras fincas es de pozos. Asimismo, el nivel de Mg, K y Na fueron inferiores en las explotaciones 1 y 3, y al igual que para el Ca el promedio de la zona fue mayor durante la estación de secas. El nivel fue inferior que lo reportado por Méndez (1989) y Rodríguez (1990).

La excepción fue el Cl, ya que los niveles variaron poco entre explotaciones, al igual que la concentración promedio durante las dos épocas de muestreo.

Cuadro 12. Concentración mineral en muestras de agua durante dos épocas, en 6 fincas ovinas de la zona aledaña a Tenango del Valle, México.

=====					
Explotac.	Ca	Mg	Mineral (mg/l)		Cl
			K	Na	
Secas					
1	3.41	0.73	2.35	3.22	70.90
2	12.83	5.47	5.08	16.55	53.18
3	4.61	1.46	3.13	6.90	53.18
4	47.70	6.69	9.38	40.92	70.90
5	17.03	8.15	4.69	7.13	70.90
6	10.62	5.23	3.13	8.97	70.90
X	16.03	4.62	4.63	13.95	64.99
LLuvias					
1	4.01	0.85	2.35	3.68	70.90
2	11.02	5.12	4.30	14.94	88.63
3	3.01	0.49	2.74	5.29	70.90
4	15.63	7.17	4.30	14.48	53.18
5	17.03	8.39	4.30	14.48	70.90
6	8.22	4.86	2.35	8.97	53.18
X	9.82	4.48	3.39	10.31	67.95
Promedio					
1	3.71	0.79	2.35	3.45	70.90
2	11.92	5.29	4.69	15.75	70.90
3	3.81	0.97	2.93	6.09	62.04
4	31.66	6.93	6.84	27.70	62.04
5	17.03	8.27	4.50	10.81	70.90
6	9.42	5.05	2.74	8.97	62.04

X-G	12.93	4.55	4.01	12.13	66.47

*	57.10	14.30	4.30	55.10	478.00

X-G = Promedio general.

* Composición promedio en aguas de E.U. (NRC, 1974).

Los datos indican que en general, los minerales analizados en el agua de bebida contribuyen con menos del 2% de los requerimientos de ovinos en ambas épocas del año. Estas concentraciones minerales en el agua de bebida son considerablemente inferiores al promedio reportado en las aguas de Estados Unidos de Norteamérica, con excepción del potasio (Shirley, 1978;

Shirley, 1985).

4. Concentración mineral en suero sanguíneo de ovinos.

En el Cuadro 13 se presentan los valores medios del contenido mineral en suero de ovinos. Los datos están ordenados por explotación e incluyen información de las dos clases de animales y de las dos estaciones del año. Asimismo, en el Cuadro 14 se presenta la significancia de los efectos de los factores principales e interacciones sobre la concentración mineral en suero.

Cuadro 13. Concentración mineral promedio de dos épocas en suero sanguíneo de ovinos de seis explotaciones, en la zona aledaña a Tenango del Valle, México.

Expl	Mineral							
	P	Ca	Mg	K	Ca:P	Zn	Cu	Fe
	-----	(mg/100 ml)	-----			-----	(g/ml)	-----
1	10.06a	10.94c	2.44c	27.34a	1.14a	1.91ab	0.53b	25.30a
2	10.24c	10.50c	2.07d	25.80a	1.25a	1.73ab	0.56ab	12.80b
3	10.60bc	11.50ab	2.62bc	27.78a	1.33a	1.90ab	0.63a	8.73b
4	12.20abc	11.89a	2.60bc	27.15a	1.06a	1.43b	0.57ab	4.61b
5	13.45ab	11.30abc	2.67ab	28.20a	1.07a	1.46b	0.28c	5.19b
6	12.98abc	11.37ab	2.88a	27.90a	1.12a	2.03a	0.62a	7.41b
ESM1	0.99	0.28	0.07	1.10	0.12	0.18	0.028	4.0
+	12.56	11.24	2.54	27.3	1.16	1.74	0.53	10.67
++	6.5	9	2	20	2:1	0.6	0.65	1.0
+++	34	46	48	44	119	26	187	3
(%)	(14.0)	(19.0)	(20)	(18.3)	(49.6)	(11.0)	(78.0)	(1)

lError estándar de la media.

+ Promedio global.

++ Nivel normal McDowell (1985); (Georgievskii *et al.*, 1982; NRC, 1985)

+++ Número y porcentaje de muestras deficientes

n = Los datos representan 40 muestras por cada explotación

abcdvalores en la misma columna sin una literal en común son diferentes
(P < .05)

El P fue afectado significativamente (P< .05) por la explotación y edad, mientras que para el Ca hubo un efecto significativo

($P < .05$) de la explotación, época, y de las interacciones explotación*época, edad*época y explotación*edad*época. También hubo efecto significativo ($P < .05$) de la explotación, época, y de las interacciones explotación*edad, explotación*época y edad*época sobre el contenido de Mg en suero. En cuanto a K, su nivel fue afectado significativamente ($P < .05$) por la edad, época y las interacciones explotación*época y edad*época. La relación Ca:P fue afectada ($P < .05$) por la edad, época y la interacción explotación*edad*época, mientras que el Zn sólo se vio afectado ($P < .05$) por la época y la interacción edad*época.

Cuadro 14. Niveles de significancia para los efectos de explotación, edad, época y las interacciones explotación*edad, explotación*época, edad*época y explotación*edad*época sobre la concentración mineral en suero sanguíneo de ovinos, de la zona de Tenango del Valle, México.

Efectos	Mineral							
	P	Ca	Mg	K	Ca:P	Zn	Cu	Fe
Explotacion	*	**	**	ns	ns	+	**	**
Edad	**	ns	+	**	**	ns	**	*
Epoca	ns	**	**	**	**	**	*	ns
Expl * Edad	ns	ns	*	ns	ns	ns	**	ns
Expl * Epoca	ns	**	**	*	+	ns	**	ns
Edad * Epoca	+	*	*	*	ns	*	**	+
Expl*Edad*Epoca	+	**	+	+	*	ns	**	ns

+ = significativo a ($P < .10$)

* = significativo a ($P < .05$)

** = significativo a ($P < .01$)

ns = no significativo ($P > .10$)

Como se mencionó anteriormente, el Cu sobresalió bastante,

de tal manera que tanto los efectos principales, así como sus interacciones tuvieron un efecto altamente significativo ($P < .01$) sobre su concentración en el suero. Finalmente, el Fe sólo se vio afectado ($P < .05$) por la explotación y por la edad.

El contenido mineral en el suero fue diferente ($P < .05$) entre explotaciones, esto puede ser debido, al menos parcialmente, a las diferencias encontradas tanto en los forrajes como en los suelos de cada explotación de la zona, a interacciones minerales, así como al diferente grado de sobrepastoreo que se observó en cada finca.

Los ovinos con el nivel menor de P (10.24 mg/100 ml de suero) fueron de la explotación 2, mientras que los de la 5 tuvieron el nivel más alto (13.45 mg/100 ml). Como se observa, en todas las fincas los animales presentaron una hiperfosfatemia. El promedio general para la zona fue de 12.30 mg de P/100 ml de suero, valor muy superior a 6.5, que es aceptado como normal (ARC, 1980; NRC, 1985). A pesar de los altos niveles de P, el 14 % de los animales muestreados presentaron deficiencia de P. El exceso de P puede ser debido, al menos en parte, por las concentraciones del elemento en los forrajes, así como relación Ca:P. Además, las explotaciones 4 y 5 presentaron contenidos de P superiores a las concentraciones sugeridas como mínimas. Los valores de P encontrados son superiores que los reportados por De Oliveira (1977), Barradas (1980), Jerez (1982), Méndez (1989), Rodríguez (1990) y López (1990).

El contenido promedio de Ca en el suero de los animales de cada finca varió de 10.50 a 11.89 mg/ 100 ml, encontrándose diferencias entre explotaciones ($P < .05$). Las explotaciones 1 y 2 tuvieron valores similares, al igual que la 3 y 6, mientras que la mayor concentración fue para la 4.

El promedio global para la zona fue de 11.24 mg de Ca /100 ml de suero, valor ligeramente superior a 9 mg considerado como normal (ARC, 1980; Georgievskii, 1982a; NRC, 1985). Sin embargo, está dentro del rango reportado en la literatura.

Apesar de que los valores promedio para cada explotación se consideran adecuados para el crecimiento de ovinos, el 19 % de los sueros analizados fueron deficientes en Ca; un valor similar (30 %), encontró Jerez (1982) en bovinos. Sin embargo, la deficiencia de Ca no es muy común bajo condiciones de pastoreo (Underwood, 1981). La ligera hipercalcemia detectada en la mayoría de los animales puede deberse : por un lado al exceso de Ca en suelo, exacerbado quizás por contaminación del pasto con tierra y por el sobrepastoreo, por lo que el animal puede ingerir involuntariamente cantidades considerables de suelo. (Healy, 1973) indicó que bajo éstas circunstancias el consumo mineral se incrementa, principalmente en épocas de escasez de forraje (Ammerman et al., 1984).

La deficiencia de Ca detectada en el 19 % de los sueros puede explicarse por los niveles altos de P, tanto en forraje como en los animales, lo cual conduciría a un requerimiento mayor

de Ca en éstos ovinos. Los resultados del presente estudio son similares a los reportados por Barradas (1980), De Oliveira (1977) y López (1990), inferiores que lo indicado por Rodríguez (1990) y mayores que los de Jerez (1982).

La concentración promedio de Mg en los sueros de todas las fincas varió de 2.07 a 2.88 mg/100 ml, con un promedio global para la zona de 2.54 mg. Estos valores se consideran adecuados para el crecimiento normal de ovinos (NRC, 1985). Sin embargo, no coinciden con las deficiencias observadas en el forraje, ya que según el ARC (1980) del total del Mg presente en la dieta sólo el 50 % es soluble en el rumen, por lo que se esperarían concentraciones marginalmente deficientes en el animal, debido a una baja concentración de Mg disponible para la absorción (Greene et al., 1983). Una posible explicación para los niveles de Mg observados en el suero fue el exceso de Mg detectado en los suelos de la zona. También debe considerarse que el requerimiento de Mg no está bien establecido, puesto que el NRC (1985) sugiere un rango de .08 a .16% de Mg en la materia seca de los alimentos. Este rango se debe a que otros factores como N y K interfieren con el metabolismo del Mg. En este estudio, los niveles de K en los forrajes se consideran bajos, de tal manera se esperaría que el K no interfiera con el metabolismo del Mg y que aún cuando los forrajes tienen concentraciones relativamente bajas de éste mineral, se esperaría que el animal tuviese concentraciones adecuadas de Mg.

Los resultados de este estudio son similares a los observa-

dos por Barradas (1980), Jerez (1982) y Rodríguez (1990), inferiores a los de De Oliveira (1977 y Méndez (1989), y superiores a los de López (1990).

El nivel de K no fue diferente estadísticamente ($P > .05$) entre los animales de las 6 fincas. Su concentración en suero varió de 25.80 a 28.20 mg/100 ml. Estos valores son adecuados para la salud y crecimiento normal de los animales, explicándose por el contenido de K observado en los suelos, forrajes y agua de la zona. Lo anterior se basa en el principio de que conforme se incrementa el nivel de K en la dieta, hay un aumento en su absorción y por ende en el suero (Greene et al., 1983).

Los valores de K son ligeramente superiores a los reportados por Barradas (1980) y López (1990).

La relación Ca:P no varió ($P > .05$) entre explotaciones, pero no fue adecuada en ninguna de las fincas, pues el 49.6 % de las muestras analizadas tuvo una relación Ca:P inferior a 2:1.

Los valores medios oscilaron de 1.06 a 1.33 mg de Ca por 1 mg de P, considerados como inadecuados para un óptimo rendimiento del animal. La estrecha relación puede deberse al exceso de P ingerido en la dieta, lo cual ocasiona niveles elevados de P en suero. Rodríguez (1990) observó en ovinos una relación Ca:P diferente a la reportada en este estudio, sus valores fluctuaron de 2.82:1 a 9.74:1, al parecer causados por una deficiencia de P en el forraje.

El contenido de Zn en el suero varió ($P < .05$) entre fincas. Los niveles oscilaron de 1.43 a 2.03 g de Zn/ml de suero. Como puede observarse en las 6 explotaciones hubo un exceso de Zn, de tal manera que el promedio global para la zona fue de 1.74 g/ml. Este valor es ligeramente superior al rango (0.6-1.2 g/ml) considerado como normal (ARC, 1980; NRC, 1985; McDowell, 1985a). Sin embargo, el 11 % de las muestras analizadas fue deficiente en Zn. Los valores indicados aquí no se consideran un buen reflejo del Zn consumido en la dieta, pues los niveles en forraje fueron ligeramente bajos. Lo anterior tiene explicación parcial porque la concentración de Cu en el forraje fue deficiente, de tal manera que no hubo un antagonismo sobre la absorción del Zn (McDowell, 1985b).

Las concentraciones de Zn del presente estudio son similares a las reportadas por Barradas (1980), Méndez (1989) y Rodríguez (1990), pero superiores a los de Jerez (1982) y López (1990).

Con respecto al Cu, el análisis del suero indicó niveles diferentes ($P < .05$) entre explotaciones. Los valores medios para todas las fincas oscilaron de 0.28 para la finca 5 a 0.63 g Cu/ml de suero para la 3. El promedio global para la zona fue de 0.53 g/ml. Este valor se considera deficiente para mantener la salud y productividad del animal (ARC, 1980; NRC, 1985), de tal manera que el 78 % de los sueros tuvo niveles menores a 0.65 g/ml de suero. La carencia de Cu fue más severa en la finca 5.

La deficiencia de Cu en los ovinos se explica, al menos en

parte, por la deficiencia del elemento tanto en los suelos como en los forrajes de la zona, ya que de acuerdo con lo indicado por Underwood (1977) el nivel de Cu, en varios tejidos del animal, está directamente influenciado por su concentración en la dieta.

Niveles similares al presente estudio reportaron Barradas, (1980), Méndez (1989) y Rodríguez, 1990), mientras que Jerez (1982) y López (1990) indicaron valores inferiores.

El nivel de Fe varió de 4.61 a 25.30 g/ml de suero. Se encontraron diferencias ($P < .05$) entre fincas. Los valores medios de cada rancho, así como el promedio global para la zona fueron muy superiores a 1.0 g de Fe/ml, considerado como el mínimo necesario, principalmente en las fincas 1 y 2. Estos niveles se explican por la alta concentración de Fe encontrado en las plantas y suelos de la región. La literatura indica que conforme aumenta el Fe en la dieta se incrementan los niveles sérico y la saturación de transferrina.

Los resultados del suero indican que los ovinos tuvieron carencias de Cu, pero no de Ca, Mg, K y Zn, y exceso de P y Fe.

4.1 Efecto de la edad del animal sobre la concentración mineral en suero sanguíneo.

En el Cuadro 15 se presentan los valores medios de minerales en suero sanguíneo de corderos y animales adultos. Los valores por grupo de edad incluyen información de las 6 explotaciones.

Las concentraciones de P, K, Fe y principalmente Cu, así

como la relación Ca:P fueron afectadas ($P < .05$) por la edad, mientras que los niveles de Ca, Mg y Zn no fueron diferentes ($P > .05$) entre grupos de edad. Sin embargo, excepto para Cu, el contenido promedio para todos los minerales fue mayor en los corderos. A pesar esto, el análisis mineral indicó que un número mayor de corderos fue deficiente en Ca, K y Cu; además la relación Ca:P fue inferior a 1:1 en el 67 % de los corderos.

Cuadro 15. Concentración mineral promedio en suero sanguíneo de ovinos de diferente edad, en la zona aledaña a Tenango del Valle, México.

Edad	Mineral							
	P	Ca	Mg	K	Ca:P	Zn	Cu	Fe
	-----	(mg/100 ml)	-----	-----	-----	-----	(g/ml)	-----
Corderos	13.76a	11.36a	2.60a	28.70a	0.94a	1.82a	0.48a	14.42a
+	6(5.0)	25(20.8)	23(19)	23(19)	80(67)	10(8.3)	104(86.6)	8(1.6)
Maduros	10.74b	11.11a	2.49a	26.06b	1.39b	1.66a	0.57b	6.92b
+	28(23.3)	23(19)	25(21)	21(18)	39(32.5)	16(13.3)	83(69.1)	1(.83)
ESM1	0.60	0.20	0.04	0.70	0.07	0.10	0.02	2.3

+ Número y porcentaje de muestras deficientes.

lError estándar de la media.

n= 120 muestras por grupo de edad.

abvalores en la misma columna sin una literal en común son diferentes ($P < .05$).

Rodríguez (1990) reportó niveles superiores de P, Ca, Mg y Cu en ovinos jóvenes con respecto a los adultos; sin embargo, el nivel de Ca observado por éste autor fue muy superior, mientras que el de P fue inferior a los del presente estudio.

Estudios realizados en bovinos por De Oliveira (1977) indican que los animales jóvenes tuvieron mayores niveles de P y Ca; igual concentración de Mg y Fe; y menor contenido de Cu y Zn con respecto a los adultos. Asimismo, Barradas (1980) reportó niveles de P, K, Fe y Zn mayores en becerros, mientras que la concentra-

ción de Ca, Mg y Cu observada fue igual para ambas edades.

Los resultados promedio por edad indican que ambos tipos de animales presentan niveles deficientes de Cu, principalmente los corderos, niveles adecuados de Ca, Mg, K y Zn, mientras que el P y Fe se encontraron elevados.

4.2 Efecto de la estación del año sobre el nivel mineral en suero.

Las concentraciones minerales promedio en suero durante las estaciones seca y húmeda se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Concentración mineral promedio en suero sanguíneo de ovinos durante dos épocas, en la zona aledaña a Tenango del Valle, México.

Epoca	Mineral				Ca:P	Zn	Cu	Fe
	P	Ca	Mg	K				
	-----	(mg/100 ml)	-----	-----		-----	(g/ml)	-----
Secas	12.12a	12.98a	2.80a	33.40a	1.35a	2.35a	0.51a	13.09a
+	22(18.3)	3(2.5)	16(13.3)	2(1.6)	48(40)	0(0)	102(85)	1(0.8)
Lluvias	12.38a	9.49b	2.29b	21.37b	0.97b	1.14b	0.55b	8.254a
+	12(10)	43(35.8)	32(26.6)	42(35)	71(59)	26(21.6)	85(70.8)	2(1.6)
ESM1	0.60	0.20	0.04	0.7	0.07	0.10	0.02	2.3

+ Número y porcentaje de muestras deficientes.

lError estándar de la media.

n= 120 muestras por época.

abvalores en la misma columna sin una literal en común son diferentes ($P < .05$).

El nivel de Ca, Mg, K, Zn, Cu y la relación Ca:P fueron afectadas ($P < .05$) por la época del año, mientras que el contenido de P y Fe no fueron diferentes ($P > .05$) entre estaciones. Aunque los valores promedio durante la época seca indican que sólo hubo carencia importante de Cu (85 %), el 18.3 % de los animales presentaron deficiencias de P, el 13.3 de Mg y el 40 %

inadecuada relación Ca:P. En cambio en la época de lluvias un alto porcentaje de animales presentaron deficiencias de Ca (36), Mg (26.6), K (35), Zn (21.6), Cu (70.8), y el 59 % mostró baja relación Ca:P.

Como puede observarse en el Cuadro 16, con excepción de P y Cu, hubo un número y porcentaje mayores de muestras deficientes durante la estación húmeda. La explicación para estos niveles es que durante las lluvias hay más energía y proteínas disponibles en el forraje para los animales, por lo que éstos utilizan mayor cantidad de sus reservas minerales para la producción; mientras que durante la época seca, con menos forraje disponible y consecuentemente menor contenido de energía y proteína, los animales reducen la utilización de minerales (McDowell et al., 1984).

Otras razones de las diferencias entre épocas se deben, al menos parcialmente, por la concentración mineral diferente presentada por los forrajes predominantes en el momento de los muestreos y la posible ingestión mayor de suelo en secas.

Resultados similares a los del presente estudio reportó De Oliveira (1977) en bovinos. López (1990) no detectó efecto de estación ($P > .01$) en suero sanguíneo de bovinos, atribuyendolo a la similar concentración mineral observada en los forrajes consumidos por los animales en las dos épocas. Méndez (1989) reportó niveles inferiores de Cu y Zn en vacas lecheras durante la estación lluviosa.

4.3. Correlaciones entre elementos minerales en el suero sanguíneo.

Los coeficientes de correlación entre minerales del suero, así como su probabilidad se presentan en el Cuadro 17.

El P tuvo una correlación positiva ($P < .0001$) media con K ($r = 0.29$) y con Fe ($r = 0.29$), mientras que con Ca:P se observó una correlación negativa ($P < .0001$) alta, su coeficiente de correlación fue ($r = -0.55$). La correlación entre P y K en el suero puede ser un reflejo del comportamiento que tuvieron estos elementos en el suelo y forraje. Mientras que la correlación negativa del P con Ca:P se explica porque el nivel alto de P tanto en forraje como en suero redujo la relación Ca:P en 81 y 50 por ciento de las muestras de pasto y suero, respectivamente.

Cuadro 17. Coeficientes de correlación entre minerales de suero sanguíneo de ovinos, combinación de dos edades y dos épocas¹

Mineral	P	Ca	Mg	K	Ca:P	Zn	Cu
Ca	0.184a 0.004b						
Mg	0.238 0.0002	0.745 0.0001					
K	0.291 0.0001	0.654 0.0001	0.496 0.0001				
Ca:P	-0.557 0.0001	0.050 0.437	-0.076 0.240	-0.034 0.589			
Zn	0.082 0.202	0.260 0.0001	0.177 0.005	0.382 0.0001	-0.02 0.754		
Cu	-0.037 0.561	0.003 0.963	0.0218 0.736	-0.047 0.461	-0.019 0.763	0.083 0.199	
Fe	0.295 0.0001	0.0018 0.977	0.017 0.789	0.384 0.0001	-0.127 0.049	0.310 0.0001	0.036 0.574

¹ Número de observaciones $n = 240$.

a Coeficiente de correlación.

b Probabilidad $> |R|$ bajo $H_0: \rho = 0$

El Ca estuvo alta y positivamente correlacionado ($P < .0001$) con Mg ($r = 0.74$) y con K ($r = 0.65$). La relación de Ca con Mg y Mg con K no coincide con lo que indica la literatura (Elkins y Hoveland, 1977; Green et al., 1983; Minson, 1980) pues según estos autores el Ca y K deprimen la absorción del Mg por el animal.

Otras correlaciones importantes ($P < .0001$) fueron entre Mg y K ($r=0.49$), K y Zn ($r=0.38$), K y Fe ($r=0.38$), Zn y Fe ($r = 0.31$).

5. Correlaciones entre elementos minerales del suelo, forraje y suero sanguíneo.

En el Cuadro 18 se presentan los coeficientes de correlación y su probabilidad entre minerales del suelo con elementos del forraje y suero de corderos y adultos.

El P, K y Zn, así como el pH del suelo fueron los elementos que más interactuaron con otros minerales del forraje y suero. El PS tuvo una correlación positiva alta con PF, e intermedia con KF, CuF, y ZnJ. Mientras que con CaF, Ca-PF y KF se observó una correlación negativa significativa ($P < .05$). Esto último tiene explicación debido a la alta concentración de P encontrada en forraje, por lo que al existir un exceso de P se reduce el contenido de Ca en el forraje y la relación Ca-P es estrecha.

Según Tisdale y Nelson (1975) y McDowell (1985b), un alto contenido de P y Ca en suelo con pH alcalino origina la formación de fosfatos di y tricálcico, los cuales no son asimilables

por las plantas, sin embargo, el pH de los suelos en el presente estudio no fue alcalino. Por lo tanto se concluye que el exceso de P en forraje puede estar causando efectos adversos sobre otros elementos. Rodríguez (1990) encontró correlaciones negativas entre el P en suelo con Ca, Ca-P en suero y Ca, Ca-P en forraje, pero atribuidas a un exceso de Ca y pH alcalino del suelo.

Cuadro 18. Coeficientes de correlacion entre minerales del suelo con forraje y suero sanguineo de ovinos jóvenes y adultos en 6 fincas de Tenango del Valle, México.

Mineral	Suelo								
	PS	CaS	MgS	KS	ZnS	CuS	FeS	pHS	MOS
PF	0.887a			0.931	0.859	-0.530			
	0.000b			0.000	0.000	0.075			
CaF	-0.69			-0.56					0.543
	0.011			0.053					0.067
MgF		0.843	0.835				0.679	0.596	
		0.000	0.000				0.015	0.040	
KF	0.607			0.765	0.839				
	0.036			0.003	0.000				
Ca-PF	-0.86			-0.79	-0.680				
	0.000			0.000	0.013				
CuF	0.688			0.716	0.765				
	0.013			0.008	0.003				
ZnJ	0.551			-0.55					
	0.063			0.059					
CuJ								-0.557	
								0.059	
KA	-0.663								
	0.018								
ZnA				-0.603				-0.663	
				0.037				0.018	
CuA								-0.586	
								0.044	
FeA						-0.539		-0.607	
						0.070		0.036	

a = coeficiente de correlación.

b = probabilidad > |R| bajo Ho: Rho = 0

El Ca y el Mg del suelo tuvieron una correlación positiva alta con el Mg en forraje. Según Beeson y Matrone (1976), con un

pH alcalino, el Ca es antagónico del Mg y P, sin embargo, en el presente estudio la correlación no fue negativa. Esto tal vez se explique porque el pH del suelo fue ligeramente ácido.

El K en suelo mostró una correlación positiva alta con el P, Ca y Cu de los pastos, mientras que con Ca-P en forraje y Zn en corderos estuvo correlacionado negativamente. Esto puede deberse al efecto negativo del Ca sobre la absorción de cationes como K, Mg, Cu y Zn (Greulach y Adams, 1980).

El Zn en suelo afectó negativamente ($r = -0.68$, $P < .01$) la relación Ca-P en forraje. Se observó una correlación negativa media entre el Cu del suelo y el P de pastos y Fe en ovinos adultos. Se observó una correlación negativa consistente del pH del suelo con respecto al Cu en corderos y K, Zn, Cu y Fe en ovinos adultos, lo cual indica un efecto importante del pH del suelo sobre los desbalances minerales en plantas y animales.

En el Cuadro 19 se presentan las interacciones significativas entre minerales del forraje con el suero de ovinos.

El P en forraje tuvo una correlación negativa consistente, aunque media, con el Zn en suero de corderos y adultos. Asimismo, el Mg en forrajes afectó negativamente al Ca y Fe en los corderos. El Ca y P del pasto estuvo consistente y positivamente correlacionado con el Zn en los dos tipos de animales.

El Fe en forrajes fue el mineral que más interacciones negativas presentó con otros elementos: Ca, Mg, K y Zn en corde-

ros y Ca, K, y Zn en adultos, lo cual puede explicar las diferencias para estos minerales encontradas en los animales. Otra correlación negativa importante ($r = -0.527$, $P < .07$) fue entre el Cu de corderos y el P de adultos, lo cual indica que si las madres tienen un exceso de P, sus corderos serían más susceptibles a una deficiencia de Cu.

Cuadro 19. Interacciones significativas entre elementos minerales del forraje con suero de ovinos de 6 explotaciones en Tenengo del Valle, México.

Mineral	Forraje					Animal				
	PF	MgF	Ca-PF	FeF	CaJ	MgJ	KJ	Ca-PJ	ZnJ	CuJ
CaJ		-0.590a		-0.73						
		0.042b		0.006						
MgJ				-0.55						
				0.062						
KJ				-0.75						
				0.004						
ZnJ	-0.53		0.673	-0.77						
	0.07		0.016	0.003						
FeJ		-0.660								
		0.017								
PA										-0.527
										0.077
CaA				-0.66	0.819	0.64	0.724	0.625	0.632	
				0.015	0.001	0.02	0.007	0.029	0.027	
MgA					0.673	0.773				
					0.016	0.003				
KA				-0.73	0.89	0.76	0.823	0.683	0.76	
				0.006	0.0001	.04	0.001	0.014	0.004	
Ca-PA					0.661		0.618			
					0.019		0.032			
ZnA	-0.63		0.761	-0.72	0.647	0.55	0.69			
	0.026		0.004	0.007	0.022	0.06	0.012			
CuA										0.514
										0.087

a = coeficiente de correlación

b = probabilidad $> |R|$ bajo H_0 : $Rho = 0$

PS, CaS, MgS, KS, ZnS, CuS, FeS, pHS, MOS = minerales en suelo

PF, CaF, MgF, KF, Ca-PF, ZnF, CuF, FeF = minerales en forraje

PJ, CaJ, MgJ, KJ, Ca-PJ, ZnJ, CuJ, FeJ = minerales corderos

PA, CaA, MgA, KA, Ca-PA, ZnA, CuA, FeA = minerales en adultos

El contenido de Ca, Mg y K en corderos tuvo una correlación positiva importante con Ca, Mg, K, Ca-P y Zn en ovinos adultos, lo cual indica cierta relación de éstos minerales en ambos tipos de animales. Sin embargo, no se encontró ecuación para predecir la variación de la concentración de Ca en corderos.

Las ecuaciones de regresión significativas para algunos minerales en los animales son presentadas en el Cuadro 20. De éstas ecuaciones, las más sobresalientes son:

La concentración de Cu en corderos disminuye cuando el pH del suelo aumenta ($R^2 = 0.31$). Esto probablemente se debe al efecto negativo que tiene un pH relativamente alto sobre la absorción del Cu por los forrajes. De acuerdo con la información obtenida, aquellas explotaciones con mayor contenido de cobre en suelo también tenían valores de pH más altos, lo cuál ocasionó que el contenido de Cu en los forrajes de estas explotaciones fuese similar al de aquellas que tenían menor concentración de Cu en suelo y menor pH.

El efecto del pH del suelo sobre la concentración de Cu en suero también se manifestó en adultos, aunque en este caso, también el nivel de Cu en suelo estuvo relacionado positivamente con el nivel de Cu en suero.

El exceso de P en ovinos adultos está explicado ($R^2 = 0.93$) por la alta concentración de P, relación Ca:P y bajo contenido relativo de K en forraje dentro de cada época.

Cuadro 20. Ecuaciones de regresion determinadas para minerales en suero sangíneo de ovinos muestreados en Tenango del Valle, México

Ecuaciones generales:	
$Y = \beta_0 + \beta_1 x$ o $Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2$	R ²
MgJb = 33.55 - 6.75 (E) + 2.71 (CuS)	0.56
KJ = 616.87 - 152.7 (E) - 580.62 (CaF) + 14.86 (KF) + 0.026 (FeF) + 100.7 (Ca-PF)	0.99
CuJ = 0.8866 - 0.06637 (pHS)	0.31
ZnJ = 4.19 - 1.42 (E) - 0.007 (PS) - 0.00013 (MgS)	0.97
FeJ = 89.3 - 17.86 (E) + 0.0073 (MgS) - 370.67 (MgF)	0.84
Ca-PJ = 1.52 - 0.32 (E) - 0.00012 (MgS)	0.56
PA = 53.04 - 38.99 (E) + 177.34 (PF) - 15.5 (KF) + 49.4 (Ca-PF)	0.93
CaA = 28.31 - 5.19 (E) + 9.122 (PF)	0.44
CuA = 2.001 + 0.217 (CuS) - 0.273 (pHS)	0.56
ZnA = 1.71 - 0.24 (KF) - 0.0011 (FeF) + 0.84 (Ca-PF)	0.90
FeA = 25.84 - 3.17 (pHS)	0.37
asolo se presentan las regresiones significativas b consultar lista de abreviaciones. E= Época	

6. Signos clínicos observados.

Los signos clínicos observados en las explotaciones estudiadas son: alopecia, caída de lana, despigmentación generalizada y en bandas en ovinos con capa oscura, diarreas crónicas, problemas de locomoción, frecuencia cardiaca aumentada, disnea, fatiga en recorridos cortos, deformación del maxilar inferior y dentadura irregular y deformaciones en articulaciones en los animales adultos. En corderos se presenta elevada mortalidad perinatal, presentando los siguientes signos: problemas de locomoción que

avanza hasta ataxia completa presentando las cuatro extremidades flexionadas, diarreas, frecuencia cardiaca aumentada, hiperemia en conjuntiva y opacidad de la córnea.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio, mismos que fueron presentados y discutidos en éste documento, permiten emitir las conclusiones siguientes:

1. Los suelos de la zona presentaron niveles deficientes de P, Zn, y Cu; concentraciones adecuadas de Mg y K; y contenido abundante de Ca y Fe.
2. Las concentraciones de P, Ca, Zn, Cu y Fe en los suelos de la zona estuvieron más cerca de lo normal durante la estación lluviosa.
3. Los suelos de la zona presentaron un pH ligeramente ácido.
4. Los pastos tuvieron niveles deficientes de Mg, Zn y Cu; normales de Ca y K; y elevados de P y Fe.
5. Los desbalances de P, Mg, Zn, Cu y Fe en los forrajes se agravaron más durante la época de lluvias.
6. El aporte de minerales en el agua de bebida fue muy pobre en ambas estaciones.
7. Los sueros sanguíneos de los animales presentaron niveles deficientes de Cu, inadecuada relación Ca:P; concentraciones normales de Ca, Mg, K y Zn; y contenido elevado de P y Fe.
8. Los desequilibrios de Cu, Ca:P, P y Fe fueron más graves en los corderos.

9. El número y porcentaje de animales con deficiencias en Ca, K, Zn y Cu fue mayor durante la época de lluvias.
10. El nivel de Cu en suero de corderos y ovinos adultos estuvo correlacionado negativamente ($P < 0.05$) con el pH del suelo.
11. Según las ecuaciones de regresión desarrolladas, la variación del contenido de Cu en corderos puede explicarse en un 31 % por el pH del suelo, y en adultos en un 56 % por el contenido de Cu, y el valor del pH del suelo.
12. El principal problema mineral detectado es una deficiencia severa de cobre, cuyo origen parece ser una carencia natural del elemento en el suelo y forraje, exacerbada quizás por el exceso de fierro. Además, los animales presentan hiperfosfatemia cuyo origen es un contenido elevado de fósforo y una relación inapropiada de Ca:P en los forrajes.
13. Se recomienda realizar pruebas de suplementación y/o fertilización mineral en los rebaños y suelos de la zona, para evaluar el comportamiento reproductivo y productivo de los animales a través del año.

LITERATURA CITADA

- Abdelatif, A. M. M. 1968. Conditioned Hypocuprosis: Some Effects of Diet on Copper Storage in Ruminants. Agricultural Research Reports. Wageningen. p.76.
- Agricultural Research Council. 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal. England.
- Allison, L. E. 1965. Organic Carbon In: C. A. Black (Ed.) Methods of Soil Analysis, Part. II.; Am. Soc. Agron., In., Madison.
- Alloway, D. J. y A. R. Tills. 1984. Outlook Agric. 13:32-42.
- Ammerman, C.B. y S. M. Miller. 1972. Biological Availability of Minor Mineral Ions: a Review. J. Anim. Sci. 35: 681.
- Ammerman, C. B., S. M. Miller, K. R. Fick e I. S. Hansard. 1977. Contaminating Element in Mineral Suplements and Their Potential Toxicity: a Review. J. Anim. Sci. 44: 485.
- Ammerman, C. B. y P. R. Henry. 1983. Effects on Fluorides on Animals: Dietary and Mineral Supplement Considerations. In: J.L. Shupe, H.B. Peterson and N. C. leone. (eds). Fluorides: Effects on Vegetation, Animal and Humans. Pergamon Press. Utah, USA.
- Ammerman, C. B., R. Valdivia, I. V. Rosa, P. R. Henry, J. P. Feaster y W. G. Blue. 1984. Effect of Sand or Soil as Dietary Component on Phosphorus Utilization by Sheep. J. Anim. Sci. 54:1092.
- Arbiza, A. J. I. y T. J. De Lucas. 1992. Estado Actual de la Producción Ovina en México. Memoria Seminario Internacional: Avances Recientes en la Producción Ovina. C.P. Montecillos, México.
- Arevalo, G. G., Grajales, W. S. y Vargas, J. C. 1986. Cartografía y Génesis de los Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas del Area de Influencia del Nevado de Toluca. Tesis Profesional, Universidad Autónoma Chapingo., Chapingo, México.
- Aubert, H y M. Pinta. 1977. Trace Elements in Soil. Elsevier. New York, USA.
- Avila, S. H. 1990. Regionalización y Regiones de México. Serie apuntes-2. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Bales, G.L., D.W. Kellogg y N.S. Urquhart. 1978. J. Anim. Sci. 47: 561-568.

- Barradas, V. H. 1980. Interrelationships Among the Mineral Content of Soils, Forages and Cattle in the Central and Northern Regions of Veracruz, México. Thesis of Master Science. University of Michigan. USA.
- Becker, R. B. P. T. Dix Arnold, W. G. Kirt, G. K. Davies y R. W. Kidder. 1953. Mineral for Dairy and Beef Cattle. Florida, USA.
- Beeson, K.C. and G. Matrone. 1976. The Soil Factor in Nutrition Animal and Human. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- Beeson, W. M., T. W. Perry, N. L. Jacobson, K. D. Wiggers y G.N. Jacobson. 1975. Calcium in Beef and Dairy Nutrition. Animal Feed Ingredients Association. Iowa, USA.
- Black, C.A. 1968. Soil-Plants Relationships. 2nd Ed. Willey. New York, USA.
- Boyazoglu, P. A. 1973. Mineral Imbalances for Ruminants in Southern Africa. S. African J. Anim. Sci. 3:149.
- Boyd, G.E. y D.B. Knezer. 1972. Absorption Reactions of Micro-nutrients In: J.J. Morthvedt, P.M. Giordano y W. L. Lindsay (eds). Micronutrients in Agriculture Soil Sci. Soc. of Amer. Wisconsin, USA.
- Braithwaite, G.D. 1976. Calcium and Phosphorus Metabolism in Ruminant with Especial Reference to Parturient Paresis. J. Dairy Sci. Res. 43:501.
- Braithwaite, G.D. 1983. Calcium and Phosphorus Requirements of the Ewe During Pregnancy and Lactation. Br. J. Nutr. 50:723.
- Braithwaite, G.D. 1984. Changes in Phosphorus Metabolism of Sheep in Response to the Increased Demands for P Associated with an Intravenous Infusion of Calcium. J. Agric. Sci. 102:135.
- Bremner, I., B. W. Young and C. F. Mills. 1976. Protective Effect of Zinc Supplementation Against Copper Toxicosis in Sheep. Brit. J. Nutr. 36:551.
- Bremner, I., B.W. Young y C.F. Mills. 1976. Br. J. Nutr. 36:551-561.
- Bremner, I. 1970. The Nature of Trace Elements Binding in Herbage and Gut Contents. In: C. F. Mills (Ed). Trace Elements Metabolism in Animals. Edinburgh. pp. 336-369.
- Brown, R.H., R. E. Blaser y J. P. Fontenot. 1968. J. Anim. Sci. 27:562-567.

- Butler, G. W. y D. I.H. Jones. 1973. Mineral Biochemistry of Herbage. Vol. 2 In: G. W. Butler and R. W. Biley (eds). Academic Press, New York, USA.
- Carafoli, E. y M. Crampton. 1978. Regulation of Intracellular Calcium. Curr. Top. Membr. Trans. 10:151.
- Care A.D., L.E. Vowles y D.E. Ross. 1967. Factors Affecting Magnesium Absorption in Relation to the Aetiology of Acute Hypomagnesemia. J. Agric. Sci. Camb. 68:195.
- Church, D.C. y W.G. Pond. 1976. Basic Animal Nutrition and Feeding In: D.C. Church. O.B. Books. Oregon, USA.
- Cragle, A.G. 1973. Dynamics of Mineral in the Digestive Tract of Ruminant. Fed. Proc. 8:1910.
- CSTPA. Council on Soil Testing and Plant Analysis. 1980. Handbook and Reference Methods for Soil Testing. Revised Edition. University of Georgia. Athens, Georgia, USA.
- Davis, G. K. 1974. Copper and Molybdenum In: N.A.S. (eds). Geochemistry and the Environment. Vol. 1. The Relation of Selected Trace Elements to Health and Disease. Vol. 1. Washington, D.C. pp. 57-68.
- Davies, G. K. 1974. High-level Copper Feeding of Swine and Poultry and the Ecology. Feed Proc. 33:1194-1197.
- Davies, N. T., H. S. Sliman, W. Corrigan and A. Flatt. 1977. The Susceptibility of Sucking Lambs to Zinc Toxicity. Brit. J. Nutr. 38:153.
- Deluca, H.F. 1979. Vitamin D Metabolism and Function. Springer-Verlag. Berlin. 80 p.
- DeOliveira, M. M. 1977. Mineral Status of Beef Cattle in the Northern Part of Mato Grosso, Brazil, as Indicated by Age, Season, and Sampling Technique. Ph. D. Dissertation. University of Florida. Florida, USA.
- Dick, A.T., D.W. Dewey y J.M. Gawthorne. 1975. Thiomolibdates and the Copper-Molybdenum-Sulphur Interaction in Ruminant Nutrition. J. Agric. Sci. 85:567-568.
- Dillon, J. y D. Scott. 1979. Digesta Flow and Mineral Absorption in Lambs Before and After Weaning. J. Agric. Sci. Camb. 92:289.
- Dobson, A. y A.T. Phillipson. 1968. Absorption from the Ruminant Forestomach In: C.F. Code and W. Haidel (eds). Handbook of Physiology. Amer. Phys. Soc. Washington, D.C. 2761 p.

- Durand, M. y R. Kawashima. 1980. Influence of minerals in rumen microbial digestion. En: Y. Ruckebush y P. Thivend (Eds.). Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants. Press Limited, Lancaster, England. p. 375.
- Elkins, C.B. y C.S. Hoveland. 1977. Agron. J. 69:826-828.
- Egan, A. R. 1975. The Diagnosis of Trace Elements Deficiencies in the Grazing Ruminants. In: D. J. D. Nicholas and A. R. Egan (eds). Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems. Academic Press, Inc., NY, USA.
- Epstein, E. 1972. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. Wiley. New York, USA.
- Evans, G.W. 1973. Copper Homeostasis in the Mammalian System. Phys. Rev. 53:535.
- Fick, K. R., L. R. McDowell, N. S. Wilkinson, D. J. Funk, J. H. Conrad y R. Valdivia. 1979. Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales. Departamento de Ciencia Animal. Universidad de Florida, USA.
- Field, A.C. 1981. Information Needs in the Mineral Nutrition of Ruminants In: The Florida Nutrition Conference. p. 233-242.
- Field, A.C. 1984. Genetic Variation in Mineral Utilization by Ruminants and its Large Effect on Requirements pp. 71-93. In: Proc. 7th Ann. Int. Miner. Conf. Florida, USA.
- Fitzpatrick, A.E. 1984. Suelos. su Formación, Clasificación y Distribución. Continental. México, D.F.
- Fleming, G.A. 1973. Mineral Composition of Herbage. In: G.W. Butler and R. W. Bailey (eds). Chemistry and biochemistry of herbage. Academic Press. p. 529-566.
- Flores, M. R. 1988. Uso y Evaluación del Nuevo Orden Andisol (ICOMAND, 1987) en la Cartografía de los Suelos Derivados de Materiales Volcanoclásticos del Area de Influencia de Tenango del Valle, Estado de México. Tesis Profesional, Universidad Autónoma Chapingo., Chapingo, México.
- Fontenot, J. P. 1981. The Nutritive Value of and Methods of Incorporating Animal Wastes into Rations for Ruminants. In: J. T. Huber (ed.): Upgrading Residues and by-products for Animals. CRC Press. Florida, USA. 126 p.
- Gámez, G. A. 1977. Deficiencias y Toxicidades Minerales del Ganado Bovino en Pastoreo en Sabinas Hidalgo, N.L. Tesis Profesional. DCAM. ITESM. Monterrey, México.

- García, E. de M. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4 Ed. México, D. F.
- Gastorena, de A. G. 1971. Propiedades Físicas y Químicas del Suelo del Valle de Toluca. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.
- Georgievskii, V. I. 1982. General Information on Mineral. In: V. I. Georgievskii, B. N. Annenkov y V. T. Samokhin (ed). Mineral Nutrition of Animals. Butterworths, London. p. 11-56.
- Georgievskii, V.I. 1982a. The Physiological Role of Macroelements
In: V.I. Georgievskii, B. N. Annenkov and V. T. Samokhin. Mineral Nutrition of Animals. Butterworths. London. p.91-158.
- Georgievskii, V.I. 1982b. The Physiological Role of Microelements
In: V.I. Georgievskii, B. N. Annenkov and V.T. Samokhin. Mineral Nutrition of Animals. Butterworths, London. p.91-158.
- Giduck, S.A. and J.P. Fontenot. 1984. Can. J. Anim. Sci. Suppl. 64: 217-218.
- Gomide, J.A., C.H. Nolher, G.O. Mott, G.H. Conrad y D.L. Hill. 1969. Mineral Composition of Six Tropical Grasses as Influenced by Plant Age and Nitrogen Fertilization. Agom. J. 61:120.
- Gomide, J.A. 1976. Composicao Mineral de Gramíneas e Leuminosas Forajerivas Tropicales. Simposio Latinoamericano sobre Pesquisa em Nutricao Mineral en Rumiantes en Pastagens. Belo Horizonte , Brasil.
- Grace, N.D.----- The Mineral Requirements of Grazing Ruminants. Ocas. Publ. p. 56-66. N.Z. Soc. Anim. Prod.
- Grace, N.D. y J.C. McRae. 1972. Influence of Feeding Regimen and Protein Supplementation on the Sites of Need Absortion of Magnesium in Sheep. Brit. J. Nut. 27:51.
- Grace, N.D., N.J. Ulyatt y J.C. MacRac. 1974. Quantitative Digestion of Fresh Herbage by Sheep III. The Movement of Mg, Ca, P, K y Na in the Digestive Tract. J. Agr. Sci. Camb. 82:321.
- Graulach, V. A. y J. E. Adams. 1980. Las Plantas. Introducción a la Botánica Moderna. Ed. Limusa, México, D. F.
- Greene, L.W., K.E. Hebb y J.P. Fontenot. 1983. Effect of Potassium Level on Site of Absortion of Magnesium and other Macroelements in Sheeps. J. Anim. Sci. 56:1214.

- Green, L. W., W. E. Pinchak y K. K. Heitschmidt. 1987. Seasonal Dynamics of Minerals in Forages at the Texas Experimental Ranch. *J. Range Manage.* 40:502.
- Harris, W. D. y P. Popat. 1954. Determination of the Phosphorus Content of Lipids. *Am. Oil. Chem. Soc. J.* 31:124.
- Hartmans, J. 1970. De Detection of Copper Feficiency and other Trace Element Deficiencies Under Field Conditions. In: C.F. Mills (ed). *Trace Element Metabolism in Animal Symposium*. Edinburg, Scotlan.
- Hausenbuiler, I.R. 1980. *Soil Science. Principles and Practices*. 2 Ed. Wm.C. Brown Company. Iowa, USA.
- Havling, J. L. y D.G. Westfall. 1985. Potasium Release Kinetics and Plant Response in Calcareous Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:366.
- Heally, W. B. 1967. Ingestion of Soil by Sheep. *Proc. New Zeland Soc. Anim. Prod.* 27:109-120.
- Healy, W.B. 1973. Nutritional Aspects of Soil Ingestion by Grazing Animals. *Chemistry and Biochemistry of Herbage*. Vol. 1: 567. Academic Press. USA.
- Heally, W. B. 1974. Ingested Soil as a Sourse of Elements to Grazing Animals. *Trace Elements Metabolism in Animals-2*. Park Press. Baltimore, USA.
- Hernando, V., L. Jimeno y V. García. 1968. Efecto de la Humedad del Suelo en la Nutrición Mineral de la Planta. *Agrichimica*. 12:341.
- Hew, V.F., G.L. Cromwell y T. S. Stahly. 1982. The Bioavailability of Phosphorus in some Tropical Feedstuffs for Pigs. *J. Anim. Sci.* 55 (suppl. 1): 227.
- Hidiroglou, M. 1979. Trace Elements Deficiences and Fertility in Ruminants. a Review. *J. Dairy Sci.* 62:1195.
- 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 whit the Grazing of Pastures of High Molibdenum Content *N.Z.J. Agic. Res.* 14:687-701.
- Howell, J.McC. 1970. The Pathology of Swayback. pp. 103-105 In: C.F. Mills (ed). *Trace Elements Metabolism in Animals*. London.
- Huerta, B. M. 1981. Effect of supplemental mineral acid-alkali ash value on intake, digestion and nutritive value of high forage diet for sheep. *Tesis Maestría en Ciencias*. Washing-

ton State University, Pullman.

- Humphries, W. E.; I. Bremner y M. Phillippo. 1985. The influence of dietary iron on copper metabolism in the calf. En: C. F. Mills, I. Bremner y J. K. Chesters (Eds.). Trace Elements in Man and Animals: TEMA 5. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough. p. 371.
- Jacques, G. L., R. L. Vanderlip y R. Ellis, Jr. 1975. Growth and Nutrient Accumulation and Distribution in Grain Sorghum. II Zn, Cu, Fe y Mn Uptake and Distribution. Agron. J. 67:611.
- Jerez, G. M. 1982. Mineral Status of Beef Cattle in Eastern Dominican Republic. Thesis of Master of Science. University of Florida. Florida, USA.
- Jones, J.B.Jr. 1972. Plant Tissue Analysis for Micronutrients In: J.J. Mortvedt, P.M. Giordano and W.L. Lindsay (eds). Micronutrients in Agriculture. p 319-346. Soil Sci. of Amer. Wisconsin, USA.
- Kabata-Pendias, A y H. Pendias. 1986. Trace Elements in Soil and Plants. CRC, Press. Boca Ratón, Florida.
- Kalbacher, S. R., R. R. Long y F. G. Martin. 1984. Seasonal Mineral Concentration in Diets of Esophageally Fistulated Steers on Three Range Areas. J. Range Manage. 37:36.
- Kellaway, R.C.; P. Sitorus y J.M.L. Leibholz. 1978. Res. Vet. Sci. 24:352-357.
- Knight, D. D., K. C. Klasing and D. M. Forsyth. 1983. E. Coli Growth in Serum of Iron Dextran-Supplemented Pigs. J. Anim. Sci. 57:387.
- Knoll, H.A., N.C. Brady y D.J. Lathwell. 1964. Effect of Soil Temperature and Phosphorus Fertilization on the Growth and Phosphorus Content of Corn. Agron. J. 56:145.
- Komizarczuk, S., R.J. Merry, A.B. McAllan, R.H. Smith y M.Durand. 1984. Can. J. Anim. Sci. Suppl. 64:35-36.
- Kubota, J. y W.H. Allaway. 1972. Geographic Distribution of Trace Element Problems In: J.J. Mortvedt, P.M. Giordano and W.L.
- Kubota, J., E.R. Lemon y W.H. Allaway. 1963. Soil Sci. Am. Proc. 27:679-683.
- Lander, W. H. 1971. Animal Nutrition in the Tropics Problems and Solutions. J. Anim. Sci. 33:843.
- Langlands, P.J. 1966. Anim. Prod. 8:253-259.

- Langlands, P.J., J.E. Bowles, G.E. Donald, A.J. Smith y D.R. Paull. 1981. *Austr. J. Agric. Res.* 32:479-486.
- Larios, G. F., M. P. P. Lora, T. F. Trigo y D. R. E. Rodriguez. 1976. Fisiología del Ovino Tabasco o Pelibuey en Clima Subtropical A(p)C; I. Hematología y Niveles Séricos de Calcio, Fosforo y Magnesio. *Técnica Pecuaria en México. SARH. No. 30.* p. 84-89.
- Larsen, S. 1967. *Soil Phosphorus. Adv. Agrom.* 19:151.
- Leonard, C. D. 1967. *Farm Tech.*, 23: (6).
- Lindsay (eds). *Micronutrient in Agriculture.* p. 525-554. *Soil Sci. Soc. of Amer.*
- Little, D.A. 1970. Factors of Importance in the Phosphorus Nutrition of Beef Cattle in Northern Australia. *Austr. Vet. J.* 46:241.
- Little, D. A. 1972. Bone Biopsy in Cattle and Sheep, for Studies of Phosphorus Status. *Aust. Vet. J.* 48:668.
- Little, D.A. 1981. Utilization of Minerals In: J.B. Hacker (ed). *Nutritional Limits to Animal Production from Pastures. Proc. International Symposium St. Lucia, Queensland, Australia.* p. 259-283.
- Lolas, G.M., N. Palamidis y P. Markakis. 1976. The Fitic Acid Total Phosphorus Relationship in Barley, Oats, Soybeans and Wheat. *Cereal Chem.* 53:867.
- Loneregan, J.F., J.S. Gladstone y W. S. Simmons. 1968. Mineral Elements in Temperate Crop and Pasture Plants II. Calcium. *Austr. J. Agric. Res.* 20:465.
- Loneregan, J. F. 1973. Mineral Absortion and Its Realation to the Mineral Composition of Herbage In: G. W. Butler y R. W. Bailey (eds). *Chemistry and Biochemistry of Herbage. Vol. 1. Academic Press., London.* p.103-127.
- Loneregan, J. F. 1975. The Availability and Absortion of Trace Elements in Soli-Plant Systems and Their Relation to Movement and Concentration of Trace Elements in Plants. In: D. J. D. Nicholas and A. R. Egan (eds). *Trace Elements in Soil-Plant-Animal Systems. Academic Press, Inc., N Y, USA.* P.109.
- López, O. R. 1990. Concentración Mineral en Suelo, Forraje y Suero Sanguíneo de Bovinos en Choreños, Durango. Tesis de Maestría. Universidad Autonoma Chapingo. Chapingo, México.

- Loosli, J.K. 1978. Mineral Problems as Related to Tropical Climates. In: J.H. Conrad and L.R. McDowell (eds). Latin American Symposium on Mineral Nutrition Research with Grazing Ruminants pp. 5-8. Florida, USA.
- Martens, H. y Y. Rayssiguier. 1980. In: Digestive Physiology and Metabolism in Ruminants. Y. Ruckebush and Thierend (eds). pp. 447-466. AVI. Westport, Connecticut, USA.
- Mayland, H. F., G. F. Snewmaker and R. C. Buel. 1977. Soil Ingestion by Cattle Grazing Crested Wheatgrass. J. Range Manage. 20: 264.
- Mayland, H. F., A. R. Florence, R. C. Rosenau, V. A. Lazar and H. A. Turner. 1975. Soil Ingestion by Cattle on Semiarid Range as Reflected by Titanium Analysis of Feces. J. Range Manage. 28:448.
- McDowell, R. L. 1976. Mineral Deficiencies and Toxicities and their Effect on Beef Production in Developing Countries. In: A. J. Smith (ed.) Beef Cattle Production in Developing Countries. University of Edinburg. p. 216-241.
- McDowell, R. L. y J. H. Conrad. 1977. Trace Mineral Nutrition in Latin America: World Anim. Rev. 24:24.
- McDowell, R. L., J. H. Conrad, J. E. Thomas, L. E. Harris and K. L. Fick. 1977. Nutritional Composition of Latin America. Forages. Trop. Anim. Prod. 2:273.
- McDowell, R. L., R. H. Houser and K. L. Frek. 1978. Iron, Manganese and Zinc in Ruminant Nutrition. In: J. H. Conrad and R. L. McDowell (eds). Latin American Symposium on Mineral Nutrition Research and Grazing Ruminants. Florida, USA. p.108-116.
- McDowell, R. L., J. H. Conrad and J. L. Ellis. 1983. Mineral Deficiencies, Imbalances and Diagnosis. Part. II. Feedstuffs. Sept. 19:21.
- McDowell, R. L., J. H. Conrad, G. L. Ellis y J. K. Loosli. 1984. Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. Universidad de Florida y la Agencia de E. U. para el Desarrollo Internacional. USA.
- McDowell, R. L. 1985a. Detection of Mineral Status of Grazing Ruminants. In: R. L. McDowell (ed). Nutrition of Grazing Ruminant in Warm Climates. pp.339-357. Academic Press, Inc. USA.
- McDowell, R. L. 1985b. Contribution of Tropical Forages and Soil Toward Meeting Mineral Requirements of Grazing Ruminants In: R. L. McDowell (ed). Nutrition of Grazing.

- McDowell, R. L., O. Ellis y J. H. Conrad. 1985. Resumen de Diez Años de las Deficiencias Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. Reunión Latinoamericana de Producción Animal. Acapulco, México.
- Mejía, H. A. 1984. Determinación de Deficiencia y o Toxicidad de Minerales en Tres Municipios Ganaderos del Estado de Coahuila. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México.
- Mejía, H. I. 1986. Determinación de Deficiencia y o Toxicidad de Minerales en tres Municipios Ganaderos del Estado de Coahuila. II Tesis de Maestría. UAAAN, Coahuila, México.
- Méndez, E. G. 1989. Estado Mineral y Reproducción Estacional de Vacas Lecheras en Quintana Roo, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Metson, A. J. 1974. Magnesium in New Zeland. Soils I Some Factors Governing the Availability of the Soil Magnesium: a Review. N. Z. J. Exp. Agric.: 277.
- Metson, A. J., E. J. Gibson, J. L. Junt y W. M. H. Saunders. 1979. N. Z. J. Agric. Res. 22:309-318.
- Mier y Terán, P. J. E. 1977. Deficiencias y Toxicidades de Minerales del Ganado Bovino en Pastoreo en Sabinas Hidalgo, NL. Tesis Profesional, DECAM. ITESM. Monterrey, México.
- Miller, W. J. y R. G. Cragle. 1965. Gastrointestinal Sites of Absorption and Endogenous Secretion of Zinc in Dairy Cattle. J. Dairy Sci. 48:370.
- Miller, J. K., B. R. Moss, M. C. Bell y N. W. Snead. 1972. Comparison of Mo Metabolism in Young Cattle and Swine. J. Anim. Sci. 43:846.
- Miller, J. K. and P. E. Stake. 1974. Uses and Limitations of Biochemical Measurements in Diagnosing Mineral Deficiencies. In: Proc. Georgia Nutr. Conf. for Feed Industry p. 25-65.
- Miller, W. J. 1979. Copper and Zinc in Ruminant Nutrition In: B.O'Dell, E.K. Miller And W.J. Miller (eds). National Feeds Ingredients Association. 72 p.
- Miller, W. J. 1979. Dairy Cattle Feeding and Nutrition Ed. Academic Press. N.Y., USA.
- Miller, E. R., M. J. Parsons, D. E. Ullrey y P. K. Ku. 1981. Bioavailability of Iron from Ferric Choline Citrate and a Ferric Copper, Cobalt Choline Complex for Young Pigs. J. Anim. Sci. 52:783.

- Miller, E. R., G. E. Waxler, P. K. Ku, D. E. Ullrey and C. K. Whitehair. 1982. Iron Requirements of Baby Pigs Reared in Germ-Free or Conventional Enviroments on a Condensed Milk Diet. *J. Anim. Sci.* 54:106.
- Miller, W. J. 1983. Ruminants Phosphorus Requirements Involve Nutrition, Metabolism. *Feedsttufts. Vet.* 10:19.
- Mills, C. F. 1967. Trace Elements Nutrition of Dairy Herd. *J. Roy Ass. Brit. Dairy Farmers.* 68:1.
- Mills, C. F. y R. B. Williams. 1971. Problems in the Determination of the Trace Elements Requeriments of Animals. *Proc. Nutr. Soc.* 30:83.
- Mills, C. F. 1974. Trace Elements Interactions: Effect of Dietary Composition on the Development of Imbalance and Toxicity. In: W. G. Hoeskstra, J. W. Suttle, H. E. Ganther y W. Mertz (eds). *Trace Elements Metabolism in Animals-2*. University of Baltimore, USA.
- Mills, C. F. 1978. Annu. Rep. Stud. Anim. Nutr. Allied Sci. (Rowett Res. Inst.) 34:105-115.
- Minson, D. J. 1990. Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press, San Diego. 463 p.
- Mitchel, R. J., J. W. S. Rith and I. M. Jackson. 1957. Trace Elements Uptake in Relation to Soil Content. *j. Sci. Food. Agric. Suppl. Issue.* 8: p.57.
- Munson, R. D. 1978. Efficiency of Uptake of P, Interactions of P other Nutrients. In: *Phosphorus for Agriculture. A Situation Analysis* Atlanta G. A., USA. p. 12-24.
- Nason, A. y W. D. McElroy. 1966. Modes of Action of Eessential Mineral Elements. In: F. C. Steward (ed). *Plant Phisiology*. Vol. 1 Academic Press. N.Y. P.477-478.
- National Research Council. 1974. Nutrient and Toxic Substances in Water for Livestock and Poultry. National Academic Press. Washinton, D. C. USA.
- National Research Council. 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. National Academy Press. Washington. D. C. USA.
- National Research Council. 1981. Nutrient Requirements of Goats. Washington. D. C. USA.
- National Research Council. 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academy Press. Washington. D. C. USA.

- National Research Council. 1985. Nutrient Requirements of Sheep. National Academy Press. Washington. D. C. USA.
- National Research Council. 1988. Nutrient Requirements of Swine. National Academic of Sci. Washington. D. C. USA.
- National Research Council. 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academy Press. Washington. D. C. USA.
- Oberleas, D. and N. Moody. 1981. In vitro Interactions of Fytate with Trace Elements In: J. McChowell, J. M. Gawthorne and C. L. White (eds). Trace Elements in Man and Animals. Australian Academic of Sci., Camberra. p. 129. 131.
- Olsen, S. R. 1972. Macronutrient Interactions. In: J. C. Mortvedt, P. M. Giordano y W. L. Lindsay (ed.). Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. of America. Madison, Wisconsin, USA.
- Orcasberro, R., S. R. Fernández e I. Tovar. 1982. La Producción Ovina en la Zona de Río Frío, México. Memorias del Primer Sobre Sistemas de Producción Animal. UACH. Chapingo, 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.
- Peeler, H. T. 1972. Biological Availability of Nutrients in Feeds: Availability of Major Minerals Ions. J. Anim. Sci. 35:895.
- Perkin Elmer. 1976. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry: Modelo 4000, Perkin Elmer; Norwalk, Connecticut, USA.
- Pfander, W. H. 1971. Animal Nutrition in the Tropics Problems and Solutions. J. Anim. Sci. 33:843-849.
- Pond, W. G. and M. H. Wallace. 1980. Effect of Gestation-Lactation Diet Calcium and Zinc Levels and of Parenteral Vitamins A, D, and E During Gestation on Ewe Body Weight and on Lambs weight and Survival. J. Anim. Sci. 63:1019.
- Pope, A. L. 1971. A Review of Recent Mineral Research With Sheep. J. Anim. Sci. 33:1332.
- Ramber. C. F. Jr. and S. E. Olson. 1970. Fluoride Effects on Bone. Morphology and Calcium Kinetics. Fluoride 3:175.
- Ramírez, B. E. y P. J. Tórtora. 1990. La Carencia de Selenio, Principal Causa de Mortalidad en Cabritos del Valle de

Huamantla, Tlaxcala. En: Memorias de la V Reunión Nacional Caprina. Tlaxcala, México.

Ramírez, B. J. E., N. R. Velasco, B. M. Huerta y C. L. M. Hernández. 1992. Evaluación del Estado Mineral de Caprinos en dos comunidades del Estado de Tlaxcala. Memoria de la VIII Reunión Nacional de Caprinocultura. Oaxaca, México.

Reuter, D. J. 1975. The Recognition and Correction of Trace Elements Deficiencies: In: D. J. Nicholas and A. R. Egan (eds). Trace Elements in Soil - Plant - Animal Systems. Academic Press. N.Y. USA. p. 291.

Reith, J. W. S. 1970. Soil Factors Influencing the Trace Elements Content of Herbage. In: C. F. Mills (ed). Trace Elements Metabolism in Animals. Symposium Edinburg; Scotland. p. 410-412.

Reid, R. L., G. S. Jung, C. H. Wolf and R. E. Kocher. 1979. Effects of Magnesium Fertilization on Mineral Utilization and Nutritional Quality of Alfalfa for Lambs. J. Anim. Sci. 48:1191.

Reid, R. L. and D. J. Horvath. 1980. Soil Chemistry and Mineral Problems in Farm. Livestock. A Review Anim. Food Sci. and Tech. 5:95.

Ricketts, R. E., J. R. Cambell, D. E. Weimnan and M. E. Tumbleson. 1970. Effect of Three Calcium: Phosphorus. Ratios of Performans og Growing Holstein Steers. J. Dairy Sci. 53:898-903.

Rodriguez, G. O. 1990. Evaluación del Estado Mineral de Ovinos Pastoreando Vegetación Natural en Venado, San Luis Potosí. Tesis Prof. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx.

Rosa, I. V. 1980. Dietary Phosphorus and Trace Elements Interrelationships in Ruminant. Ph. D. Disertation, University of Florida, USA.

Rook, J. A. F. and J. E. Storry. 1962. Magnesium in the Nutrition of Farm Animals. Nutr. Abst. and Rev. 32:1055.

SARH. 1990. Econotécnia Agrícola.

SAS. 1985. SAS User's Guide: Statistics SAS Inst. Inc., Cary, NC.

Sauders, W. M. H. y A. J. Metson. 1971. Seasonal Variation of Phosphorus in Soil and Pasture. N. Z. J. Agric. Res. 14:307.

Shirley, R. L. 1978. Water as Source of Minerals. In: J. H. Conrad and L. R. McDowell (eds). Latin American Symposium on Mineral Nutrition Research With Grazing Ruminants. Florida,

- Shirley, L. R. 1985. Water Requirements of 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. p. 37-57.
- Shirley, R. L. y J. L. Montesinos. 1978. El agua como fuente de minerales: En: L. R. McDowell y J. H. Conrad (Eds.). Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo. Universidad de Florida, Gainesville, Florida. p. 47.
- Sousa, J. C. 1978. Interrelationships Among Mineral Levels in Soil, Forage and Animal Tissues on Ranches in Northern Mato Grosso, Brasil. PhD Dissertation. University of Florida. USA
- SPP. 1981. Síntesis Geográfica del Estado de México. Coordinación General de Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F.
- Standish, J. F. y C. B. Ammerman. 1971. Effect of Excess Dietary Iron as Ferrous Sulfate and Ferric Citrate on tissue Mineral Composition of Sheep. J. Anim. Sci. 33:481
- Steel, R. G. D. y J. H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical Approach (2a Ed.). Mc Graw Hill Book Co. N.Y., USA.
- Stevenson, F. J. and M. S. Ardakani. 1972. Organic Matter Reactions Involving Micronutrients in Soils. In: J. J. Mortvedt, P. M. Giordano and W. L. Lindsay (eds). Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. of Amer. 1: pp. 79-114.
- Súmuano, M. A. 1987. Concentración Mineral en Agua, Suelo, Forraje y Ganado Bovino en la Región Sur del Estado de Coahuila. Tesis Profesional. UAAAN. Coahuila, México.
- Súmuano, J. M. A., D. Rodríguez, J. Rodríguez y R. Vázquez. 1988. Concentración Mineral en Agua, Suelo, Forraje y Ganado Bovino en la Región Ganadera del Sur de Coahuila. Tesis Profesional., UAAAN. Coahuila, México.
- Suttle, N. F. 1975a. The Role of Organic Sulphur in the Copper Molybdenum Sulphur Interrelationships in Ruminant Nutrition. Br. J. Nutr. 34:411-420.
- Suttle, N. F. 1975b. Trace Elements Interactions in Animals In: D. J. D. Nicholas and A. R. Egan (eds). Trace Elements in Soil-Plant-Animals Systems. Academic Press, Inc., N.Y., USA.
- Suttle, N. F. 1987. Res. Vet. Sci. 42:219-223.

- Tavera, G. 1985. Criterios para Interpretación y Aprovechamiento de los Reportes de Laboratorio para las Areas de Asistencia Técnica. Publ. No. 3., Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo., La laguna , Coahuila, México.
- Tergas, L. E. and W. G. Blue. 1971. Nitrogen and Phosphorus in Jaragua Grass (Hyparrhenia rufa, nass stapf) During the Dry Season in a Tropical Sabana affected by Nitrogen Fertilization: Agrom. J. 63:6.
- Thiel, H. y A. Fink. 1973. Ermittlung Von Grenzwerten Optionaler Kupfer - ver - sorgung fürHafer and Summergesthe. Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd. 134:107-125 (Abstr).
- Thornton, I. and J. S. Webb. 1970. Geochemical Reconnaissance and the Detection of Trace Elements Disorders in Animals. In: C. F. Mills (ed). Trace Elements Metabolism in Animals Symposium. Edinburgh, Scotland. pp.379-409. and
- Tisdale, S.L. y W. L. Nelson. 1975. Soil Fertility and Fertilizers. Mcmillan Pub. Co. N.Y., USA.
- Todd, J.R. 1967. Grass Tetani. Vet. Rec. 81:6.
- Tylor, A. W. 1974. Invitro Phosphate Transport in Chick Ileum: effect of cholecalciferol, calcium, sodium and metabolic inhibitors. J. Nutr. 104:489.
- Tylor, T. G. 1979. Availability of Phosphorus in Animal Feeds. Proceedings of the 13th. Nutrition Conference for Feed Manufacturers. University of Nottingham. 23 p.
- Underwood, E. J. y M. Somers. 1969. Studies of Zinc Nutrition in Sheep. I The Relation of Zinc to Growth, Testicular Development and Spermatogenesis in Young Rams. Austr. J. Agric. Res. 20:889-897.
- Underwood, E. J. y W. Mertz. 1987. Introduction. En: W. Mertz (Ed.). Trace Elements in Human and Animal Nutrition. 5th Ed. Academic Press, Inc. San Diego. p. 1
- Underwood, E. J. 1975. Trace Elements and Their Physiological Roles the Animals. In: D. J. D. Nicholas and A. R. Egan (eds). Trace Elements in Soil-Plant-Animals Systems. Academic Press. N. Y., USA. pp. 227-241.
- Underwood, E. J. 1977. Trace Elements in Human and Animal Nutrition. Ed. Academic Press. N.Y., USA.
- Underwood, E. J. 1981. Los Minerales en la Alimentación del Ganado. Ed. Acibia. España.
- Valdes, J. L., L. R. McDowell, M. Roger, G. L. Ellis y J. H.

- Conrad. 1985. Estado y Suplementación mineral del ganado en pastoreo en la costa sur de Guatemala. ALPA (resumen) Acapulco, México. p.26.
- Van Soest, P. J. 1982. Nutritional Ecology of the Ruminants. 2a. Edición. O. B. Books. Oregon, USA.
- Viets, F. G. y W. L. Lindsay. 1973. Testing Soil for Zinc, Copper, Manganese, and Iron. In: L. M. Walsh and J. D. Beaton. (Eds.). Soil Testing and Plant Analysis. Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison, W. I.
- Wayne, C. C. 1964. Symposium on Nutrition of Forages and Pastures: Collecting Forages Samples Representative of Ingested Material of Grazing Animals for Nutritional Studies. J. Anim. Sci. 23:(1) p. 265-270.
- Wallace, A., R. T. Mueller and G. V. Alexander. 1978. Influence of Phosphorus on Zinc, Iron, Manganese, and Cooper Uptake by Plants. Soil Sci. 126:336.
- Warncke, D. D., D. R. Christenson and R. E. Lucas. 1976. Fertilizer Recomendations for Vegetable and Field. Crops. (for Michigan) Farm Sci. series. Michigan, USA.
- Wasserman, H. R. 1981. Intestinal Absortion of Calcium and Phosphate. Feed Proc. 40:68.
- Watanabe, F. S., J. L. Lindsay and S. R. Olsen. 1965. Nutrient Balance Involving Phosphorus, Iron and Zinc. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 29:562.
- Wiener, G. 1971. Genetic Variation in Mineral Metabolism of Ruminants. Proc. Nutr. Soc. 30:83.
- Wiener, G., J. A. Wooliams, C. Wooliams y A. C. Field. 1985. Genetic Selection to Produce Lines of Sheep Differing in Plasma Copper Concentrations. Anim. Prod. 40:465-473.
- Wiener, G., J. A. Wooliams, N. F. Suttle and D. Jones. 1985. Genetic Selection for Cu Status and the Sheep and its Consequences for Performance In: C. F. Mills, I. Bremner and J. K. Chesters (eds). Trace Elementsin Mans and Animals- Tema 5 . Fifth International Symposium on Trace Elements in Man and Animals. Aberden, Scotland.
- Wilson, G. F., C. S. W. Reed, L. F. Molloy, A. J. Metson y G. W. Buttler. 1969. Grass Tetany I. Influence of Starch and Peand Oil Suplements on Plasma Magnesium, Calcium and Phosphorus Levels in Dairy Cows. N. Z. J. Agric. Res. 12:467.
- Williams, R. D. 1963. Minor Elements and their Effects on the Growth and Chemical Composition of Herbage Plants. Common-

wealth. Agr.. Bureau Min. Publ. No.1 England. 98 p.

Wooliams, C., N. F. Suttle, J. A. Woolliams, D. C. Jones y G. Wiener. 1986. Studes on Lambs from Lines Genetically Selected for Low and High Copper Status. I Differences in Mortality. Anim. Prod. 43:293-301.

Young, P. W. and G. Rys. 1977. Proc. Ruakura Farmers' Conf. 29:30-33.

APENDICE

Cuadro 21. Datos individuales del nivel mineral, pH y materia orgánica en suelo, durante las dos épocas en las seis explotaciones.

Exp	Rep	P	Ca	Mg	K	Zn	Cu	Fe	Mn	pH	MO	Epo- ca
						ppm						
1	1	4	741	61	122	1.94	0.41	34.40	1.48	5.1	12.89	1
1	2	7	641	49	106	1.73	0.32	29.20	1.96	5.0	12.89	1
1	3	3	862	97	33	2.07	0.22	31.40	1.96	5.0	15.33	1
1	4	3	762	73	32	2.12	0.22	33.40	2.68	4.9	13.24	1
1	5	3	741	109	25	1.77	0.22	36.80	1.88	5.0	13.59	1
2	1	11	922	170	43	0.86	0.41	44.40	7.91	5.7	3.28	1
2	2	10	902	85	42	0.86	0.41	43.70	8.07	5.5	3.42	1
2	3	9	822	195	39	0.99	0.51	50.50	7.11	5.6	2.58	1
2	4	8	942	182	44	1.04	0.51	57.90	8.23	5.5	3.00	1
2	5	5	1383	158	167	3.07	0.32	57.40	6.46	5.0	16.03	1
3	1	2	1142	182	113	0.95	0.22	40.30	3.25	5.4	12.02	1
3	2	1	1162	182	109	0.99	0.22	44.40	3.57	5.4	16.03	1
3	3	2	1323	170	159	1.51	0.22	53.00	4.13	5.4	12.54	1
3	4	3	1202	134	159	1.38	0.22	47.40	3.81	5.5	8.71	1
3	5	3	1162	231	144	1.34	0.22	49.80	3.49	5.5	9.41	1
4	1	9	4749	2493	302	5.27	0.99	229.80	16.19	5.8	29.62	1
4	2	29	5511	2494	242	4.84	0.41	201.80	2.28	6.2	30.31	1
4	3	13	5812	2797	234	4.67	0.80	213.60	10.89	5.9	26.83	1
4	4	12	5531	2712	242	4.93	0.99	231.20	15.15	5.9	28.92	1
4	5	26	5932	3393	375	7.39	0.70	219.50	4.05	6.3	24.74	1
5	1	21	2826	1739	219	2.30	2.40	40.40	3.30	7.6	10.10	1
5	2	23	3046	1508	81	1.20	1.00	35.00	2.70	8.0	5.92	1
5	3	20	2806	1678	227	2.40	2.30	51.20	4.60	7.6	9.41	1
5	4	23	3106	1629	94	1.30	1.20	43.50	3.90	8.0	6.27	1
5	5	24	2926	1496	86	1.20	1.00	31.50	2.10	8.1	6.56	1
6	1	5	2285	1435	114	1.60	2.10	93.10	36.30	6.5	3.77	1
6	2	4	2184	1447	97	1.40	2.00	89.30	28.60	6.4	3.83	1
6	3	8	2124	1204	144	2.20	1.90	87.70	22.90	6.5	3.14	1
6	4	12	2064	1058	144	3.20	2.00	109.40	25.20	6.2	3.48	1
6	5	7	2104	1009	129	2.00	1.70	91.60	25.20	6.5	3.14	1
1	1	9	822	73	197	1.40	0.20	31.10	0.60	5.3	8.36	2
1	2	4	461	0	62	0.90	0.20	27.20	0.60	4.9	9.41	2
1	3	1	782	49	120	3.30	0.20	33.00	6.50	4.7	17.40	2
1	4	2	461	24	89	2.30	0.30	28.40	2.90	4.6	16.40	2
1	5	3	1784	109	174	3.90	0.30	35.70	2.80	5.3	18.40	2
2	1	46	421	122	77	1.70	0.30	23.40	0.90	5.6	1.70	2
2	2	46	481	49	106	0.70	0.30	24.10	0.50	5.4	1.80	2
2	3	10	962	146	101	1.20	0.40	36.10	1.70	5.5	10.60	2
2	4	10	1062	255	332	1.10	0.70	56.20	5.40	5.8	3.60	2
2	5	7	1824	146	167	4.80	0.60	46.60	2.40	5.7	13.00	2
3	1	4	1002	109	104	1.20	0.30	42.70	2.40	5.4	10.90	2
3	2	0	1162	73	79	1.20	0.30	33.80	3.50	5.2	14.70	2
3	3	1	902	109	98	0.70	0.30	30.30	1.30	5.5	9.20	2
3	4	1	982	146	135	1.10	0.40	31.10	2.10	5.4	11.60	2
3	5	1	721	73	195	0.70	0.00	35.70	2.70	5.3	7.60	2
4	1	82	1643	450	555	16.20	1.30	138.60	11.80	5.4	4.00	2

Cuadro 21. (Continuación).

Exp	Rep	P	Ca	Mg	K	Zn	Cu	Fe	Mn	pH	MO	Epo- ca
						ppm						
4	2	67	1603	474	480	3.70	1.10	98.60	9.60	5.5	3.40	2
4	3	81	1984	486	1087	6.80	1.30	89.30	7.40	6.0	4.80	2
4	4	73	1603	426	756	4.80	1.10	92.40	8.20	5.8	3.90	2
4	5	82	1904	450	935	6.70	1.30	116.40	10.50	5.7	4.80	2
5	1	33	2725	1180	630	1.00	2.10	38.10	4.20	8.4	4.30	2
5	2	44	2705	1727	142	1.30	1.70	35.00	2.30	8.0	6.10	2
5	3	60	3226	1739	367	2.50	1.90	108.60	5.80	7.2	8.50	2
5	4	36	3066	1386	202	1.20	1.30	47.30	4.40	8.0	5.50	2
5	5	48	2345	1860	262	6.70	2.10	240.00	14.70	6.0	14.00	2
6	1	5	2325	1484	98	1.70	2.10	99.30	23.70	6.4	3.60	2
6	2	10	2325	1435	615	2.10	2.50	108.60	29.80	6.1	4.40	2
6	3	0	2124	1423	150	1.60	2.30	78.50	25.90	6.5	2.90	2
6	4	3	1784	1228	81	1.60	1.90	85.40	19.80	6.3	2.40	2
6	5	8	2044	1338	285	2.50	2.00	114.80	21.00	6.7	3.80	2

Cuadro 22. Datos individuales del nivel mineral en forrajes de las seis explotaciones, durante las dos épocas.

Exp	M	Rep	P	Ca	Mg	K	Cu	Zn	Fe	MS	Cen	Epoca
				----- (%) -----			----- (ppm) -----				---- (%) ----	
1	1	1	0.45	0.47	0.08	1.57	2.82	26	283	93.05	8.24	1
1	2	1	0.14	0.47	0.09	1.09	0.27	26	11	93.63	8.05	1
1	3	1	0.36	0.56	0.10	1.33	2.31	18	186	93.10	8.26	1
1	4	1	0.45	0.61	0.10	1.51	3.59	26	147	90.75	7.44	1
1	5	1	0.36	0.56	0.10	1.48	2.82	21	205	93.49	7.91	1
1	1	2	.	0.12	.	.	1.54	7	.	93.33	8.30	1
1	2	2	0.30	0.41	0.08	0.98	.	23	264	93.83	8.03	1
1	3	2	0.34	0.47	0.08	1.27	2.31	24	186	93.65	8.53	1
1	4	2	0.43	0.53	0.10	1.42	3.33	18	147	93.57	7.39	1
1	5	2	0.41	0.44	0.08	1.33	2.57	23	186	93.44	7.78	1
2	1	1	0.34	0.32	0.06	0.86	0.01	14	244	93.81	9.99	1
2	2	1	0.43	0.44	0.10	1.18	0.52	16	302	93.39	10.17	1
2	3	1	0.39	0.47	0.10	1.18	1.03	20	283	93.83	9.17	1
2	4	1	0.39	0.38	0.10	1.03	2.05	18	166	94.09	9.55	1
2	5	1	0.34	0.35	0.08	1.45	.	20	186	93.71	9.60	1
2	1	2	0.32	0.29	0.06	0.83	0.27	13	186	93.14	9.94	1
2	2	2	0.28	0.38	0.08	0.95	1.29	18	166	92.09	10.07	1
2	3	2	0.36	0.41	0.11	1.18	1.03	22	31	93.71	8.81	1
2	4	2	0.41	0.32	0.05	1.30	0.27	18	166	93.62	9.36	1
2	5	2	0.34	0.35	0.08	1.33	0.52	14	166	94.04	9.78	1
3	1	1	0.39	0.59	0.13	1.48	3.08	22	438	93.69	8.99	1
3	2	1	0.43	0.56	0.13	1.42	2.05	39	555	93.96	10.32	1
3	3	1	0.25	0.56	0.15	1.63	0.52	22	302	92.80	10.37	1
3	4	1	0.43	0.29	0.05	0.53	1.54	49	322	93.65	10.63	1
3	5	1	0.25	0.64	0.32	2.79	0.78	22	361	93.76	10.91	1
3	1	2	0.34	0.53	0.12	1.48	2.05	23	361	93.59	8.70	1
3	2	2	0.47	0.47	0.20	2.64	2.57	27	458	93.56	10.05	1
3	3	2	0.28	0.53	0.22	2.58	0.27	23	302	93.64	10.58	1
3	4	2	0.39	0.41	0.20	1.84	1.03	57	361	93.76	10.84	1
3	5	2	0.34	0.59	0.28	2.41	0.01	17	322	93.70	10.53	1
4	1	1	0.47	0.44	0.16	1.96	2.31	30	147	93.82	13.97	1
4	2	1	0.41	0.53	0.22	2.20	3.59	25	166	93.94	14.41	1
4	3	1	0.69	0.44	0.25	2.26	2.82	44	264	93.57	13.55	1
4	4	1	0.54	0.53	0.32	3.00	1.54	48	69	93.49	14.03	1
4	5	1	0.45	0.59	0.30	2.17	3.08	49	244	92.86	13.31	1
4	1	2	0.39	0.41	0.17	2.35	3.59	35	186	93.76	13.35	1
4	2	2	0.45	0.44	0.18	1.30	2.31	26	594	93.81	14.38	1
4	3	2	0.47	0.38	0.22	1.87	3.59	29	244	94.00	13.31	1
4	4	2	0.65	0.53	0.32	3.00	2.82	54	69	93.40	14.04	1
4	5	2	0.32	0.56	0.27	1.90	3.59	59	283	93.72	12.95	1
5	1	1	0.63	0.50	0.20	1.12	4.86	30	729	94.16	11.12	1
5	2	1	0.47	0.47	0.19	1.27	5.12	27	807	93.26	11.78	1
5	3	1	0.58	0.47	0.21	1.39	3.59	27	613	99.83	12.67	1
5	4	1	0.54	0.53	0.23	1.12	0.27	37	632	93.22	10.87	1
5	5	1	0.43	0.35	0.16	0.32	.	27	477	94.36	6.56	1
5	1	2	.	0.09	.	.	.	5	11	93.83	11.65	1
5	2	2	0.47	0.47	0.19	1.27	4.10	33	749	94.40	11.89	1

Cuadro 22. (continuación).

Exp	M	Rep	P	Ca	Mg	K	Cu	Zn	Fe	MS	Cen	Epoca
			----- (%) -----			----- (ppm) -----			----- (%) -----			
5	3	2	0.60	0.50	0.25	1.51	4.86	73	399	93.90	11.37	1
5	4	2	.	0.09	.	.	3.84	20	11	.	.	1
5	5	2	0.21	0.26	0.13	0.32	0.52	48	69	94.36	6.46	1
6	1	1	0.32	0.47	0.13	0.20	0.27	56	166	91.83	17.53	1
6	2	1	0.34	0.38	0.13	0.29	0.01	20	108	94.44	14.86	1
6	3	1	0.32	0.50	0.15	0.26	1.54	21	128	93.64	15.49	1
6	4	1	0.54	0.38	0.22	1.99	0.01	27	147	94.95	12.12	1
6	5	1	0.52	0.44	0.23	1.60	0.78	13	89	93.78	12.06	1
6	1	2	0.28	0.64	0.15	0.03	0.01	11	341	94.46	16.70	1
6	2	2	0.32	0.44	0.14	0.06	0.00	12	147	94.32	14.67	1
6	3	2	0.23	0.44	0.12	0.05	0.00	27	128	94.52	15.63	1
6	4	2	0.47	0.41	0.22	0.39	2.31	22	108	94.74	10.12	1
6	5	2	0.52	0.44	0.22	0.33	1.03	20	108	94.52	11.95	1
1	1	1	0.78	0.32	0.09	1.33	1.80	45	1163	94.07	8.43	2
1	2	1	0.46	0.35	0.09	1.60	2.05	23	672	94.08	7.35	2
1	3	1	0.73	0.64	0.13	1.66	4.35	55	2286	93.88	9.72	2
1	4	1	0.35	0.47	0.08	1.06	1.54	17	321	94.52	6.54	2
1	5	1	0.42	0.26	0.13	1.03	1.80	18	391	94.30	10.84	2
1	6	1	0.48	0.50	0.08	1.09	.	62	532	.	.	2
1	1	2	.	0.35	0.10	1.39	.	16	602	.	.	2
1	2	2	0.39	0.29	0.08	1.60	3.33	37	1584	93.74	7.04	2
1	3	2	0.57	0.59	0.10	1.18	4.10	33	532	93.53	9.00	2
1	4	2	0.46	0.59	0.10	1.30	6.65	15	461	94.44	6.72	2
1	5	2	0.42	0.47	0.08	1.03	0.01	33	251	94.50	10.52	2
1	6	2	0.30	0.47	0.08	1.12	.	.	.	.	.	2
2	1	1	0.53	0.26	0.08	0.62	3.33	50	2707	94.07	10.56	2
2	2	1	0.28	0.18	0.07	.	0.27	46	461	94.57	4.36	2
2	3	1	0.51	1.14	0.23	1.21	4.10	45	461	93.54	8.85	2
2	4	1	0.55	0.32	0.16	1.42	2.05	50	1023	94.09	8.51	2
2	5	1	0.51	0.41	0.09	.	1.54	29	742	.	.	2
2	1	2	.	0.06	.	.	2.31	22	1233	94.11	11.01	2
2	2	2	0.57	0.29	0.10	0.83	3.08	17	3128	93.44	4.23	2
2	3	2	0.62	1.17	0.24	1.21	1.80	111	672	93.89	8.94	2
2	4	2	0.55	0.35	0.18	1.51	.	20	812	94.00	8.22	2
2	5	2	.	0.41	0.09	0.89	.	31	461	93.83	8.09	2
3	1	1	0.42	0.35	0.10	0.53	1.03	22	1444	94.53	8.65	2
3	2	1	0.51	0.32	0.05	1.15	1.54	27	1304	94.04	8.17	2
3	3	1	0.33	0.47	0.09	1.12	3.08	26	1233	94.25	7.34	2
3	4	1	0.37	0.44	0.07	0.77	1.54	44	883	94.05	8.46	2
3	5	1	0.30	0.47	0.08	0.59	1.29	15	1093	93.76	9.75	2
3	6	1	0.24	0.38	0.06	0.50	0.27	.	.	.	.	2
3	1	2	0.46	0.35	0.09	0.56	1.03	22	1163	94.40	8.51	2
3	2	2	0.39	0.29	0.09	0.53	1.80	11	602	93.74	8.51	2
3	3	2	0.28	0.32	0.08	1.00	2.31	24	1023	94.01	7.36	2
3	4	2	0.30	0.41	0.08	0.65	2.31	18	.	93.76	8.43	2
3	5	2	0.33	1.17	0.29	3.51	0.52	9	391	93.87	9.88	2
3	6	2	0.26	0.32	0.05	0.56	.	.	.	.	.	2

Cuadro 22. (continuación).

Exp	M	Rep	P	Ca	Mg	K	Cu	Zn	Fe	MS	Cen	Epoca
			----- (%) -----				----- (ppm) -----			---- (%) ----		
4	1	1	1.66	0.26	0.12	2.91	6.91	38	672	94.86	16.34	2
4	2	1	0.55	0.21	0.07	1.21	3.59	17	672	94.14	8.17	2
4	3	1	1.52	0.32	0.12	3.03	7.42	22	602	94.54	17.14	2
4	4	1	0.94	0.32	0.17	4.73	3.84	15	461	94.10	15.50	2
4	5	1	0.64	0.23	0.10	2.29	2.05	10	251	94.14	14.56	2
4	1	2	1.77	0.35	0.21	4.88	7.68	37	602	94.76	16.24	2
4	2	2	0.53	0.35	0.15	2.55	3.59	42	532	94.14	8.17	2
4	3	2	1.41	0.44	0.22	5.83	7.68	44	461	93.98	17.00	2
4	4	2	0.96	0.35	0.16	4.52	4.35	24	532	94.02	15.37	2
4	5	2	0.64	0.23	0.10	2.38	.	.	.	94.29	14.65	2
5	1	1	0.42	0.26	0.13	0.32	2.05	13	1374	93.93	7.71	2
5	2	1	0.55	0.32	0.16	0.77	2.31	15	1795	93.72	8.07	2
5	3	1	0.48	0.29	0.13	0.80	2.05	19	1023	94.83	6.79	2
5	4	1	0.69	0.32	0.26	0.92	3.33	14	1233	93.52	7.93	2
5	5	1	0.35	0.26	0.13	0.23	1.54	.	.	95.65	6.51	2
5	6	1	0.35	0.29	0.15	1.39	0.00	119	40	91.28	8.58	2
5	1	2	0.39	0.29	0.15	0.44	0.27	17	1233	94.13	7.59	2
5	2	2	0.30	0.32	0.15	.	0.52	20	1093	.	.	2
5	3	2	0.73	0.29	0.13	0.62	2.31	14	1093	94.48	1.24	2
5	4	2	0.46	0.32	0.25	0.86	1.29	38	1023	93.98	8.52	2
5	5	2	.	0.29	0.14	0.29	.	11	1093	93.98	6.48	2
5	6	2	0.30	0.53	0.10	1.36	1.54	28	1444	91.47	8.04	2
6	1	1	0.10	0.09	.	0.53	1.80	12	953	94.22	11.98	2
6	2	1	0.37	0.50	0.20	1.84	1.29	6	321	94.64	13.16	2
6	3	1	0.28	0.50	0.17	0.32	0.52	5	251	94.71	14.49	2
6	4	1	0.44	0.47	0.15	.	1.03	15	321	95.03	10.78	2
6	5	1	0.85	0.38	0.18	1.93	3.59	20	251	94.74	12.40	2
6	1	2	0.37	0.50	0.16	0.47	1.29	13	251	94.57	11.96	2
6	2	2	0.44	0.32	0.15	0.44	1.29	6	321	94.56	13.73	2
6	3	2	0.37	0.47	0.17	0.38	0.27	11	321	94.61	14.02	2
6	4	2	.	0.26	0.12	1.33	.	60	391	94.43	11.23	2
6	5	2	0.85	0.38	0.18	2.05	4.35	.	.	94.21	12.49	2

Cuadro 23. Datos individuales en las seis explotaciones del nivel mineral en suero sanguíneo de ovinos jóvenes y adultos, durante las dos épocas de año.

Expl	Edad	Epoca	Mineral						
			P	Ca	Mg	K	Zn	Cu	Fe
			-----	(mg/100ml)	-----	-----	-----	(µg/ml)	-----
1	1	1	203.4	131.9	34.0	314.6	3.5	0.60	7.98
1	1	1	160.7	134.1	30.8	349.8	5.6	0.73	135.70
1	1	1	331.5	118.6	27.9	617.2	4.5	0.47	277.28
1	1	1	132.2	149.6	32.5	354.5	2.0	0.86	16.74
1	1	1	89.5	151.9	28.2	551.5	2.7	0.47	7.98
1	1	1	61.1	136.3	32.1	293.5	1.6	0.47	6.52
1	1	1	61.1	111.9	23.1	279.4	1.2	0.34	5.79
1	1	1	103.8	151.9	26.2	307.6	2.4	0.60	30.60
1	1	1	89.5	145.2	32.3	302.9	1.2	0.47	12.36
1	1	1	89.5	131.9	29.4	335.7	2.4	0.47	14.55
1	2	1	189.2	156.3	30.1	373.3	3.7	0.34	4.33
1	2	1	132.2	123.0	23.8	309.9	4.0	0.60	53.96
1	2	1	146.5	145.2	29.4	467.1	1.4	0.21	4.33
1	2	1	303.1	160.7	29.4	429.6	2.1	0.47	18.92
1	2	1	189.2	138.5	24.1	460.1	2.0	0.60	21.11
1	2	1	118.0	138.5	28.7	340.4	1.0	0.34	2.87
1	2	1	103.8	131.9	27.7	277.1	3.7	0.47	10.90
1	2	1	61.1	98.6	19.5	216.1	3.2	0.47	13.82
1	2	1	61.1	111.9	24.3	307.6	2.6	0.34	32.06
1	2	1	89.5	140.8	28.2	302.9	4.1	0.60	29.14
2	1	1	246.1	111.9	26.7	643.0	5.4	0.60	228.38
2	1	1	189.2	111.9	17.5	901.1	4.4	0.60	104.31
2	1	1	89.5	109.7	16.6	220.8	1.6	0.34	4.33
2	1	1	217.7	151.9	28.7	396.7	1.3	0.34	4.33
2	1	1	75.3	107.5	15.4	248.9	1.2	0.47	5.06
2	1	1	46.8	107.5	19.7	232.5	1.1	0.34	6.52
2	1	1	103.8	147.4	19.0	284.1	2.6	0.60	7.98
2	1	1	132.2	127.5	19.0	272.4	1.5	0.60	5.06
2	1	1	132.2	149.6	25.0	281.8	2.5	0.60	2.87
2	1	1	61.1	109.7	14.9	246.6	6.4	0.60	5.79
2	2	1	46.8	109.7	18.5	267.7	2.2	0.34	8.71
2	2	1	89.5	120.8	14.6	277.1	1.3	0.47	1.41
2	2	1	61.1	100.8	14.9	253.6	1.6	0.47	2.87
2	2	1	118.0	127.5	31.8	324.0	2.0	0.73	3.60
2	2	1	146.5	136.3	27.9	293.5	2.2	0.60	2.87
2	2	1	18.4	80.9	13.9	150.4	1.6	0.47	2.14
2	2	1	89.5	120.8	22.4	272.4	2.2	0.21	3.60
2	2	1	175.0	114.1	27.5	288.8	1.9	0.60	5.06
2	2	1	46.8	118.6	16.6	286.4	2.9	0.73	2.14
2	2	1	46.8	92.0	17.5	223.1	1.2	0.47	3.60
3	1	1	146.5	160.7	36.2	359.2	1.8	0.47	5.79
3	1	1	160.7	151.9	31.8	349.8	2.0	0.73	7.25
3	1	1	103.8	127.5	29.4	309.9	1.5	0.47	2.87
3	1	1	160.7	156.3	35.4	359.2	2.4	0.47	4.33
3	1	1	288.8	140.8	34.0	732.2	4.0	0.60	4.33

Cuadro 23. (continuación).

Expl	Edad	Epoca	Mineral						
			P	Ca	Mg	K	Zn	Cu	Fe
			-----	(mg/100ml)	-----	-----	-----	(μg/ml)	-----
3	1	1	103.8	149.6	27.2	319.3	2.1	0.86	9.44
3	1	1	89.5	120.8	27.0	284.1	3.6	0.60	6.52
3	1	1	89.5	147.4	27.2	300.5	4.0	0.73	6.52
3	1	1	160.7	145.2	33.3	328.7	3.6	0.47	5.06
3	1	1	103.8	131.9	40.0	305.2	4.5	0.60	7.25
3	2	1	75.3	118.6	28.7	314.6	1.8	0.60	8.71
3	2	1	75.3	131.9	32.8	326.3	2.6	0.60	2.87
3	2	1	61.1	120.8	27.5	302.9	1.7	0.60	5.06
3	2	1	46.8	129.7	25.8	286.4	1.2	0.60	7.98
3	2	1	61.1	129.7	30.4	281.8	3.6	0.47	2.87
3	2	1	89.5	136.3	24.6	335.7	1.2	0.60	5.79
3	2	1	61.1	120.8	19.7	291.1	1.3	0.60	2.87
3	2	1	18.4	94.2	21.6	258.3	1.6	0.47	10.90
3	2	1	61.1	118.6	25.3	279.4	1.4	0.60	5.06
3	2	1	46.8	107.5	25.0	239.5	1.9	0.60	2.87
4	1	1	163.3	118.6	27.2	293.5	2.2	0.34	3.60
4	1	1	94.7	92.0	21.4	279.4	3.3	0.34	4.33
4	1	1	140.5	80.9	23.1	295.8	1.8	0.60	5.06
4	1	1	94.7	98.6	15.4	272.4	2.1	0.34	4.33
4	1	1	209.1	140.8	35.7	347.4	2.4	0.47	5.06
4	1	1	163.3	162.9	23.8	319.3	2.2	0.60	2.14
4	1	1	163.3	125.2	29.6	490.6	2.0	0.47	5.06
4	1	1	140.5	129.7	27.2	286.4	1.7	0.34	2.87
4	1	1	186.2	151.9	33.0	333.4	2.1	0.73	2.14
4	1	1	163.3	136.3	25.5	328.7	3.4	0.60	7.25
4	2	1	186.2	118.6	26.2	279.4	1.9	0.34	4.33
4	2	1	71.8	118.6	23.1	272.4	1.4	0.34	5.06
4	2	1	140.5	123.0	30.6	274.7	1.5	0.34	7.25
4	2	1	94.7	120.8	24.3	274.7	1.7	0.34	2.14
4	2	1	71.8	105.3	26.0	253.6	2.1	0.73	4.33
4	2	1	94.7	114.1	24.3	270.0	3.6	0.47	6.52
4	2	1	94.7	131.9	29.6	279.4	1.8	0.21	3.60
4	2	1	94.7	107.5	25.5	260.6	1.8	0.21	5.06
4	2	1	117.6	127.5	20.2	359.2	1.6	0.60	5.06
4	2	1	94.7	120.8	23.6	314.6	2.7	0.60	5.06
5	1	1	117.6	100.8	24.6	286.4	7.9	0.47	4.33
5	1	1	140.5	120.8	16.3	490.6	1.9	0.21	7.25
5	1	1	232.0	185.1	43.2	514.0	1.1	0.08	5.79
5	1	1	163.3	100.8	26.5	302.9	2.4	0.99	5.06
5	1	1	186.2	94.2	31.6	340.4	2.4	0.60	9.44
5	1	1	163.3	118.6	34.5	314.6	2.1	0.21	13.82
5	1	1	254.9	143.0	28.7	385.0	1.2	0.47	7.25
5	1	1	140.5	158.5	36.2	373.3	1.1	0.34	4.33
5	1	1	117.6	111.9	29.6	326.3	1.8	0.34	5.79
5	1	1	232.0	178.5	35.2	387.3	1.5	0.08	7.25
5	2	1	186.2	185.1	39.6	377.9	1.0	0.21	2.14
5	2	1	26.1	87.5	22.6	248.9	1.6	0.21	4.33

Cuadro 23. (continuación).

Expl	Edad	Epoca	P	Mineral					
				Ca	Mg	K	Zn	Cu	Fe
				(mg/100ml)			(μg/ml)		
5	2	1	140.5	120.8	28.2	305.2	1.3	0.34	4.33
5	2	1	71.8	120.8	27.5	286.4	2.8	0.60	2.14
5	2	1	71.8	125.2	25.3	305.2	1.0	0.21	1.41
5	2	1	94.7	145.2	30.1	354.5	1.2	0.21	2.14
5	2	1	94.7	120.8	29.9	279.4	1.9	0.21	1.41
5	2	1	71.8	156.3	28.2	328.7	1.2	0.34	1.41
5	2	1	117.6	118.6	34.0	326.3	1.1	0.21	3.60
5	2	1	163.3	176.3	35.9	387.3	4.8	0.47	4.33
6	1	1	94.7	154.1	27.5	328.7	1.5	0.47	4.33
6	1	1	94.7	134.1	35.4	326.3	3.3	0.60	4.33
6	1	1	94.7	136.3	32.5	408.4	1.9	0.60	13.09
6	1	1	94.7	151.9	38.6	326.3	3.6	0.47	2.87
6	1	1	140.5	131.9	31.6	302.9	1.3	0.73	17.47
6	1	1	140.5	123.0	32.5	410.8	2.5	0.34	7.98
6	1	1	117.6	134.1	39.1	319.3	2.0	0.86	13.82
6	1	1	163.3	138.5	41.7	349.8	2.7	0.47	7.25
6	1	1	163.3	149.6	38.6	300.5	2.9	0.60	26.22
6	1	1	186.2	178.5	43.9	356.8	1.2	0.34	12.36
6	2	1	49.0	114.1	28.2	474.1	1.6	0.99	0.39
6	2	1	94.7	145.2	31.1	396.7	1.5	1.12	2.14
6	2	1	49.0	118.6	24.6	333.4	1.6	0.60	3.60
6	2	1	26.1	127.5	26.0	338.1	1.2	0.60	7.25
6	2	1	71.8	134.1	35.4	349.8	1.0	0.47	7.25
6	2	1	117.6	143.0	35.9	342.8	1.7	0.99	2.14
6	2	1	163.3	134.1	26.0	338.1	1.4	0.99	4.33
6	2	1	140.5	136.3	36.9	256.0	1.4	0.86	5.79
6	2	1	163.3	154.1	32.8	373.3	11.1	0.60	4.33
6	2	1	163.3	145.2	43.2	314.6	2.1	0.99	5.06
1	1	2	210.7	102.0	23.3	215.3	0.99	0.23	8.6
1	1	2	120.7	95.8	21.8	174.6	0.68	0.42	4.3
1	1	2	188.2	104.5	24.2	218.5	0.95	0.23	13.8
1	1	2	120.7	87.2	23.3	234.8	0.68	0.23	5.1
1	1	2	143.2	108.2	40.2	283.6	0.99	0.42	8.6
1	1	2	165.7	89.7	20.9	202.3	0.77	0.23	2.5
1	1	2	165.7	82.3	19.0	169.8	1.72	0.23	7.8
1	1	2	210.7	72.4	20.1	197.4	1.90	0.42	134.5
1	1	2	210.7	81.0	17.7	186.0	1.58	0.23	9.5
1	1	2	143.2	61.3	17.9	174.6	1.85	0.79	8.6
1	2	2	98.2	92.1	19.0	205.5	0.59	0.61	9.5
1	2	2	120.7	94.6	24.2	221.8	0.63	0.98	4.3
1	2	2	323.2	86.0	23.3	213.7	1.27	0.79	31.2
1	2	2	120.7	105.7	26.1	207.2	1.49	0.79	6.0
1	2	2	75.7	87.2	21.1	171.4	1.08	0.61	7.8
1	2	2	8.2	77.3	17.5	166.5	1.08	0.61	6.0
1	2	2	98.2	52.7	14.2	103.1	1.04	0.98	19.0
1	2	2	120.7	55.2	14.2	121.0	0.59	1.54	3.4
1	2	2	98.2	73.7	16.4	158.4	0.40	0.42	1.7

Cuadro 23. (continuación).

Expl	Edad	Epoca	Mineral						
			P	Ca	Mg	K	Zn	Cu	Fe
			-----	(mg/100ml)	-----	-----	-----	(µg/ml)	-----
1	2	2	165.7	58.9	11.2	122.6	1.27	0.61	13.0
2	1	2	75.7	82.3	19.0	192.5	1.13	0.61	3.4
2	1	2	75.7	82.3	21.1	173.0	0.40	0.42	2.5
2	1	2	75.7	66.3	15.7	145.4	0.95	0.61	2.5
2	1	2	120.7	102.0	26.3	218.5	0.77	0.61	3.4
2	1	2	98.2	116.8	25.7	197.4	0.59	0.61	9.5
2	1	2	98.2	97.1	20.1	215.3	2.22	0.79	3.4
2	1	2	53.2	93.4	22.9	189.3	1.08	0.42	8.6
2	1	2	120.7	62.6	13.4	143.8	0.99	0.61	2.5
2	1	2	98.2	62.6	15.3	132.4	1.04	0.79	6.9
2	1	2	143.2	66.3	14.4	150.3	1.13	0.61	5.1
2	2	2	120.7	103.2	24.4	239.7	0.95	0.79	3.4
2	2	2	75.7	74.9	17.7	138.9	1.13	0.79	2.5
2	2	2	53.2	84.7	17.7	161.6	0.31	0.23	1.7
2	2	2	120.7	102.0	23.7	190.9	1.17	0.98	6.9
2	2	2	98.2	105.7	22.2	239.7	1.13	0.79	12.1
2	2	2	143.2	121.7	23.3	239.7	0.95	0.61	9.5
2	2	2	98.2	100.8	22.0	241.3	3.44	0.61	4.3
2	2	2	98.2	105.7	28.9	257.6	1.13	0.61	2.5
2	2	2	120.7	110.6	26.3	283.6	0.59	0.42	3.4
2	2	2	75.7	99.5	19.8	194.1	0.90	0.61	6.9
3	1	2	143.2	76.1	16.2	207.2	1.27	0.23	1.7
3	1	2	75.7	81.0	20.7	192.5	0.54	0.42	11.2
3	1	2	98.2	100.8	26.3	205.5	1.04	0.61	20.8
3	1	2	143.2	119.2	23.7	265.7	0.90	0.42	10.4
3	1	2	120.7	97.1	19.8	218.5	1.54	0.61	8.6
3	1	2	98.2	97.1	20.9	186.0	1.99	0.61	11.2
3	1	2	75.7	77.3	19.6	186.0	1.81	0.79	14.7
3	1	2	233.2	126.6	24.2	334.0	1.36	0.61	10.4
3	1	2	75.7	93.4	25.5	238.0	1.40	0.61	8.6
3	1	2	165.7	106.9	23.5	228.3	1.17	0.61	6.0
3	2	2	98.2	98.3	22.9	218.5	1.54	0.79	11.2
3	2	2	75.7	106.9	27.0	225.0	1.49	0.79	5.1
3	2	2	143.2	102.0	22.2	218.5	1.67	0.61	7.8
3	2	2	75.7	87.2	22.9	208.8	1.63	0.79	8.6
3	2	2	98.2	102.0	26.1	259.2	0.95	0.61	21.6
3	2	2	98.2	100.8	24.4	216.9	1.31	0.61	19.0
3	2	2	98.2	100.8	29.4	223.4	1.49	0.79	26.0
3	2	2	120.7	94.6	23.7	301.4	1.27	0.98	8.6
3	2	2	120.7	104.5	25.7	203.9	2.62	0.98	15.6
3	2	2	75.7	87.2	19.6	202.3	1.36	0.98	7.8
4	1	2	98.2	111.9	21.4	213.7	0.68	0.61	1.7
4	1	2	75.7	106.9	21.4	233.2	0.63	0.61	2.5
4	1	2	143.2	116.8	24.0	213.7	0.90	0.79	6.0
4	1	2	98.2	122.9	34.1	246.2	0.77	0.79	1.7
4	1	2	120.7	83.5	18.8	182.8	1.27	0.42	2.5
4	1	2	143.2	92.1	22.7	199.0	0.90	0.61	6.9

Cuadro 23. (continuación).

Expl	Edad	Epoca	P	Ca	Mg	K	Zn	Cu	Fe
			----- (mg/100ml) -----			----- (µg/ml) -----			
4	1	2	120.7	100.8	23.1	238.0	0.45	0.42	0.8
4	1	2	143.2	114.3	24.0	242.9	0.54	0.23	4.3
4	1	2	98.2	99.5	27.6	223.4	0.63	0.42	9.5
4	1	2	120.7	111.9	23.3	264.1	1.13	0.61	4.3
4	2	2	143.2	115.6	29.1	260.8	0.95	0.98	6.9
4	2	2	143.2	124.2	26.3	221.8	0.72	1.17	4.3
4	2	2	53.2	127.9	26.5	283.6	0.36	0.61	2.5
4	2	2	143.2	116.8	27.2	210.4	0.68	0.98	6.9
4	2	2	98.2	121.7	25.0	257.6	0.59	0.79	2.5
4	2	2	98.2	125.4	32.4	244.5	0.81	0.98	3.4
4	2	2	143.2	114.3	27.2	254.3	0.40	0.79	9.5
4	2	2	53.2	124.2	27.6	242.9	0.45	0.61	8.6
4	2	2	143.2	159.9	31.1	270.6	0.54	0.79	7.8
4	2	2	120.7	136.5	30.7	273.8	0.31	0.61	1.7
5	1	2	75.7	94.6	27.2	199.0	1.04	0.23	3.4
5	1	2	165.7	105.7	24.4	277.1	0.77	0.42	1.7
5	1	2	75.7	98.3	24.4	233.2	0.72	0.23	7.8
5	1	2	120.7	97.1	24.4	216.9	1.72	0.23	20.8
5	1	2	120.7	121.7	29.4	254.3	1.49	0.23	7.8
5	1	2	143.2	95.8	25.5	247.8	0.68	0.23	7.8
5	1	2	120.7	100.8	24.0	238.0	0.40	0.23	8.6
5	1	2	75.7	77.3	18.1	288.4	0.45	0.23	6.9
5	1	2	120.7	126.6	28.1	286.8	0.54	0.23	3.4
5	1	2	210.7	93.4	23.3	244.5	0.45	0.23	0.8
5	2	2	660.8	79.8	19.4	169.8	0.31	0.23	13.0
5	2	2	30.7	57.6	16.6	156.8	0.40	0.04	1.7
5	2	2	98.2	97.1	28.1	212.0	0.77	0.23	2.5
5	2	2	98.2	93.4	23.5	194.1	0.81	0.04	6.9
5	2	2	75.7	92.1	24.6	223.4	0.50	0.23	1.7
5	2	2	75.7	66.3	17.9	164.9	0.50	0.23	1.7
5	2	2	53.2	56.4	14.9	138.9	0.18	0.04	1.7
5	2	2	120.7	108.2	24.6	257.6	1.08	0.23	2.5
5	2	2	98.2	81.0	21.4	186.0	4.12	0.42	7.8
5	2	2	53.2	92.1	22.4	200.7	0.45	0.23	1.7
6	1	2	98.2	73.7	19.4	192.5	0.81	0.61	1.7
6	1	2	53.2	71.2	20.9	160.0	2.13	0.42	7.8
6	1	2	210.7	98.3	24.6	192.5	1.17	0.61	8.6
6	1	2	165.7	81.0	25.9	251.0	1.04	0.42	8.6
6	1	2	255.7	98.3	24.8	241.3	0.95	0.61	37.3
6	1	2	98.2	77.3	24.8	210.4	0.59	0.23	8.6
6	1	2	165.7	90.9	22.2	242.9	2.26	0.79	9.5
6	1	2	165.7	103.2	28.1	273.8	0.77	0.42	10.4
6	1	2	300.7	103.2	30.4	225.0	1.99	0.61	1.7
6	1	2	165.7	68.7	19.0	160.0	1.81	0.23	1.7
6	2	2	53.2	45.3	14.0	104.7	4.57	0.42	6.9
6	2	2	98.2	86.0	20.3	171.4	1.81	0.98	5.1
6	2	2	30.7	51.5	14.4	119.4	2.04	0.42	6.9
6	2	2	75.7	82.3	19.4	174.6	1.81	0.79	1.7

Cuadro 23. (continuación).

Expl	Edad	Epoca	P	Ca	Mg	K	Zn	Cu	Fe
				(mg/100ml)				(µg/ml)	
6	2	2	165.7	99.5	25.0	216.9	2.71	0.79	4.3
6	2	2	165.7	105.7	24.4	252.7	1.36	0.42	2.5
6	2	2	75.7	111.9	31.5	278.7	1.76	0.61	6.9
6	2	2	143.2	104.5	31.7	272.2	1.31	0.42	6.0
6	2	2	165.7	106.9	24.4	226.7	1.90	0.61	6.0
6	2	2	210.7	106.9	26.3	281.9	1.08	0.79	2.5

Cuadro 24. Clasificación de la fertilidad del suelo según su contenido de minerales.

Mineral	Nivel (ppm)			
	Bajo	Medio	Bueno	Muy bueno
P1	< 11	11-20	21-35	> 35
Ca1	< 500	500-900	900-1200	> 1600
Mg1	< 12	12-25	26-50	> 125
K2	< 30	31-105	105-150	> 150
Na	_____	_____	_____	_____
Zn2	< 0.5	0.5-2.0	> 2.0	_____
Cu3	< 0.6	0.6-1.9	2-20	21-100

1 Tavera (1985)

2 Tisdale y Nelson (1975)

3 De Sousa (1978).

Cuadro 25. Concentraciones minerales en suelo sugeridas como mínimas necesarias.

Mineral	Nivel Mínimo (ppm)a
P	25
Ca	140
Mg	30
K	60
Na (%)	0.6
Zn	2
Cu	>0.6
Fe	4.5

a Bowen (1966)
 Jones (1972)
 Todd (1967)
 Breland (1976)
 Valdes et al (1985)

Cuadro 26. Clasificación de los suelos por su contenido de P, utilizando el método Bray-1.

Clase	P (ppm)
Bajo	< 15
Medio	15 - 30
Alto	> 30

CSTPA (1980).

Cuadro 27. Niveles crítico de micronutrientes en suelo, extractables con DTPA para cultivos sensibles.

Nutriente	ppm extractadas de suelos		
	Deficiente	Marginal	Adecuado
Zn	< 0.5	0.5 - 1.0	> 1.0
Fe	< 2.5	2.5 - 4.5	> 4.5
Mn	< 1.0	---	> 1.0
Cu	< 0.2	---	> 0.2

(Viets y Lindsay, 1973).

Cuadro 28. Concentración aproximada de micronutrientes en hojas maduras que pueden clasificarse como deficientes, suficientes, excesivas o tóxicas.

Nutriente	ppm extractadas de suelos		
	Deficiente	Marginal	Adecuado
Cu	< 4	5 - 20	> 20
Fe	< 50	50 - 250	no conocido
Mn	< 20	20 - 500	> 50
Zn	< 20	25 - 150	> 400

(Jones, 1972)

