

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

CHAPINGO, MEX.



CONCENTRACION MINERAL EN SUELO, FORRAJE Y SUERO SANGUINEO DE BOVINOS EN CHORREÑOS, DURANGO

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS
EN PRODUCCION ANIMAL

P R E S E N T A

RUFINO LOPEZ ORDAZ

BAJO LA DIRECCION DE: MAXIMINO HUERTA BRAVO, M. Sc.

1991



DIRECCION GENERAL DE
DEPARTAMENTOS ESCOLARES
OFICINA DE CALIFICACIONES PROFESIONALES

ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCION DEL M. Sc. MAXIMINO HUERTA BRAVO. FUE REVISADA POR EL JURADO EXAMINADOR Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA LA OBTENCION DEL GRADO:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN PRODUCCION ANIMAL

PRESIDENTE:


M. Sc. MAXIMINO HUERTA BRAVO

SECRETARIO:


DR. SALVADOR FERNANDEZ RIVERA

VOCAL:


M. C. JUAN CARLOS AVENDAÑO M.

SUPLENTE:


M. C. ARTEMIO CADENA MENESES

SUPLENTE:


DR. RICARDO BARCENA GAMA

AGRADECIMIENTOS

Al M. Sc. Maximino Huerta Bravo, deseo expresar mi más sincero agradecimiento por su dirección y apoyo en la realización del presente trabajo

Al Dr. Salvador Fernández Rivera, M. C. Juan Carlos Avendaño Montero, M. C. Artemio Cadena Meneses y al Dr. Ricardo Bárcena Gama por sus sugerencias y modificaciones al presente estudio.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la ayuda económica proporcionada durante la realización de los estudios de Maestría.

Mi reconocimiento muy especial al Dr. Ignacio Méndez Ramírez, por su apoyo y sugerencias en la realización de los análisis estadísticos del trabajo.

Extiendo mi más profundo agradecimiento al Ing. Rodolfo Ramírez Valverde y al M. Sc. Rafael Nuñez Domínguez, por su apoyo y colaboración en el desarrollo del trabajo.

Agradezco a la Sociedad Cooperativa de la Universidad Autónoma Chapingo por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo, y en especial al Ing. Pedro Silerio García y al personal administrativo de la Unidad de Producción "Chorreños" en Chorreños, Dgo.

Mi agradecimiento para la Sra. Ofelia Hernández Torres, y a las Sritas. María Luisa Chávez y Lupita de la Rosa Candelas, por su colaboración en el trabajo mecanográfico.

CONTENIDO

	PAGINA
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE APENDICES	iv
RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
REVISION DE LITERATURA.	4
1. Concentración mineral en suelos	4
2. Concentración mineral en forrajes	8
3. Disponibilidad de minerales en animales	11
4. Minerales en suelo, forraje y tejido animal	14
4.1. Calcio	14
4.2. Fósforo.	18
4.3. Potasio.	23
4.4. Magnesio	26
4.5. Cobre	30
4.6. Zinc	32
4.7. Interacciones entre minerales	35
4.7.1. Interacción Cobre-Zinc.	36
4.7.2. Sulfato-Cobre-Molibdeno	37
HIPOTESIS	38
MATERIALES Y METODOS	39
1. Localización del área experimental	39
1.1. Clima	39

1.2. Suelos.	39
1.2.1. Cerril	41
1.2.2. Laderas	41
1.2.3. Valles	41
1.3. Vegetación	41
2. Características de la explotación	42
3. Determinaciones.	42
3.1. Muestras de suelos.	42
3.2. Muestras de plantas forrajeras.	43
3.3. Molido y submuestreo	43
3.3. Muestras de suero sanguíneo	43
4. Análisis de muestras	45
4.1. Análisis de suelo.	45
4.2. Análisis de plantas	46
4.3. Análisis de sangre	46
5. Análisis estadístico	46
RESULTADOS Y DISCUSION.	51
CONCLUSIONES	82
LITARATURA CITADA	83
APENDICES	108

INDICE DE CUADROS

FIGURA No.

PAGINA

1.	Variación en la concentración de minerales en poblaciones de gramíneas a la misma edad de rebrotes	10
2.	Interacción de minerales en suelos, plantas, alimentos y tejido animal	13
3.	Valores medios de pH y minerales en suelo	52
4.	Análisis de factores usando una matriz de correlación para minerales en suelos durante la estación lluviosa	57
5.	Análisis de factores usando una matriz de correlación para minerales en suelos durante la estación seca	59
6.	Valores medios de proteína cruda (PC) y minerales en forrajes	61
7.	Contenido de proteína cruda y minerales de las principales especies en un pastizal en Chorreños, Durango	67
8.	Análisis de factores usando una matriz de correlación para minerales en forrajes durante la estación lluviosa	69

9. Análisis de factores usando una matriz de correlación para minerales en forrajes durante la estación seca 71
10. Análisis de correlación canónica entre minerales en suelo y forrajes en la época lluviosa 72
11. Análisis de correlación canónica entre minerales en suelo de la estación lluviosa y forrajes de la estación seca 74
12. Análisis de correlación canónica entre minerales en suelo y forrajes muestreados en la estación seca 76
13. Valores medios de minerales en plasma o suero de bovinos 77

INDICE DE FIGURAS

FIGURA No.

PAGINA

1. Distribución de la precipitación y temperatura (1983-1988)

en la Unidad de producción Chorreños, Durango . . . 40

2. Plano de la explotación Chorreños, Durango . . . 44

INDICE DE APENDICES

FIGURA No.	PAGINA
1. Valores medios de minerales en suero sanguíneo de bovinos diferentes en cada estación	109
2. Análisis de varianza para pH de suelos	110
3. Análisis de varianza para Aluminio intercambiable en suelos	111
4. Análisis de varianza para minerales de suelos	112
5. Análisis de varianza para proteína cruda y minerales en forrajes	116
6. Análisis de varianza de minerales en sangre de bovinos. Mismos animales en las dos estaciones	121
7. Análisis de varianza para minerales en sangre de bovinos. Animales diferentes por estación	125
8. Análisis de varianza para minerales en sangre de bovinos. Total de animales muestreados en las dos estaciones	129

9. Análisis de factores de minerales en suelo durante la estación lluviosa	133
10. Análisis de factores de minerales en suelo durante la estación seca	137
11. Análisis de factores de minerales en forrajes en la estación lluviosa	140
12. Análisis de factores de minerales de forrajes durante la estación seca	143
13. Análisis de correlaciones canónicas entre minerales del suelo y minerales del forraje en la estación lluviosa .	146
14. Análisis de correlación canónica de minerales en el suelo en la estación lluviosa y minerales de forrajes en la estación seca	156
15. Análisis de correlación canónica entre minerales en el suelo y minerales en forrajes de la estación seca . .	157

RESUMEN

CONCENTRACION MINERAL EN SUELO, FORRAJE Y SUERO SANGUINEO DE BOVINOS EN CHORREÑOS, DURANGO

Rufino López Ordaz, Maestro en Ciencias en Producción Animal

Universidad Autónoma Chapingo, 1990

Director de Tesis: Maximino Huerta Bravo, M. Sc.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar las concentraciones de minerales en suelos, forrajes y sangre de bovinos en un pastizal abierto en Chorreños, Durango (1889 msnm, TMA = 17.5½ C, PMA = 440 mm, clima seco estepario). El área experimental incluyó la superficie total (1811 ha) de una explotación de bovinos Charolais para producción de becerros al destete. Se colectaron muestras de suelos, forrajes y sangre de bovinos a finales de la estación lluviosa y de la estación seca de 1987. Las variables de respuesta estudiadas fueron la concentración de Ca, P, K, Mg, Na, Cu, Fe y Zn en suelos, forrajes y suero sanguíneo. Adicionalmente, se determinó el contenido de proteína cruda (PC) en forrajes. Las relaciones entre minerales del suelo y entre minerales de forrajes se estudiaron mediante análisis de factores, y las relaciones entre minerales del suelo y forrajes se estudiaron mediante correlaciones canónicas. No se encontraron efectos aparentes de estación ($P > .01$) sobre la concentración de minerales y pH en suelos. Sin embargo, se encontró que los suelos son deficientes en P, Cu y Zn; abundantes en Ca, y adecuados en K, Mg, Na y Fe. En las dos estaciones las concentraciones de Ca, P y K fueron los mejores indicadores de la fertilidad del suelo. En forrajes, con excepción de Mg, los demás minerales no fueron afectados ($P > .01$) por la estación del año encontrándose deficientes en K, Cu y Fe, y exceso en Ca, Mg, Na y Zn y niveles adecuados en P y PC. En la estación de lluvias, el

análisis de factores mostró que el Cu y el Zn son buenos indicadores del contenido mineral de forrajes y en la estación seca lo fueron el Ca y el P. En la estación lluviosa, los minerales en suelos aparentemente explicaron el 41 % de la variación en el contenido mineral en forrajes, y el 30 % de la misma en forrajes de la estación seca. Durante esta última, los minerales en suelo explicaron aproximadamente el 35 % del contenido mineral en forrajes. En el suero sanguíneo de bovinos no se observaron efectos ($P > .01$) de la estación del año sobre la concentración de minerales. Sin embargo, se encontraron deficiencias de P, K, Mg, Cu, Fe y Zn y niveles adecuados de Ca. No se encontraron diferencias ($P > .01$) en concentración mineral, entre animales que se estudiaron en una sola o en las dos estaciones.

INTRODUCCION

En los sistemas de producción más comunes la carne y la leche de bovinos se producen a base de forrajes, principalmente con especies nativas. En las zonas árida y semiárida los forrajes proporcionan relativamente buenas cantidades de nutrientes durante la estación de lluvias. Sin embargo, una vez que la planta madura y durante la estación seca, la cantidad de nutrientes disponibles para el animal disminuye, lo que se refleja en una pérdida de peso y altas tasas de mortalidad (SARH, 1987). Ante esta situación el productor obtiene ganancias que no superan los 100 kg/animal/año, además de que sólo de 30 a 50% de las vacas presentan partos cada año. Esto se ha asociado con desbalances de minerales en suelos y forrajes lo que constituye un serio problema nutricional en bovinos (McDowell et al., 1984) con pérdidas económicas considerables para el productor. A pesar de la importancia de la nutrición mineral en la productividad de los sistemas de producción bovina, la información existente al respecto para las condiciones de las zonas árida y semiárida en México es muy limitada.

El presente trabajo tuvo como objetivos cuantificar el nivel de minerales y estudiar sus relaciones en suelo, forraje y sangre animal en dos épocas del año.

REVISION DE LITERATURA

En el estudio del metabolismo mineral se reconoce que ciertos elementos son esenciales para la vida del animal. De acuerdo con la cantidad requerida por plantas y animales estos elementos se clasifican en dos grupos. El primer grupo es de los macroelementos el cual incluye a Calcio (Ca), Fósforo (P), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Potasio (K), Cloro (Cl) y Azufre (S). El segundo grupo es el de los microelementos o elementos traza, que incluye a Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Cobalto (Co), Molibdeno (Mo), Iodo (I), Selenio (Se), Flúor (F), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Estaño (Sn), Sílice (Si), Vanadio (V) y Arsénico (As). En esta revisión se incluyen aspectos de disponibilidad, metabolismo y utilización de Ca, P, Mg, Na, K, Cu, Fe y Zn en suelo, forraje y sangre animal.

1. Concentración de minerales en suelos

La cantidad de minerales disponibles para las plantas varía en función de la génesis y formación geológica del suelo y de la humedad, temperatura, pH, y contenido de materia orgánica (MO). A continuación se revisan los factores más importantes que afectan la disponibilidad de minerales en suelos.

1.1. Naturaleza del material parental

Se reconoce que la roca madre que dió origen al suelo influye directamente sobre la cantidad de minerales disponibles a plantas (Hausenbuiller, 1980; FitzpPatrick, 1984).

Allaway (1968a) indicó que suelos originados de diferentes tipos de material parental dieron origen a suelos de concentración mineral variable. Reid y Horvath (1980) mencio-

naron que las diferencias en niveles de minerales entre rocas y suelos son debidas a procesos ocurridos durante la formación del suelo, por ejemplo, eluviación e iluviación.

El contenido mineral de un suelo fue afectado no solamente por el material parental sino también por una serie de complejos de factores pedológicos como laterización, podzolización, calcificación y salinización (Beeson y Matrone, 1976).

1.2. Efecto de la humedad

El efecto de la humedad del suelo sobre la concentración de los minerales para plantas puede ser completamente apreciable y opera por procesos químicos, físico-químicos y microbiológicos. En el caso de cationes como Cu, Fe y Co la reducción a formas químicas de valencia más bajas provocó incrementos en su solubilidad y en su disponibilidad (Hausenbuiller, 1980). La concentración y disponibilidad de otros elementos como K y Mg se relacionó con la expansión y contracción de arcillas minerales del tipo 2:1 consecuente con el grado de humedad presente en el suelo (Beeson y Matrone, 1976). El efecto de la humedad del suelo sobre el paso de minerales a plantas forrajeras fue estudiado por Hernando et al. (1968) quienes concluyeron que en suelos con bajo nivel de humedad el contenido de N en la planta incrementa, en tanto que el de P disminuye. Sin embargo, en la concentración de Ca, K y Mg no se observó ningún patrón definido de cambios en respuesta a diferencias en humedad del suelo.

1.3. Efecto de la temperatura

El efecto de la temperatura sobre la absorción de minerales fue demostrado por Reid y Horvath (1980), y Kabata-Pendias y Pendias (1986) y FitzPatrick (1984). Sin embargo, la más clara interacción entre temperatura y absorción mineral fue demostrada por Nye y

Thinker (1977). A bajas temperaturas la absorción de P fue baja, atribuyéndose a una depresión de los mecanismos de extensión radicular y permeabilidad de las membranas. **Knoll et al. (1964)** presentaron evidencia de que la temperatura del suelo afectó la absorción de nutrientes, especialmente P. En estudios de invernadero con maíz, la producción y la absorción de P incrementaron cuando la temperatura ascendió de 15 a 25° C. Cuando el P {39 y 78 kg/ha} se mezcló con los diferentes estratos del suelo, la absorción del mineral fue menor a más bajas temperaturas y mayor conforme la temperatura del suelo incrementó de 15 a 25° C.

1.4. Efecto del pH

Los cambios en la reacción del suelo explican en muchas ocasiones el contenido mineral de los forrajes. Se conoce que en un rango de pH de 5.5 a 8.5 se presenta, generalmente, el espacio de mayor absorción de minerales por parte de la planta (Reid y Horvath, 1980; Kabata-Pendias y Pendias, 1980). En el caso de elementos mayores como el P incrementan su disponibilidad a pH de 6.0, en tanto que los elementos traza disminuyen su disponibilidad a pH 7.0 (Anderson et al., 1961; Mills y Williams, 1971; Beeson, 1978).

Hay un intercambio continuo de cationes de la fase líquida y de cationes adsorbidos de la superficie coloidal. El pH tiene un efecto profundo sobre la solubilidad de los elementos minerales y su disponibilidad a plantas. Suelos muy ácidos (pH 4.5) o muy alcalinos (pH 8.5) pueden resultar en excesiva o limitada solubilidad de un elemento (Reid y Horvath, 1980).

Beeson y Matrone (1976) indicaron que el suelo consiste de tres fases: sólida, líquida y gaseosa. Los minerales que se encuentran en la fase sólida están disponibles a plantas y se

liberan por hidrólisis (ejemplo: Ca, Mg y K). La absorción de minerales por las plantas está relacionada con la concentración en la fase líquida. Muchos de los minerales liberados se adhieren a la superficie de partículas coloidales del suelo, principalmente por la base de intercambio con iones hidrógeno.

1.5. Efecto del contenido de materia orgánica

Los microelementos como Cu, Co, y Zn sufren reacciones similares a los macroelementos. Sin embargo, en minerales traza los procesos de retención, mineralización y su paso a planta son influidos por la MO del suelo (Aubert y Pinta, 1977). Aunque parece ser una relación general entre minerales traza y MO, los suelos con altos contenidos de residuos orgánicos son deficientes en Cu (Boyd y Knezer, 1972) y Zn (Becker *et al.*, 1953).

La composición del suelo es la principal determinante del contenido mineral en plantas. El contenido de cualquier elemento es una función del material parental y del grado de desarrollo del suelo, mientras que su disponibilidad a las plantas es influida por la humedad, la textura, la MO y la reacción del suelo (Knoll *et al.*, 1964; Whitehead, 1966; Siebert *et al.*, 1968; Fleming, 1973).

Las propiedades y condiciones del suelo afectan la absorción de minerales por plantas. El suministro de iones a la raíz es controlado por procesos de convección, difusión e interceptación (Woodruff y Kamprath, 1965; Olsen y Kemper, 1968; Hale *et al.*, 1971). Las raíces de plantas extraen nutrientes de la solución del suelo por mecanismos de transferencia activos y pasivos (Hodges, 1973) y lo hacen en competencia con otros factores como adsorción, tasa de pasaje y utilización por la microflora y la microfauna.

Korte *et al.* (1976) estudiaron la movilidad relativa de los elementos traza en suelos,

indicando que es posible predecir cuantitativamente el movimiento de un mineral a través del suelo conociendo las propiedades físicas y químicas del mismo. Se reconoce a la textura, área superficial, contenido de iones oxhidrilos y óxidos libre de Ca, como los que suministran la información más útil para predecir la retención de minerales del suelo.

2. Concentración mineral en forrajes

La concentración de minerales disponibles en plantas forrajeras dependen de factores de la planta (género, especie, madurez) y del ambiente (precipitación, temperatura, luz, etc.). A continuación se revisan los factores que afectan la concentración de minerales.

Además de los factores del suelo discutidos en el inicio de esta revisión, otros factores como género, especie, variedad y efectos estacionales, influyen en la composición mineral de plantas forrajeras (Knoll et al., 1964; Whitehead, 1966; Siebert et al., 1968; Kay y Batlenay, 1969; Wallace, et al., 1973, 1974; Minson, 1977, 1981; McDowell et al., 1977, 1983; Little 1981),

2.1. Factores de la planta

A igual estado de madurez y bajo condiciones de praderas puras, las plantas arbustivas y leguminosas forrajeras son más ricas en la mayoría de minerales esenciales que las gramíneas (cuadro 1) (Thomas et al., 1952; Griffith y Walters, 1966; Fleming, 1973; Reid et al., 1974).

Cuadro 1. Variación en la concentración de minerales en poblaciones de gramíneas a la misma edad de rebrotes

ESPECIE	N	K	Ca	Mg	Na	P
<u>Lolium</u> ¹ <u>perenne</u>	* * * *	2.68- 3.02	0.93- 1.25	* * * *	0.16- 0.51	0.19- 0.28
<u>Lolium</u> ² <u>perenne</u>	1.96- 3.78	2.65- 3.85	0.34- 0.56	0.14- 0.21	0.07- 0.15	0.32- 0.47
<u>Phalaris</u> ³ <u>arundinacea</u>	2.01- 2.61	2.60- 3.10	0.33- 0.53	0.31- 0.53	* * * *	0.37- 0.46
<u>Setaria</u> ⁴ <u>sphacelata</u>	* * * *	1.30- 3.11	0.15- 0.36	0.18- 0.37	0.05- 1.80	* * * *
<u>Trifolium</u> ⁵ <u>subterraneum</u>	3.00	2.00	0.07	* *	0.20	0.35
<u>Medicago</u> ⁶ <u>truncatula</u>	3.30	* *	1.52	0.35	* *	0.21

¹Butler et al. (1962).

²Cooper (1973).

³Hovin et al. (1978).

⁴Hacker (1974a).

⁵Mc Naught (1970).

⁶Gladstones y Loneregan (1970).

* * Valor no cuantificado.

Conforme la planta incrementa su área fotosintética, la producción de materia seca promueve en el tejido vegetal la formación de carbohidratos y proteínas, disminuyendo la absorción de Ca, P, K, Mg, Na, Cl, Cu, Co, Fe, Zn y Mo. Al respecto se han observado efectos muy variables. Reid *et al.* (1974) concluyeron que en la mayoría de las circunstancias el contenido de P, K, Mg, Na, Cl, Cu, Co, Fe, Zn y Mo declinan conforme la planta madura. Jones (1963) observó tendencias similares de disminución en los niveles de Na y Mg e incrementos marcados de Ca al avanzar la madurez (Norman, 1963; Little, 1970).

Otros estudios indicaron que las concentraciones de Ca, P, K, Mg, Na, Cl, Cu, Co, Fe, Zn y Mo disminuyeron conforme la planta madura (Robinson y Sageman, 1967; Shaw, 1978; Kalmbacher *et al.*, 1984). Por otra parte, los niveles de Ca, P, Mg, N, S y K permanecieron relativamente constantes o tendieron a incrementar, en tanto que los elementos traza disminuyeron, aumentaron o no presentaron cambios consistentes con el estado de crecimiento, especie de planta o condición estacional (Fleming, 1973). No hay una marcada disminución del contenido mineral conforme avanza la madurez de los forrajes. La especie de planta (Reid *et al.*, 1974), el estado de crecimiento (Whitehead, 1966), la relación hoja-tallo (Mc Ivor, 1979), la precipitación, la temperatura y la intensidad de luz (Little, 1981) también afectan las tasas de translocación de nutrientes entre partes de la planta. El principio de la diversidad de resultados estriba en que bajo condiciones de campo es difícil separar la influencia de la madurez de los efectos de las estaciones del año.

2.2. Efectos del ambiente

El grado al cual la estacionalidad y la temperatura afectan el contenido de minerales depende de la especie de planta, la temperatura del suelo, la precipitación y la intensidad de luz (Fleming, 1973). Una consecuencia práctica de estos cambios en composición, es que los desórdenes nutricionales de animales en pastoreo, atribuibles a desbalances de minerales son frecuentemente asociados con periodos específicos del año. Sin embargo,

los efectos del clima asociados con la madurez y otros factores como defoliación y fertilización de la pradera, frecuentemente han confundido los efectos de la estacionalidad (Little, 1981).

Conforme la planta avanza hacia la madurez se presentan cambios en el contenido mineral. Estos cambios son por procesos de dilución natural (Fleming, 1973) y translocación de nutrientes al sistema radicular (Tergas y Blue, 1971), y están relacionados con la proporción hoja:tallo, floración y ambiente de la semilla, como resultado de la acción del clima, manejo, y rendimiento de la pradera (Kemp *et al.*, 1971; Minson, 1977; Little, 1981; McDowell, 1983). En la mayoría de las plantas, las diferencias en el contenido mineral son menores entre semillas que las encontradas entre partes vegetativas (Mc Ivor, 1979). Factores climáticos como temperatura y precipitación, juegan un papel importante en la absorción de minerales del suelo. Nielsen *et al.* (1961) encontraron que la absorción de P y la producción de la parte aérea y raíces de la planta de maíz incrementaron conforme incrementó la temperatura del suelo cercana a la zona radicular. La temperatura ejerció un marcado efecto sobre la capacidad reductora de nitratos. Aunque el nitrato fue absorbido rápidamente, su reducción y síntesis a compuestos orgánicos nitrogenados ocurrieron muy lentamente cuando la temperatura en el interior de la planta fue de 13° C.

3. Disponibilidad de minerales para animales

La forma química en la que los minerales están presentes en las plantas puede determinar la eficiencia de utilización en el tracto digestivo de animales (Bowen, 1966; Ammerman *et al.*, 1977). La disponibilidad de elementos también puede ser afectada por la presencia de compuestos interactuantes (tanto orgánicos como inorgánicos), por la madurez de la planta, el tipo de forraje y la fertilización (Little, 1970; Fleming, 1973;

Miller, 1983). De la cantidad de un mineral presente en tejidos de plantas, probablemente sólo una pequeña fracción es utilizada para mantenimiento y producción del animal, mientras que el resto es generalmente excretado en las heces (Reid y Horvath, 1980).

Otros factores que afectan los requerimientos minerales incluyen: raza, edad, nivel de producción, adaptación del animal, la concentración, forma química del mineral y las interacciones del mineral con otros nutrientes en la dieta (Reid *et al.*, 1947; Dick, 1956; Mills *et al.*, 1958; Sass-Korstack, 1965; Van Campen y Scaife, 1967; Mc Donald, 1968; Miller, 1969; Van Campen, 1969; Bremner y Marshall, 1974; Kovalsky, *et al.*, 1974; Stake *et al.*, 1975; Suttle, 1975; Suttle y Mc Lauchlan, 1976; Jones, 1978; Saylor *et al.*, 1980; Little, 1983; McDowell *et al.*, 1983).

Mills (1974) y McDowell *et al.* (1983) observaron que la disponibilidad de los minerales esenciales puede ser modificada por las concentraciones de, al menos, otros 15 elementos presentes en la dieta (cuadro 2). En el caso de minerales traza, su disponibilidad es influida por más de 20 interacciones entre elementos, además de aquéllas que se presentan con otros compuestos orgánicos e inorgánicos de la dieta (McDowell *et al.*, 1983; Miller, 1983).

Los procesos esenciales a considerar cuando se discute la disponibilidad y absorción de los elementos traza son: 1) la forma química del elemento en el forraje, 2) la solubilidad y estabilidad durante la digestión, 3) la formación de compuestos

Cuadro 2. Interacción de minerales en suelos, plantas, alimentos y tejido animal

ELEMENTOS Y RANGOS OPTIMOS DE pH			INTERACCIONES EN LA SUPERFICIE RADICULAR ¹	
			ANTAGONICOS	SINERGISTICOS
Ca	pH	6.5-8.5	Mg, K, [B, tóxico]	B
Mg	pH	7.0-8.5	Ca, [B, tóxico]	B
P	pH	6.5-7.5		Mg
Cu	pH	5.0-7.0	B, Zn, Mo	[B, tóxico]
Fe	pH	4.5-6.0	Cu, Zn, Mo, Mn, Cd	B, Mo
Mn	pH	5.0-6.5	Fe, B[B, tóxico]	
Mo	pH	6.0-8.0	Cu, S	P
Zn	pH	5.0-7.0	P, B, Fe, Cu	N, [B, tóxico]
ELEMENTOS			INTERACCIONES INTERNAS EN PLANTAS ¹	
Fe			Zn, Mo, P, Mn, S	
Zn			Fe, N [por dilución]	Fe, Mg
INTERACCIONES EN LOS TEJIDOS DEL ANIMAL				
Mg			Ca ³ K ^{8,9} P ⁹ Na ⁹ Fe ³ N ¹¹	
S			Mg ¹¹	
Cu			Mo ² S ² Zn ¹² Fe ^{12,13} Cd ^{2,14} Pb ¹⁴	
Fe			Ca ³ P ³ Cu ^{2,3} Zn ^{2,3} Cd ¹⁴ {Fitatos} ²	

¹Beeson (1978).

⁸Fontenot et al. (1973).

²Mills y Williams (1971).

⁹Care et al. (1967).

³Chicco (1973).

¹⁰Kemp et al. (1966).

⁴Thompson et al. (1959).

¹¹Reid et al. (1979).

⁵Jones (1978).

¹²Van Campen (1969).

⁶Hartmans (1971).

¹³Schwarz y Kirchgessner (1980).

⁷Harrison y Harrison (1963).

¹⁴Hill et al. (1963).

ligados a metales con componentes de la secreción gastrointestinal, y 4) la absorción (activa o pasiva) del producto final en el lumen intestinal. Además de la liberación de componentes metálicos de acarreadores específicos de la mucosa intestinal involucrados en el transporte (Fenner, 1979). Este mismo autor concluyó que la absorción de un mineral depende principalmente de su concentración, de la forma química y de la presencia de otros nutrientes en la dieta.

Los factores que influyen sobre la disponibilidad de elementos minerales en términos de su absorción de la digesta son: el contenido de agua, pH, el ambiente prevaleciente en el tracto y la tasa de paso del alimento (Cragle, 1973). El sitio de absorción intestinal para la mayoría de los minerales es en la porción distal (Booth, 1967).

4. Concentración y actividad de minerales en suelo, forraje y animal

4.1. Calcio

4.1.1. Calcio en suelos

Básicamente, por una baja saturación de bases del complejo de intercambio, los suelos ácidos de las regiones húmedas son comúnmente pobres en Ca (Kamprath y Foy, 1971). Debido a su movilidad, la liberación de Ca en la mayoría de los suelos está en función de las necesidades de las plantas (Havlin y Westfall, 1985).

4.1.2. Calcio en plantas

Las plantas superiores usualmente contienen concentraciones importantes de Ca (125 a 250 M/g o de .5 a 1% de la MS), por lo que aparentemente, la presentación de la defi-

ciencia sería rara. Sin embargo, el Ca es un elemento de poca movilidad en la planta (Lonergan y Snowball, 1969) y su deficiencia puede presentarse aún con niveles de cinco a diez veces mayor que su contenido normal en forrajes (Todd, 1967).

El Ca en las plantas interviene en el mantenimiento y funcionamiento de la membrana celular y el crecimiento radicular. La deficiencia de Ca en las raíces causa rompimiento del proceso normal de diferenciación y división celular, y este último es irreversible (Sorokin y Sommer, 1940).

Frolich *et al.* (1966) sugirieron que otra función importante del Ca en forrajes puede ser la protección de las raíces del efecto nocivo de cationes metálicos (Cu, Zn, Mg y Sr). Según Wallace *et al.* (1968), cuando el suministro de estos elementos es bajo, los requerimientos por Ca disminuyen. Además, es requerido en el desarrollo de paredes celulares y como cofactor de enzimas hidrolíticas. El Ca se encuentra en las plantas en forma de sal soluble, parcialmente soluble (fosfatos) o insoluble (oxalatos) y ligado o adsorbido a proteínas (Butler y Jones, 1973), formando complejos no iónicos con pectinas, lignina y ácidos orgánicos (Molloy y Richards, 1971). También se le encuentra como cristales de oxalatos de Ca (Gallaher, 1975).

Debido a su inmovilidad en el floema (Lonergan *et al.*, 1968) el Ca no se transporta realmente de tejidos viejos a jóvenes. Consecuentemente, los síntomas de deficiencias generalmente se presentan en las hojas jóvenes. En casos extremos las hojas nuevas pueden morir antes de expandirse y perder los puntos de crecimiento por influencia de la deficiencia de Ca. La muerte de la punta de la raíz causa el desarrollo de un tocón, ramificando anormalmente al sistema radicular, lo que dificulta la absorción. Por otra parte, Jones (1978) encontró que el Ca es probablemente el ion metálico con mayor capacidad para ligarse a grupos carboxílicos e hidroxifenólicos de las paredes celulares, y posible-

mente también al Si que está fuertemente asociado con estos compuestos en la actividad y el funcionamiento de las paredes celulares.

La disponibilidad biológica del Ca en forrajes ha sido establecida. Algunos factores que influyen sobre la absorción y retención del elemento son la edad del animal, el nivel de vitamina D, la concentración hormonal en sangre, la cantidad y la forma del Ca en la dieta y el nivel del elemento en tejidos (Peeler, 1972).

Underwood (1966) indicó que la más baja incidencia de desórdenes propiciados por Ca en relación a P es atribuible a tres factores principales: 1) una concentración más alta de Ca que de P en las hojas y tallos de las plantas forrajeras, pues el P se concentra en las semillas; 2) una distribución más amplia de suelos deficientes en P y no en Ca; y 3) una menor disminución en la concentración de Ca que de P conforme avanza el desarrollo de puntos fotosintéticos de los forrajes.

4.1.3. Calcio en tejido animal

En animales, el principal sitio de absorción para Ca es el intestino delgado (Grace et al., 1974; Braitwaite, 1976; Stevenson y Unsworth, 1978; Dillon y Scott, 1979) y en el píloro (Grace et al., 1974; Bertoni et al., 1976). El Ca se absorbe tanto por transporte activo como por difusión (Taylor, 1974; Wasserman, 1981). La absorción por transporte activo depende de la capacidad del elemento para ligarse a proteínas (fosfatasas) en la mucosa intestinal (Krawitt et al., 1973). Esta capacidad se debe a la presencia de vitamina D (en forma hormonal) en el intestino, la cual es producida en el hígado bajo el control de la hormona paratiroidea secretada en respuesta a pobres niveles de Ca en la dieta (Taylor, 1974; Peacock, 1976; Wasserman, 1981). Dentro de límites amplios, los rumiantes regulan la absorción de Ca en función de sus necesidades (Braithwaite, 1976; Miller, 1979;

ARC, 1980). En los alimentos, la cantidad de Ca que se absorbe es limitada por la concentración en forma disponible. Si el nivel absorbido es inadecuado para cubrir las necesidades del animal (como al inicio de la lactancia), el Ca se absorbe a partir de los huesos (Jacobson *et al.*, 1975). Posteriormente, si hay excesos disponibles, la absorción permanece más alta que los requerimientos, hasta que las necesidades óseas se satisfacen (DeLuca, 1979).

El ion Ca participa en muchos procesos fisiológicos y bioquímicos. A nivel celular, se estima que alrededor de 30 reacciones dependen del Ca (Beeson *et al.*, 1975; Carafoli y Crompton, 1978; Racker, 1980; Wasserman, 1981). Además, es esencial para la formación y mantenimiento de los huesos, la coagulación normal de la sangre, participa en la liberación de neurotransmisores a la sinapsis, regula las contracciones musculares mediante su interacción con troponina C, participa en la secreción pancreática y hormonal, es requerido para la coagulación normal de la sangre, une y controla la permeabilidad de las membranas y está involucrado en la comunicación intercelular (Rasmussen, 1970; Carafoli *et al.*, 1975; Duncan, 1976; Carafoli y Crompton, 1978).

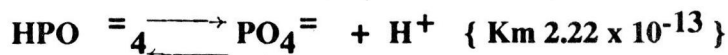
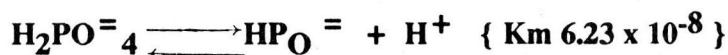
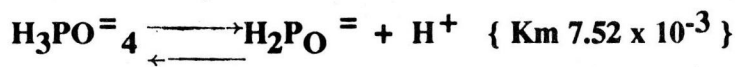
Los niveles plasmáticos de bovinos alimentados normalmente contienen de 9 a 12 mg de Ca/100 ml. La concentración presente es regulada por mecanismos complejos (Buchanan-Smith, 1978; De Luca, 1979; Miller, 1979). La deficiencia de estos mecanismos desencadena problemas en los animales, los cuales se presentan después de cierto tiempo (ARC, 1980), hasta que la movilización del Ca en huesos lo permita. No obstante, en casos extremos, y si el desbalance persiste, se reduce la tasa de crecimiento y la producción de leche (Becker *et al.*, 1953; Miller, 1979). Los síntomas clínicos más evidentes de la deficiencia de Ca están caracterizados por raquitismo y osteomalacia.

4.2. Fósforo

4.2.1. Fósforo en suelos

El P es potencialmente el nutriente más limitante en los ecosistemas agrícolas, quizás más limitante que Ca y K (Black, 1968). Los suelos de regiones húmedas comúnmente contienen concentraciones de 490 ppm de P en tanto que los suelos de las regiones áridas contienen 510 ppm (Larsen, 1967).

El P se encuentra en forma iónica en la solución del suelo, básicamente por disociación del ácido fosfórico en tres pasos:



El ion PO_4^{3-} se presenta en pequeñas cantidades en valores de pH inferiores a 10, y es de poca importancia en la nutrición de plantas. En suelos con pH de 7.2 predomina la forma HPO_4^{2-} , mientras que por abajo de este valor, comúnmente se encuentra como H_2PO_4^- . Aún cuando las raíces de plantas forrajeras parecen tener mecanismos separados para la absorción de H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} , ambas formas son igualmente absorbidas (Hagen y Hopkins, 1955) y es la cantidad del ion o la forma orgánica como se encuentre en

solución del suelo la que regula su paso a las plantas. Comparativamente con el Ca y el K, el P es potencialmente más limitante en muchos ecosistemas agrícolas (Black, 1968). Su ciclo está gobernado por su estabilidad (baja solubilidad) y su baja movilidad en suelos. Esta relativa inmovilidad no permite grandes pérdidas por lixiviación o volatilización. En consecuencia, las cantidades en solución son pequeñas y el flujo hacia la zona radicular se torna más lento, provocando que el elemento sea insuficiente para satisfacer las necesidades de plantas (Black, 1968). El movimiento del P por difusión depende de su coeficiente de difusión, de la capacidad de la fase sólida para renovar las concentraciones en solución y del gradiente de concentración entre la solución del suelo y la superficie radicular (Olsen y Watanabe, 1961).

En suelos alcalinos de pastizales, la concentración de P en solución tiende a ser baja. A valores de pH superiores a 7.0, los iones de Ca y Mg, así como la presencia de carbonatos, provocan precipitación del P, dificultando su absorción (Black, 1968). El problema se presenta con mayor frecuencia en suelos que se han cultivado por muchos años. Las deficiencias de P son comunes en suelos grisáceos, "tierras negras" y en suelos viejos con bajo contenido de MO (Woodruff y Kamprath, 1965).

Saunders y Metson (1971) examinaron un rango amplio de suelos y propiedades climáticas y su efecto sobre los cambios estacionales en la concentración de P y el crecimiento de la pastura, y concluyeron que el principal factor que produjo un alto nivel de P en primavera fue la liberación del fosfato de la materia y los residuos orgánicos del suelo. En áreas de pastizal es común encontrar deficiencias de P. Por el contrario, niveles elevados del elemento interfieren con la utilización de otros nutrientes provocando deficiencias en plantas. Esto ha sido reportado para Cu (Binghan y Garber, 1960), Fe (Brown et al., 1961) y Zn (Watanabe et al., 1965).

Los factores que influyen sobre la concentración de P del suelo incluyen la composición mineral del suelo, el pH, la MO, el contenido de arcillas, la humedad y la aereación (Watanabe *et al.*, 1965; Munson, 1978).

4.2.2. Fósforo en plantas

El P existe en planta en varios estados de combinación, como fitatos de P, aunque en mayor proporción como P inorgánico y en esta forma es biológicamente más disponible para el animal (Butler y Jones, 1973).

En plantas el P es constituyente de un gran número de compuestos biológicamente importantes incluyendo fosfolípidos, nucleoproteínas, azúcares fosfatados, ácido de-soxirribonucleico (DNA), trifosfato de adenosina (ATP) y difosfato de adenosina (ADP). Como resultado es esencial para todas las formas de vida (Miller, 1983). Además, en forma inorgánica parece actuar como activador de varios sistemas enzimáticos y como buffer en flúidos corporales (Kibdy, 1966; Miller, 1983).

Aún cuando los requerimientos de P por las plantas no son particularmente altos (.2% de la MS) la deficiencia de P en suelo se presenta con facilidad, reduciendo la capacidad productiva de los forrajes. La clorosis y muerte de las hojas indica su movilidad en el floema, y es un síntoma caraterístico de su deficiencia. Las plantas deficientes presentan además, coloración púrpura, roja o gris a lo largo de las venas (Epstein, 1972), debido a la producción de antocianinas que reducen grandemente el tamaño de la planta. Además, la deficiencia de P afecta también a las estructuras reproductivas provocando floración temprana, influyendo adversamente en la producción de MS (Butler y Jones, 1973).

Contrario a como se presenta en los suelos, el P es reconocido como un nutriente muy móvil dentro de la planta y su actividad metabólica es mayor cuando está presente como ester de fosfatos. Las formas inorgánicas del P predominan en las partes vegetativas de la planta. En semillas generalmente se presentan las mayores concentraciones de ácido fítico (Taylor, 1979).

4.2.3. Fósforo en animal

La disponibilidad biológica del P en fitatos varía dependiendo de la especie, edad del animal y nivel de Ca en la dieta. El fitato es desdoblado en rumen por la actividad microbiana y únicamente 60% del P es disponible al animal (Reid *et al.*, 1947). También se sabe que conforme el animal avanza hacia la madurez fisiológica adquiere mayor habilidad para absorber el P como fitatos, por la presencia de mayores cantidades de la enzima fitasa en el intestino delgado. El P asociado a fitatos se combina con otros elementos como Ca, Mg, Zn, Mn, ácidos grasos y MO, lo que afecta negativamente su disponibilidad al animal (Reid *et al.*, 1947). No se han descrito sitios de absorción para el P. En parte, esto es debido a que en los sistemas biológicos existe en forma combinada por ser un elemento extremadamente reactivo (ARC, 1980).

Por su parte, Braithwaite (1976) indicó que la absorción es por difusión simple y la cantidad absorbida se relaciona directamente con la concentración de P en el lumen del intestino delgado. Dobson y Phillipson (1968) y Rahnema y Fontenot (1986) concluyeron que el principal sitio de absorción es el intestino delgado. Sin embargo, también es posible que fracciones pequeñas se absorban en omaso (Engelhardt y Haufe, 1975). Wasserman (1981) indicó que la absorción del fosfato es en el intestino delgado por transporte activo estimulado por la forma activa de vitamina D.

Desde un punto de vista metabólico, el P es el más versátil de los nutrientes minerales. En adición a sus funciones en el tejido esquelético, también participa en procesos de absorción y utilización de la energía (Underwood, 1966; ARC, 1980; Miller, 1983). Los carbohidratos como la glucosa son absorbidos a través de la mucosa intestinal en forma de compuestos fosforados. Hay evidencia de que los fosfolípidos constituyen la forma de transporte más común de los ácidos grasos del cuerpo (Miller, 1983). Los compuestos fosforados como la glucosa-6-fosfato y las triosas de fosfato son intermediarios vitales en el proceso de glicólisis del metabolismo energético. La transferencia de la energía ocurre por enlaces a compuestos fosfatados ricos en energía que se encuentran como ATP y Fosfato de creatina. Además, forma parte de los ácidos nucleicos presente en las células (Miller, 1983). En rumiantes, el P también juega un papel importante en el metabolismo y la actividad de la microflora ruminal. Por lo tanto, para la formulación de dietas, se deben considerar dos tipos de metabolismo, uno para microorganismos del rumen y otro para el animal mismo.

El primer síntoma de una deficiencia de P es anorexia (reducción del apetito). Posteriormente, la mayoría de los animales desarrollan pica (Becker *et al.*, 1953) que consiste en el consumo y masticación de palos, piedras, tierra, madera o huesos por el animal (Miller, 1979). En consecuencia, la ganancia de peso y la producción de leche disminuye, y se presentan problemas de fertilidad, bajas tasas de procreo y anormalidades de las huesos (Underwood, 1966; Morrow, 1969).

La proporción adecuada de Ca:P en la dieta de rumiantes es de 1:1 y 2:1. Sin embargo, Lueker y Lofgreen (1961) no detectaron efectos sobre la absorción de Ca o P en proporciones de .8:1 a 6:1. Otros estudios han indicado relaciones tan amplias como 4, 5 y aún 7 partes de Ca a 1 de P, sin producir ningún efecto perceptible de enfermedad en rumiantes (Wise *et al.*, 1963; Little, 1970). Sin embargo, una amplia proporción Ca:P dificulta el

crecimiento en bovinos. Wise et al. (1963) observaron un efecto similar cuando se alimentó a bovinos en crecimiento con una proporción 1:1 y 7:1. El consumo de alimento, la ganancia de peso y la eficiencia de conversión no fueron afectados por la relación Ca:P. Sin embargo, niveles inferiores de una relación 1:1 o superiores de 7:1, disminuyeron marcadamente el consumo de alimento y la tasa de crecimiento. Este efecto fue superior en proporciones Ca:P de 7:1.

Little (1970) concluyó que la proporción Ca:P de 2:1 no fue de consecuencia con respecto a la fertilidad, y posiblemente sólo marginal para el crecimiento del animal. Diez años más tarde, (ARC, 1980) indicó que no era posible establecer una proporción óptima de Ca y de P para cubrir las necesidades de los animales, o si existe una proporción adecuada para el crecimiento óptimo del animal. En animales en pastoreo, dado que las plantas casi invariablemente presentan concentraciones mayores de Ca con respecto a P (McDonald, 1968), los efectos nocivos se asocian con proporciones menores de 1:1 (Wise et al., 1963).

4.3. Potasio

4.3.1. Potasio en suelos

El K es probablemente más encontrado en suelos arenosos intemperizados que en suelos de textura fina. Se absorbe como ion K^+ de la solución del suelo. Los criterios de disponibilidad de K^+ para las especies forrajeras se clasifican en tres categorías: indisponible (90-98% del total), ligeramente disponible (1-10%) y realmente disponible (.1-2.0% del total) (Tisdale y Nelson, 1975). La forma indisponible se presenta como complejos de K asociado a Micas y Feldespastos. La disponibilidad baja resulta de la interacción

de K con arcillas minerales y la forma rápidamente intercambiable, es como ion K tomado directamente de la solución. Los mismos autores mencionaron que el contenido de K en suelos puede ser bajo por el lavado de los mismos (Reid y Horvath, 1980; Hausembuiller, 1980).

Asher y Ozanne (1967) concluyeron que los suelos arcillosos y orgánicos poseen un alto contenido de K, en tanto que los arenosos frecuentemente son deficientes. En general, los suelos con más de 120 ppm de K en forma disponible permiten un crecimiento adecuado de las plantas forrajeras, y la presentación de su deficiencia sería rara.

4.3.2. Potasio en plantas

Muchas plantas parecen necesitar concentraciones aproximadas de 100 M o menos de K en la superficie de la raíz para un crecimiento saludable (Asher y Ozanne, 1967), aunque otras evidencias sugieren que concentraciones de 1 M pueden ser adecuadas (Williams, 1961).

Claasen y Jungk (1984) indicaron que la absorción de K por plantas depende de: 1) la tasa de absorción de K/cm de raíz, 2) la proporción raíz-tallo en peso seco y 3) la edad promedio de la raíz (como indicador de la absorción activa), y que las formas de absorción difieren marcadamente en las especies de plantas.

Por otra parte, el K es un elemento necesario para los forrajes en relativamente grandes cantidades (1.0 % de MS, Epstein, 1972), pero no parece ser constituyente de ningún compuesto orgánico estable en tejidos de plantas. Evans y Sorger (1966) indicaron que el K es requerido como cofactor en más de 40 sistemas enzimáticos y actualmente se cree que otros sistemas requieren de la presencia de este elemento. La deficiencia de K

conduce a alteraciones del metabolismo del N y carbohidratos.

La movilidad del K en el floema provoca que los síntomas de deficiencia se presenten primero en las hojas más viejas, como consecuencia de su participación en la fotosíntesis y translocación de carbohidratos. Conforme la planta madura, el K se encuentra presente principalmente en las áreas de nuevo crecimiento (Epstein, 1972). Los efectos de una deficiencia de K en forrajes son: afecta en la reducción en el crecimiento de las raíces y partes superiores de la planta, y el efecto sobre las raíces es mucho más pequeño que en la parte aérea, conforme la proporción hoja-tallo incrementa (Asher y Ozanne, 1967). A pesar de esto, el desarrollo vigoroso de las raíces en forrajes puede ser severamente reducido por una deficiencia de K incrementando el riesgo de pérdidas en los cultivos. La anatomía del tallo de plantas creciendo bajo suelos deficientes en K fueron afectados negativamente por un incremento en la proporción de tejidos fibrosos (Black, 1968). En adición, la deficiencia de K hace más susceptibles a las plantas al ataque de patógenos (Goss, 1968; Fountain y Sampson, 1969). Los niveles de K en forraje raramente son inferiores al 1.0 % de la MS.

4.3.3. Potasio en animal

El K se difunde libremente a través del rumen, pared intestinal, ileon e intestino grueso (Dobson y Phillipson, 1968) dependiendo del gradiente de concentración. El sitio principal de absorción es el intestino delgado (Dillon y Scott, 1979; Grace *et al.*, 1974; Rahnema y Fontenot, 1986). El K que escapa a la degradación ruminal se absorbe en abomaso (Engelhardt y Hauffe, 1975). El K junto con el Na, Cl y iones bicarbonatos juega un papel importante en la regulación osmótica de los fluidos corporales y en el equilibrio ácido-base. En tanto que el Na es el principal catión inorgánico del fluido extracelular de los tejidos, el K funciona principalmente como catión intracelular. Además, participa en la excitabilidad muscular y nerviosa, en la fosforilación de la creatina, actividad de la

piruvato kinasa, absorción celular de aminoácidos, metabolismo de carbohidratos, síntesis de proteínas y mantenimiento normal de tejidos del corazón y riñones (Dobson y Phillipson, 1968).

Los animales en pastoreo reciben casi todo el K a través del consumo de hojas y tallos de gramíneas. Los granos y concentrados aportan cantidades muy pequeñas de K (ARC, 1980 y NRC, 1984).

4.4. Magnesio

4.4.1. Magnesio en suelos

En suelos, el nivel de Mg intercambiable es frecuentemente alrededor del 10 % de la capacidad de intercambio catiónico. Metson (1974) indicó que la absorción de Mg por las plantas probablemente este asociada a un porcentaje de saturación de Mg del 5-6%. El Mg que se encuentra en solución es absorbido por las plantas como ion Mg^{++} , por contacto o intercambio químico (Reid y Horvath, 1980).

Unicamente una pequeña proporción del Mg total presente en suelos agrícolas es disponible a las plantas. La forma de como se transfiere ha sido poco estudiada (Reid y Horvath, 1980). Sin embargo, se sabe que el pH bajo (4.5) favorece el paso del ion a raíces de plantas. La habilidad de transferencia se facilita conforme el pH incrementa hasta un valor 5.5 (Moore *et al.*, 1961; Mass y Ogata, 1971). La absorción por las plantas depende de la cantidad presente, el grado de saturación, la naturaleza de otros iones intercambiables y el tipo de arcillas presentes en el suelo (Moore *et al.*, 1961).

4.4.2. Magnesio en plantas

En especies vegetales y animales el Mg participa como cofactor de varias enzimas involucradas en la glucólisis y ciclo de Krebs. En plantas verdes forma parte central de la molécula de clorofila esencial para la fotosíntesis (Bonner y Verner, 1965; Marks, 1966).

Los síntomas de deficiencia comúnmente aparecen en las partes más viejas de las plantas, sugiriendo una alta movilidad del Mg en el floema (Steucek y Koontz, 1970). Dentro de la planta, alrededor del 50 % del Mg es soluble (Butler y Jones, 1973), y una fracción pequeña (10 %) se combina con el complejo porfirina de la clorofila. Su disponibilidad también depende de la absorción en paredes celulares de bacterias (Fitt *et al.*, 1972) y de la capacidad de unirse a ácidos orgánicos y lignina (Molloy y Richards, 1971). La disponibilidad de Mg es afectada por varios factores. Conforme la planta madura el elemento se hace más aprovechable por el animal. Las aplicaciones de N y K influyen sobre la disponibilidad de Mg (Kemp *et al.*, 1971; Newton *et al.*, 1972; Reid *et al.*, 1974; Field y Suttle, 1970). Kemp *et al.* (1966) relacionaron la asociación de niveles altos de N en plasma y la absorción y concentración en plasma de Mg, con la mayor producción de ácidos grasos volátiles y niveles altos de N en el rumen, encontrando que esta situación favorece la formación de jabones de Mg en el rumen que interfieren en su capacidad de absorción. Las dietas con niveles altos de K también reducen la absorción neta de Mg. Esta reducción se da antes de su entrada al intestino delgado (Greene *et al.*, 1983b).

Otros factores que afectan la concentración del Mg son: la alta fertilización de Na y K de los forrajes (Metson *et al.*, 1966; Kemp *et al.*, 1971; Fontenot *et al.*, 1973), bajos niveles de energía en el alimento (Madsen *et al.*, 1976; House y Mayland, 1976), agentes quelatantes, como ácidos orgánicos, y una alta proporción de ácidos grasos en el alimento

(Bohman *et al.*, 1969; Kemp *et al.*, 1966; Wilson *et al.*, 1969; Grunnes *et al.*, 1970). El alto contenido de proteína cruda en el alimento consumido por el animal disminuye la absorción del Mg debido a que por la producción de NH_4^+ en el rumen se forma un complejo $\text{NH}_4\text{-PO}_4\text{-Mg}$ que se precipita y es insoluble a pH de 7.0 y en consecuencia, la disponibilidad del Mg se reduce en un 24 % (Metson *et al.*, 1966).

4.4.3. Magnesio en el animal

El proceso de absorción de Mg se lleva a cabo en el intestino delgado (Field, 1961; Care y Van't Klooster, 1965; Phillipson y Storry, 1965), píloro (Roger y Van't Klooster, 1969; Ben Ghedalia *et al.*, 1975; Horn y Smith, 1978; Dillon y Scott, 1969) y posiblemente en omaso (Fitt, *et al.*, 1979). En los rumiantes la mayor absorción se presenta en el estómago (Grace y MacRae, 1972; Grace *et al.*, 1974; Thomas y Porter, 1976a, b; Greene *et al.*, 1983b, c; y particularmente en el rumen y retículo (Thomas y Potter, 1976).

Fitt *et al.* (1972) encontraron que una proporción del Mg de la dieta está completamente unida a la pared celular de bacterias ruminales, y esta unión incrementa durante el paso de residuos de paredes celulares al tracto, lo cual constituye una reducción significativa de la cantidad del Mg disponible al animal.

El Mg es un macroelemento esencial en la nutrición de rumiantes, el cual está en niveles de aproximados al .05% del cuerpo del animal. Aproximadamente el 60% del Mg se encuentra en el esqueleto y el resto se distribuye en los demás tejidos y líquidos orgánicos. El Mg se asocia con Ca y P y su distribución en tejidos es semejante a ellos (ARC, 1980). El Mg es un constituyente especial de los huesos y dientes, participa directa o indirectamente en aproximadamente 80 reacciones enzimáticas (Schutte, 1964). Es esencial en la formación de acetyl-CoA y succinyl-CoA. Específicamente, activa todas las enzimas que

participan en transferencia del P, de ATP hacia ADP, razón por la cual se estima que es requerido en todos los procesos vitales (ARC, 1980). Wise et al. (1963) observaron que en el metabolismo de los rumiantes existe una estrecha relación entre Ca, P y Mg. Niveles altos de P en presencia de niveles bajos de Ca en la dieta causaron una reducción significativa de Mg en el suero sanguíneo de terneros, y la variación en los niveles de Ca de la dieta no influyó sobre la absorción y retención de Mg en novillos. Care et al. (1967) observaron que la verdadera absorción de Mg es limitada por los incrementos de Na y K.

O'Kelly y Fontenot (1969) establecieron que el suministro de 20 g de Mg/día a vacas adultas en lactancia mantuvo el nivel sérico de Mg de 2 mg/100 ml. Sin embargo, la suplementación con niveles excesivos de Mg deberían resultar en toxicosis (NRC, 1984).

Gentry et al. (1978) y Quillian et al. (1980) observaron que la absorción excesiva de Mg por rumiantes causó pérdida de peso, anorexia, somnolencia y cambios en el contenido de Ca, P, Na y K en el suero sanguíneo de bovinos en crecimiento.

La tetania de los pastos (tetania hipomagnesémica), comúnmente se presenta a principios de la primavera o particularmente en la época húmeda del otoño en animales que consumen forrajes tiernos, y ha sido considerada como un serio problema nutricional en rumiantes, por las pérdidas económicas que puede causar al productor (Fontenot, 1979). La tetania de los pastos es debida a una deficiencia metabólica de Mg (Fontenot et al., 1973) aunque no se limita a la simple deficiencia de Mg dietético (Miller et al., 1972; Little dike y Cox, 1979).

4.5. Cobre

4.5.1. Cobre en suelos

El Cu en suelos es encontrado principalmente como Cu^+ adsorbido a arcillas minerales y unido a la MO. El ion cúprico Cu es la forma química usualmente absorbida por las plantas, aunque también puede ser absorbido como sal de complejos orgánicos (ácido etilen-diamino-tetra-acético, EDTA). La deficiencia de Zn, al igual que la deficiencia de Cu, tiende a presentarse en suelos arenosos, orgánicos y alcalinos, donde el contenido total puede ser alto, y la disponibilidad baja (Becker *et al.*, 1953; Mills, 1964b). Los factores del suelo que afectan la disponibilidad de Cu a la planta incluyen el material parental, humus, concentraciones de arcillas, el pH y la MO del suelo (Aubert y Pinta, 1977). Los suelos derivados de rocas básicas (basaltos) generalmente poseen altos contenidos de Cu. Niveles intermedios se encuentran en rocas sedimentarias, mientras que niveles bajos se presentan en las formas ácidas (granitos) (Davis, 1974). Por el contrario, el Mo que generalmente se encuentra muy asociado al Cu, se presenta en bajas concentraciones (.2 a .4 ppm) en rocas básicas, y en altas concentraciones en rocas volcánicas, metamórficas y sedimentarias. Beeson y Matrone (1976) observaron que el Cu unido al Mo en suelos de turba con altos contenidos de MO, provocaron deficiencias de Cu en bovinos que consumieron forrajes producidos en aquellos suelos, esto fue debido a la mayor afinidad del Cu para asociarse a compuestos orgánicos.

La deficiencia del Cu probablemente se presenta con mayor intensidad en suelos de turba y alto contenido de humus y en suelos alcalinos con altos niveles de Fe. En estos casos, el Cu se adsorbe a complejos coloidales cargados negativamente. Lo que también es común en suelos arcillosos. De manera, que si bajo tales condiciones se presenta el S,

éste tiende a reaccionar con el Cu formando sulfuros; los cuales son de baja disponibilidad para las plantas forrajeras (Davis, 1974; Beeson y Matrone, 1976).

4.5.2. Cobre en plantas

El Cu es esencial para las plantas forrajeras (Arnon y Stout, 1939), ya que forma parte de numerosas enzimas como ácido ascórbico oxidasa, polifenol oxidasa, laccasa y posiblemente citocromo oxidasa. Alrededor del 70% del Cu se encuentra en los cloroplastos. No obstante, su papel en la fotosíntesis es incierto (Nason y McElroy, 1966). Las concentraciones normales de Cu en tejidos de plantas varían de ocho a 20 ppm. La deficiencia de Cu puede presentarse en valores inferiores a 6 ppm en la MS de la planta (Peisach *et al.*, 1966; Evans, 1973).

4.5.3. Cobre en animal

En el animal, el Cu se absorbe en la parte superior del duodeno, yeyuno y a través del intestino grueso (Abdellatif, 1968). Su afinidad para ligarse a compuestos orgánicos e inorgánicos en el alimento dificulta su absorción. Se ha observado que los fitatos presentes en la dieta, altos niveles de CaCO_3 , sulfato ferroso, Zn, Cd y Mo reducen la tasa de absorción (Underwood, 1977; Saylor y Leach, 1980). En general, los carbonatos de Cu y sus uniones con compuestos solubles en agua (sulfatos, nitratos y cloruros de Cu) son absorbidas en mayor proporción que sus óxidos (Halverston *et al.*, 1960)

La edad es también un factor importante en la concentración y distribución del Cu. En muchas especies, se ha observado el nivel de Cu hepático es mayor en animales recién nacidos que en adultos (Saylor y Leach, 1980; Saylor *et al.*, 1980) y esto es debido a que

los animales jóvenes utilizan más eficientemente el Cu de la dieta (Saylor y Leach, 1980). Suttle (1975) señaló que los ovinos adultos normalmente utilizan menos del 10% del Cu que ingieren, mientras que los corderos en crecimiento utilizan de cuatro a siete veces más ésta proporción.

En los rumiantes, el Cu cumple varias funciones. A nivel celular forma parte de muchas enzimas oxidativas incluyendo la ácido ascórbico oxidasa, uricasa, citocromo-oxidasa, lisil oxidasa, ferrosidasa y tirocinasa (Underwood, 1977; Miller, 1978). Actúa, además, en la formación de hemoglobina, en la síntesis de mioglobina (proteína muscular), en el funcionamiento normal del corazón, la formación de tejidos, y en la actividad reproductiva del animal (Ammerman, 1970; McChowell y Hall, 1970; Miller, 1983).

En general, existe una mayor probabilidad de encontrar deficiencias de Cu en bovinos en agostaderos, sobre todo en pastizales de suelos alcalinos con pH superiores a 7.0 (Mills, 1967; Hartmans, 1974). A pH mayores de 7.0 el Mo incrementa su disponibilidad, favoreciendo la formación de complejos que facilitan la absorción del Cu y como resultado se queda una fracción mínima del Cu en la solución del suelo, que al ser absorbida no satisface las necesidades de las plantas forrajeras (Thornton *et al.*, 1972; Davis *et al.*, 1974).

4.6. Zinc

4.6.1. Zinc en suelos

Al igual que el Fe, el Zn está presente en casi todos los suelos en pequeñas cantidades como sulfuros de Zn (ZnS). En suelos arenosos y rocas carboníferas la concentración de este metal varía de 10 a 30 ppm (Kabata-Pendias y Pendias, 1980). Estos niveles teóricamente deben satisfacer las necesidades de cultivos forrajeros. La información concerniente

a los factores del suelo que controlan la disponibilidad de Zn para las plantas forrajeras no es precisa. Sin embargo, frecuentemente se asocia con valores de solubilidad (Mitchel, 1964; Aubert y Pinta, 1977).

Los valores establecidos para ciertos compuestos de Zn permiten entender algunos de los principales factores que afectan su disponibilidad a diferentes pH. Por ejemplo, los valores de solubilidad para carbonatos e hidróxidos de Zn sugieren que suelos con pH de 7.0 usualmente deberían contener cantidades pequeñas de Zn disponible.

En el caso de suelos con altos contenidos de iones OH^- , es difícil obtener una respuesta positiva a la fertilización con Zn debido a que la formación de hidróxidos de Zn no permite su absorción por las plantas forrajeras (Mitchel, 1964). Así mismo, se sabe que el nitrato de Zn es soluble en agua, y se filtra hacia estratos inferiores del suelo o bien se drena por lavado de la zona de raíces (Fleming, 1973).

La presencia de iones Cl^- o sulfatos ($-\text{SO}_4^{=}$) en la solución del suelo favorecen la formación de cloruro o sulfato de Zn, y por lo tanto, su disponibilidad incrementa (Olsen, 1972). Conforme incrementa el pH del suelo, la concentración del ion en solución disminuye por la formación de HZnO_2 y ZnO_3 , alcanzando el nivel crítico a pH de 5.5 y 6.5 (Reid y Horvath, 1980). La presencia del ion fosfato en el medio permite la formación de fosfatos de Zn, y es una de las formas químicas de menor absorción por las plantas forrajeras. Por esto, los suelos con altos contenidos de fosfatos frecuentemente son deficientes en Zn (Kubota *et al.*, 1983).

4.6.2. Zinc en plantas

El Zn es tomado por las raíces de plantas en forma iónica y es absorbido como Zn^{+} .

El Zn se encuentra en todos los tejidos de plantas y en diferentes partes de acuerdo al siguiente orden: raíz, tallos, hojas e inflorescencias.

El Zn juega papeles metabólicos importantes en la planta, de los cuales el más significativo es su actividad como componente de deshidrogenasas, proteinasas, peptidasas y fosfohidrolasas. Actúa en procesos de oxidación en células, es vital en la transformación de carbohidratos (por su papel en la regulación de la absorción de azúcar), producción de clorofila, formación de auxinas, RNA y formación de ribosomas. Además, promueve la absorción de agua y es componente de la enzima anhidrasa carbónica. También es requerido en la formación de triptofano y ácido indol-acético (Bremner, 1970; Epstein, 1972; Marschner, 1986). La mayor parte del Zn se encuentra en forma soluble y la fracción insoluble frecuentemente se encuentra asociada a la fibra (Bremner y Knight, 1970; Little, 1970).

4.6.3. Zinc en animal

El Zn se absorbe en el parte superior y a través del intestino delgado (Miller y Cragle, 1965). El grado de absorción es altamente variable en rumiantes, fluctuando entre 10 y 80% del Zn consumido (Miller *et al.*, 1967a; Miller *et al.*, 1968). El principal factor que determina el porcentaje de absorción, es la cantidad de Zn en la dieta relativa a las necesidades del animal (Miller, 1969). Con dietas de concentraciones bajas incrementa la absorción y viceversa (Miller *et al.*, 1970a; Stake *et al.*, 1975a). También influye la edad del animal. Los animales adultos absorben relativamente cantidades mayores de Zn (Stake *et al.*, 1975a).

El Zn es componente o activador de la enzima anhidrasa carbónica (Keilin y Mann, 1940). Esta enzima, que se localiza en las células rojas y parietales del estómago, cataliza

la formación reversible del ácido carbónico a CO_2 y H_2O , relacionándose con el transporte de CO_2 y la secreción de ácido hidrocórico por la mucosa gástrica. Además, es constituyente de enzimas metálicas incluyendo glutamatodeshidrogenasa, d-gliceraldehido-3-fosfato-deshidrogenasa, carboxipeptidasas y otras (Hsu y Anilane, 1966; Parisi y Vallee, 1969; Forbes, 1977). Adicionalmente, participa en el metabolismo de ácidos nucleicos, síntesis de proteína y metabolismo de carbohidratos (Li, 1966; Mills *et al.*, 1967; Mills *et al.*, 1969), en la acción de insulina, glucagón y corticotropina (Halstedt *et al.*, 1974), en la calcificación, la queratinización y el desarrollo de células somáticas y sexuales (Underwood, 1977) y, en la utilización y el transporte de vitamina A (Apgar, 1968; Arora *et al.*, 1973; Lokken *et al.*, 1973).

Los requerimientos dietéticos de Zn varían considerablemente bajo diferentes condiciones (Mills *et al.*, 1967b; Miller, 1967, 1983). El Zn es requerido por los microorganismos del rumen y por el animal (Oltjen *et al.*, 1965). Los factores que afectan los requerimientos de rumiantes son desconocidos. La diferencia en disponibilidad y absorción puede ser influida por la forma química del Zn o por otros constituyentes de la dieta (Miller, 1983).

En vista de lo anterior, es necesario evaluar los factores que afectan la disponibilidad y las relaciones del Zn con parámetros de producción y crecimiento en animales que se explotan bajo condiciones de pastoreo.

4.7. Interacciones entre minerales

En el metabolismo mineral, tanto la absorción como la utilización de un mineral puede ser afectada por otro u otros constituyentes orgánicos de la dieta. Estas interacciones son complejas y en la mayoría de los casos provocan desbalances en el animal. Dos de las

interacciones más estudiadas son la interacción Cu-Zn y la interacción Sulfato-Cobre-Molibdeno.

4.7.1. Interacción cobre-zinc

Las deficiencias de Cu y Zn en el ganado son más frecuentes bajo condiciones de pastoreo. En estas condiciones, los antagonismos en absorción y metabolismo son debidos a los niveles de Fe y Zn presentes en los forrajes.

El Cu y el Zn al igual que el Ca se unen a proteínas duodenales (Bremner y Marshall, 1974b; Saylor *et al.*, 1980), las cuales están involucradas en su absorción (Sass-Korstack, 1965). Altos niveles de Cu interfieren con la absorción de Zn (Van Campen, 1969) y altos niveles de Zn con la absorción de Cu (Van Campen y Scaife, 1967), lo cual sugiere una competencia entre iones por los sitios de unión.

A pesar de existir absorción parcial en el abomaso (Miller y Cragle, 1965), el intestino delgado es el sitio principal de aprovechamiento del Cu (O'Dell y Campbell, 1970), Mn (Miller *et al.*, 1972), y Zn (Hiers *et al.*, 1968; Pate *et al.*, 1970). La formación de complejos solubles de Zn y Mn se presentan en el rumen y en la parte más baja del intestino delgado. Por otra parte, estos minerales se presentan como iones en abomaso, duodeno y parte superior del yeyuno (Bremmer, 1970). Esto parece indicar que el Cu insoluble, se asocia con la materia microbiana absorbiéndose en pequeñas cantidades (Hansard, 1983). El Cu se transporta a través de la mucosa intestinal en forma iónica o de complejo. Se ha demostrado que la forma iónica tiene alta afinidad para ligarse a sustancias orgánicas e inorgánicas del alimento (Hansard, 1983), lo cual puede reducir su tasa de absorción dependiendo de la magnitud del complejo formado.

Van Campen (1969) sugirió que la formación de complejos puede ser una parte integral del proceso de absorción y que el antagonismo entre Cu y Zn es el resultado de la competencia por aminoácidos, proteínas y otros transportadores potenciales. Es necesario generar información sobre la formación de complejos involucrando elementos inorgánicos en el tracto digestivo y sobre la disponibilidad de estos complejos.

4.7.2. Interacción sulfato-cobre-molibdeno

La interacción entre estos tres elementos es bastante compleja y opera tanto en el intestino como sistémicamente. Dick (1956) encontró que la interacción Cu-Mo fue dependiente del nivel de S en la dieta. Estudios posteriores demostraron que la disponibilidad del Cu es reducida cuando incrementan los niveles de Mo en presencia de niveles adecuados de S. La aparición clínica de la toxicidad y deficiencia de Cu se asoció con bajos y altos niveles de Mo en la dieta, respectivamente, y el antagonismo entre estos elementos fue dependiente de niveles previos y presentes en la dieta. Suttle y Mc Lauchlan (1976) formularon ecuaciones relacionando la disponibilidad de Cu en la dieta con las concentraciones de S y Mo, encontrándose un efecto independiente del S y una menor dependencia del Mo sobre el Cu (Suttle, 1975a).

HIPOTESIS

- 1. Las concentraciones y relaciones entre niveles de minerales en suelos, forrajes y suero sanguíneo de bovinos son afectadas por las estaciones del año.**

MATERIALES Y METODOS

1. Generalidades

1.1. Localización del área experimental

El área de estudio se localiza en la Unidad de Producción "Chorreños" de la Universidad Autónoma Chapingo ubicada en el Municipio de Coneto de Comonfort del Estado de Durango, México. Cuenta con una superficie de 1811 ha, localizadas entre los 25° 02' y 25° 08' latitud Norte y 104° 51' y 104° 54' latitud Oeste.

1.2. Clima

El clima del lugar es seco estepario, clasificado como Bs₁k'x" (V') g por García (1981). Se caracteriza por presentar temperaturas extremosas siendo la media anual de 17.5° C, con oscilación de la temperatura media mensual de 1 y 14° C. La precipitación anual es de 440 mm, que se concentran entre julio y septiembre principalmente (figura 1). La altitud es de 1889 m.

1.3. Suelos

Generalmente dominan suelos de texturas medias, someros y medianamente profundos. Según el sistema F.A.O. (1974), los suelos son Castañozem Lúvicos y Litosoles y están distribuidos fisiográficamente en cerril, laderas y valles (UACH, 1986).

Los suelos Castañozem lúvicos presentan un horizonte cálcico o gypsico dentro de los primeros 100 cm de la superficie o un horizonte con concentración de caliza pulvurenta suave. A mayor profundidad son usualmente saturados con cationes básicos, predominando Ca, seguido en cantidad por Mg, K y Na. Son suelos ricos en materia orgánica, de

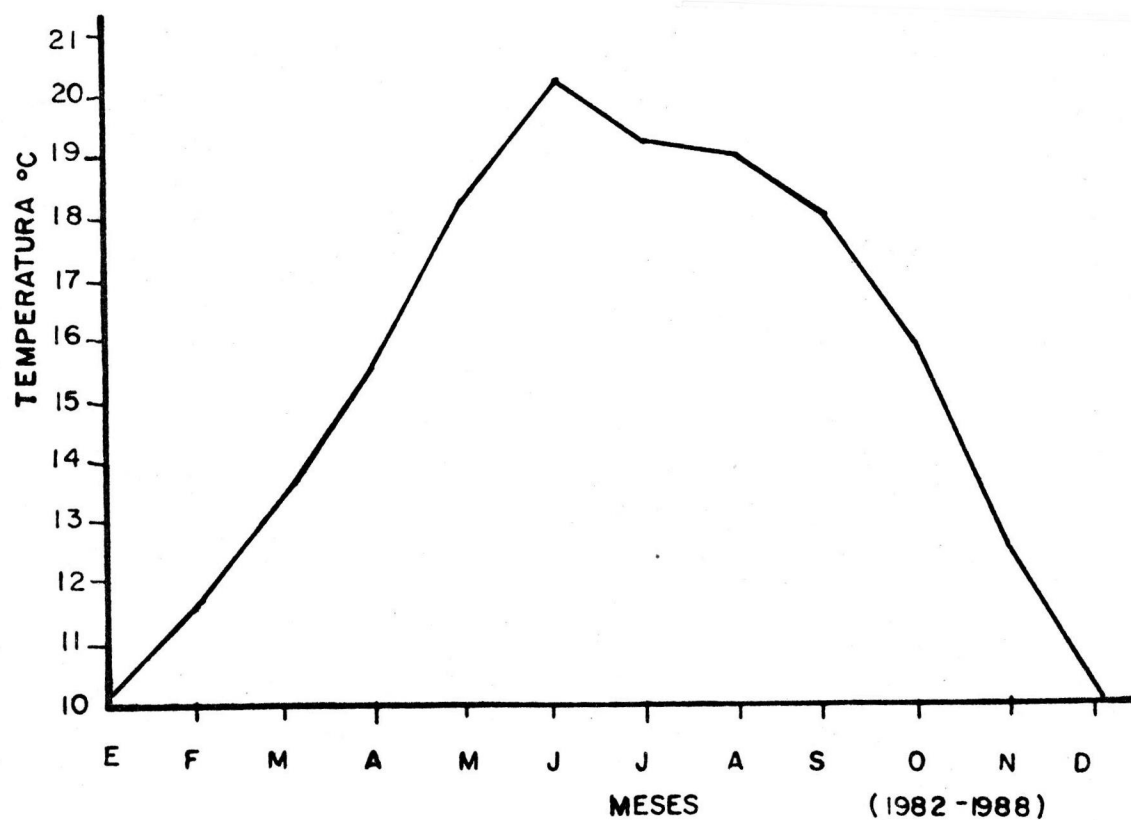
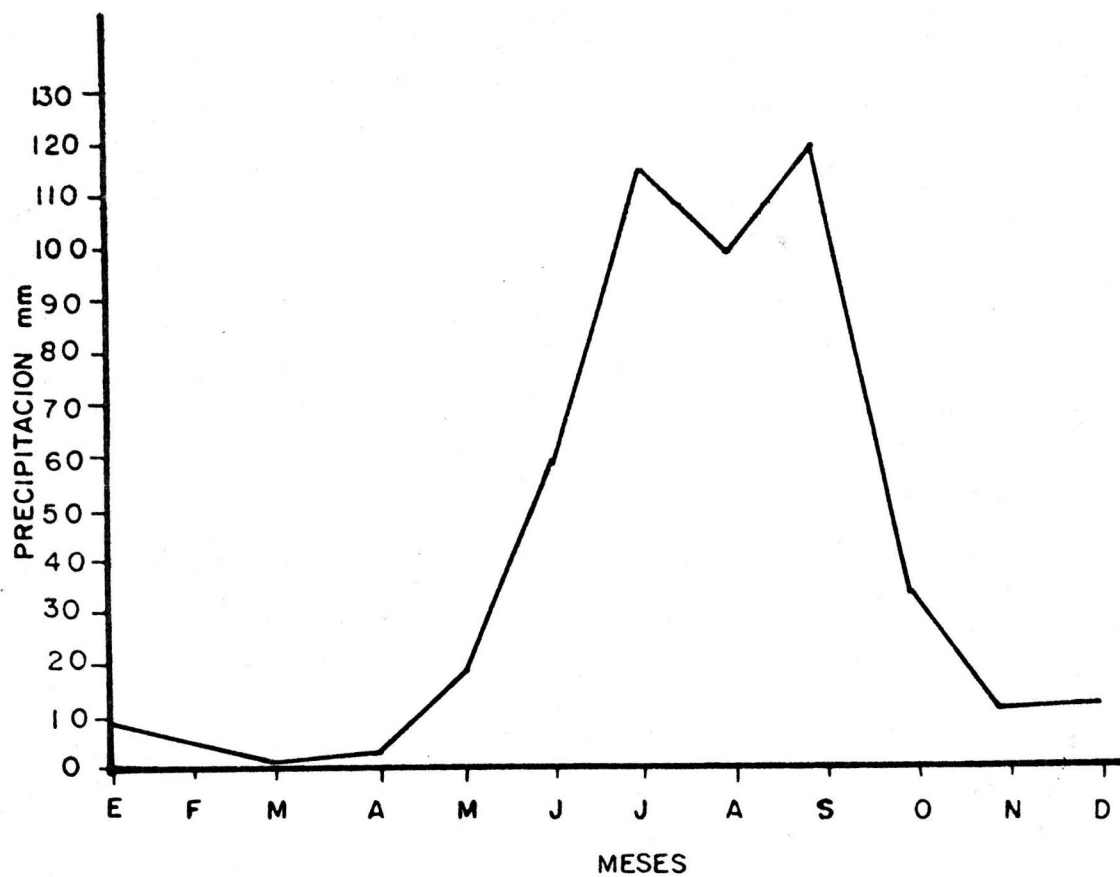


Figura 1. Distribución de la precipitación y temperatura (1983-1988) de la unidad de producción Chorreros, Durango.

permeabilidad moderadamente lenta (FitzPatrick, 1984; SARH, 1982).

Los Litosoles son suelos delgados o moderadamente profundos, tienen menos de 10 cm de profundidad y se caracterizan por presentar drenaje excesivo (FitzPatrick, 1984).

1.3.1. Cerril

Los suelos de las áreas cerriles están clasificados como litosoles de profundidad no mayor a 15 cm. Poseen baja capacidad de retención de agua, y tienen un alto grado de erosión y pendientes pronunciadas. Desde el punto de vista agrícola, por su capacidad de uso se clasifican como de sexta clase, ocupando 50% de la superficie total de la explotación. La vegetación es de bosque de encino (Quercus spp.) y pino (Pinus spp.) y pastos nativos (UACH, 1986).

1.3.2. Laderas

Los suelos predominantes en las laderas son también litosoles con mejor posición fisiográfica, clasificados como terrenos de cuarta clase. Representan el 49.60 % de la superficie total y son ocupados fundamentalmente por pastos nativos y escasa vegetación de Quercus spp. (UACH, 1986).

1.3.3. Valles

En los valles los suelos son castañozem lúvicos y generalmente se aprovechan en la siembra de pastos y/o cultivos forrajeros y de grano. Por su capacidad de uso se ubican como de tercera clase (UACH, 1986).

1.4. Vegetación

Los tipos de vegetación son pastizales nativos abiertos, asociaciones de bosque de encino y pino y matorrales que incluyen especies de manzanillas (Artostaphylos) y arbustivas (Castrellón et al., 1981). El pastizal arbóreo se localiza junto al bosque de encino-pino

(Quercus-Pinus) en las partes altas y el pastizal de Gramas abierto en las partes bajas, además, se encuentran también ubicados en franjas intermedias perpendiculares a las pendientes de laderas. En los valles predominan los pastizales medianos o de Gramas representados por el género Bouteloua. El pasto navajita azul B. gracilis, determina el carácter de este tipo vegetativo. En las partes boscosas domina el género Muhlenbergia asociado con Calamagrostis. Otros géneros como Andropogon, Heteropogon, Elyonorus, Trachypogon, Aristida, Setaria, Eragrostis, Sporobolus y Panicum son de menor abundancia (Castrellón et al., 1981; SARH, 1982). Estos mismos autores señalan que las principales especies de Bouteloua que se encuentran en el pastizal son: B. gracilis, B. hirsuta, B. radicata y B. chondrosoides y que otras especies de importancia son Lycurus phleoides, Leptochloa dubla, Hilaria cenchroides.

2. Características de la explotación

La explotación se extiende en un total de 1811 ha de agostaderos. La finalidad principal es la producción de becerros destetados para el mercado de exportación y pie de cría para el mercado regional, utilizándose animales Charolais, Charolais x Cebú y cruza de la raza Angus (UACH, 1986).

3. Determinaciones

La colección de muestras se realizó a finales de la estación lluviosa (enero-febrero) y de la estación seca (mayo-junio) de 1987 (figura 1).

3.1. Muestras de suelos

La colección de muestras de suelo y forrajes se obtuvo de las áreas donde los bovinos pastoreaban frecuentemente. La superficie total se dividió en fracciones de cinco hectáreas. De cada fracción se tomaron de 6 a 20 muestras de suelo a una profundidad fluctuante entre 20 y 60 cm. Las muestras de suelo de aproximadamente un kilogramo se

mezclaron hasta obtener una mezcla compuesta homogénea. De tal manera que por un procedimiento de cuarteado se obtuvo una muestra de aproximadamente 1 kg por cada potrero (fracción) de cinco ha. El procedimiento se repitió tantas veces como fue necesario hasta cubrir el área correspondiente a cada potrero (A. Aguilar, comunicación personal, 1984). El mismo proceso se siguió en todos los potreros hasta muestrear la superficie total de la explotación (figura 2).

3.2. Muestras de plantas forrajeras

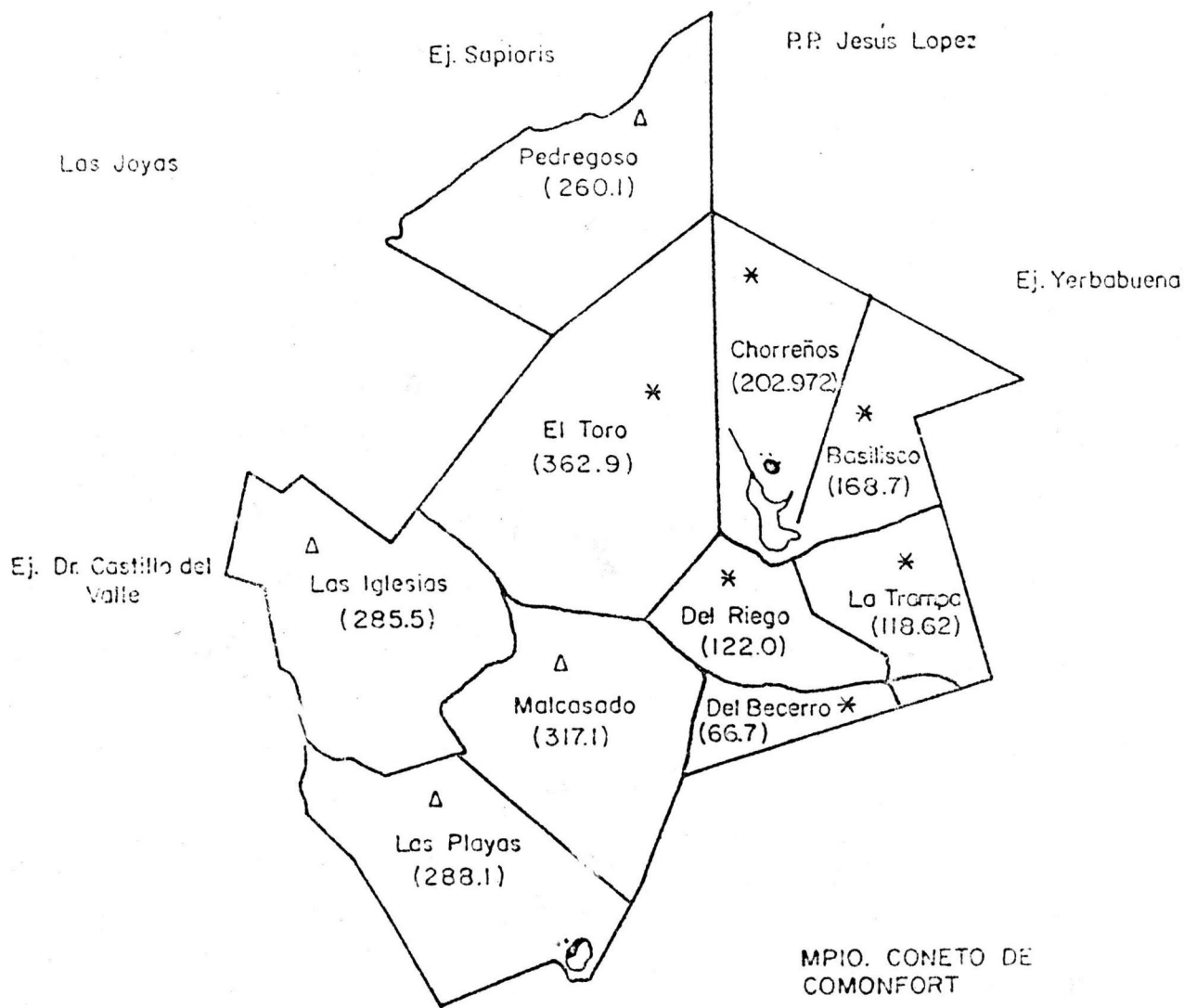
La densidad de muestreo fue igual que para suelos. El corte de forraje se realizó en el mismo lugar donde se obtuvieron las muestras de suelo. La mayoría de las especies se cortaron a una altura de 5 cm. Para las especies de Bouteloua, la altura fue variable (1.0-2.5 cm). El análisis de minerales en forrajes se realizó de dos formas. La primera, se refiere al análisis de muestras tomadas de una superficie de 1.0 por 1.0 m seleccionadas aleatoriamente, donde además de gramíneas se incluyó arbustivas forrajeras y, la segunda, se refiere al análisis por especies de gramíneas forrajeras, que por su mayor frecuencia se consideraron como dominantes en los pastizales estudiados (McDowell, 1981).

3.3. Molido y submuestreo

Las muestras secas se molieron en un molino Wiley a través de una criba de acero inoxidable de 4 mm. Posteriormente, se molieron nuevamente con una criba de 1 mm.

3.4. Muestras de plasma o suero en animales

Los animales considerados fueron vacas lactando (en amamantamiento) de segundo a quinto parto, y hembras y machos de uno a tres años. A los animales seleccionados aleatoriamente, se les tomó muestras de sangre por duplicado, por punción en la vena yugular. Para esto se usaron agujas tipo California y tubos "vacutainer" obteniéndose de 20 a 40 ml



MPIO. CONETO DE
COMONFORT

SUP. TOTAL 2065.805 Has.

- * Agua todo el año
- Δ Agua en época de lluvia.

Figura 2. Plano de la explotación "Chorrenos", Durango.

de sangre por animal (Fick et al., 1985).

4. Análisis de muestras

4.1. Análisis de suelo

La extracción de Ca, K, y Mg se realizó mediante una solución de acetato de amonio 1N a pH de 7.0 (Barradas, 1984). El P se extrajo con una solución de Bray y Kurtz No. 2 (Bray y Kurtz, 1945). La extracción de Cu se realizó con una solución 1N de HCl, en una proporción suelo: solución de 1:10 (Salinas y García, 1979). La extracción de Fe y Zn se realizó mediante una solución .1 N de HCl, en una proporción suelo:solución 1:10 y la muestra se agitó por 10 minutos (Salinas y García, 1979).

Los valores de pH y Al intercambiable del suelo se obtuvieron con el procedimiento propuesto por Salinas y García (1979). El P extractable se determinó por el método No. 2 de Bray y Kurtz (1945), para ello se utilizó un espectrofotómetro Coleman, Junior II.

Los niveles de Ca, K, Mg, Na, Cu, Fe y Zn se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica de flama, con un espectrofotómetro Perkin Elmer 4000, para ello, se siguió el procedimiento descrito por Fick et al. (1985).

4.2. Análisis de plantas

La determinación de Ca, K, Mg, Na, Cu, Fe y Zn se realizó mediante el procedimiento descrito por Fick et al. (1985).

La concentración de P en las plantas forrajeras se determinó por el método de Harris y Popat (1954) y PC por el procedimiento de A.O.A.C. (1975).

4.3. Análisis de sangre

Para la determinación de P se siguió el procedimiento propuesto por Harris y Popat (1954). Los elementos Ca, K, Mg, Zn, Cu y Fe fueron determinados por procedimientos similares al de los forrajes.

5. Análisis Estadístico

El efecto de las estaciones sobre el contenido mineral en suelos y forrajes, se determinó por análisis de varianza de dos criterios de clasificación, utilizando el siguiente modelo:

$$Y_{jkl} = U + EST_j + PT_k + (EST \times PT)_{jk} + E_{l(jk)}$$

Y_{jkl} = Concentración mineral en suelo y forraje

U = Media común a todas las observaciones

EST_j = Efecto de la j-ésima estación

PT_k = Efecto del k-ésimo potrero

$(EST \times PT)_{ij}$ = Efecto de la interacción estación x potrero.

$E_{l(jk)}$ = Error aleatorio $\sim NI(0, F^2)$

El efecto de la estaciones sobre el contenido mineral de las especies forrajeras se determinó mediante el siguiente modelo:

$$Y_{jkl} = U + ESP_j + EST_k + (ESP \times EST)_{jk} + E_{l(jk)}$$

Y_{jkl} = Concentración mineral de la especie j en la estación k.

U = Media común a todas las observaciones

ESP_j = Efecto de la j-ésima especie

EST_k = Efecto del k-ésimo Potrero

$(ESP \times EST)_{ij}$ = Efecto de la interacción Especie x Estación.

$E_{l(jk)}$ = Error aleatorio $\sim NI(0, F^2)$

El efecto de las estaciones del año sobre el contenido de minerales en suero de bovinos de determinó mediante análisis de varianza por tres procedimientos. En el caso de animales que se muestrearon tanto en la estación lluviosa como en la seca se utilizó el modelo siguiente:

$$Y_{jkl} = U + EST_j + A_k + (EST \times A)_{jk} + E_{l(jk)}$$

Y_{jkl} = Concentración mineral en suero o plasma sanguíneo

U = Media común a todas las observaciones

EST_j = Efecto de la j-ésima estación del año.

A_k = Efecto del k-ésimo Animal

$(EST \times A)_{ij}$ = Efecto de la interacción estación x animal

$E_{l(jk)}$ = Error aleatorio $\sim NI(0, F^2)$

Para el caso de los animales muestreados únicamente en la estación de lluvias o en la estación de secas se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{jk} = U + EST_j + A_{k(j)}$$

Y_{jk} = Concentración mineral en suero sanguíneo

U = Media común a todas las observaciones

EST_j = Efecto de la j -ésima estación del año $j=1, 2$.

$A_{k(j)}$ = Efecto del k -ésimo animal $k=1...33; k=1...27$.

Para el caso del total de animales muestreados en las estaciones lluviosa y seca se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{jk} = U + EST_j + A_{k(j)}$$

Y_{jk} = Concentración mineral en suero sanguíneo

U = Media común a todas las observaciones

EST_j = Efecto de la j -ésima estación del año $j=1, 2$.

$A_{k(j)}$ = Efecto del k -ésimo animal $k=1...33; k=1...27$.

Los análisis de varianza correspondientes a los modelos utilizados se presentan en los apéndices 3 al 6.

Los análisis de anteriores fueron realizados utilizando el paquete estadístico SAS (1979).

Para estudiar las relaciones entre minerales de suelos y forrajes tanto en la estación lluviosa como en seca, las variables de respuesta se sometieron a un análisis de Factores (Marriott, 1974; Anderson, 1984).

Las relaciones entre variables de respuesta de suelos y forrajes de la estación lluviosa, suelos de la misma estación y forrajes de la estación seca, y suelos y forrajes de la estación seca, se estudiaron mediante análisis de correlación canónica (Marriott, 1974; Anderson, 1984).

RESULTADOS Y DISCUSION

1. Efecto de las estaciones del año sobre las variaciones de minerales en suelos

En el cuadro 3 se presentan los valores medios del contenido mineral y pH de los suelos analizados de acuerdo a la estación del año.

La concentración de minerales y pH de los suelos estudiados no fueron afectados ($P > .01$) por la estación del año. Lo cual probablemente, se explique, por los bajos niveles de humedad del suelo (Beeson y Matrone, 1976). Resultados similares fueron encontrados por Hernando *et al.* (1968) en suelos con bajo nivel de humedad, mostrando que a un régimen de humedad constante, los niveles de Ca, K y Mg no variaron con la estación del año. Sin embargo, Saunders y Metson (1971), Aubert y Pinta (1977), y Kubota (1983) observaron variaciones de minerales y pH entre estaciones del año. Con base en lo anterior existe la necesidad de realizar más estudios sobre el efecto de la estacionalidad en el contenido de minerales en suelos.

1.1. Niveles de minerales en suelos

Los niveles de Ca encontrados (2700 ± 4100 y 2500 ± 3800 ppm para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente), son suficientes para satisfacer las necesidades de crecimiento de las especies forrajeras (Bowen, 1966; Todd, 1967; Jones, 1972; McDowell, 1977). Estos valores se explican por el origen de los suelos, los cuales son derivados de sedimentos provenientes de rocas ígneas y sedimentarias, y se caracterizan por poseer horizontes con altos contenidos de carbonatos de Ca (FitzPatrick, 1984; Lietzke, 1978).

Gatemberg (1982) estudiando suelos derivados de rocas ígneas y sedimentarias observó

Cuadro 3. Valores medios de minerales y pH en suelos

MINERAL	ESTACION LLUVIOSA MEDIA±E.E.	ESTACION SECA MEDIA±E.E.	CONCENTRACIONES SUGERIDAS COMO MINIMAS NECESARIAS ¹
CALCIO, PPM	2700.00±4100	2500.00±3800	140.00
FOSFORO, PPM	15.33±24.40	14.86±23.93	25.00
POTASIO, PPM	84.50±28.81	77.69±14.90	60.00
SODIO, %	0.59±1.21	0.59±.27	0.60
MAGNESIO, PPM	28.86±21.92	30.88±17.24	30.00
COBRE, PPM	0.10±.41	0.10±.27	> 0.60
FIERRO, PPM	7.12±18.28	7.00±2.17	4.50
ZINC, PPM	2.19±3.0	1.36±2.52	2.00
pH	6.62±.26	6.68±.18	----
AL INTERC.	1.07±.55	0.94±1.3	----

¹Bowen (1966), Jones (1972), Todd (1967), Breland (1976).
Valdes et al. (1985).

concentraciones similares a las obtenidas en el presente trabajo. Sin embargo, Sumuano *et al.* (1986) observaron que los suelos calcáreos del norte del país presentaban valores altos de Ca (1.06 y 1.57 %).

Los niveles de P extractables del suelo fueron de 15.35 ± 24.40 y 14.86 ± 23.93 ppm para la estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos niveles se consideran deficientes y se explican por una baja liberación de fosfatos de residuos y materia orgánica del suelo (Saunders y Metson, 1971; Dormaar, 1972).

Kuo y Jellum (1987) encontraron niveles de P superiores a los del presente estudio, atribuyendo mayor concentración a altas tasas de liberación de fosfatos, mientras que resultados similares fueron encontrados por Mejía (1984), Sumuano *et al.* (1986) y Pérez (1987) en suelos calcáreos, de áreas de pastizales.

Los niveles de K encontrados en los suelos analizados fueron de 84.50 ± 28.81 y 77.69 ± 14.90 ppm, para la estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos niveles son superiores a las necesidades de las plantas (Bowen, 1966) y probablemente se deba a la presencia de K en los estratos superiores que forman el material parental. El K pasa por difusión al ambiente de la raíz (Kauffman y Bouldin, 1967).

Havlin y Westfall (1985) observaron resultados similares a los del presente estudio. Además indicaron que un alto porcentaje del K no intercambiable puede estar disponible para la planta.

Los niveles de Na extractables del suelo en las dos estaciones estudiadas fueron de $.59 \pm 1.20$ y $.59 \pm .27$ ppm para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos niveles son adecuados para el crecimiento de las plantas, y se explican por la acumulación

de sedimentos con altos contenidos de sales, principalmente en los horizontes superficiales del suelo (FitzPatrick, 1978).

Gatemberg (1982) y Mejía (1984) analizando suelos calcáreos de la zona norte del país encontraron concentraciones de Na similares a las obtenidas en el presente estudio.

Los niveles de Mg extractable encontrados en los suelos analizados fueron de 28.86 ± 12.21 y 30.88 ± 17.24 %, para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos niveles son adecuados para el crecimiento de las plantas, lo que probablemente se explique por la naturaleza del material parental que dio origen al suelo. Los suelos de la región de estudio se originaron a partir de la intemperización y mineralización de las rocas ígneas. Estas poseen niveles altos de minerales ferromagnesianos (olivinos, piroxenos y anfíbolos) y carbonatados (dolomita y magnesita) (Beeson, 1959; Metson, 1974).

Bould (1964) observó resultados similares a los del presente estudio. Además, indicó que la proporción de Mg intercambiable es determinada por los minerales primarios del suelo. Sin embargo, Sumuano *et al.* (1986) encontraron concentraciones de 146-426 ppm para suelos de similar formación geológica.

Los niveles de Cu encontrados en los suelos analizados fueron de $.10 \pm .41$ y $.10 \pm .27$ ppm para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estas concentraciones son explicadas, al menos en parte, por la presencia de horizontes cálcicos en el suelo, que favorecen la presencia de carbonatos en el ambiente de la raíz, precipitando al Cu en solución (Kabata-Pendias y Pendias, 1986). La concentración de Cu de la fracción intercambiable está dentro de los valores reportados por McLaren y Crawford (1973), Shuman (1979), (1985).

Tessier et al. (1979) encontraron que del 16 al 18 porciento de los complejos conteniendo Cu dentro de su estructura, se unieron a los carbonatos libres presentes en el suelo.

Miller et al. (1986) indicaron que más del 50 % del Cu total en suelos se encontró en forma libre y no extractable. Además, otra parte se encuentra asociada a óxidos de Fe y un porcentaje menor unido a la MO.

Los niveles de Fe extractables del suelo fueron de 7.12 ± 18.28 y 7.00 ± 2.17 ppm para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos niveles son usualmente relacionados a la cantidad presente del material parental del suelo. En este, el Fe es abundante, por ser principal constituyente de los minerales ferromagnesianos (Hausembuiller, 1980).

Singh et al. (1988) observaron que el Fe extractable de suelos calcáreos, sólo representó una cantidad menor al 1 g/100 g del Fe total presente en suelos.

El Fe extractable en suelos presentó concentraciones de 2.17 hasta 18.28 ppm, mostrando superioridad sobre los rangos normalmente encontrados en suelos (Bowen, 1962; Todd, 1976). También son superiores a los requerimientos de plantas forrajeras (cuadro 3). Resultados similares han sido observados por Sims y Patrick (1978), Tessier et al. (1979) y Shuman (1985).

Los suelos presentaron niveles de 2.1 ± 3.0 y 1.36 ± 2.52 ppm de Zn en las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos niveles son deficientes para el crecimiento de las plantas, lo cual es atribuido a los complejos químicos formado por el Zn, asociado al bajo contenido de MO y a la predominancia de los óxidos de Fe (Lindsay, 1972).

Singh *et al.* (1988) demostraron que el Zn puede unirse a carbonatos, óxidos de Fe y Manganese, y a la MO del suelo quedando sólo una pequeña parte como Zn extractable. Tessier *et al.* (1979) encontraron que un alto porcentaje (del 13 al 16) se une a la fracción de carbonatos del suelo. Así mismo, Udo *et al.* (1970) demostraron que los carbonatos presentes en el suelo adsorbieron cantidades considerables de Zn. Resultados similares a los del presente estudio han sido reportados por Iyengar *et al.* (1981), Shuman (1985) y Sims (1986).

El pH de los suelos bajo estudio fue de $6.62 \pm .28$ y $6.68 \pm .18$ para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos valores expresan la concentración efectiva de iones H^+ en solución, están en función del tipo y proporción de iones intercambiables del suelo (Hausenbuiller, 1980). Los valores de pH se encuentran en el intervalo de 6.5 a 7.0, aceptado como el más deseable para este tipo de suelos (Reid y Horvath, 1980), y se atribuye a que es superior al rango mínimo (pH de 5.5) de solubilidad de fosfatos de Fe y Al, y es inferior al rango mínimo de solubilidad (pH de 7.5) de fosfatos de Ca. Esto significa que el pH no altera los procesos biológicos de absorción y movimiento de los iones intercambiables por la masa radicular de las plantas forrajeras que crecen en los suelos estudiados. Los resultados anteriores sugieren que los suelos estudiados son deficientes en P, Cu y Zn, abundantes en Ca y adecuados en K, Mg, Na y Fe.

1.2. Relaciones entre minerales de suelos durante la estación lluviosa

En el cuadro 4 se presentan los resultados del Análisis de Factores, de una matriz de correlación para minerales en suelos durante la estación lluviosa.

Cuadro 4. Análisis de factores usando una matriz de correlación para minerales en suelos durante la estación lluviosa

VARIABLE	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
CALCIO	- 0.25434	- 0.12374	- 0.05576
FOSFORO	- 0.28025	- 0.11469	- 0.09181
POTASIO	0.27683	- 0.08609	0.02324
MAGNESIO	0.17912	- 0.18731	0.09766
SODIO	0.09513	0.23884	- 0.46452
COBRE	0.13951	0.35161	0.11613
FIERRO	- 0.05078	- 0.24619	- 0.13801
ZINC	0.09343	0.37912	0.23668
PH	- 0.02706	- 0.08376	- 0.29747
ALUMINIO INT.	- 0.14046	- 0.06904	- 0.55747
SALES	0.15702	- 0.06804	- 0.03374
EIGENVALUES	2.968721	2.116918	1.376750
PROPORCION DE LA VARIANZA TOTAL	0.2699	0.1924	0.1252
PORCENTAJE ACUMULADO DE LA VARIANZA TOTAL	0.2699	0.4623	0.5875

La proporción de P y Ca (con signo negativo), y K (con signo positivo) que componen el Factor 1, indican que el 27 % de la variabilidad total de la concentración mineral de los suelos, esta asociada negativamente al comportamiento de los niveles de Ca y P, y positivamente con K.

El Factor 2 está relacionado positivamente con Zn y Cu, los cuales explican aproximadamente el 20 % de la variabilidad de la concentración mineral en suelos. Asimismo, el Factor 3 al correlacionarse con la concentración de Al intercambiable (-.55) sugiere que el 13 % de la variabilidad total en contenido mineral de suelos, durante la estación lluviosa, es explicada por la presencia de Al intercambiable en el suelo. El análisis de Factores sugiere que las concentraciones de Ca, P, Zn, Cu y Al intercambiable son las variables más importantes para detectar la fertilidad de los suelos estudiados durante la estación lluviosa.

1.3. Relaciones entre minerales de suelos durante la estación seca

En el cuadro 5 se presentan los resultados del Análisis de Factores, de una matriz de correlación para minerales en suelos durante la estación seca.

Los principales componentes del Factor 1 son nuevamente las concentraciones de Ca y P (.27 y .26, respectivamente). Lo que sugiere que aproximadamente el 30 por ciento de la varianza total de los minerales en suelos está asociado con Ca y P. El Factor 2 se relacionó (.40) con Zn, el cual explica un 17 por ciento de las diferencias en contenidos de minerales en la estación seca. Los niveles de Cu presentes durante la estación seca, se correlacionaron (-.57) con el Factor 3, lo que indica que el 11 por ciento de la variabilidad en la concentración mineral puede ser explicada a partir de los niveles de Cu. Lo anterior, sugiere que las concentraciones de Ca, P, Zn y Cu son los mejores indicadores para detectar la fertili-

Cuadro 5. Análisis de factores usando una matriz de correlación para minerales en suelo durante la estación seca.

VARIABLE	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
CALCIO	0.27890	- 0.03127	0.07614
FOSFORO	0.26151	0.02189	0.16286
POTASIO	- 0.22374	0.15493	- 0.12170
MAGNESIO	0.00443	0.17003	- 0.37396
SODIO	- 0.18378	- 0.36242	0.11047
COBRE	0.04332	- 0.18416	- 0.57344
FIERRO	- 0.07258	0.29580	0.29338
ZINC	0.03206	0.40867	0.03839
PH	0.00329	- 0.26756	0.34530
ALUMINIO INT.	0.16569	- 0.02310	0.05336
SALES	- 0.20784	0.04160	0.16440
EIGENVALUES	3.237695	1.824829	1.307768
PROPORCION DE LA VARIANZA TOTAL	0.2943	0.1659	0.1189
PORCENTAJE ACUMULADO DE LA VARIANZA TOTAL	0.2943	0.4602	0.5791

lidad del suelo.

2. Efecto de la estación del año sobre las concentraciones de minerales y PC de forrajes

En el cuadro 6 se presentan los valores medios del contenido de Ca, P, K, Na, Mg, Cu, Fe, Zn y PC, en forrajes de acuerdo a la estación del año.

A excepción de las diferencias en las concentraciones de PC y Mg, los niveles de minerales en forrajes no difieren significativamente ($P > .01$) con la estación del año. Esta similitud, se explica al menos en parte, por la uniformidad de la reacción del suelo, los niveles de humedad, temperatura del suelo y efectos estacionales.

Fleming (1973) indicó que los cambios en composición mineral se presentan conforme avanza la estación de crecimiento y que la magnitud de tales cambios es variable entre especies de plantas. Además, no todos los elementos son afectados al mismo grado por variaciones en la temperatura del suelo, precipitación e intensidad de luz.

Por otra parte, los valores medios de PC en forrajes (cuadro 6) en los meses de lluvias son superiores ($P < .01$) en 3.2 unidades porcentuales a los obtenidos durante la estación seca. Esto se atribuye a que en la estación seca los forrajes se encontraban secos, lignificados, senescentes y sin semillas. En cambio en la estación lluviosa se encontraban verdes y en rebrote.

Los resultados obtenidos están dentro del rango de valores observados por Whithead (1966), Siebert *et al.* (1968), Kay y Batlenay (1969), Wallace *et al.* (1973), Wallace *et al.* (1974), Gomide (1976), Minson (1982), McDowell *et al.* (1978, 1983), Little (1981), Kalmbacher *et al.* (1984) y Greene (1987).

Cuadro 6. Valores medios de minerales y Proteína Cruda (PC) en forrajes

MINERAL	ESTACION LLUVIOSA	ESTACION SECA	REQUERIMIENTOS PARA CRECIMIENTO DE FORRAJES ¹	REQUERIMIENTOS CRECIMIENTO Y FINALIZACION DE BOVINOS ²
CALCIO, %	1.03±1.44	0.87±1.24	0.50	0.18 - 1.04
FOSFORO, %	0.29±.24	0.31±.22	0.20	0.18 - 0.70
POTASIO, %	0.60±.43	0.81±.40	1.00	0.50 - 0.70 (.65)
SODIO, %	0.86±.58	0.55±.55	0.10	0.06 - 0.10 (.08)
MAGNESIO ^a , %	0.60±.55	0.40±.31	0.20	0.05 - 0.25 (.10)
COBRE, PPM	2.61±2.0	2.42±2.03	6.0	4.00 - 10.0 (8.0)
FIERRO, PPM	37.22±23.57	32.96±18.54	100.0	50.0 - 100 (50)
ZINC, PPM	30.40±16.26	33.60±2.52	20.0	20.0 - 40.0 (30)
PC ^a , %	15.12±2.31	11.94±2.91	----	-----

¹Epstein (1965), McDowell y Conrad (1977).

²NRC, (1984). Necesidades nutritivas de ganado vacuno para carne de 100 a 450 Kg. de Peso Vivo.

^a Efecto de la estacion P<.01

2.1. Niveles de minerales en forrajes

Los niveles de Ca encontrados en forrajes fueron de 1.03 ± 1.44 y $.87 \pm 1.24$ porciento para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente (cuadro 6). Estos porcentajes son suficientes para el crecimiento adecuado de las plantas, y son probablemente una consecuencia de la baja movilidad del Ca en los tejidos, lo que ocasiona un aumento de Ca en los órganos de las plantas forrajeras. Gomide (1976) observó que el Ca es relativamente inmóvil y aumenta en los tejidos viejos de los órganos de las plantas forrajeras. Los resultados del presente estudio son similares a los observados por Kalmbacher *et al.* (1984), Singh *et al.* (1987) y Greene *et al.* (1987).

Los niveles de P presente en los forrajes analizados fueron de $.29 \pm .24$ y $.31 \pm .22$ porciento para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente (cuadro 6). Estos niveles son explicados, al menos en parte, por la presencia dominante de especies forrajeras de crecimiento rápido, que translocan minerales de la parte aérea a las raíces. Durante la estación lluviosa el forraje madura rápidamente y transloca minerales al suelo y durante la época seca el forraje es lignificado y senescente. Gomide (1976) observó que el P es extremadamente móvil y se transloca de los tejidos viejos a los nuevos, provocando un aumento en la actividad de crecimiento de las plantas y una disminución en la concentración de P.

Los resultados del presente estudio concuerdan con los encontrados por Kalmbacher *et al.* (1984). Estos autores encontraron valores de .24 y .21 porciento de la MS, para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Asimismo, Sumuano *et al.* (1986) en condiciones muy similares a las del presente estudio, encontraron niveles de .06 a .20 porciento en forrajes. Los autores atribuyen este resultado al rápido crecimiento de las gramíneas forrajeras de pastizales.

Los niveles de K encontrados en forrajes fueron de $.60 \pm .43$ y $.81 \pm .40$ por ciento para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. La presencia de estos niveles se atribuyó al rápido crecimiento de las especies forrajeras. Durante la estación de lluvias el K es trasladado a órganos de almacenamiento, y durante la época seca, la relativa pérdida de humedad del suelo dificulta la absorción de K durante los periodos de crecimiento activo.

Lonergan (1973) y Charley (1977) establecieron que la absorción de K por las plantas es altamente asociada a los niveles de humedad del suelo. Bajo condiciones de óptima humedad las concentraciones de K generalmente exceden al requerimiento por las plantas, pero bajo condiciones de estrés de humedad es posible encontrar deficiencias de K.

Los resultados del presente estudio son similares a los reportados por Greene *et al.* (1987), Heitschmidt *et al.* (1987a) y Kalmbacher *et al.* (1984). Epstein (1972) indicó que el K es un elemento requerido por las plantas en relativamente grandes cantidades (1.0 por ciento de la MS). De acuerdo con esto, los niveles encontrados son insuficientes para el crecimiento de plantas forrajeras (Bussler, 1964, citado por Marschner, 1986).

Los niveles de Na presente en los forrajes analizados fueron de $.86 \pm .58$ y $.55 \pm .55$ por ciento para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Los niveles se explican por la presencia de gramíneas y arbustivas forrajeras, con alto contenido de sales como respuesta a la adaptación a condiciones de baja precipitación (Fleming, 1973).

Wilson (1966) indicó que algunas plantas forrajeras creciendo bajo condiciones de baja precipitación pueden acumular Na en sus tejidos, como *Atriplex* spp. que presentó altos contenidos de Na (8.0 por ciento de la MS).

Los resultados obtenidos en el presente estudio no concuerdan con lo observado por Singh y Mishra (1987). Estos autores observaron concentraciones de Na de 48.6 mg/kg en especies forrajeras de pastizales. Sumuano *et al.* (1988), Mejía (1986) y Pérez (1987) observaron concentraciones variables de Na (.03 a .22 porciento) en pastizales de la zona norte de México.

Los niveles de Mg encontrados fueron de 28.26 ± 21.90 y 30.88 ± 17.24 porciento para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos niveles son suficientes para cubrir las necesidades de las plantas (Epstein, 1975) y se atribuyen al crecimiento activo de las gramíneas, que como consecuencia cambian rápidamente la proporción de material vivo:material muerto. Greene *et al.* (1987) observaron valores de (.13 *vs* .11 porciento de Mg) en especies forrajeras de las estaciones fría y caliente, respectivamente. Estos autores concluyeron que la diferencia en niveles fue debida a periodos de crecimiento activo, donde la proporción material vivo:material muerto fue mayor.

Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con la dinámica estacional de la concentración de Mg en plantas, reportados por Everitt *et al.* (1980). Asimismo, Singh *et al.* (1987) encontraron concentraciones de .10 a .30 porciento de Mg en pastizales. Resultados similares fueron observados por Kalmbacher *et al.* (1984).

Los niveles de Cu presente en las especies forrajeras fueron de 2.61 ± 2.08 y 2.42 ± 2.03 ppm para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos bajos niveles se atribuyen al crecimiento de las plantas forrajeras. Durante las fases iniciales el Cu se encuentra en la base de tallos y hojas, y permanece así hasta la etapas finales de crecimiento en que se transloca a la parte aérea para floración. Lo cual coincide con lo observado por Jacques

et al. (1975) quienes estudiando plantas de sorgo, mostraron que las concentraciones de Cu en hojas disminuye linealmente conforme alcanzaban la madurez y generalmente fueron más bajas que en otros organos de las plantas. Por otra parte, Thiel y Finck (1973) demostraron que los niveles de Cu recomendados como normales para las plantas forrajeras fueron 3 a 5 ppm. Esto implica que las plantas forrajeras estudiadas presentan deficiencia por el Cu, lo que se atribuye a las deficiencias de Cu presentes en los suelos. Otras investigaciones han reportado resultados semejantes a los del presente estudio (Gladstones et al., 1975; Kubota, 1983).

Los niveles de Fe encontrados en forrajes fueron de 37.22 ± 16.26 y 32.96 ± 18.54 ppm para la estación lluviosa y seca, respectivamente. Estos niveles son deficientes para cubrir las necesidades de plantas forrajeras y se atribuyen al rápido crecimiento presentado por las especies forrajeras. Inicialmente, en las primeras etapas de desarrollo vegetativo las concentraciones son altas y conforme alcanzan la madurez el Fe va disminuyendo. Jacques et al. (1975) estudiaron la dinámica del Fe en tejidos de diferentes híbridos de sorgo y encontraron altas concentraciones de Fe en las primeras fases de crecimiento, posterior a esta etapa las concentraciones disminuyeron en grandes proporciones. Como consecuencia, la parte aérea (incluyendo granos) fue generalmente constante durante las fases finales de crecimiento.

Los resultados obtenidos para Fe en el presente estudio difieren con los reportados en la literatura. Sumuano et al. (1988) obtuvieron concentraciones de 153-415 ppm en especies forrajeras de pastizales del norte de México. Valores semejantes han sido observados por Mejía (1984), Mejía (1986) y Pérez (1987).

Las medias y los rangos de concentración de Zn en forrajes para las dos estaciones se presentan en el cuadro 6. Estos niveles siguen un patrón de comportamiento similar al Cu.

hojas, y posteriormente se transloca a otros tejidos por necesidades de floración. Greene *et al.* (1975) observaron que las concentraciones de Zn fueron más altas durante las etapas de crecimiento inicial, especialmente en la base de hojas y tallos. Después de éste periodo las diferencias en concentración de Zn entre partes de la planta desaparecen. Los resultados obtenidos en el presente estudio son similares a los observados por Kalmbacher *et al.* (1984).

Con base en las recomendaciones del ARC (1980) y NRC (1978) para las concentraciones en MS de forrajes, a excepción del Cu y Fe, todos los minerales analizados, se encuentran en proporciones adecuadas para satisfacer las necesidades de los animales. Sin embargo, las plantas presentan deficiencias de K, Fe y Cu.

2.2. Niveles de minerales y proteína cruda en las especies forrajeras

En el cuadro 7 se presentan los contenidos de minerales y de PC de las especies de gramíneas forrajeras consumidas por los animales de acuerdo a la estación del año. Las gramíneas *Setaria spp.* y *Bouteloua gracilis* generalmente poseen niveles más altos de Ca, K, Mg, Cu, Fe y Zn que *Leptochloa dubla*, *Muhlenbergia spp.*, *Lycurus phleoides*, *Setaria spp.* y *Sporobolus spp.* A excepción de *Eragrostis spp.* las demás especies presentaron concentraciones similares de P y K ($P > .01$). Todas las gramíneas poseen niveles semejantes de Cu y Fe ($P > .01$). En relación al contenido de Zn, *Leptochloa dubla* presentó concentraciones superiores las demás especies estudiadas.

Las gramíneas *Bouteloua gracilis*, *Sporobolus spp.* y *Bouteloua hirsuta* generalmente poseen niveles más altos de PC que *Leptochloa dubla*, *Muhlenbergia spp.*, *Lycurus phleoides*, *Setaria spp.* y *Sporobolus spp.*

Cuadro 7. Contenido de proteína cruda y minerales de las principales especies forrajeras en un pastizal en Chorreños, Durango¹

	N ²	PC (%)	CA (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	In (ppm)	
<i>Routeloua gracilis</i>	31	13.12 ^{abc} ±3.1	0.81 ^{abcde}	±.80	0.22 ^{ab} ±.16	0.57 ^{abcdef} ±.41	0.49 ^a ±.40	2.37 ^a ±1.9	35.15 ^a ±18.7	29.32 ^{bcdegh} ±10.0
<i>Routeloua hirsuta</i>	27	10.50 ^{abcdef} ±2.1	0.21 ^{cdefgh}	±.20	0.28 ^{ab} ±.18	0.78 ^{abcdef} ±.33	0.38 ^a ±.33	2.49 ^a ±1.4	33.60 ^a ±17.8	34.44 ^{acdefgh} ±2.42
<i>Muhlenbergia sp.</i>	24	7.61 ^{cdefgh} ±3.1	0.18 ^{cdefgh}	±.15	0.40 ^a ±.54	0.78 ^{def} ±.31	0.59 ^a ±.65	2.32 ^a ±1.6	36.81 ^a ±15.9	29.73 ^{bcdefgh} ±4.46
<i>Lycurus phleoides</i>	28	7.55 ^{cdefgh} ±3.5	0.43 ^{abcdefgh}	±.77	0.33 ^{ab} ±.34	0.69 ^{abcdef} ±.31	0.42 ^a ±.34	2.32 ^a ±1.9	44.35 ^a ±15.1	28.15 ^{bcdefh} ±15.1
<i>Leptochloa dubia</i>	28	7.79 ^{cdefgh} ±3.4	0.44 ^{abcdefgh}	±.64	0.25 ^{ab} ±.09	0.74 ^{abcef} ±.32	0.47 ^a ±.36	2.17 ^a ±1.8	33.56 ^a ±17.4	42.36 ^{ab} ±11.4
<i>Setaria sp.</i>	26	7.12 ^{defgh} ±4.5	0.82 ^{abdef}	±.32	0.34 ^{ab} ±.25	0.71 ^{abcdf} ±.60	0.45 ^a ±.33	2.34 ^a ±1.5	39.02 ^a ±14.8	32.58 ^{bdefgh} ±11.9
<i>Eragrostis sp.</i>	26	12.86 ^{abc} ±6.3	0.18 ^{cdefgh}	±.09	0.11 ^b ±.20	0.27 ^b ±.39	0.60 ^a ±.46	2.42 ^a ±1.7	38.36 ^a ±12.3	31.69 ^{bcefg} ±10.8
<i>Sporobolus sp.</i>	26	7.10 ^{defgh} ±3.1	0.37 ^{bdefgh}	±.19	0.24 ^{ab} ±.13	0.94 ^{acdef} ±.10	0.43 ^a ±.28	2.20 ^a ±1.7	30.92 ^a ±18.3	27.84 ^{bcdefgh} ±7.41

¹Valores medios observados. Determinación a un mismo Estado Fisiológico, bajo condiciones similares de crecimiento.

²Número de muestras.

abcdefgh. Medias en la misma columna sin una letra en común son diferentes P < .01

Las diferencias en concentración de minerales y PC entre las gramíneas estudiadas, se atribuyó a las diferencias morfológicas y fisiológicas entre especies. El hábito de crecimiento de B. gracilis y B. hirsuta probablemente permita una mayor distribu

Leptochloa dubla, Muhlenbergia sp., Lycurus phleoides, Setaria spp. y Sporobolus spp. son gramíneas de crecimiento precoz y se caracterizan por producir forraje en otoño y a fines de invierno, incrementando rápidamente la lignificación de la pared celular, con la consecuente disminución de la proporción hoja: tallo (Evans, 1973). Además, la proporción de hojas es comúnmente asociada a la calidad del forraje, debido a que generalmente existe una correlación positiva entre porcentaje de hojas, contenido de PC y composición mineral (Reid et al., 1959). Lo anterior, permite indicar que las diferencias en valor nutritivo de las especies que componen el pastizal bajo estudio no difieren grandemente. La gramínea B. gracilis aparentemente ofrece mayores ventajas desde el punto de vista nutricional, sin embargo, se caracteriza por un lento desarrollo y baja densidad.

2.3. Relaciones entre minerales de forrajes durante la estación de lluvias

En el cuadro 8 se presentan los resultados del análisis de Factores de una matriz de correlación para minerales en forrajes durante la estación lluviosa.

Los principales componentes del Factor 1 son las concentraciones de Cu (.46) y Zn (-.35). Esto indica que aproximadamente el 16 % de la varianza total de los minerales en forrajes se asoció con diferencias en las concentraciones de Cu y Zn. Además, la baja correlación de PC (.09) con el Factor 1, sugiere una pobre asociación de PC con las variaciones en la concentración mineral de los forrajes. Por lo tanto, los niveles de PC no pueden ser utilizados con fines de estimación de la concentración mineral en los forrajes estudiados.

Cuadro 8. Análisis de factores usando una matriz de correlación para minerales en forrajes en la estación lluviosa

VARIABLE	FACTOR 1	FACTOR 2
PROTEINA CRUDA	0.09137	0.32104
CALCIO	0.18304	0.41065
FOSFORO	- 0.29793	- 0.29686
POTASIO	0.23868	- 0.24225
MAGNESIO	- 0.16745	0.28618
SODIO	- 0.28433	- 0.09247
COBRE	0.46433	- 0.25111
FIERRO	0.21388	0.35109
ZINC	- 0.35789	- 0.20107
EIGENVALUES	1.457734	1.359239
PROPORCION DE LA VARIANZA TOTAL	0.1620	0.1510
PORCENTAJE ACUMULADO DE LA VARIANZA TOTAL	0.1620	0.3130

El Factor 2 se relacionó (.41) con la concentración de Ca, lo que sugiere que aproximadamente el 15 % de la variación en los niveles de minerales en forrajes es explicado por la cantidad de Ca presente en la misma planta. Lo anterior, sugiere que las concentraciones de Cu, de Zn y de Ca fueron las más importantes para detectar el valor nutritivo de los forrajes en la estación lluviosa.

2.4. Relaciones entre minerales de forrajes durante la estación seca

En el cuadro 9 se presentan los resultados del análisis de Factores de una matriz de correlación para minerales en forrajes durante la estación seca. Los principales componentes del Factor 1 son los niveles de P (.44), Ca (.37), PC (.36) y Fe (-.32). La asociación de estos minerales con el Factor 1, indica que la variación total en concentración de minerales puede explicarse en un 16 por ciento por los niveles de P, Ca, PC y Fe presente en las gramíneas forrajeras durante estación seca.

El Factor 2 se relacionó con Cu (-.57) y Zn (.57). Sugiriendo que la variabilidad total entre todos los minerales de las planta forrajeras, pueden ser explicados en más del 13 por ciento por los contenidos de Cu y Zn en los mismos. El Factor 3, correlacionado (.76) con Mg, indica que la variabilidad total en la concentración de minerales, puede ser explicada en un 12 por ciento por los niveles de Mg presentes en forrajes durante la estación seca. Lo anterior, sugiere que los niveles de P, Cu, Zn y Mg son suficientes para diagnosticar el valor nutritivo de los forrajes.

2.5. Relación entre minerales del suelo y minerales de forraje durante la estación lluviosa

En el cuadro 10 se presentan los pares de variables canónicas y su correspondiente coeficiente de correlación canónica, entre minerales de suelos y forrajes estudiados du-

Cuadro 9. Análisis de factores usando una matriz de correlación para minerales forrajes de la estación seca

VARIABLE	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
PROTEINA CRUDA	0.36381	0.08656	- 0.16856
CALCIO	0.37957	- 0.15930	- 0.29462
FOSFORO	0.44383	0.06875	0.06344
POTASIO	0.05877	- 0.20011	- 0.03278
MAGNESIO	0.05405	- 0.02640	0.76532
SODIO	- 0.09501	0.57098	0.27360
COBRE	- 0.01962	- 0.57433	0.01642
FIERRO	- 0.32062	- 0.03394	- 0.13939
ZINC	- 0.28883	0.26723	- 0.30202
EIGENVALUES	1.48568	1.239512	1.121351
PROPORCION DE LA VARIANZA TOTAL	0.1645	0.1377	0.1246
PORCENTAJE ACUMULADO DE LA VARIANZA TOTAL	0.1645	0.3022	0.4268

Cuadro 10. Análisis de correlación canónica entre minerales en suelo y forrajes muestreados en la estación lluviosa

VARIABLES	COEFICIENTES CANONICOS ESTANDARIZADOS	
SUELO :		
CALCIO	0.54	
FOSFORO	- 0.44	
POTASIO	0.17	
MAGNESIO	0.59	CORRELACION CANONICA : .643
SODIO	0.27	
COBRE	0.11	
FIERRO	0.64	
ZINC	0.44	
pH	0.27	
ALUMINIO INT.	0.13	
SALES	- 0.28	
FORRAJE :		
PROTEINA CRUDA	0.24	
CALCIO	- 0.51	
FOSFORO	- 0.08	
SODIO	- 0.32	
POTASIO	- 0.20	
MAGNESIO	0.45	
COBRE	- 0.63	
ZINC	- 0.07	
FIERRO	- 0.14	

rante la estación lluviosa.

Las variables canónicas sugieren que suelos con altos contenidos de Ca, K y Fe, y niveles adecuados de Mg y Na, se relacionan con altas concentraciones de Ca y Mg, y concentraciones adecuadas de Zn y PC de plantas forrajeras. Esta relación es de .64 (41.0 por ciento). El coeficiente de correlación canónico representa el .64 de la combinación lineal entre minerales de suelos y minerales de especies forrajeras. Esto significa que los suelos explican aproximadamente el 41 por ciento de las concentraciones de minerales de las especies forrajeras.

Los resultados anteriores sugieren que existe una asociación de media a regular entre la fertilidad del suelo y el valor nutritivo de los forrajes, lo que refleja de la dificultad para predecir la calidad nutritiva de los forrajes a partir del análisis de suelo.

2.6. Relación entre minerales del suelo durante la estación lluviosa y minerales del forraje en la estación seca.

En el cuadro 11 se presentan los pares de variables canónicas y sus coeficientes de correlación canónica de minerales en el suelo durante la época lluviosa, y minerales de los forrajes en la época seca. Estas variables señalan la tendencia de que suelos que durante la estación lluviosa contienen altos niveles de K y Fe y bajos niveles de Cu y Zn, tienden a asociarse en .55 (30 por ciento) con niveles altos de Mg y Zn, niveles bajos de Fe y K, y proporciones adecuadas de PC en plantas forrajeras que crecen durante la estación seca.

Los niveles de Ca, P, Na y Cu de suelos de la época lluviosa tienden a asociarse pobremente con los niveles de Ca, P, Na y Cu de las plantas forrajeras durante la estación seca

Cuadro 11. Análisis de correlación canónica entre minerales en suelo de la estación lluviosa y minerales en forrajes de la estación seca

VARIABLES	COEFICIENTES CANONICOS ESTANDARIZADOS	
SUELO (ESTACION LLUVIOSA) :		
CALCIO	0.17	
FOSFORO	- 0.22	
POTASIO	0.67	
MAGNESIO	- 0.19	CORRELACION
SODIO	0.04	CANONICA : .55
COBRE	- 0.96	
FIERRO	0.35	
ZINC	1.15	
pH	0.11	
ALUMINIO INT.	- 0.13	
SALES	0.13	
FORRAJES (ESTACION SECA):		
PROTEINA CRUDA	- 0.23	
CALCIO	- 0.16	
FOSFORO	- 0.11	
SODIO	- 0.02	
POTASIO	- 0.18	
MAGNESIO	0.59	
COBRE	0.22	
ZINC	0.68	
FIERRO	- 0.44	

(cuadro 11). Esto se explica, al menos en parte, por los cambios en disponibilidad de los minerales en suelo y el consumo y translocación a tejidos de plantas. Los resultados anteriores sugieren que existe una baja asociación entre la fertilidad del suelo en condiciones de lluvias y el valor nutritivo de los forrajes en la estación seca. En condiciones de campo, será necesario analizar suelos y forrajes durante la misma estación para poder tomar decisiones con respecto al manejo de la fertilidad del suelo, en relación al valor nutritivo de las especies forrajeras y la condición de los animales.

2.7. Relación entre minerales de suelos y forrajes durante la estación seca

En el cuadro 12 se presentan los coeficientes de correlación canónica, con sus correspondientes pares de variables canónicas para las concentraciones de minerales en suelo y forrajes estudiados durante la estación seca. Estos coeficientes indican que suelos con niveles altos de Na, adecuados de Zn y Mg, y deficientes en P y Cu, tienden a relacionarse con concentraciones altas de Na, P, K y Mg, y bajas de Fe en plantas forrajeras. Esta relación es de .59 (35.0 por ciento). La Correlación Canónica sugiere una baja asociación entre los minerales del suelo y forrajes durante la estación seca.

3. Efecto de las estaciones del año sobre las concentraciones minerales en suero sanguíneo de bovinos

En el cuadro 13 se presentan los valores medios del contenido mineral en suero sanguíneo de bovinos en pastoreo, de acuerdo a la estación del año.

Los niveles de minerales en suero sanguíneo de bovinos no fueron diferentes ($P > .01$) debido a la estación del año. Ello se explica, al menos en parte, por la concentración

Cuadro 12. Análisis de correlación canónica entre minerales en suelo y minerales de forrajes en la estación seca

VARIABLES	COEFICIENTES CANONICOS ESTANDARIZADOS	
SUELO :		
pH	0.18	
ALUMINIO INT.	- 0.22	
SALES	- 0.70	
CALCIO	- 0.15	
FOSFORO	- 0.12	
POTASIO	0.07	
MAGNESIO	- 0.10	CORRELACION
SODIO	0.64	CANONICA : .59
COBRE	- 0.39	
FIERRO	- 0.14	
ZINC	0.44	
FORRAJE :		
PROTEINA CRUDA	0.11	
CALCIO	0.17	
FOSFORO	0.32	
SODIO	0.83	
POTASIO	0.27	
MAGNESIO	- 0.17	
COBRE	0.06	
FIERRO	- 0.18	
ZINC	- 0.41	

Cuadro 13. Valores medios de minerales en suero sanguíneo de bovinos

MINERAL	ESTACION LLUVIOSA MEDIA±E.E.	ESTACION SECA MEDIA±E.E.	NIVEL GLOBAL	NIVELES RECOMENDADOS COMO NORMALES¹
CALCIO, mg/100 ml	12.82±3.95	12.78±4.19	12.79	9.00
FOSFORO, mg/100 ml	3.84±1.58	4.01±1.10	3.94	6.00
POTASIO, mg/100 ml	21.38±6.08	18.27±8.60	19.82	20.00
MAGNESIO, mg/100 ml	1.81±.53	1.66±.66	1.74	2.00
COBRE, g/ml	0.35±.16	0.31±.10	0.33	0.65
FIERRO, g/ml	1.19±.35	1.15±.31	1.17	1.50
ZINC, g/ml	0.33±.16	0.32±.32	0.32	0.60

¹McDowell et al. (1979).

mineral similar (Cuadros 8 y 9) presentada por las especies forrajeras en las estaciones de estudio. Estas especies forrajeras fueron la única fuente de minerales para el ganado.

Los valores obtenidos están en el rango reportado por Wise et al. (1963), Ammerman et al. (1974), Little (1981), Miller (1983c). Los resultados anteriores permiten sugerir una similitud en el comportamiento de los niveles de minerales en el animal a través del año.

3.1. Niveles de minerales en suero sanguíneo de bovinos

Los niveles de Ca encontrados en el suero sanguíneo de bovinos fueron de 12.82 ± 3.95 y 12.78 ± 4.19 mg/100 ml para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos niveles son adecuados para el crecimiento de bovinos, y se atribuyen a las concentraciones de Ca encontradas en los forrajes consumidos durante las estaciones bajo estudio (Cuadros 8 y 9). Ammerman et al. (1974) indicaron que el nivel del elemento presente en plasma sanguíneo es reflejo de la concentración de Ca en la dieta. Los resultados obtenidos en el presente estudio concuerdan con los observados por Lebosoekojo et al. (1980), Sumuano et al. (1986), Mejía (1984) y Pérez (1987).

Los niveles de P encontrados en suero sanguíneo fueron de 3.84 ± 1.58 y 4.01 ± 1.10 mg/100 ml para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos niveles son deficientes para el crecimiento de los animales y son explicados, al menos en parte, por la baja disponibilidad del P al animal como resultado de la alta proporción Ca:P (3.24:1) en la dieta. Challa y Brathwaite (1988) observaron que proporciones Ca:P de 3.90:1 resultaron en baja solubilidad del P dentro del rumen y en consecuencia se reduce la actividad microbiana y la digestibilidad de la materia seca. Asimismo, Chico et al. (1973) trabajando con ovinos en crecimiento observaron que altos niveles de Ca en la dieta incrementaban el P fecal ($P < .01$) y tendían a reducir el P en plasma.

ARC (1980) y NRC (1989) indicaron que para el caso del P los rangos establecidos como normales son de 4-6 mg/100 ml de suero o plasma para vaquillas adultas y, de 6-8 mg/100 ml para animales menores de un año, y estos niveles son diferentes a los obtenidos en el presente estudio, lo que sugiere la presencia de deficiencias de P en los animales. Los resultados obtenidos en el presente estudio, son similares a los observados por Mejía (1984), Mejía (1986) y Pérez (1987).

Los niveles de K encontrados en suero sanguíneo fueron de 21.38 ± 6.08 y 18.27 ± 8.60 mg/100 ml para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos niveles son explicados, al menos en parte, por la concentración de K presente en las plantas forrajeras que fueron consumidas por los bovinos durante el año. Greene *et al.* (1983) trabajando con bovinos en crecimiento observaron que conforme se incremento el nivel de K en la dieta, incrementó la absorción del mismo en abomaso e intestino delgado, y consecuentemente, el K en suero mostraba un incremento lineal. Resultados similares a los del presente estudio han sido reportados en ovinos por Rahnema y Fontenot (1986).

Los niveles de Mg obtenidos del análisis de suero sanguíneo fueron de $1.81 \pm .53$ y $1.66 \pm .66$ por ciento para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos niveles son deficientes para el crecimiento normal de bovinos. Sin embargo, coinciden con lo observado por Rahnema y Fontenot (1986) quienes mostraron que del Mg total en la dieta solo el 47 por ciento se encuentra soluble en rumen. El Mg soluble en rumen puede unirse a microorganismos ruminales y a otras fracciones proteicas y en el intestino delgado se une a péptidos y aminoácidos de las fracciones hidrolizadas de células microbianas. Por esto, la parte que llega al intestino grueso, aproximadamente un 50 por ciento se encuentra en forma no ionica. En consecuencia, la cantidad disponible para absorción es relativamente baja (Greene *et al.*, 1983).

Rook y Storry (1962) observaron que la disponibilidad del Mg en forrajes fue del 11 al 30.7 por ciento. En otro estudio, Peeler (1972) concluyó que la disponibilidad del Mg en forrajes es baja y que de la concentración presente en plantas, sólo un 30 por ciento fue disponible al animal.

Los valores de Mg obtenidos en el presente estudio son inferiores a los indicados como adecuados para el crecimiento de bovinos por McDowell *et al.* (1984) (2.0 mg/100 ml). Los resultados anteriores sugieren que los animales pueden sufrir daños por hipomagnesemia.

Los análisis de suero sanguíneo presentaron niveles de Cu de $.35 \pm .16$ y de $.31 \pm .10$ mg/100 ml para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos niveles se atribuyen a un inadecuado consumo de Cu por los bovinos en relación al contenido del mineral en las especies forrajeras (Cuadros 8 y 9) que constituyeron la fuente principal de minerales en el periodo de estudio. Underwood (1977) demostró que el contenido de Cu en muchos tejidos es directamente afectado por el nivel del elemento en la dieta.

Los niveles de Cu encontrados en el suero sanguíneo de bovinos son deficientes comparados con los niveles indicados como adecuados para el crecimiento de los mismos. De acuerdo, con NRC (1989) las concentraciones normales de Cu en bovinos saludables varía de .5 a 1.5 g/ml con un valor medio de .9 g/ml. Resultados similares a los del presente trabajo han sido reportados en ovinos por Saylor y Leach (1980), Langlands *et al.* (1986), y en bovinos por Sumuano *et al.* (1988), Mejía (1984), (1986) y Pérez (1987).

Los niveles de Fe obtenidos del análisis de suero sanguíneo fueron de $1.19 \pm .35$ y $1.15 \pm .31$ g/100 ml para las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos niveles son deficientes para el crecimiento normal de bovinos y se explican por la baja concentración de Fe presente en las plantas forrajeras durante las estaciones estudiadas. Prabowo *et al.* (1988) observaron resultados similares en ovinos. Conforme incrementaban los niveles de

Fe en la dieta, la concentración sérica y el porcentaje de saturación de transferrina incrementaban. Lo cual concuerda con lo observado por Rosa *et al.* (1982). El suero sanguíneo de bovinos presentó niveles de Zn de $0.33 \pm .16$ y $.32 \pm .33$ g/100 ml durante las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Estos niveles son atribuidos a un efecto de competencia entre iones por los sitios de absorción. En el ambiente intestinal de bovinos Cu y Ca se unen a proteínas duodenales para su absorción. La misma proteína participa en la absorción del Zn. Saylor *et al.* (1980) observaron que la suplementación de Zn en ovinos no solamente incrementaba la fracción de proteínas duodenales, sino que también, el contenido de Cu. Por su parte, Bremner y Marshall (1974) propusieron que el contenido de Cu de la fracción proteica está directamente relacionado con la concentración de Zn en el hígado de los bovinos (Saylor y Leach 1980; Little 1981; McDowell 1984).

Los resultados obtenidos en el presente estudio son similares a los observados por Mejia (1984) y Pérez (1987). Los resultados anteriores sugieren que los animales presentaron deficiencias de P, K, Mg, Cu, Fe y Zn y niveles adecuados de Ca.

3.2. Niveles de minerales en bovinos estudiados en la estación lluviosa o en la estación seca

La concentración de minerales en suero sanguíneo de bovinos no fue diferente ($P > .01$) entre bovinos estudiados únicamente en una estación, en la estación de lluvias o en la estación de secas (apéndice 1). Los resultados anteriores sugieren que el diagnóstico del nivel de minerales en bovinos puede efectuarse en cualquier estación del año.

CONCLUSIONES

- 1. Los suelos estudiados fueron deficientes en P, Cu y Zn, abundantes en Ca, y adecuados en K, Mg, Na y Fe.**
- 2. Las concentraciones de Ca, P, Zn, Cu y Aluminio intercambiable fueron los mejores indicadores de la fertilidad del suelo.**
- 3. Los forrajes fueron deficientes en K, Cu y Fe, abundantes en Ca, Mg, Na y Zn, y adecuados en Proteína Cruda y P.**
- 4. Los niveles de Cu y de Zn fueron buenos indicadores del contenido mineral de los forrajes en la estación lluviosa.**
- 5. Los niveles de Ca y de P fueron buenos indicadores del contenido de minerales de los forrajes en la estación seca.**
- 6. La relación entre minerales del suelo y minerales de forrajes fue mayor durante la estación de lluvias (41.0 %).**
- 7. El suero sanguíneo de bovinos fue deficiente en P, Cu, Fe, Zn y Mg; y adecuado en K y abundante en Ca.**
- 8. El contenido de minerales en plasma fue similar entre los animales que se estudiaron en la época lluviosa o en la época seca.**

LITERATURA CITADA

- Abdellatif, A. M. M. 1968. Conditioned hypocuprosis: some effects of diet on copper storage in ruminants. Agricultural Research Reports 709. Centre for Agric. Publ. and Doc. Wageningen. 76 p.
- Allaway, W. H. 1968. Agronomic controls over the environmental cycling of trace elements. Adv. Agron. 20:235.
- Ammerman, C. B. 1970. Recent developments in cobalt and copper in ruminant nutrition: a review. J. Dairy Sci. 53: 1097.
- Ammerman, C. B., J. M. Loaiza, W. G. Blue, J. F. Gamble y G. F. Martin. 1974. Mineral composition of tissues from beef cattle under grazing conditions in Panama. J. Anim. Sci. 38:158.
- Ammerman, C. B., S. M. Miller, K. R. Fick y I. S. Hansard. 1977. Contaminating element in mineral supplements and their potential toxicity. a review. J. Anim. Sci. 44:485.
- Anderson, M. S., H. W. Lakin, K. C. Beeson, F. C. Smith y E. Thacker. 1961. Seleniun in Agriculture. Agr. Handbook No. 2000. U.S.D.A.
- Anderson, W. T. 1984. An Introduction to Multivariate Statistical Analysis. Second Edition. Willey, New York.
- A.O.A.C. 1975. Association of Official Agricultural Chemists. 1975. Official Methods of Analysis. 12th. Ed. Washington, D.C.
- Apgar, J. 1968. Effect of zinc deficiency on parturition in the rat. Amer. J. Physiol. 215:160.
- ARC. 1980. The Nutrient Requeriments of Ruminant Livestock. Agricultural Research Council. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal. England.
- Arnon, D. I. y P. R. Stout. 1939. The essentiality of certain elements in minute cuantity for plants with special reference to copper. Plant Physiol. 14:371.
- Arora, S. P., E. E. Hatfield, U. S. Garrigus, T. G. Lohman y B. B. Doane. 1973. Zn-65 uptake by rumen tissue. J. Nutr. 97:25.

- Asher, C. J. y P. G. Ozanne. 1967. Growth and potassium content of plants in solution cultures mantained at constant potassium concentraciones. *Soil Sci.* 103:155.
- Aubert, H. y M. Pinta. 1977. *Trace Elements in Soils*. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York.
- Barradas, H. V. 1980. Interrelationship amon the mineral content of the soils, forages and cattle in the central and northern region of Veracruz, Mexico. M. S. Thesis. Michigan State University. 128 p.
- Becker, R. B., P. T. Dix Arnold, W. G. Kirk, G. K. Davis y R. W. Kidder. 1953. Mineral for dairy and beef catlle. *Univ. of Florida. Exp. Sta. Bull.* 513.
- Beeson, W. M., T. W. Perry, N. L. Jacobson, K. D. Wiggers y G. N. Jacobson. 1975. Literature Review on Calcium in Beef and Dairy Nutrition. National Feed Ingredients Association. Des Moines, Iowa.
- Beeson, K. C. y G. Matrone. 1976. *The Soil Factor in Nutrition Animal and Human*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Beeson, K. C. 1978. Plans and food plants origin. In: N.A.S. (eds). *Geochemistry and the Environment*. Vol. III. Distribution of trace elements related to the ocurrence of certain Cancers, Cardiovascular disease, and Urolithiasis. Washington, D. C. pp 59-78.
- Ben-Ghedalia, D., H. Tagari, S. Zamwell y A. Bondi. 1975. Solubility and net exchange of calcium, magnesium and phosphorus in digesta flowing along the gut of the sheep. *Brit. J. Nutr.* 33:87.
- Bertoni, G., J. M. Watson, P. G. Savage y G. D. Armostrog. 1976. The movements of minerales in the digestive tract of dry and lactating Jersey cows. 1. Net movements of Ca, P, Mg, Na, K y Cl. *Zootecnica e Nutrizione Animals.* 2:107.
- Bingham, F. T. y V. J. Garber. 1960. Solubility and availability of micronutrients in relation to phosphorus fertilization. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 24:209.
- Black, C. A. 1968. *Soils-plants relationships*. 2nd. Ed. Willey. New York. pp 588-663.
- Blue, W. G. y L. E. Tergas. 1969. Dry season deterioration of forage quality in the wetdry tropics. Symposium: Unique processes in tropical plant and soil crops. *Sci. Fla. Proc.* 29:224.

- Bohman, V. R., A. L. Lesperance, G. D. Harding y D. L. Grunes. 1969. Induction of experimental tetany in cattle. J. Anim. Sci. 22:99.**
- Bonner, J. y J. E. Verner. 1965. Plant Biochemistry. Academic Press. New York.**
- Booth, C. C. 1967. Sites for absorption in the small intestine. Fed. Proc. 26:1583.**
- Bould, C. 1964. Magnesium in soils and plants. Vet. Rec. 76:1377.**
- Boyd, G. E. y D. B. Knezer. 1972. Absorption reactions of micronutrients. In: J. J. Morthvedt, P. M. Giordano y W. L. Lindsay (eds). Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.**
- Bowen, H. J. M. 1966. Trace Elements in Biochemistry. Academic Press. New York.**
- Braithwaite, G. D. 1975. Studies on the absorption and retention of calcium and phosphorus by young and mature Ca deficient sheep. Brit. J. Nutr. 34:311.**
- Braithwaite, G. D. 1976. Calcium and phosphorus metabolism in ruminants with special reference to parturient paresis. J. Dairy Res. 43:501.**
- Bray, R. H. y L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci. 53:39.**
- Breland, H. L. 1976. Memorandum to Florida extension specialists and county extension directors. IFAS Soil Science Lab. Gainesville. University of Florida. 3 p.**
- Bremner, J. M. 1965. Total Nitrogen. In: C. A. Black (ed). Methods in Soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties. Amer. Soc. Agr. Madison, Wisconsin. pp 1149-1178.**
- Bremner, I. 1970. The nature of trace elements binding in herbage and gut contents. In: C. F. Mills (ed). Trace Element Metabolism in Animals. Edinburgh. pp 336-369.**
- Bremner, I. y H. A. Knight. 1970. The complexes of zinc, copper and manganese present in ryegrass. Brit. J. Nutr. 24:279.**

- Bremner, I. y R. B. Marshall. 1974. Hepatic copper and zinc-binding proteins in ruminant. 1. Distribution, of Cu, Zn among soluble proteins of livers of varying Cu and Zn content. Brit. J. Nutr. 32:283.**
- Brown, J. C. 1961. Iron chlorosis in plants. Adv. Agron. 13:29.**
- Buchanan-Smith, J. G. 1978. Calcium and Phosphorus requirements of Dairy Cattle. Paper presented at the First Annual International Minerals Conference. St. Petersburg Beach, Florida. Int. Minerals and Chemicals Co. Mundelein, Ill.**
- Butler, G. W., P. C. Barclay y A. C. Glanday. 1962. Genetic and Environmental differences in the composition mineral of rye grass herbage. Plant and Soil. 16:214.**
- Bluter, G. W. y D. I. H. Jones. 1973. Mineral biochemistry of herbage. In: G. W. Butler y R. W. Bailey (eds). Chemistry and Biochemistry of Herbage. Vol. 2. Academic Press. London, New York. pp 127-162.**
- Carafoli, E., F. Clementi, W. Drabikowski y A. Margreth. 1975. Calcium transport in contraction and secretion. Carafoli, E., F. Clementi, W. Drabikowski y A. Margreth (Eds.). Elsevier-North Holland. Amsterdam. 588 p.**
- Carafoli, E. y M. Crompton. 1978. Regulation of intracellular calcium. Curr. Top. Menbr. Trans. 10:151.**
- Care, A. D. 1960. The effect on cattle of high level magnesium supplementation of their diet. Vet. Res. 72:517.**
- Care, A. D. y A. T. Van't Klooster. 1965. In vivo transport of magnesium and other cations across the wall of the tract of sheep. J. Physiol. 177:174.**
- Care, A. D., L. E. Vowles y D. B. Ross. 1967. Factors affecting magnesium absorption in relation to the aetiology of acute hypomagneseamia. J. Agr. Sci., Camb. 68:195.**
- Castrellón, M. J., Zamorano, E. y A. Calderón, A. 1981. Estudio general y descripción del pastizal, elaboración de un mapa de vegetación, determinación del coeficiente de agostadero y cálculo de la carga animal apropiada en el rancho "Chorreños", en Chorreños, Durango. Universidad Autónoma Chapingo. Mimeo. 18 p.**
- Claasen, N., y A. Jungk. 1984. Effect of uptake rate, root growth and roots hairs and potassium uptake efficiency of several plants species. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Boden Kunde. 147 (3):276 (Abstr.).**

- Cooper, J. P. 1973. Genetic variation in herbage constituents. In: G. W. Butler y R. W. Bailey. (eds). Chemistry and Biochemistry of herbage. London, Academic Press. Vol. 2. pp 379-417.
- Cragle, R. G. 1973. Dynamics of mineral in the digestive tract of ruminant. Fed. Proc. 8:1910.
- Challa, J. y G. D. Braithwaite. 1988. Phosphorus and calcium metabolism in growing calves with special emphasis on phosphorus homeostasis. 1. Studies of the effect of changes in the dietary phosphorus intake on phosphorus and calcium metabolism. J. Agric. Sci., Camb. 110:573.
- Challa, J. y G. D. Braithwaite. 1988. Phosphorus and calcium metabolism in growing calves with special emphasis on phosphorus homeostasis. 2. Studies of the effect of different levels of phosphorus, infused abomasally, on phosphorus metabolism. J. Agric. Sci., Camb. 110:583.
- Charley, J. L. 1977. Mineral cycling in rangeland ecosystems. In: R. E. Sosebee (ed). Rangeland plant physiology. Range Sci. Ser. No. 4. Society for Range Manage. Denver, Colo.
- Chester-Jones, H., J. P. Fontenot, H. P. Veit y K. E. Webb, Jr. 1989. Physiological effects of feeding high magnesium to sheep. J. Anim. Sci. 67:1070.
- Chicco, F. C., C. B. Ammerman, J. P. Feaster y B.G. Dunavant. 1973. Nutritional Interrelationships of dietary calcium, phosphorus and magnesium in sheep. J. Anim. Sci. 36:986.
- 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.
- Davis, G. K., R. Jordan, K. Kubota, A. A. Laitinen, G. Matrone, P. M. Newberne, B. L. O'Dell y J. S. Webb. 1974. Copper and Molybdenum. In: N. A. S. (eds). Geochemistry and the Environment. The Relation of selected Trace elements to Health and Disease. Vol. 1. Washington, D. C. pp 68-79.
- DeLuca, H. F. 1979. Vitamin D, metabolism and function. Spring Verlag. Berlin. 80 p.
- Dick, A. T. 1956. Molybdenum in animal nutrition. Soil Sci. 81:229.
- Dillon, J. y D. Scott. 1979. Digesta flow and mineral absorption in lambs before and after weaning. J. Agr. 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. Section 6. Volume V. Amer. Phys. Soc. Washington, D. C. 2761 p. Dormaar, J. F. 1972. Seasonal pattern of soil organic matter. Can. J. Soil Sci. 52:507.

Duncan, C. J. 1976. Calcium in biological systems. Cambridge University Press. Cambridge.

Engelhardt, W. V. y Hauffe. 1975. Funktionen des blyttermagens beikleinen haiswiderkauer. IV. Resorption and Sekretion von Eloktryten. Zentralblatt fur Veterinarmedizin A. 363 (Abstr.).

Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plants: Principles and Perspectives. Wiley. New York.

Evans, G. W. 1973. Copper homeostasis in the mammalian system. Phys. Rev. 53:535.

Evans, G. W. y G. J. Sorger. 1966. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. Ann. Rev. Plant Physiol. 17:47.

Everitt, J. H., M. A. Alaniz, A. H. Gerbermann y H. W. Gausman. 1980. Nutrient content of native grasses on sandy and red sandy loam range siles in south Texas. USDA-SEA. Agr. Res. Results, Southerm Ser. No. 7.

F.A.O. 1974. Soil Map on the World. Vol. 32. Legend. Paris. 59 p.

Fenner, H. 1979. Magnesium nutrition of tue ruminant. The Second Annual International Minerals Conference. International Mineral and Chemical Corporation. Mendelein, Illinois. 34 p.

Fick, R. K., R. L. Mc Dowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J.O. Funk, J. H. Conrad y R. Valdivia. 1979. Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales. 2da. Edición. Universidad de Florida y U. S. Agency for International Development. Gainesville, Fla. pp 201-901.

Field, A. C. 1961. Studies on magnesium in ruminant nutrition. 3. Distribution of Mg-28 in the gastrointestinal tract and tissues of sheep. Brit. J. Nutr. 15:349.

Field, A. C. y N. F. Suttle. 1970. Mineral excretion by three pairs of monozygotic cattle twins. Proc. Nutr. Soc. 29:34.

- Fitt, T. J., K. Hutton, A. Thompson y D. G. Armstrong. 1972. Binding of magnesium ions by isolated cell walls of rumen bacteria and the possible relation to hypomagnesaemia. *Proc. Nutr. Soc.* 38:65A.
- Fitt, T. J. y K. Hutton. 1974. Effect of potassium ions on the uptake of magnesium by isolated cell walls of rumen bacteria. *Proc. Nutr. Soc.* 33:107A-108A.
- Fitt, T. J., K. Hutton, A. Thompson y D. G. Armstrong. 1979. Site of absorption of magnesium from the ovine digestive tract. *Proc. Nutr. Soc.* 38:65.
- FitzPatrick, A. E. 1984. Suelos. Su formación, clasificación y distribución. Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. México, D. F.
- Fleming, G. A. 1973. Mineral composition of herbage. In : G. W. Buttler y R. W. Bailey (eds). *Chemistry and Biochemistry of Herbage*. Vol. 1. Academic Press, New York. pp 529-566.
- Fontenot, J. P., M. B. Wise y K. E. Webb, Jr. 1973. Interrelationships of potassium, nitrogen and magnesium in ruminants. *Fed. Proc.* 32:1925.
- Fontenot, J. P. 1979. Animal nutrition aspects of grass tetany. In: *Grass Tetany*. ASA, CSSA, y SSSA. Madison, WI. pp 51-62.
- Forbes, R. M. 1977. Studies of zinc metabolism. In: A. A. Abanese (ed). *Newer methods of nutritional biochemistry with applications and interpretations*. Chap. 7 Vol. III. Academic Press. New York.
- Fountain, P. J. y P. J. Sampson. 1969. An association of infection by *Sclerotinia sclerotium* and potassium deficiency in Kennebec potato. *Aust. J. Exp. Agric. and Anim. Husb.* 9:361.
- Foy, C. D., A. L. Fleming y W. H. Armiger. 1969. Aluminum tolerance of Soybean varieties in relation to calcium nutrition. *Agron. J.* 61:505.
- Frolich, E. A. Wallace y R. O. Lunt. 1966. Plant toxicity resulting from solutions of single cations and their amelioration by calcium. In: A. Wallace (ed). *Current Topics in Plant Nutrition*. pp 120-126.
- Gallaher, R. N. 1975. The occurrence of calcium in plant tissue as crystals of calcium oxalate. *Cumunications in Soil Sci. and Plant Analysis*. 6:315.

- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koopen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. México. 252 p.
- Gartenberg, P. 1982. Mineral toxicity problems and deficiencies in northern Mexico. M. Sc. Thesis. Univ. of Florida. Gainesville, Fla. U. S. A.
- Gentry, R. P., W. J. Miller, D. G. Pugh, M. W. Neathery y J. B. Byrum. 1978. Effects of feeding high magnesium to young dairy calves. J. Dairy Sci. 61:1750.
- Gladstones, J. S. y J. F. Lonergan. 1967. Mineral elements in temperate crop and pasture plants. I. Zinc. Aust. J. Agric. Res. 18:427.
- Gladstones, J. S. y J. F. Lonergan. 1970. Nutrients elements in herbage plants in relation to soil adaptation and animal nutrition. Proc. 11th Int. Grassland Congress. pp 350-354.
- Gladstones, J. S., J. F. Lonergan y W. J. Simmons. 1975. Mineral elements in temperate crop and pasture plants. III. Copper. Aust. J. Agric. Res. 26:113.
- Gomide, J. A. 1976. Composicao mineral de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais. Simposio Latinoamericano sobre pesquisa em nutricao mineral em ruminantes em pastagens. Belo Horizonte. Brasil.
- Goss, R. L. 1968. The effect of potassium on disease resistance. In: W. Kilmer, W. Young y A. Brady. (eds). The Role of Potassium in Agriculture. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.
- Grace, N. D. y J. C. MacRae. 1972. Influence of feeding regimen and protein supplementation on the sites of net absorption of magnesium in sheep. Brit. J. Nutr. 27:51.
- Grace, N. D., M. J. Ulyatt y J. C. MacRae. 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.
- Greene, L. W., J. P. Fontenot y K. E. Webb, Jr. 1983b. Site of magnesium and other macromineral absorption in steers feed high levels of potassium. J. Anim. Sci. 57:503.
- Greene, L. W., K. E. Webb, J. y J. P. Fontenot. 1983c. Effect of potassium level on site of absorption of magnesium and other macroelements in sheep. J. Anim. Sci. 56:1214.

- Greene, 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.
- Griffith, G. y R. J. K. Walters. 1966. The sodium and potassium content of some grass genera, species and varieties. *J. Agric. Sci., Camb.* 67:81.
- Grunes, D. L., P. R. Stout y J. R. Brownell. 1970. Grass tetany for ruminants. *Adv. Agron.* 22:331.
- Hacker, J. B. 1974. Variation in oxalate, major cations in dry matter digestibility of 47 introductions of the tropical grass *Setaria*. *Tropical Grassland.* 8:145.
- Hagen, C. E. y H. T. Hopkins. 1955. Ionic species in orthophosphate absorption by barley roots. *Plant Physiol.* 30:193.
- Hale, M. G., C. L. Foy y F. S. Shay. 1971. Factors affecting root exudation. *Adv. Agron.* 23:89-109.
- Halsted, J. A., J. C. Smith y I. M. Irwin. 1974. A conspectus of research on zinc requirements of man. *J. Nutr.* 104:345.
- Halverston, A. W., H. J. Phifer y J. K. Monty. 1960. A mechanism the copper-molybdenum interrelationship. *J. Nutr.* 7:95.
- Hansard, L. S. 1983. Microminerals for Ruminant Animals. *Nutrition Abstracts and Reviews-Serie B.* Vol. 53. 1:25.
- Harris, W. D. y P. Popat. 1954. Determination of the phosphorus content of lipids. *Am. Oil. Che. Soc. J.* 31:124.
- Harrison, H. E. y H. C. Harrison. 1963. Sodium, Potassium and intestinal transport of glucose, l-tyrosine, phosphate and calcium. *Amer. J. Phys.* 205:107.
- Hartmans, J. 1971. Effects of calcium on resorption and excretion of major a some minor elements in cattle. *Proc. of the 8th Colloquium International Potash Institute.* pp 207-211.
- Hartmans, J. 1974. Tracing and treating mineral disorders in cattle under field conditions. *In: W. G. Hoekstra, J. W. Suttle, H. E. Ganther y W. Mertz (ed). Trace element metabolism.* University Park Press. Baltimore, Maryland. pp 261-273.

- Hausenbuiller, I. R. 1980. Soil Science. Principles and practices. Second Edition. Wm. C. Brown Company, Publishers. Dubuque, Iowa.
- Havlin, J. L. y D. G. Westfall. 1985. Potassium release kinetics and plant response in calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:366
- Hernando, V., L. Jimeno y V. Garcia. 1968. Efecto de la humedad del suelo en al nutrición mineral de la planta. Agrichimica. 12:341.
- Heitschmidt, R. K., Dowhower y J. W. Walker. 1987. 14 vs. 42 paddock rotational grazing:above ground biomass dynamics, forage production and harvest efficiency. J. Range Manage. 40:216.
- Hidiroglou, M. 1979. Trace elements deficiencies and fertility in ruminants. a review. J. Dairy Sci. 62:1195.
- Hiers, T. M. Jr., W. T. Miller y D. M. Blackman. 1968. Effect of dietary cadmium and ethylenediaminetetra-acetate on dry matter digestibility and organ weights in zinc deficient and normal ruminants. J. Dairy Sci. 51:205.
- Hsu, J. M. y J. K. Anilane. 1966. Effect of zinc deficiency on zinc metalloenzymes in rat. Proc. 7th. Congr. Nut. 5:753.
- Hodges, T. K. 1973. Ion absortion by plants roots. Adv. Agron. 25:163.
- Horn, J. P. y R. H. Smith. 1978. Absorption of magnesium by young steer. Britr. J. Nutr. 40:473.
- House, W. A. y H. F. Mayland. 1976. Magnesium utilization in wethers fed diets with varying ratios of nitrogen to readily fermentable carbohidrate. J. Anim. Sci. 48:842.
- Hovin, A. W., T. L. Tew y R. E. Stucker. 1978. Genetic variability for mineral elements in reed canary grass. Crop Science. 16:575.
- Iyengar, S. S., D. C. Martens y W. P. Miller. 1981. Distribution and plant availability of soil zinc fractions. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:735.
- Jacobson, N. I., K. D. Wiggers y G. N. Jacobson. 1975. Calcium in dairy cattle nutrition. In: NFIA Literature Review on Calcium in Beef and Dairy Nutrition. National Feed Ingredients Assn. West Des Moines, Iowa. 70 p.

- Jacques, G. L., G. L. Vanderlip y D. A. Whitney. 1975. Growth and nutrient accumulation and distribution in grain shorgum. 1. Dry matter production and Ca y Mg uptake and distribution. *Agron. J.* 67:607.
- Jacques, G. L., R. L. Vanderlip y R. Ellis, Jr. 1975. Growth and nutrient accumulation and distribution in grain sorguham. II. Zn, Cu, Fe and Mn uptake and distribution. *Agron. J.* 67:611.
- Jones, L. H. P. 1961. Aluminun uptake and toxicity in plants. *Plant Soil.* 13:297.
- Jones, D. I. H. 1963. The mineral content of six grasses from a Hyparrhenia-dominat grassland in the northern Rhodesia. *Rhodesian Journal of Agricultural. Res.* 1:35.
- Jones, J. B. Jr. 1972. Plant tissue analysis for micronutrients. In: J. J. Mortvedt, P. M. Giordano y W. L. Lindsay (eds). *Micronutrients in Agriculture*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin. U. S. A. pp 319-416.
- Jones, L. H. P. 1978. Mineral components of plant cell walls. *Amer. J. Clin. Nutr.* 31:594.
- Kabata-Pendias, A. y H. Pendias. 1986. Trace elements in soils and plants. CRC Pres. Boca Raton, Florida.
- Kamprath, E. J. y C. D. Foy. 1971. Lime-Fertilizers plant interactions in acid soils. In: *Fertilizers Technology and use*. R. A. Olsen (ed). Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisc.
- Kalmbacher, S. R., K. 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.
- Kauffman, M. D. y D. R. Bouldin. 1967. Relationships of excheangeable and non-excheangeable potassium in soils adjacent to cation-exchange resins and plant roots. *Soil Sci.* 104:145.
- Kay, J. y E. Battlenay. 1969. Concentration of major nutrient elements in vegetation and soils and portion of the western Australian arid zone. *J. Roy. Soc. West Aust.* 52:109.
- Kibdy, D. K. 1966. Activation of a plant invertase by inorganic phosphate. *Plant Phys.* 41:1139.
- Keilin, D. y J. Mann. 1940. Carbonic anhydrase. Purification and nature of the enzyme. *Biochem. J.* 34:1163.

- Kemp, A., W. B. Deijs y E. K. Kluvers. 1966. Influence of higher fatty acids on the availability of magnesium in milking cows. *Neth. J. Agric. Sci.* 14:290.
- Kemp, A., W. B. Deijs, O. J. Hemkes y A. J. H. van Es. 1971. Hypomagnesaemia in milking cows. Intake and utilization of magnesium from herbage by lactating cows. *Neth. J. Agric. Sci.* 9:134.
- 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.
- Korte, M. E., J. Skopp, W. H. Fuller, E. E. Niebla y B. A. Alessi. 1976. Trace elements movement in soils: influence of soil physical and chemical factors. *Soil Sci.* 122:350.
- Kovalsky, V. V., I. E. Vorotnitskaya y G. G. Tsoi. 1974. Adaptative change of the milk xanthine oxidase and its isoenzymes during molybdenum and copper action. In: W. G. Hoekstra, J. W. Suttle, H. E. Ganther y W. Mertz (eds). Trace elements metabolism in animals-2. University Park Press, Baltimore. pp 161-170.
- Krawitt, E. L., P. A. Stubert y P. H. Ennis. 1973. Calcium absorption and brush border phosphatases following dietary calcium restriction. *Amer. J. Phys.* 224:548.
- Kubota, J. 1983. Copper status of United States soil and forage plants. *Agron. J.* 75:913.
- Kuo, S. y E. J. Jellum. 1987. Influence of soil characteristics and environmental conditions of seasonal variations of water soluble phosphate in soils. *Soil Sci.* 143:257.
- Landglands, J. P., J. E. Bowles, G. E. Donald y A. J. Smith. 1986. Trace element nutrition of grazing ruminants. II. Hepatic copper storage in young and adult sheep and cattle given varying quantities of oxidized copper particles and other copper supplements. *Aust. J. Agric. Res.* 37:189.
- Larsen, S. 1967. Soil phosphorus. *Adv. Agron.* 19:151.
- Lebdosoekojo, S., C. B. Ammerman, N. S. Raun, J. Gomez y R. C. Littell. 1980. Mineral nutrition of beef cattle grazing native pastures of the eastern plains of Colombia. *J. Anim. Sci.* 51:1249.
- Li, T. K. 1966. The functional role of zinc in metalloenzymes. In: Zinc metabolism. A. S. Prasad. Charles C. Thomas (eds). Zinc metabolism. Springfield, Illinois. pp 48-68.
- Lindsay, W. L. 1972. Zinc in soils and plant nutrition. *Adv. Agron.* 24:147.

- Little, D. A. 1970. Factors of importance in the phosphorus nutrition of beef cattle in northern Australia. Aust. Vet. J. 46:241.**
- Little, D. A. 1981. Utilization of Minerals. In: J. B. Hacker. (ed). Nutritional limits to animal production from pastures. Proc. International Symp. St. Lucia, Queensland, Australia. August 24th-28th, 1981. pp 259-283.**
- Littledike, E. T. y P. S. Cox. 1979. Clinical, mineral and endocrine interrelationships in hipomagnesemic tetany. In: Grass Tetany, ASA, CSSA, SSSA. Madison, Wisc. pp 1-50.**
- Lokken, P. M., E. S. Halas y H. H. Sandstead. 1973. Influence of zinc deficiency on behavior. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 144:680.**
- Loneregan, J. F. 1964. The nutrition of grasslands. In: C. Bernard (ed). Grasses and Grasslands. Mc Millan, New York. pp 206-220.**
- Loneregan, J. F. 1968. Nutrients requeriments of plants. Nature. 220:1307.**
- Loneregan, J. F., J. S. Gladstone y W. J. Simmons. 1968. Mineral elements in temperate crop and pasture plants. II. Calcium. Aust. J. Agric. Res. 20:465.**
- Loneregan, J. F. y K. Snowball. 1969. Calcium requeriments of plants. Aust. J. Agric. Res. 20:465.**
- Loneregan, J. F. 1973. Mineral absorption and its relation 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. pp 103-127.**
- Lueker, C. E. y Lofgreen. 1961. Effects of intake and calcium to phosphorus ratio on absorption of these elements by sheep. J. Nutr. 74:233.**
- Lunt, O. R., R. L. Branson y S. B. Clark. 1966. Response of five grass species to phosphorus in six soils. Proc. Int. Grasslands Congress. 9th. Vol. 1. 1687 p.**
- Maas, E. V. y G. Ogata. 1971. Absortion of magnesium and chloride by excisad corn roots. Plant Phys. 47:357.**
- Madesen, F. C., D. E. Lentz, J. K. Miller, D. Lowery-Harnden y S. L. Hansard. 1976. Die tary carbohidrates effects uppon magnesium metabolism in sheep. J. Anim. Sci. 42:1316.**
- Marks, G. S. 1966. The biosynthesis of heme and chlorophyll. Bot. Rev. 32:56.**

- Marriott, C. H. F. 1974. The interpretation of Multiple observations. Academic Press. London, New York, San Francisco.
- Marchner, H. 1986. Mineral nutrition for higher plants. Academic Press. San Diego, CA.
- McChowell, J. y G. A. Hall. 1970. Infertility associated with experimental copper deficiency in sheep, guinea pig and rats. In: C. F. Mills (ed). Trace elements metabolism in animals. Edinburg. 106 p.
- McChowell, J. 1968. The effect of experimental copper deficiency on growth, reproduction and haemopoiesis in the sheep. Vet. Rec. 83:226.
- Mc Donald, I. W. 1968. The nutrition of grazing ruminants. Nutr. Abstr. Rev. 38:381.
- McDowell, L. R., J. H. Conrad, J. E. Thomas, L. E. Harris y K. R. Fick. 1977. Nutritional composition of Latin American Forages. Trop. Anim. Prod. 2:273.
- McDowell, L. R., C. E. Lang, J. H. Conrad, F. G. Martin y H. Fonseca. 1978. Mineral status of beef cattle in Guanacastle, Costa Rica. Trop. Agr. 55:343.
- McDowell, L. R., J. H. Conrad y G. L. Ellis. 1983. Mineral deficiencies, imbalances and diagnosis. Part II. Feedstuffs. Sept. 19:21.
- McDowell, L. R., J. H. Conrad, G. L. Ellis y J. K. Loosli. 1984. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Universidad de Florida y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.
- McDowell, L. R., Ellis, O. 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.
- Mc Intosh, S., P. Crooks y K. Simpson. 1973. The effect of applied N, K y Mg on the distribution of magenesium in the plant. Plant Soil. 39:389.
- McIvor, J. G. 1979. Seasonal changes in nitrogen and phosphorus concentrations and In vitro digestibility of Stylosanthes especies and Centrosema pubescens. Tropical Grasslands. 13:92.
- McNaught, J. K. 1970. Diagnosis of mineral deficiencies in grass-legume pastures by plant analysis. Proc. 11th Int. Grassland Congress. pp 335-339.
- Mejía, H. A. 1984. Determinación de deficiencia y/o toxicidad de minerales en tres municipios ganaderos del estado de Coahuila. Tesis de Maestría en Ciencias. U.A.A.A.N. Buena Vista, 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 en Ciencias. U.A.A.N. Buena Vista, Coahuila. México.**
- Metson, A. J. 1974. Magnesium in New Zealand soils. I. Some factors governing the availability of soil magnesium: a review. N. Z. J. Exp. Agric. 2:277.**
- Metson, A. J., W. H. M. Saunders, T. W. Collie y V. W. Graham. 1966. Chemical composition of pastures in relation to grass tetany in beef breeding cows. N. Z. J. Agric. Res. 9:410**
- Miller, W. J., J. D. Morton, W. J. Pitts y C. M. Clifton. 1965. Effect of Zinc deficiency and restricted feeding on wound healing in the bovine. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 118:426.**
- 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. W., D. M. Blackman, R. P. Gentry, W. J. Pitts y G. W. Powell. 1967. Absorption, excretion and retention of orally administered Zinc-65 in various tissues of Zn deficient and normal goats and calves. J. Nut. 92:71.**
- Miller, E. R., R. W. Luecke, D. E. Ulrey, B. V. Baltzer, B. L. Bradley y J. A. Hoefer. 1968. Biochemical, skeletal and allometric changes due zinc deficiency in the baby pig. J. Nutr. 92:278.**
- Miller, W. J. 1969. Absorption tissue distribution, endogenous excretion, and homeostatic control of zinc in ruminants. Amer. J. Clin. Nut. 22:1323.**
- Miller, E. R., D. E. Ullrey, D. J. Ellis, B. L. Shoepke y J. A. Hoefer. 1969. Comparison of copper sulfate and a selected antibiotic for growing-finishing swine. J. Anim. Sci. 29:140.**
- Miller, E. R., D. O. Liptrap y D. E. Ullrey. 1970. Sex influence Metabolism in Animals. Edinburgh. 377 p.**
- Miller, W. J. 1970. Zinc nutrition of cattle: A Review. J. Dairy Sci. 53:1123.**
- Miller, J. K., B. R. Moss, M. C. Bell y N. W. Snead. 1972. Comparison of ⁹⁹Mo metabolism in young cattle and swine. J. Anim. Sci. 43:846.**

- Miller, J. W., W. M. Britton y M. S. Ansar. 1972. Magnesium in livestock nutrition. In: Magnesium in the Environment, Soils, Crops, Animals and Man. Symp. Taylor Country Printing. Reynolds, GA.
- Miller, W. J. 1979. Dairy cattle feeding and nutrition. Ed. Academic Press. New York.
- Miller, W. J. 1979. Copper and Zinc in ruminant nutrition. In: B. O'Dell, E. K. Miller y W. J. Miller (eds). National Feeds Ingredients Association. 72 p.
- Miller, W. J. 1983. Ruminants phosphorus requirements involve nutrition, metabolism. Feedstuffs. Oct. 10:19.
- Miller, W. P. y W. W. McFee. 1983. Distribution of cadmium, zinc, copper y lead in soils of industrial north western Indiana. J. Environ. Qual. 12:29.
- Miller, W. P., D. C. Martens y W. Zelazny. 1986. Effect of sequence in excretion of trace metals from soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:598.
- Mills, C. F., J. K. Monty, A. Ichihara y B. P. Pearson. 1958. Metabolic effects of molybdenum toxicity in the rat. J. Nutr. 65:129.
- Mills, C. F. 1967. Trace elements nutrition of dairy herd. J. Roy. Ass. Brit. Dairy Farmers. 68:1
- Mills, C. F., J. Quarteman, R. B. Williams, A. C. Dalgarno y B. Panié. 1967. The effects of Zinc deficiency on pancreatic carboxypeptidase activity and protein digestion and absorption in the rat. Biochem. J. 102:72.
- Mills, C. F., C. A. Dalgarno, R. B. Williams y J. Quarteman. 1967a. Zinc deficiency and the zinc requirements of calves and lambs. Brit. J. Nutr. 65:129.
- Mills, C. F., J. Quarteman, J. K. Chesters, R. B. Williams y A. C. Dalgarno. 1969. Metabolic role of zinc. Amer. J. Clin. Nut. 22:1240.
- Mills, C. F. y R. B. Williams. 1971. Problems in the determination of the trace elements requirements 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 Element metabolism in animals-2. University Press, Baltimore.

- Minson, D. J. 1977. The chemical composition and nutritive value of tropical grasses. In: P. J. Skerman (ed). Tropical forage legumes. FAO. Rome. pp 186-194.
- Minson, D. J. 1981. Nutritional differences between Tropical and Temperate Pastures. In: F. H. W. Morley. (ed). Grazing Animals. Elsevier Sci. Pub. Amsterdam, Oxford, New York. pp 143-156.
- Mitchell, R. L. 1964. Trace elements in soils. In: F. E. Bear (ed). Chemistry of the soil. 2nd. Ed. Reinhold. New York. pp 320-368.
- Molloy, L. F. y E. L. Richards. 1971. Complexing of Ca and Mg by the organic constituents of Yorkshire fog (*Holcus lanatus*). II. Complexing of Ca and Mg by cell wall fractions and organic acids. J. Sci. Food Agr. 22:397.
- Moore, D. P., R. Overstree y L. Jacobson. 1961. Uptake of magnesium and its interaction with calcium in excised barley roots. Plant Phys. 46:50.
- Morrow, D. A. 1969. Phosphorus deficiency and fertility in dairy heifers. J. Amer. Vet. Med. Assoc. 154:761.
- Munson, R. D. 1978. Efficiency of uptake of P and interaction of P with other nutrients. In: Phosphorus for Agriculture. A situation analysis. Potash/Phosphate Institute, Atlanta, GA. pp 13-24.
- Nason, A. y W. D. Mc Elroy. 1966. Modes of action of essential mineral elements. In: F. C. Steward (ed). Plant physiology. Vol. 1. Academic Press. New York. pp 477-478.
- Newton, G. L., J. P. Fontenot, R. E. Tucker y C. E. Polan. 1972. Effects of high dietary potassium intake on metabolism of magnesium by sheep. J. Anim. Sci. 35:440.
- Nielsen, K. F., R. L. Halstead, A. J. McLean, S. J. Bourget y R. M. Holmes. 1961. The influence of soil temperature on the growth and mineral composition of corn, brome grass and potatoes. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25:369.
- Norman, M. J. T. 1963. The pattern of dry matter and content changes in native pasture at Katherine, N. T. Aust. J. Exp. Agr. and Animal Husb. 3:119.
- Norton, B. W. 1982. Differences between species in forage quality. In: J. B. Hacker (ed). Nutritional limits to animal production from pastures. Farnham Royal. pp 89-100.

- NRC. 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. National Academy Press. Washington, D. C.**
- NRC. 1984. Nutrients Requeriments of Beef Catle (6th Ed.) National Academy Press. Washington, D. C.**
- NRC. 1989. Nutients Requeriments of Dairy Catle (6th Ed.) National Academy Press. Washington, D. C.**
- Nye, P. H. y P. B. Thinker. 1977. Solute movement in the soil root system. Univ. of California. Berkeley and Los Angeles. pp 342.**
- O'Dell, B. L. y B. J. Campbell. 1970. Trace elements: Metabolism and metabolic function. In: M. Florkin y E. H. Stotz. (ed). Comprenhesive Biochemistry. Elsevier. Vol. 21. pp 179-266.**
- O'kelly, R. E. y J. P. Fontenot. 1969. Effects of feeding different magnesium levels to dry lot-fed lactating beef cows. J. Anim. Sci. 29:959.**
- Olsen, S. R. y F. S. Watanabe. 1961. Phosphorus adsorption of corn roots as affected by moisture and phosphorus concentration. Soil Sci. Am. Proc. 25:289.**
- Olsen, S. R. y Kemper, W. D. 1968. Movement of nutrients to plant roots. Adv. Agron. 20:91.**
- Olsen, S. R. 1972. Micronutrient interactions. In: J. C. Mortvedt, P. M. Giordano y W. L. Lindsay (ed). Micronutrients in Agriculture. Soil Sci. Soc. of America. Madison Wisconsin.**
- Oltjen, R. R., R. E. Davis y R. L. Hiner. 1965. Factors affecting performance and carcass characteristics of cattle and all concentrate rations. J. Anim. Sci. 24:192.**
- Parisi, A. F., y B. L. Vallee. 1969. Zinc metalloenzymes: characteristics and sinificance in biology and medicine. Amer. J. Clin. Nut. 22:1222.**
- Pate, F. M., W. J. Miller, D. M. Blackmon y R. P. Gentry. 1970. Zn absorption rate following single duodenal dosing in calves fed zinc-deficient or control diets. J. Nutr. 100:1259.**
- Peacock, M. 1976. Parathyroid hormone and Calcitonin. In: B. E. C. Nordin (ed). Calcium phosphate and magesium metabolism: Chemical physiology and diagnostic procedures. Edinburgh. pp 405-443.**

- Peisach, J., P. Aisen y W. E. Blumberg. 1966. (ed). The biochemistry of copper. Academic Press. New York. 588 p.
- Peeler, H. T. 1972. Biological availability of nutrients in feed: Availability of major mineral ions. J. Anim. Sci. 35:695.
- Perdomo, J. T., R. L. Shirley y C. F. Chicco. 1977. Availability of nutrient minerals in four forage fed freshly chopped sheep. J. Anim. Sci. 45:1114.
- Pérez, H. J. C. 1987. Evaluación de minerales en el suelo, forraje y ganado caprino del municipio de Zaragoza, Coahuila. Tesis Profesional. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila. México.
- Phillipson, A. T. y J. E. Storry. 1965. The absorption of calcium and magnesium from the rumen and small intestine on the sheep. J. Physiol. 181:130.
- Prabowo, A., J. W. Spears y L. Goode. 1988. Effects of dietary on performance and mineral utilization in lambs fed a forage based diet. J. Anim. Sci. 66:2028.
- Quillian, E. R., W. J. Miller, R. P. Gentry, S. R. Hein-Miller y M. W. Neathery. 1980. Maximum safe dietary magnesium and effects of high dietary magnesium on zinc metabolism in Holstein calves. J. Dairy Sci. 63:457.
- Racker, E. 1980. Fluxes of Ca^{2+} and concepts. Fed. Proc. 39:2422.
- Rahnema, S. H. y J. P. Fontenot. 1986. Effect of potassium on association of minerals with various fractions of digesta and faeces of sheep fed hay. J. Anim. Sci. 63:1491.
- Rasmussen, H. 1970. Cell communication, calcium ion and cyclic adenosine monophosphate. Science. 170:404.
- Reid, R. L., M. C. Franklin y E. G. Hallsworth. 1947. The utilization of phytate phosphorus by sheep. Aust. Vet. J. 23:136.
- Reid, R. L., K. Daniel, y J. D. Bubar. 1974. Mineral relationships in sheep and goats maintained on orchard grass fertilized with different levels of nitrogen, or nitrogen with micro-elements, over a five year period. Proceedings of the 12th Int. Grassland Congress. Moscow. 31:426.

- Reid, R. L., G. A. Jung, C. H. Wolf y 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. 1979. Effect of mineral and mineral availability on nutritive quality of forages. Rumen function conference. Chicago, Ill.
- Reid, R. L. y D. J. Horvath. 1980. Soil Chemistry and mineral problems in farm livestock. a review. *Animal Food Sci. and Tech.* 5:95.
- Robinson, D. W. y R. Sageman. 1967. The nutritive value of some pasture species in northwestern Australia during the late dry season. *Aust. J. Exp. Agr. Ani. Husb.* 7:533.
- Rogers, P. A. M., y A. T. H. Van't Klooster. 1969. Observations on the digestion of food along the gastro-intestinal tract of fistulated cows. 3. The rate of Na, K, Mg, and P in the digesta. *Wageningen.* 69:26.
- Rosa, I. V., P. R. Henry y C. B. Ammerman. 1982. Interrelationship of dietary phosphorus, aluminium and iron on performance and tissue mineral composition in lambs. *J. Anim. Sci.* 55:1231.
- Rook, J. A. F. y J. E. Storry. 1962. Magnesium in milk. *Nutr. Abstr. Rev.* 32:1058.
- Salinas, G. S. y R. García. 1979. Métodos Analíticos para Suelos Acidos y Plantas. CIAT. Mimeo. Cali, Colombia.
- SARH. 1982. Unidades de suelos del Estado de Durango. Agroconsult, S. A. SARH. México. 387 p.
- SARH-DGEA. 1983. La población y Producción Lechera en México y su comportamiento de 1979-1981. Econotecnia Agrícola. Vol. VII. México. 12 p.
- SARH. 1987. La Ganaderia Bovina productora de Carne. Subsecretaría de Ganaderia. Dirección General de Fomento Ganadero. Mimeo. México. 11 p.
- SAS. 1979. SAS. User's Guide: Statistics. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- Sass-Korstack, A. 1965. Copper metabolism. *Adv. Clin. Chem.* 8:1.

- Saunders, W. M. H. y A. J. Metson. 1971. Seasonal variation of phosphorus in soil and pasture. N. Z. J. Agric. Res. 14:307.
- Saylor, W. W. y R. M. Leach. 1980. Intracellular distribution of copper and zinc in sheep: effect of age and dietary levels of metals. J. Nutr. 110:448.
- Saylor, W. W., F. D. Morrow y R. M. Leach. 1980. Copper y Zinc binding proteins in sheep liver and intestine of the rat. Amer. J. Phys. 198:263.
- Schutte, K. 1964. The biology of the trace elements. Crosby Lockwood. England.
- Shaw, N. H. 1978. Superphosphate and stocking rate effects on native pasture oversown with *Stylosanthes humilis* in central coastal Qeesland. 1. Pasture production. Aust. J. Exp. Agr. Animal Husb. 18:788.
- Shuman, L. M. 1979. Fractionation method for soil microelements. Soil Sci. 140:11.
- Shuman, L. M. 1985. Zinc, Manganese and Copper in soils fractions. Soil Sci. 127:10.
- Siebert, B. D., D. M. R. Newman y D. J. Nelson. 1968. The chemical composition of some arid zone pasture species. Tropical Grasslands. 2:31.
- Sims, J. L. y W. H. Patrick, Jr. 1978. The distribution of microelement cations in soil under conditons of varying redox potential and pH. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:258.
- Sims, J. T. 1986. Soil pH effects on the distribution and plant availability of manganese, copper and zinc. Soil Sci. 50:367.
- Singh, B. R., V. K. Misrha y B. R. Tripathi. 1987. Mineral content of grasses and grasslands of the Himalayan Region: 1. Trace element distribution in soil profiles and their concentrations in surface soils. Soil Sci. 143:168.
- Singh, B. R., V. K. Misrha y B. R. Tripathi. 1987. Mineral content of grasses and grasslands of the Himalayan Region: 2. Concentration of trace and major elements in grasses in relation to soil properties and climatic factors. Soil Sci. 143:241.
- Singh, J. P., S. P. S. Karwasra y M. Singh. 1988. Distribution and forms of copper, iron, manganese and zinc in calcareous soils of India. Soil Sci. 146:257.
- Sitjar, R. G. y S. Osorio, R. 1983. Una aproximación al enfoque de sistemas en la ganade-

Sjollema, B. 1932. Nutritional and metabolic disorders in cattle. *Nutr. Abstr. Rev.* 1:621.

Sommer, A. L. 1931. Copper as an essential for plant growth. *Plant Physiol.* 6:339.

Sorokin, H. y A. L. Sommer. 1940. Effects of calcium deficiency upon the roots of Pisum sativum. *Am. J. Bot.* 27:308.

Stake, P. J., W. J. Miller, M. W. Neathery y R. P. Gentry. 1975. Zinc absorption and tissue distribution in two and six-month old Holstein calves and lactating cows. *J. Dairy Sci.* 58:78.

Steucek, G. L. y H. V. Koontz. 1970. Phloem mobility of magnesium. *Plant Physiol.* 46:50.

Stevenson, H. M. y E. F. Unsworth. 1978. Studies on the absorption of calcium, phosphorus, magnesium, copper y zinc by sheep fed on roughage-cereal diets. *Brit. J. Nutr.* 40:491.

Sumuano, J. M. A., D. Rodríguez, J. Rodríguez y R. Vazquez A. 1988. Concentración mineral en agua, suelo, forraje y ganado bovino en la región ganadera del sur del Estado de Coahuila. Tesis Profesional. U.A.A.N. Buena Vista, Coahuila.

Suttle, N. F. y A. C. Field. 1974. The effect of dietary molybdenum on by hypocupraemic ewes treated by subcutaneous copper. *Vet. Rec.* 95:165.

Suttle, N. F. 1975. Trace elements interactions in animals. In: D. J. D. Nicholas and A. R. Egan. (ed). Trace elements in soil-plant-animal systems. Academic Press. New York. pp 271-299.

Suttle, N. F. y M. McLauchlan. 1976. Predicting the effects of dietary molybdenum and sulfur on the availability of copper to ruminant. *Proc. Nutr. Soc.* 37:22A.

Taylor, A. N. 1974. In vitro phosphate transport in chick ileum: Effect of cholecalciferol, calcium, sodium and metabolic inhibitors. *J. Nutr.* 104:489.

Taylor, T. G. 1979. Availability of phosphorus in animal feeds. Proceedings of the 13th Nutrition Conference for feed manufacturers. Univ. of Nottingham. 23 p.

- Tergas, L. E. y W. G. Blue. 1971. Nitrogen and phosphorus in Jaragua grass (*Hyparrhenia rufa*, nass stapf) during the dry season in a tropical savanna as affected by nitrogen fertilization. Agron. J. 63:6.
- Tessier, A., P. G. C. Campbell y M. Bission. 1979. Sequential extraction procedure for the special of particulate trace metals. Anal. Chem: 51:851.
- Thewis, A., E. Francois y M. F. Thielmans. 1978. Etude quentitative B de l' absorption et de la secretion du phosphore total et du phosphore phospholipidique dans le tube digestif du mouton. Annales de Biologie Animale Biochemie Biophysique. 18:1181.
- Thiel, H. y A. Finck. 1973. Ermittlung von grenzwerten optimaler kupfer-ver-sorgung für Hafer and Summergesthe. Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd. 134:107-125 (Abstr.).
- Thomas, B., A. Thompson, V. A. Oyenuga, y R. H. Armstrong. 1952. The ash constituents of some herbages plants at different stages of maturity. Emp. J. Exp. Agric. 20:10-22.
- Thompson, A., S. L. Hansard y M. C. Bell. 1959. The influence of aluminium and zinc upon the absorption and retention of calcium and phosphorus in lambs. J. Anim. Sci. 18:187.
- Thornton, I., G. F. Kershaw y M. K. Davies. 1972. An investigation in to copper deficiency in cattle in the Southern Penines. II. Response to copper supplementation. J. Agr. Sci. 78:165.
- Tisdale, S. L. y W. L. Nelson. 1975. Soil Fertility and Fertilizers. Mc Millan Publ. Co. New York.
- Todd, J. R. 1961a. Magenesium in forage plants. I. Magnesium content different species and strains as affected by season and soil treatments. J. Agric. Sci., Camb. 56:411.
- Todd, J. R. 1961b. Magenesium in forage plants. II. Magnesium distribution in grasses and clovers. J. Agric. Sci., Camb. 57:35.
- Todd, J. R. 1962. Magnesium in forage plants. III. Magnesium distribution in pastures of low magnesium content. J. Agric. Sci., Camb. 58:277.
- Todd, J. R. 1967. Grass tetany. Vet. Rec. 81:6.

- Todd, J. R. 1976. Calcium, phosphorus and magnesium metabolism, with particular reference to milk fever (parturient hypocalcaemic) and grass tetany (hypomagnesaemic tetany) in ruminant animals. In: Nuclear techniques in animal production and health international atomic energy agency. Vienna. pp 227-241.**
- Tomas, F. M. y B. J. Potter. 1976a. The site of magnesium absorption from the ruminant stomach. Brit. J. Nutr. 36:37.**
- Tomas, F. M. y B. J. Potter. 1976b. Interaction between sites of magnesium absorption in the digestive tract on the sheep. Aust. J. Agr. Res. 27:437.**
- Udo, E. J., H. L. Bohn y T. C. Tucker. 1970. Zn adsorption by calcareous soils. Soil Sci. Am. Proc. 34:405.**
- UACH. 1986. Unidades de Producción. Informe de Rectoría. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección de Patronato Universitario. Chapingo, México. pp 3-6.**
- Underwood, E. J. 1966. The mineral nutrition of livestock. Farham Royal. Commonwealth Agricultural Bureaux. U. K.**
- Underwood, E. J. 1977. Trace elements in animal nutrition. Academic Press. New York.**
- Van Campen, D. R. y P. V. Scaife. 1967. Zinc interference with copper absorption in rats. J. Nutr. 91:473.**
- Van Campen, D. R. 1969. Copper interference with the intestinal absorption of zinc by rats. J. Nutr. 97:104.**
- 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. Gro. p. 26.**
- Wallace, A., A. El-Gazzar y M. S. Soufi. 1968. The role of calcium as a micronutrient and its relationship of other micronutrients. Proc. 9th Inter. Congr. Soil Sci. (Austr.) Vol. 2. Melbourne. 357 p.**
- Wallace, A., E. M. Rommey y V. Q. Hale. 1973. Sodium relations in desert plants. I. Cation contents of some plants species from the Mohave and Great Basin Deserts. Soil Sci. 115:284.**

- Wallace, A., E. M. Romney, J. W. Ena y S. M. Soufi. 1974. Nitrogen transformations in Rock Valley and adjacent areas of the Mohave Desert. US/IBP Desert Biome Res. Memo, RM. 25 p.
- Wasserman, H. R. 1981. Intestinal absorption of calcium and phosphorus. Fed. Proc. 40:68.
- Watanabe, F. S., J. L. Lindsay y S. R. Olsen. 1965. Nutrient balance involving phosphorus, iron and zinc. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29: 562.
- Williams, D. E. 1961. The absorption of potassium as influenced by its concentration in the nutrient medium. Plant and Soil. 15:387.
- Wilson, A. D. 1966. The intake and excretion of sodium by sheep fed on species of Atriplex (Saltbush) and Kochia (Bluebush). Australian J. Agr. Res. 17:155.
- Wilson, G. F., C. S. W. Reed, L. F. Molloy, A. J. Metson y G. W. Butler. 1969. Grass Tetany. I. Influence of starch and peanut oil supplements on plasma magnesium, calcium and phosphorus levels in dairy cows. N. Z. J. Agric. Res. 12:467.
- Wise, M. B., A. L. Ordoveza y E. R. Barrick. 1963. Influence of variation in dietary calcium:phosphorus ratio on performance and blood constituents of calves. J. Nutr. 79: 79.
- Witehead, D. C. 1966. Nutrient minerals in grassland herbage. Series 1/1966. Commonwealth Bureau of Pasture and Field Crops. England. 83 p.
- Woodruff, J. R. y E. J. Kamprath. 1965. Phosphorus absorption maximum as measured by the langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. Soil Sci. Amer. Soc. Prod. 29:148.

APENDICES

Apéndice 1. Valores medios de minerales en suero sanguíneo de bovinos diferentes en cada estación¹

MINERAL	ESTACION LLUVIOSA	ESTACION SECA	NIVEL GLOBAL
CALCIO (mg/100 ml)	12.26 ^a (4.30)	13.00 ^a (3.90)	12.60
FOSFORO (mg/100 ml)	3.70 ^a (1.33)	3.90 ^a (1.03)	3.77
POTASIO (mg/100 ml)	21.63 ^a (5.67)	17.14 ^b (7.49)	19.60
MAGNESIO (mg/100 ml)	1.87 ^a (0.55)	1.66 ^a (0.62)	1.78
COBRE (g/ ml)	0.35 ^a (0.13)	0.32 ^a (0.08)	0.33
FIERRO (g/ ml)	1.20 ^a (0.34)	1.20 ^a (0.30)	1.20
ZINC (g/ ml)	0.31 ^a (0.16)	0.30 ^a (0.18)	0.31

¹Los valores entre parentesis se refieren a la Desviación Estándar.

^{a,b} Medias en la misma hilera sin una letra en común son diferentes P<.01

Apéndice 2. Análisis de varianza para pH de suelos

F V	G L	C M	P
Modelo	19	0.1074	< .01
Error	259	0.0448	

M = Muestreo.

PT = Potreros.

F V	G L	C M	P
M	1	0.2531	< .01
PT	9	0.1248	< .01
M * PT	9	0.0739	.10

**Apéndice 3. Análisis de varianza para Aluminio
Intercambiable de suelos**

F V	G L	C M	P
Modelo	19	0.3893	< .01
Error	259	0.1136	

F V	G L	C M	P
M	1	0.1734	< .01
PT	9	0.1237	< .01
M * PT	9	0.5678	.10

Apéndice 4. Análisis de varianza para minerales de suelos

Calcio

F V	G L	C M	P
Modelo	19	2.7237	< .01
Error	259	0.6535	

F V	G L	C M	P
M	1	2.4279	< .05
PT	9	3.5553	< .01
M * PT	9	1.9250	.10

Fósforo

F V	G L	C M	P
Modelo	19	85.4364	< .01
Error	259	41.4318	

F V	G L	C M	P
M	1	15.2165	< .01
PT	9	150.1103	< .01
M * PT	9	28.5648	.10

Apéndice 4. Continuación

Potasio

F V	G L	C M	P
Modelo	19	636.2090	< .01
Error	259	289.9686	

F V	G L	C M	P
M	1	3232.7654	< .01
PT	9	624.3198	< .01
M * PT	9	359.5920	.10

Magnesio

F V	G L	C M	P
Modelo	19	2731.8547	< .01
Error	259	329.7252	

F V	G L	C M	P
M	1	442.6831	.24
PT	9	2139.9701	< .01
M * PT	9	3578.0917	.10

Apéndice 4. Continuación

Sodio

F V	G L	C M	P
Modelo	19	792.8636	< .01
Error	259	99.6170	

F V	G L	C M	P
M	1	3.8054	.84
PT	9	1644.7363	< .01
M * PT	9	29.2072	.97

Cobre

F V	G L	C M	P
Modelo	19	1425.0770	< .01
Error	259	59.4706	

F V	G L	C M	P
M	1	31.8866	.24
PT	9	2992.2373	< .01
M * PT	9	15.9042	.10

Apéndice 4. Continuación

Fierro

F V	G L	C M	P
Modelo	19	164.5013	< .01
Error	259	17.9058	

F V	G L	C M	P
M	1	0.9924	.81
PT	9	333.4737	< .01
M * PT	9	13.6958	.64

Zinc

F V	G L	C M	P
Modelo	19	26.8870	< .01
Error	259	13.1801	

F V	G L	C M	P
M	1	49.7609	.24
PT	9	20.6350	< .01
M * PT	9	30.5975	.10

**Apéndice 5. Análisis de varianza para proteína cruda
y minerales en forrajes.**

Proteína Cruda

F V	G L	C M	P
Modelo	19	44.2695	< .01
Error	259	6.9330	

F V	G L	C M	P
M	1	703.3132	< .01
PT	9	7.1062	< .42
M * PT	9	8.2058	.30

Calcio

F V	G L	C M	P
Modelo	19	3.2293	.14
Error	259	2.3716	

F V	G L	C M	P
M	1	1.7747	.38
PT	9	5.1272	< .01
M * PT	9	1.4931	.10

Apéndice 5. Continuación

Fósforo

F V	G L	C M	P
Modelo	19	43.5271	.81
Error	259	61.9560	

F V	G L	C M	P
M	1	129.2539	.14
PT	9	36.6906	.80
M * PT	9	40.8384	.74

Potasio

F V	G L	C M	P
Modelo	19	4.3001	.83
Error	259	6.2635	

F V	G L	C M	P
M	1	3.3424	.46
PT	9	4.2751	.72
M * PT	9	4.4316	.70

Apéndice 5. Continuación

Magnesio

F V	G L	C M	P
Modelo	19	1.1147	< .01
Error	259	43.7596	

F V	G L	C M	P
M	1	2.8391	< .01
PT	9	1.1822	< .01
M * PT	9	0.8557	< .01

Sodio

F V	G L	C M	P
Modelo	19	13.2671	.16
Error	259	10.0340	

F V	G L	C M	P
M	1	6.5650	.41
PT	9	11.0163	.36
M * PT	9	4.4316	.70

Apéndice 5. Continuación

Cobre

F V	G L	C M	P
Modelo	19	19.7681	< .01
Error	259	8.4793	

F V	G L	C M	P
M	1	2.7704	.56
PT	9	7.2441	.56
M * PT	9	34.1808	< .01

Fierro

F V	G L	C M	P
Modelo	19	929.5668	< .01
Error	259	459.2533	

F V	G L	C M	P
M	1	1263.2903	.09
PT	9	1040.7772	.01
M * PT	9	781.2761	.08

Apéndice 5. Continuación

Zinc

F V	G L	C M	P
Modelo	19	36.6640	.12
Error	259	26.1234	

F V	G L	C M	P
M	1	6.9496	.60
PT	9	46.7781	.05
M * PT	9	27.8516	.38

**Apéndice 6. Análisis de varianza de minerales
sangre de bovinos. Mismos animales
en las dos estaciones.**

Fósforo

F V	G L	C M	P
Modelo	3	1.1242	.61
Error	56		

F V	G L	C M	P
M	1	1.2971	.41
PT	1	2.5768	.24

Calcio

F V	G L	C M	P
Modelo	3	10.5492	.59
Error	56	16.6242	

F V	G L	C M	P
M	1	1.2971	.41
PT	1	2.5768	.24
M * PT	1	2.3666	.70

Apéndice 6. Continuación

Potasio

F V	G L	C M	P
Modelo	3	53.4944	.42
Error	56	57.1528	

F V	G L	C M	P
M	1	145.2992	.11
PT	1	32.9430	.45

Magnesio

F V	G L	C M	P
Modelo	3	0.3021	.47
Error	56	0.3584	

F V	G L	C M	P
M	1	0.3334	.34
PT	1	0.0693	.66
M * PT	1	0.5038	.24

Apéndice 6. Continuación

Cobre

F V	G L	C M	P
Modelo	3	0.0284	.18
Error	56	0.0171	

F V	G L	C M	P
M	1	0.0307	.18
PT	1	0.0097	.45
M * PT	1	0.0448	.11

Fierro

F V	G L	C M	P
Modelo	3	0.2014	.12
Error	56	0.1009	

F V	G L	C M	P
M	1	0.0271	.60
PT	1	0.1151	.29
M * PT	1	0.4620	< .05

Apéndice 6. Continuación

Zinc

F V	G L	C M	P
Modelo	3	0.0112	.74
Error	56	0.0265	

F V	G L	C M	P
M	1	0.0015	.81
PT	1	0.0139	.47
M * PT	1	0.0133	.40

Apéndice 7. Análisis de varianza para minerales en sangre de bovinos. Animales diferentes por estación

Fósforo

F V	G L	C M	P
Modelo	3	0.2347	.93
Error	56	1.6217	

F V	G L	C M	P
M	1	0.4456	.60
TA(M)	2	0.1293	.92

Calcio

F V	G L	C M	P
Modelo	3	2.6995	.89
Error	56	13.2248	

F V	G L	C M	P
M	1	7.9830	.44
TA(M)	2	0.0578	.99

Apéndice 7. Continuación

Potasio

F V	G L	C M	P
Modelo	3	120.2425	< .05
Error	56	34.8246	

F V	G L	C M	P
M	1	298.7671	< .01
PT	2	30.9802	.41

Magnesio

F V	G L	C M	P
Modelo	3	1.0665	< .05
Error	56	0.3516	

F V	G L	C M	P
M	1	0.6361	.18
PT	2	1.2817	< .05

Apéndice 7. Continuación

Cobre

F V	G L	C M	P
Modelo	3	0.0044	.70
Error	56	0.0095	

F V	G L	C M	P
M	1	0.0129	.24
PT	1	0.0002	.97

Hierro

F V	G L	C M	P
Modelo	3	0.1353	.38
Error	56	0.1312	

F V	G L	C M	P
M	1	0.0016	.91
TA(M)	2	0.2021	.22

Apéndice 7. Continuación

Zinc

F V	G L	C M	P
Modelo	3	0.0010	.98
Error	56	0.0237	

F V	G L	C M	P
M	1	0.0029	.72
TA(M)	2	0.0000	.99

Apéndice 8. Análisis de varianza para minerales en sangre de bovinos. Total de animales muestreados en las dos estaciones

Fósforo

F V	G L	C M	P
Modelo	3	0.6610	.72
Error	116	0.1500	

F V	G L	C M	P
M	1	0.4155	.59
TA	1	0.0103	.93
M * TA	1	1.5572	.31

Calcio

F V	G L	C M	P
Modelo	3	8.4132	.69
Error	116	17.4739	

F V	G L	C M	P
M	1	4.3073	.62
TA	1	23.9715	.24
M * TA	1	0.0000	

Apéndice 8. Continuación

Potasio

F V	G L	C M	P
Modelo	3	106.4639	.07
Error	116	44.2184	

F V	G L	C M	P
M	1	289.4830	.01
TA	1	96.4932	.14
M * TA	1	0.0000	

Magnesio

F V	G L	C M	P
Modelo	3	1.0283	< .05
Error	116	0.3438	

F V	G L	C M	P
M	1	1.5617	< .05
TA	1	0.2596	.38
M * TA	1	1.2636	.05

Apéndice 8. Continuación

Cobre

F V	G L	C M	P
Modelo	3	0.0117	.46
Error	116	0.0137	

F V	G L	C M	P
M	1	0.0340	.11
TA	1	0.0004	.85
M * TA	1	0.0009	.79

Fierro

F V	G L	C M	P
Modelo	3	0.2091	.11
Error	116	0.1050	

F V	G L	C M	P
M	1	0.0409	.53
TA	1	0.4269	< .05
M * TA	1	0.1594	.22

Apéndice 8. Continuación

Zinc

F V	G L	C M	P
Modelo	3	0.0573	.12
Error	116	0.0291	

F V	G L	C M	P
M	1	0.0434	.22
TA	1	0.0599	.15
M * TA	1	0.0685	.12

**Apéndice 9. Análisis de factores de minerales en suelo duran
estación lluviosa**

Factores iniciales: Componentes principales

Estimadores previos de comunalidad: UNO

Eigenvalues de la matriz de correlación: Total = 11 Promedio = 1

	1	2	3	4	5	6
Eigenvalue	2.968721	2.116918	1.376750	0.948239	0.876288	0.8224
Difference	0.851803	0.740168	0.428512	0.071951	0.053795	0.1856
Proportion	0.2699	0.1924	0.1252	0.0862	0.0797	0.07
Cumulative	0.2699	0.4623	0.5875	0.6737	0.7534	0.82

	7	8	9	10	11
Eigenvalue	0.636875	0.416668	0.362250	0.265930	0.208869
Difference	0.220207	0.054418	0.096320	0.057061	
Proportion	0.0579	0.0379	0.0329	0.0242	0.0190
Cumulative	0.8860	0.9239	0.9568	0.9810	1.0000

Apéndice 9. Continuación

Eigenvectors						
	1	2	3	4	5	6
PH	-0.04662	-0.12186	-0.34904	0.88600	-0.14310	0.15340
ALI	-0.24202	-0.10046	0.65411	0.15312	0.13028	0.06527
SAL	0.27055	-0.09899	0.03959	0.19282	0.81069	-0.35160
CA	-0.43822	0.18003	-0.06542	0.09713	0.19861	-0.24913
P	-0.48286	0.16687	-0.10772	-0.05454	0.10885	-0.00462
K	0.47697	-0.12525	0.02727	-0.11068	-0.11605	0.14681
MG	0.30846	-0.27252	0.11459	0.14776	-0.07316	-0.29569
NA	0.16391	0.34751	-0.54505	-0.18330	0.16838	-0.10759
CU	0.24037	0.51157	0.13626	0.18277	0.09524	0.32798
FE	-0.08750	-0.35820	-0.16194	-0.13970	0.43946	0.72368
ZN	0.16098	0.55160	0.27771	0.14615	0.06832	0.18618
	7	8	9	10	11	
PH	-0.08965	-0.05037	0.10615	0.07408	0.06937	
ALI	-0.04880	-0.41455	0.52624	0.03108	-0.08169	
SAL	-0.22373	0.04427	-0.15058	0.15060	0.00680	
CA	0.22049	0.60099	0.36872	-0.32919	-0.07874	
P	0.27816	-0.03989	-0.11520	0.78723	0.02413	
K	-0.07007	0.45689	0.53418	0.45747	0.02260	
MG	0.83152	-0.09699	-0.03761	-0.02318	0.00726	
NA	0.10033	-0.48382	0.48095	-0.07473	0.02684	
CU	0.15818	0.04909	-0.13179	0.00731	-0.68341	
FE	0.25693	0.03106	0.00764	-0.15721	0.09854	
ZN	0.12689	0.07252	-0.06632	-0.05103	0.70968	

Apéndice 9. Continuación

Factor Pattern						
	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5	FACTOR6
PH	-0.08032	-0.17730	-0.40954	0.86277	-0.13395	0.13912
ALI	-0.41699	-0.14616	0.76750	0.14910	0.12195	0.05920
SAL	0.46616	-0.14403	0.04645	0.18776	0.75889	-0.31887
CA	-0.75506	0.26194	-0.07676	0.09458	0.18592	-0.22594
P	-0.83197	0.24280	-0.12640	-0.05311	0.10189	-0.00419
K	0.82182	-0.18224	0.03200	-0.10778	-0.10863	0.13314
MG	0.53147	-0.39651	0.13445	0.14389	-0.06849	-0.26816
NA	0.28242	0.50561	-0.63953	-0.17850	0.15762	-0.09757
CU	0.41415	0.74432	0.15988	0.17798	0.08916	0.29745
FE	-0.15076	-0.52117	-0.19001	-0.13604	0.41138	0.65631
ZN	0.27737	0.80256	0.32585	0.14231	0.06395	0.16885

	FACTOR7	FACTOR8	FACTOR9	FACTOR10	FACTOR11
PH	-0.07154	-0.03251	0.06389	0.03820	0.03171
ALI	-0.03894	-0.26759	0.31673	0.01603	-0.03733
SAL	-0.17854	0.02857	-0.09063	0.07766	0.00311
CA	0.17596	0.38794	0.22192	-0.16976	-0.03599
P	0.22198	-0.02575	-0.06934	0.40596	0.01103
K	-0.05592	0.29492	0.32151	0.23591	0.01033
MG	0.66359	-0.06261	-0.02264	-0.01195	0.00332
NA	0.08007	-0.31231	0.28947	-0.03854	0.01227
CU	0.12624	0.03169	-0.07932	0.00377	-0.31233
FE	0.20505	0.02005	0.00460	-0.08107	0.04504
ZN	0.10126	0.04681	-0.03992	-0.02632	0.32434

Factores iniciales: Componentes principales

Varianza explicada para cada factor

FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5	FACTOR6
2.968721	2.116918	1.376750	0.948239	0.876288	0.822493
FACTOR7	FACTOR8	FACTOR9	FACTOR10	FACTOR11	
0.636875	0.416668	0.362250	0.265930	0.208869	

Apéndice 9. Continuación

Factores iniciales : Componentes principales

Coefficientes estandarizados

	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5	FACTOR6
PH	-0.02706	-0.08376	-0.29747	0.90986	-0.15286	0.16914
ALI	-0.14046	-0.06904	0.55747	0.15724	0.13917	0.07197
SAL	0.15702	-0.06804	0.03374	0.19801	0.86603	-0.38768
CA	-0.25434	0.12374	-0.05576	0.09975	0.21217	-0.27470
P	-0.28025	0.11469	-0.09181	-0.05601	0.11628	-0.00509
K	0.27683	-0.08609	0.02324	-0.11366	-0.12397	0.16188
MG	0.17902	-0.18731	0.09766	0.15174	-0.07816	-0.32604
NA	0.09513	0.23884	-0.46452	-0.18824	0.17987	-0.11863
CU	0.13951	0.35161	0.11613	0.18769	0.10174	0.36165
FE	-0.05078	-0.24619	-0.13801	-0.14347	0.46946	0.79796
ZN	0.09343	0.37912	0.23668	0.15008	0.07298	0.20529

	FACTOR7	FACTOR8	FACTOR9	FACTOR10	FACTOR11
PH	-0.11234	-0.07803	0.17637	0.14365	0.15180
ALI	-0.06114	-0.64221	0.87434	0.06028	-0.17875
SAL	-0.28034	0.06858	-0.25019	0.29205	0.01489
CA	0.27629	0.93105	0.61261	-0.63835	-0.17229
P	0.34855	-0.06180	-0.19140	1.52658	0.05280
K	-0.08780	0.70781	0.88754	0.88711	0.04945
MG	1.04195	-0.15026	-0.06249	-0.04495	0.01588
NA	0.12572	-0.74954	0.79910	-0.14491	0.05873
CU	0.19822	0.07605	-0.21897	0.01418	-1.49535
FE	0.32196	0.04813	0.01269	-0.30485	0.21562
ZN	0.15899	0.11234	-0.11019	-0.09896	1.55284

Apéndice 10. Análisis de factores de minerales en suelos de la estación seca

Factores iniciales : Componentes principales

Estimadores previos de comunalidad: UNO

Eigenvalues de la matriz de correlación: Total =11 Promedio =1

	1	2	3	4	5	6
Eigenvalue	3.237695	1.824829	1.307768	1.120111	0.897721	0.739691
Difference	1.412866	0.517061	0.187657	0.222391	0.158030	0.150860
Proportion	0.2943	0.1659	0.1189	0.1018	0.0816	0.0672
Cumulative	0.2943	0.4602	0.5791	0.6809	0.7626	0.8298

	7	8	9	10	11
Eigenvalue	0.588831	0.508522	0.407268	0.220576	0.146989
Difference	0.080309	0.101253	0.186692	0.073587	
Proportion	0.0535	0.0462	0.0370	0.0201	0.0134
Cumulative	0.8833	0.9296	0.9666	0.9866	1.0000

Eigenvectors

	1	2	3	4	5	6
PH	0.00592	-0.36144	0.39488	0.53437	-0.16072	-0.06263
ALI	0.29813	-0.03120	0.06102	0.13117	0.64064	0.61490
SAL	-0.37398	0.05619	0.18800	0.27722	0.05524	0.34146
CA	0.50185	-0.04225	0.08707	0.02461	0.12502	-0.03073
P	0.47054	0.02958	0.18624	-0.20765	-0.07787	-0.14750
K	-0.40259	0.20928	-0.13918	-0.15515	0.20400	0.11443
MG	0.00797	0.22969	-0.42766	0.64971	0.23601	-0.37682
NA	-0.33069	-0.48959	0.12633	-0.17471	0.08520	0.01085
CU	0.07795	-0.24878	-0.65577	-0.18751	-0.01360	0.13531
FE	-0.13060	0.39959	0.33550	-0.24513	0.44312	-0.36620
ZN	0.05769	0.55205	0.04391	0.06856	-0.48774	0.41360

	7	8	9	10	11
PH	0.42330	0.44358	0.08681	-0.10743	0.05541
ALI	-0.12429	0.18311	-0.12621	-0.06228	0.17862
SAL	0.30805	-0.70319	0.16725	0.05828	0.06633
CA	0.16896	-0.13269	0.25659	0.43344	-0.64942
P	0.05502	-0.15520	0.46859	0.06972	0.64849
K	0.05567	0.38872	0.72716	-0.02672	-0.11087
MG	-0.13849	-0.01510	0.04788	0.28782	0.19983
NA	-0.20068	0.08864	-0.05824	0.71476	0.18624
CU	0.64232	0.02793	-0.10912	0.06786	0.13596
FE	0.44523	0.08893	-0.30931	0.11840	0.06589
ZN	0.07448	0.25625	-0.14532	0.41879	0.09280

Apéndice 10. Continuación

Factor Pattern						
	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5	FACTOR6
PH	0.01066	-0.48826	0.45157	0.56555	-0.15228	-0.05386
ALI	0.53645	-0.04215	0.06978	0.13882	0.60700	0.52885
SAL	-0.67293	0.07591	0.21499	0.29340	0.05234	0.29368
CA	0.90300	-0.05707	0.09957	0.02604	0.11845	-0.02643
P	0.84668	0.03995	0.21298	-0.21977	-0.07378	-0.12685
K	-0.72440	0.28271	-0.15916	-0.16420	0.19328	0.09841
MG	0.01434	0.31027	-0.48906	0.68762	0.22362	-0.32408
NA	-0.59503	-0.66136	0.14447	-0.18490	0.08072	0.00933
CU	0.14026	-0.33606	-0.74992	-0.19845	-0.01288	0.11637
FE	-0.23499	0.53978	0.38367	-0.25944	0.41985	-0.31495
ZN	0.10380	0.74575	0.05021	0.07256	-0.46212	0.35572

	FACTOR7	FACTOR8	FACTOR9	FACTOR10	FACTOR11
PH	0.32482	0.31632	0.05540	-0.05046	0.02124
ALI	-0.09537	0.13057	-0.08054	-0.02925	0.06848
SAL	0.23638	-0.50145	0.10674	0.02737	0.02543
CA	0.12965	-0.09462	0.16375	0.20357	-0.24898
P	0.04222	-0.11067	0.29904	0.03274	0.24862
K	0.04272	0.27720	0.46406	-0.01255	-0.04251
MG	-0.10627	-0.01077	0.03056	0.13517	0.07661
NA	-0.15399	0.06321	-0.03717	0.33569	0.07140
CU	0.49289	0.01992	-0.06964	0.03187	0.05212
FE	0.34165	0.06342	-0.19740	0.05561	0.02526
ZN	0.05716	0.18274	-0.09274	0.19669	0.03558

Varianza explicada para cada factor

FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5	FACTOR6
3.237695	1.824829	1.307768	1.120111	0.897721	0.739691
FACTOR7	FACTOR8	FACTOR9	FACTOR10	FACTOR11	
0.588831	0.508522	0.407268	0.220576	0.146989	

Apéndice 10. Continuación

Factores iniciales: Componentes principales

Standardized Scoring Coefficients

	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5	FACTOR6
PH	0.00329	-0.26756	0.34530	0.50491	-0.16963	-0.07282
ALI	0.16569	-0.02310	0.05336	0.12393	0.67615	0.71496
SAL	-0.20784	0.04160	0.16440	0.26194	0.05830	0.39702
CA	0.27890	-0.03127	0.07614	0.02325	0.13195	-0.03573
P	0.26151	0.02189	0.16286	-0.19620	-0.08219	-0.17150
K	-0.22374	0.15493	-0.12170	-0.14659	0.21530	0.13305
MG	0.00443	0.17003	-0.37396	0.61389	0.24910	-0.43814
NA	-0.18378	-0.36242	0.11047	-0.16508	0.08992	0.01261
CU	0.04332	-0.18416	-0.57344	-0.17717	-0.01435	0.15733
FE	-0.07258	0.29580	0.29338	-0.23162	0.46768	-0.42578
ZN	0.03206	0.40867	0.03839	0.06478	-0.51477	0.48090

	FACTOR7	FACTOR8	FACTOR9	FACTOR10	FACTOR11
PH	0.55164	0.62203	0.13602	-0.22875	0.14452
ALI	-0.16197	0.25677	-0.19776	-0.13262	0.46589
SAL	0.40144	-0.98609	0.26208	0.12408	0.17300
CA	0.22019	-0.18607	0.40206	0.92290	-1.69387
P	0.07171	-0.21763	0.73427	0.14845	1.69145
K	0.07255	0.54511	1.13944	-0.05690	-0.28919
MG	-0.18047	-0.02117	0.07503	0.61282	0.52123
NA	-0.26152	0.12431	-0.09127	1.52189	0.48576
CU	0.83706	0.03916	-0.17099	0.14448	0.35462
FE	0.58021	0.12471	-0.48468	0.25210	0.17187
ZN	0.09707	0.35935	-0.22772	0.89170	0.24206

**Apéndice 11. Análisis de factores de minerales en for
durante la estación lluviosa**

Factores iniciales: Componentes principales

Estimadores previos de comunalidad: UNO

Eigenvalues de la matriz de correlación: Total = 9 Promedio = 1

	1	2	3	4	5
Eigenvalue	1.457734	1.359239	1.104253	1.045030	1.014255
Difference	0.098495	0.254986	0.059223	0.030775	0.119282
Proportion	0.1620	0.1510	0.1227	0.1161	0.1127
Cumulative	0.1620	0.3130	0.4357	0.5518	0.6645

	6	7	8	9
Eigenvalue	0.894974	0.795682	0.707265	0.621568
Difference	0.099292	0.088416	0.085697	
Proportion	0.0994	0.0884	0.0786	0.0691
Cumulative	0.7639	0.8524	0.9309	1.0000

Eigenvectors

	1	2	3	4	5
PC	0.11031	0.37428	0.50864	-0.21020	0.29392
CA	0.22100	0.47876	-0.28989	0.49571	0.00005
P	-0.35972	-0.34609	-0.00326	0.38901	0.26654
NA	-0.34329	-0.10781	-0.31690	-0.18499	0.67797
K	0.28817	-0.28243	0.46061	-0.04751	0.34506
MG	-0.20218	0.33365	0.43839	0.47720	0.20051
CU	0.56074	-0.29276	0.04602	-0.03583	0.03953
ZN	-0.43211	0.23442	0.19896	-0.45447	-0.26492
FE	0.25824	0.40932	-0.33281	-0.29450	0.38975

	6	7	8	9
PC	-0.32223	0.57379	-0.14052	-0.07510
CA	0.21255	0.23157	-0.16035	0.51737
P	0.34277	0.54036	0.28435	-0.19520
NA	-0.29987	-0.12907	-0.06567	0.40662
K	0.54847	-0.21914	-0.33167	0.21180
MG	-0.13081	-0.48654	0.36241	-0.05016
CU	-0.20529	0.09831	0.65628	0.33524
ZN	0.36920	0.06905	0.33369	0.43543
FE	0.38367	-0.09647	0.29321	-0.41699

Apéndice 11. Continuación

Factores iniciales: Componentes principales

	Factor Pattern				
	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5
PC	0.13319	0.43636	0.53450	-0.21488	0.29601
CA	0.26683	0.55817	-0.30462	0.50674	0.00005
P	-0.43431	-0.40350	-0.00343	0.39767	0.26844
NA	-0.41448	-0.12569	-0.33301	-0.18911	0.68279
K	0.34793	-0.32927	0.48403	-0.04857	0.34751
MG	-0.24410	0.38899	0.46068	0.48783	0.20193
CU	0.67701	-0.34132	0.04836	-0.03663	0.03981
ZN	-0.52171	0.27330	0.20907	-0.46459	-0.26681
FE	0.31178	0.47722	-0.34973	-0.30106	0.39252
PC	-0.30484	0.51183	-0.11818	-0.05921	
CA	0.20107	0.20656	-0.13485	0.40790	
P	0.32427	0.48201	0.23914	-0.15389	
NA	-0.28368	-0.11514	-0.05523	0.32058	
K	0.51887	-0.19548	-0.27893	0.16698	
MG	-0.12375	-0.43400	0.30478	-0.03955	
CU	-0.19421	0.08770	0.55193	0.26430	
ZN	0.34927	0.06160	0.28063	0.34329	
FE	0.36296	-0.08606	0.24659	-0.32875	

Varianza explicada para cada factor

FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5
1.457734	1.359239	1.104253	1.045030	1.014255
FACTOR6	FACTOR7	FACTOR8	FACTOR9	
0.894974	0.795682	0.707265	0.621568	

Apéndice 11. Continuación**Factores iniciales: Componentes principales**

Coeficientes estandarizados

	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5
PC	0.09137	0.32104	0.48404	-0.20563	0.29184
CA	0.18304	0.41065	-0.27586	0.48491	0.00005
P	-0.29793	-0.29686	-0.00310	0.38054	0.26466
NA	-0.28433	-0.09247	-0.30157	-0.18096	0.67319
K	0.23868	-0.24225	0.43833	-0.04648	0.34262
MG	-0.16745	0.28618	0.41718	0.46681	0.19909
CU	0.46443	-0.25111	0.04379	-0.03505	0.03925
ZN	-0.35789	0.20107	0.18933	-0.44457	-0.26306
FE	0.21388	0.35109	-0.31671	-0.28809	0.38701

	FACTOR6	FACTOR7	FACTOR8	FACTOR9
PC	-0.34061	0.64326	-0.16709	-0.09526
CA	0.22467	0.25960	-0.19066	0.65624
P	0.36232	0.60578	0.33811	-0.24759
NA	-0.31698	-0.14470	-0.07809	0.51576
K	0.57976	-0.24567	-0.39438	0.26864
MG	-0.13827	-0.54544	0.43093	-0.06363
CU	-0.21701	0.11022	0.78037	0.42521
ZN	0.39026	0.07741	0.39678	0.55230
FE	0.40556	-0.10815	0.34865	-0.52891

**Apéndice 12. Análisis de factores de minerales en forrajes
estación seca**

Factores iniciales: Componentes principales

Estimadores previos de comunalidad: UNO

Eigenvalues de la matriz de correlación: Total =9 Promedio =1

	1	2	3	4	5
Eigenvalue	1.480568	1.239512	1.121351	1.042099	0.915443
Difference	0.241056	0.118161	0.079252	0.126657	0.023728
Proportion	0.1645	0.1377	0.1246	0.1158	0.1017
Cumulative	0.1645	0.3022	0.4268	0.5426	0.6443

	6	7	8	9
Eigenvalue	0.891715	0.846512	0.782807	0.679994
Difference	0.045203	0.063705	0.102813	
Proportion	0.0991	0.0941	0.0870	0.0756
Cumulative	0.7434	0.8375	0.9244	1.0000

Eigenvectors

	1	2	3	4	5
PC	0.44268	0.09637	-0.17849	-0.31306	-0.36547
CA	0.46185	0.17736	-0.31199	-0.07507	0.31962
P	0.54005	0.07654	0.06707	0.06343	0.41323
NA	-0.11561	0.63569	0.28972	0.12947	-0.03707
K	0.07152	-0.22279	-0.03471	0.85218	0.13620
MG	0.06576	-0.02939	0.81042	-0.14031	0.10526
CU	-0.02387	-0.63942	0.01739	-0.17443	-0.11630
ZN	-0.35144	0.29751	-0.31982	0.06344	-0.14450
FE	-0.39012	-0.03779	-0.14761	-0.30858	0.72671

	6	7	8	9
PC	0.23001	0.59380	0.26117	0.24000
CA	-0.00188	-0.57849	0.25830	0.38567
P	0.33056	0.13242	-0.36286	-0.51452
NA	0.13873	-0.05757	0.58460	-0.34080
K	0.15571	0.24245	0.22815	0.25337
MG	0.26339	-0.05342	-0.11167	0.47176
CU	0.46875	-0.27963	0.40558	-0.28966
ZN	0.70586	-0.13686	-0.33414	0.17936
FE	0.08365	0.36515	0.22578	0.09976

Apéndice 12. Continuación

Factores iniciales : Componentes principales

Factor Pattern					
	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5
PC	0.53864	0.10729	-0.18901	-0.31959	-0.34968
CA	0.56197	0.19746	-0.33038	-0.07663	0.30581
P	0.65712	0.08521	0.07102	0.06475	0.39538
NA	-0.14067	0.70774	0.30680	0.13216	-0.03547
K	0.08702	-0.24804	-0.03675	0.86993	0.13031
MG	0.08002	-0.03272	0.85819	-0.14324	0.10071
CU	-0.02905	-0.71188	0.01841	-0.17806	-0.11127
ZN	-0.42763	0.33123	-0.33867	0.06476	-0.13826
FE	-0.47470	-0.04207	-0.15631	-0.31501	0.69530

	FACTOR6	FACTOR7	FACTOR8	FACTOR9
PC	0.21720	0.54633	0.23107	0.19791
CA	-0.00177	-0.53225	0.22853	0.31803
P	0.31215	0.12184	-0.32104	-0.42429
NA	0.13100	-0.05296	0.51723	-0.28103
K	0.14704	0.22307	0.20186	0.20894
MG	0.24872	-0.04915	-0.09881	0.38902
CU	0.44265	-0.25728	0.35885	-0.23886
ZN	0.66654	-0.12592	-0.29564	0.14791
FE	0.07899	0.33596	0.19977	0.08226

Apéndice 12. Continuación

Factores iniciales: Componentes principales

Standardized Scoring Coefficients

	FACTOR1	FACTOR2	FACTOR3	FACTOR4	FACTOR5
PC	0.36381	0.08656	-0.16856	-0.30667	-0.38198
CA	0.37957	0.15930	-0.29462	-0.07354	0.33405
P	0.44383	0.06875	0.06334	0.06213	0.43190
NA	-0.09501	0.57098	0.27360	0.12683	-0.03875
K	0.05877	-0.20011	-0.03278	0.83479	0.14235
MG	0.05405	-0.02640	0.76532	-0.13745	0.11002
CU	-0.01962	-0.57433	0.01642	-0.17087	-0.12155
ZN	-0.28883	0.26723	-0.30202	0.06214	-0.15103
FE	-0.32062	-0.03394	-0.13939	-0.30228	0.75953

	FACTOR6	FACTOR7	FACTOR8	FACTOR9
PC	0.24358	0.64539	0.29518	0.29105
CA	-0.00199	-0.62875	0.29194	0.46769
P	0.35005	0.14393	-0.41012	-0.62395
NA	0.14691	-0.06257	0.66074	-0.41328
K	0.16490	0.26352	0.25787	0.30726
MG	0.27892	-0.05806	-0.12622	0.57210
CU	0.49640	-0.30393	0.45841	-0.35127
ZN	0.74749	-0.14876	-0.37766	0.21751
FE	0.08858	0.39688	0.25519	0.12098

Apéndice 13. Análisis de correlaciones canónicas entre mine del suelo y minerales de forrajes en la estación lluviosa

	Correlación Canónica	Correlación Canónica Ajustada	Error Estandar Aprox.	Correlac Canónica Cuadrada
1	0.643559	0.501048	0.063172	0.414169
2	0.589602	0.496066	0.070347	0.347631
3	0.461091	0.191143	0.084907	0.212605
4	0.435888	.	0.087345	0.189998
5	0.322885	.	0.096591	0.104255
6	0.299471	.	0.098162	0.089683
7	0.222166	0.138661	0.102510	0.049358
8	0.157968	.	0.105142	0.024954
9	0.116446	.	0.106371	0.013560

**Eigenvalues of $INV(E) * H$
= $CanRsq / (1 - CanRsq)$**

	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	0.7070	0.1741	0.3448	0.3448
2	0.5329	0.2629	0.2599	0.6046
3	0.2700	0.0354	0.1317	0.7363
4	0.2346	0.1182	0.1144	0.8507
5	0.1164	0.0179	0.0568	0.9075
6	0.0985	0.0466	0.0480	0.9555
7	0.0519	0.0263	0.0253	0.9808
8	0.0256	0.0118	0.0125	0.9933
9	0.0137	.	0.0067	1.0000

Apéndice 13. Continuación

	Proporción de P	F Aprox.	GL	Den GL	
1	0.18173343	1.3371	99	483.9274	0.0254
2	0.31021459	1.1143	80	439.8534	0.2493
3	0.47551995	0.8840	63	394.7199	0.7210
4	0.60391542	0.7836	48	348.4917	0.8482
5	0.74557312	0.6219	35	301.0998	0.9551
6	0.83234946	0.5680	42	252.388	0.9500
7	0.91435120	0.4438	15	201.9223	0.9640
8	0.96182484	0.3636	8	148	0.9382
9	0.98644041	0.3436	3	75	0.7938

Canonical Correlation Analysis

S=9 M=0.5 N=33

Statistic	Value	F	Num DF	Den DF
Wilks' Lambda	0.18173343	1.3371	99	483.9274
Pillai's Trace	1.44621197	1.3054	99	675
Hotelling-Lawley Trace	2.05059265	1.3510	99	587
Roy's Greatest Root	0.70697595	4.8203	11	75

Apéndice 13. Continuación

Raw Canonical Coefficients for the 'VAR' Variables

	V1	V2	V3	V4	V5
PCF	.11885341607	.04390396929	-.1531668304	-.2088331112	.254058
CAF	-.3728873616	.50535186426	.15467713635	-0.100748939	-.067247
PF	-.3149806016	-.3939831714	-0.430637526	-3.354881763	-1.579229
NAF	.49898173909	-.0583268824	1.3553265772	-.0809075288	-.255204
KF	-0.537255792	1.1043734978	-.2864197802	0.2955587044	-1.140736
MGF	.69109256713	.71952609522	.20092637334	-.0390059458	.200136
CUF	-.2855108849	-.0475474289	.25850302885	-.0737750287	.170558
ZNF	-.0039152892	.01335394467	.00836277126	.01587135566	.001551
FEF	-0.006171984	-.0088823566	-.0175886436	-.0065829167	-.011459

Raw Canonical Coefficients for the 'VAR' Variables

	V6	V7	V8	V9
PCF	.00588559811	-.0019646656	.24335117498	.22831265066
CAF	-.0930465818	.01791152134	.28346984741	-.2848624409
PF	-0.171787155	1.4847502166	-1.361298983	-.4215413534
NAF	.04746075348	-.1998367586	0.6567785533	.36415894972
KF	-.9121817004	0.0536727567	.46586012622	2.0633813749
MGF	.30562766301	-.5331856615	-1.014036045	.17160098609
CUF	.15248996236	.02697409425	-.1872868603	.05674469251
ZNF	.04249569762	.03295500064	.00615400512	.00326206502
FEF	.02869722354	-.0262471467	.00081551581	-0.000376563

Apéndice 13. Continuación

Canonical Correlation Analysis

Raw Canonical Coefficients for the 'WITH' Variables

	W1	W2	W3	W4	W5
PHS	1.0324509907	-1.266306903	-.8426054676	2.6780974476	.7954560
ALIS	.22794272356	-.4044825008	-.3845246575	.33103990651	-.14958
SALS	-.0993407114	.04053780269	-0.034104257	.07919666171	.09753
CAS	.13603671155	-.0912536502	-.1149088683	-.0930843098	.080522
PS	-.0190459275	.00941615804	.03978691465	.03435061944	-.0028
KS	.00576337997	-.0116273432	.01997155751	.00534397153	-0.0116
MGS	.02574301677	-.0097519359	.01362803633	.01006734711	-.00156
NAS	.02258126261	.02059046057	-.0467472892	.03198054355	-.0667
CUS	0.0256761327	.02391972269	0.1553278685	-.0069815423	.10130
FES	.03493342436	.01631001669	-.0073216267	-0.025372559	-.0004
ZNS	.01469473225	.02059878338	-.0106999922	.00296636375	.00906

	W6	W7	W8	W9
PHS	.95057039192	.19094778929	-.6763160165	-1.42177051
ALIS	-.2339274118	1.4919101417	.77509874301	-.4710731222
SALS	.10869574379	-.1693159777	.15062550585	.06406449848
CAS	.08542118553	.01337932476	-.0611885384	.21912681213
PS	-.0029064402	.01415101824	-.0048603221	.01645068935
KS	.03105928893	.02098446104	.00334574373	.01502465724
MGS	-0.032917284	-.0106811807	.00784460657	.01437443387
NAS	-.0124316434	.02707905051	.00808135968	.00323939766
CUS	.01223304681	-.0438561451	-.1734255563	-.0576388257
FES	-.0022625163	.00355909894	-.0125905962	-.0111894941
ZNS	.00039916799	.00646117722	.02346548647	.00358620366

Apéndice 13. Continuación

Standardized Canonical Coefficients for the 'VAR' Variables

	V1	V2	V3	V4	V5
PCF	0.2433	0.0899	-0.3135	-0.4274	0.520
CAF	-0.5140	0.6966	0.2132	-0.1389	-0.092
PF	-0.0765	-0.0956	-0.1045	-0.8144	-0.383
NAF	0.3169	-0.0370	0.8608	-0.0514	-0.162
KF	-0.1995	0.4101	-0.1064	0.1098	-0.423
MGF	0.4525	0.4711	0.1315	-0.0255	0.131
CUF	-0.6350	-0.1057	0.5749	-0.1641	0.379
ZNF	-0.0707	0.2412	0.1510	0.2866	0.028
FEF	-0.1401	-0.2016	-0.3991	-0.1494	-0.260

	V6	V7	V8	V9
PCF	0.0120	-0.0040	0.4981	0.4673
CAF	-0.1283	0.0247	0.3908	-0.3927
PF	-0.0417	0.3604	-0.3304	-0.1023
NAF	0.0301	-0.1269	0.4171	0.2313
KF	-0.3388	0.0199	0.1730	0.7663
MGF	0.2001	-0.3491	-0.6639	0.1123
CUF	0.3391	0.0600	-0.4165	0.1262
ZNF	0.7674	0.5951	0.1111	0.0589
FEF	0.6512	-0.5956	0.0185	-0.0085

Apéndice 13. Continuación

Standardized Canonical Coefficients for the 'WITH' Variables

	W1	W2	W3	W4	W
PHS	0.2720	-0.3336	-0.2220	0.7055	0.2
ALIS	0.1314	-0.2331	-0.2216	0.1908	-0.0
SALS	-0.2832	0.1156	-0.0972	0.2257	0.2
CAS	0.5466	-0.3667	-0.4617	-0.3740	0.3
PS	-0.4470	0.2210	0.9338	0.8062	-0.0
KS	0.1750	-0.3530	0.6064	0.1623	-0.3
MGS	0.5911	-0.2239	0.3129	0.2312	-0.0
NAS	0.2758	0.2514	-0.5709	0.3905	-0.8
CUS	0.1064	0.0991	0.6435	-0.0289	0.4
FES	0.6387	0.2982	-0.1339	-0.4639	-0.0
ZNS	0.4416	0.6191	-0.3216	0.0892	0.2

	W6	W7	W8	W9
PHS	0.2504	0.0503	-0.1782	-0.3745
ALIS	-0.1348	0.8600	0.4468	-0.2715
SALS	0.3098	-0.4826	0.4294	0.1826
CAS	0.3433	0.0538	-0.2459	0.8805
PS	-0.0682	0.3321	-0.1141	0.3861
KS	0.9430	0.6371	0.1016	0.4562
MGS	-0.7559	-0.2453	0.1801	0.3301
NAS	-0.1518	0.3307	0.0987	0.0396
CUS	0.0507	-0.1817	-0.7185	-0.2388
FES	-0.0414	0.0651	-0.2302	-0.2046
ZNS	0.0120	0.1942	0.7052	0.1078

Apéndice 13. Continuación

Correlations Between the 'VAR' Variables and Their Canonical Varia

	V1	V2	V3	V4	V5
PCF	0.1480	0.1437	-0.2241	-0.4963	0.6440
CAF	-0.3114	0.6907	0.0831	-0.2237	0.0199
PF	0.1199	-0.0311	-0.0053	-0.7590	-0.4439
NAF	0.3577	-0.1589	0.7150	-0.2040	-0.3214
KF	-0.3122	0.2280	-0.1037	0.1652	-0.4252
MGF	0.4442	0.6454	0.0762	-0.0962	0.1065
CUF	-0.6588	-0.1919	0.3435	-0.1311	0.4251
ZNF	0.1497	0.2325	-0.0482	0.2217	-0.1191
FEF	-0.2052	-0.1150	-0.2123	-0.1515	-0.3565

	V6	V7	V8	V9
PCF	0.0867	0.0120	0.3770	0.3106
CAF	-0.0380	-0.1937	0.3161	-0.4793
PF	0.0390	0.4067	-0.2080	-0.0360
NAF	0.1128	-0.1848	0.3654	0.1012
KF	-0.1758	0.0040	-0.0866	0.7702
MGF	0.1341	-0.2664	-0.5190	0.0368
CUF	0.0651	-0.1058	-0.2969	0.3312
ZNF	0.6602	0.6389	0.0991	0.0631
FEF	0.5792	-0.6176	0.1773	0.0354

Apéndice 13. Continuación

Correlations Between the 'WITH' Variables and Their Canonical Variable

	W1	W2	W3	W4	
PHS	0.2512	-0.3892	-0.2508	0.6077	0.2
ALIS	-0.0787	-0.2379	-0.0897	-0.0953	0.4
SALS	0.0182	0.0421	-0.0906	0.1238	0.0
CAS	-0.0211	-0.0609	-0.4129	0.0096	0.4
PS	-0.3193	0.1891	-0.0128	0.2703	0.2
KS	0.3413	-0.1550	0.4670	-0.0844	-0.4
MGS	0.5188	-0.3604	0.3721	0.1042	-0.1
NAS	0.1768	0.5148	-0.2757	0.3754	-0.5
CUS	0.3130	0.5908	0.3159	0.1777	0.2
FES	0.3816	0.0022	-0.0376	-0.3878	-0.0
ZNS	0.2803	0.6811	0.0884	0.1730	0.3
	W6	W7	W8	W9	
PHS	0.1793	-0.1054	-0.3291	-0.3456	
ALIS	-0.2626	0.6580	0.3636	-0.1452	
SALS	0.3237	-0.5335	0.5363	0.0613	
CAS	-0.0692	0.2694	-0.3697	0.6670	
PS	-0.3130	0.4006	-0.4427	0.4037	
KS	0.5787	-0.0894	0.3329	-0.0747	
MGS	-0.3679	-0.3752	0.3762	0.0817	
NAS	0.1091	-0.1149	-0.1190	0.1658	
CUS	0.2193	-0.0292	-0.0336	-0.1139	
FES	-0.0408	0.0454	-0.2939	-0.2220	
ZNS	0.1453	0.1499	0.3198	0.0434	

Apéndice 13. Continuación

Correlations Between the 'VAR' Variables and the Canonical Variables of the 'WITH' Variables					
	W1	W2	W3	W4	W
PCF	0.0953	0.0847	-0.1033	-0.2163	0.20
CAF	-0.2004	0.4072	0.0383	-0.0975	0.00
PF	0.0772	-0.0183	-0.0024	-0.3308	-0.14
NAF	0.2302	-0.0937	0.3297	-0.0889	-0.10
KF	-0.2009	0.1344	-0.0478	0.0720	-0.13
MGF	0.2859	0.3806	0.0351	-0.0419	0.03
CUF	-0.4240	-0.1131	0.1584	-0.0572	0.13
ZNF	0.0963	0.1371	-0.0222	0.0966	-0.03
FEF	-0.1320	-0.0678	-0.0979	-0.0660	-0.11
	W6	W7	W8	W9	
PCF	0.0260	0.0027	0.0596	0.0362	
CAF	-0.0114	-0.0430	0.0499	-0.0558	
PF	0.0117	0.0904	-0.0329	-0.0042	
NAF	0.0338	-0.0411	0.0577	0.0118	
KF	-0.0527	0.0009	-0.0137	0.0897	
MGF	0.0401	-0.0592	-0.0820	0.0043	
CUF	0.0195	-0.0235	-0.0469	0.0386	
ZNF	0.1977	0.1419	0.0157	0.0074	
FEF	0.1734	-0.1372	0.0280	0.0041	

Apendice 13. Continuación

Correlations Between the 'WITH' Variables and the Canonical Variables of the 'VAR' Variables

	V1	V2	V3	V4	V
PHS	0.1617	-0.2295	-0.1156	0.2649	0.06
ALIS	-0.0507	-0.1403	-0.0414	-0.0415	0.13
SALS	0.0117	0.0248	-0.0418	0.0540	0.03
CAS	-0.0136	-0.0359	-0.1904	0.0042	0.13
PS	-0.2055	0.1115	-0.0059	0.1178	0.07
KS	0.2196	-0.0914	0.2153	-0.0368	-0.13
MGS	0.3339	-0.2125	0.1716	0.0454	-0.05
NAS	0.1138	0.3035	-0.1271	0.1636	-0.19
CUS	0.2014	0.3484	0.1456	0.0774	0.09
FES	0.2456	0.0013	-0.0173	-0.1690	-0.03
ZNS	0.1804	0.4016	0.0408	0.0754	0.11

	V6	V7	V8	V9
PHS	0.0537	-0.0234	-0.0520	-0.0402
ALIS	-0.0786	0.1462	0.0574	-0.0169
SALS	0.0969	-0.1185	0.0847	0.0071
CAS	-0.0207	0.0599	-0.0584	0.0777
PS	-0.0937	0.0890	-0.0699	0.0470
KS	0.1733	-0.0199	0.0526	-0.0087
MGS	-0.1102	-0.0834	0.0594	0.0095
NAS	0.0327	-0.0255	-0.0188	0.0193
CUS	0.0657	-0.0065	-0.0053	-0.0133
FES	-0.0122	0.0101	-0.0464	-0.0259
ZNS	0.0435	0.0333	0.0505	0.0051

**Apéndice 14. Análisis de Correlación Canónica de minerales
suelo en la estación lluviosa y minerales de
forrajes en la estación seca**

	Correlación Canónica	Correlación Canónica Ajustada	Error Estandar Aprox.	Correlación Canónica Cuadrada
1	0.545525	0.269005	0.075042	0.297598
2	0.510481	.	0.079733	0.260591
3	0.486636	.	0.082296	0.236815
4	0.411263	.	0.089594	0.169137
5	0.356215	.	0.094150	0.126889
6	0.294735	0.234146	0.098465	0.086869
7	0.227412	0.197117	0.102225	0.051716
8	0.120951	.	0.106251	0.014629
9	0.079142	.	0.107157	0.006263

	Proporción de de P	F Aprox	GL	Den GL	P
1	0.24380458	1.0831	99	483.9274	0.2912
2	0.34710111	0.9982	80	439.8354	0.4882
3	0.46943022	0.9004	63	394.7199	0.6889
4	0.61509356	0.7537	48	348.4917	0.8841
5	0.74030711	0.6374	35	301.0998	0.9463
6	0.84789556	0.5093	24	252.388	0.9743
7	0.92855833	0.3663	15	201.9223	0.9858
8	0.97919899	0.1955	8	148	0.9912
9	0.99373662	0.1576	3	75	0.9245

**Apéndice 15. Análisis de correlaciones canónicas entre mine
en suelo y minerales de forrajes de la estación seca**

	Correlación Canónica Ajustada	Correlación Canónica Aprox.	Error Estandar	Correlación Canónica Cuadrada
1	0.588628	0.465246	0.063178	0.346483
2	0.520350	0.424484	0.070498	0.270764
3	0.425699	0.315036	0.079155	0.181219
4	0.338735	0.232853	0.085581	0.114741
5	0.241711	0.116216	0.091026	0.058424
6	0.140791	.	0.094757	0.019822
7	0.061514	.	0.096308	0.003784
8	0.059242	.	0.096334	0.003510
9	0.023000	.	0.096623	0.000529

**Eigenvalues of $INV(E)*H$
= $CanRsqr/(1-CanRsqr)$**

	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative
1	0.5302	0.1589	0.3949	0.3949
2	0.3713	0.1500	0.2766	0.6715
3	0.2213	0.0917	0.1649	0.8363
4	0.1296	0.0676	0.0965	0.9329
5	0.0620	0.0418	0.0462	0.9791
6	0.0202	0.0164	0.0151	0.9942
7	0.0038	0.0003	0.0028	0.9970
8	0.0035	0.0030	0.0026	0.9996
9	0.0005	.	0.0004	1.0000

Apéndice 15. Continuación

	Proporción de P	F Aprox.	GL	Den GL	P
1	0.31631525	1.2616	90	613.886	0.0623
2	0.48401962	0.9767	72	555.028	0.5347
3	0.66373509	0.6995	56	495.361	0.9509
4	0.81063859	0.4741	42	434.9703	0.9981
5	0.91570789	0.2775	30	374	1.0000
6	0.97252725	0.1319	20	312.7126	1.0000
7	0.99219463	0.0622	12	251.6379	1.0000
8	0.99596331	0.0648	6	192	0.9989
9	0.99947102	0.0257	2	97	0.9747

	S=9	M=0	N=44		
Statistic	Value	F	Num DF	Den DF	
Wilks' Lambda	0.31631525	1.2616	90	613.886	
Pillai's Trace	0.99927602	1.2115	90	873	
Hotelling-Lawley Trace	1.34254265	1.3011	90	785	
Roy's Greatest Root	0.53018109	5.1428	10	97	

Apéndice 15. Continuación

Raw Canonical Coefficients for the 'VAR' Variables

	V1	V2	V3	V4	V5
PH	1.0448714479	-.8963725775	2.7077823078	2.2242609384	2.116353
ALI	-.1875117587	.19880153892	.32222715926	-.4544933547	.1469579
SAL	-.1979018871	-0.16339122	.08768489077	.02702908647	.0949268
CA	-.0288404873	-.0967269982	.09487957308	.01947493383	-.140998
P	-.0057246697	-.0013037948	-.0230464299	.03899668945	0.040340
K	.00394469129	-0.010803404	.02122093405	.04711050574	-.036260
MG	-.0063510835	.01754262854	.00562749787	-.0178053921	-.010421
NA	.02379724308	.00362257522	.00845733525	-.0098041137	.0153547
CU	-.1231841667	.13289384423	0.1570600907	.14419680252	.0803085
FE	-.0645064192	.35913282053	.00472637691	.21304422899	.2098748

	V6	V7	V8	V9
PH	1.835164563	2.6248141765	-3.013190976	0.8009242811
ALI	.39719889676	.09140780998	.27625084749	-.4131681153
SAL	-.0128306775	-.1227810078	0.0545933151	.01888094756
CA	-.1962022937	.10501382834	-.0181467735	-.1309285724
P	.02326674109	-.0110804384	.05159566476	.02405107747
K	.02389424166	.00719438651	.01873460444	-.0161903255
MG	-.0061271744	.02806220208	.03621995432	.04776549292
NA	-0.018655055	-.0009440892	.03010795353	.00427709775
CU	-.0661167048	-.1291427153	-.0007582215	.06911374243
FE	-.0027898187	-.0027588868	.05312161633	-.0978463464

Apéndice 15. Continuación

Raw Canonical Coefficients for the 'WITH' Variables

	W1	W2	W3	W4	W5
PC	.03643964279	.19148144018	.07186289783	-.0966715886	-.048656
CAF	.15816428242	-.3374105976	.42583054609	.04697013116	.0072551
PF	1.3582859642	2.2566795842	-.5788516842	.74166637593	2.2616
NAF	1.4774043733	-.3223647697	.08881173188	.17219435219	-0.17503
KF	.63589543483	-.1976057268	-0.836364913	.25684357369	.7195474
MGF	-.5598998293	.65388938178	-.8921950566	2.4603754885	-1.33744
CUF	.03170898587	-.1319770631	.21803463884	.20695466677	.2152240
ZNF	-0.021023465	.02111999049	.00361793985	.01036067681	.0242915
FEF	.00892737956	.01498840005	0.0292887824	.01031187526	-.013632

	W6	W7	W8	W9
PC	.18560066246	-.0133231853	-.0065708356	.15295955714
CAF	.28826425528	.69733513273	-.1754311396	-0.094112718
PF	-.3703592706	-.4626829601	.96404536051	-2.499835029
NAF	-.5511795613	.23445611158	.43150430014	.75523072281
KF	.49544112656	-.2036150334	-1.764647022	.66574820392
MGF	.81841879958	.78805891622	-0.049479213	0.2439878545
CUF	.09138188565	-.1811488799	.14766060783	.14154848242
ZNF	-.0181293502	.02013763861	-.0023999307	.02063841284
FEF	-.0107720011	-.0125839491	-.0254479875	-.0082743825

Apéndice 15. Continuación

Standardized Canonical Coefficients for the 'VAR' Variables					
	V1	V2	V3	V4	V5
PH	0.1801	-0.1545	0.4668	0.3835	0.36
ALI	-0.2188	0.2320	0.3760	-0.5304	0.17
SAL	-0.7039	-0.5812	0.3119	0.0961	0.33
CA	-0.1532	-0.5137	0.5039	0.1034	-0.74
P	-0.1217	-0.0277	-0.4901	0.8292	0.85
K	0.0729	-0.1995	0.3920	0.8701	-0.66
MG	-0.0951	0.2628	0.0843	-0.2667	-0.15
NA	0.6449	0.0982	0.2292	-0.2657	0.41
CU	-0.3864	0.4169	0.4927	0.4523	0.25
FE	-0.1402	0.7803	0.0103	0.4629	0.45
	V6	V7	V8	V9	
PH	0.3164	0.4525	-0.5195	0.1381	
ALI	0.4635	0.1067	0.3224	-0.4822	
SAL	-0.0456	-0.4367	0.1942	0.0672	
CA	-1.0420	0.5577	-0.0964	-0.6953	
P	0.4948	-0.2356	1.0972	0.5114	
K	0.4413	0.1329	0.3460	-0.2990	
MG	-0.0918	0.4204	0.5426	0.7156	
NA	-0.5056	-0.0256	0.8160	0.1159	
CU	-0.2074	-0.4051	-0.0024	0.2168	
FE	-0.0061	-0.0060	0.1154	-0.2126	

Apéndice 15. Continuación

Standardized Canonical Coefficients for the 'WITH' Variables					
	W1	W2	W3	W4	W
PC	0.1110	0.5834	0.2190	-0.2946	-0.14
CAF	0.1717	-0.3663	0.4623	0.0510	0.00
PF	0.3182	0.5286	-0.1356	0.1737	0.52
NAF	0.8282	-0.1807	0.0498	0.0965	-0.09
KF	0.2727	-0.0847	-0.3586	0.1101	0.30
MGF	-0.1746	0.2040	-0.2783	0.7674	-0.41
CUF	0.0670	-0.2787	0.4604	0.4370	0.45
ZNF	-0.4119	0.4138	0.0709	0.2030	0.47
FEF	0.1838	0.3086	0.6031	0.2123	-0.28
	W6	W7	W8	W9	
PC	0.5655	-0.0406	-0.0200	0.4661	
CAF	0.3130	0.7571	-0.1905	-0.1022	
PF	-0.0868	-0.1084	0.2258	-0.5856	
NAF	-0.3090	0.1314	0.2419	0.4234	
KF	0.2124	-0.0873	-0.7567	0.2855	
MGF	0.2553	0.2458	-0.0154	0.0761	
CUF	0.1930	-0.3825	0.3118	0.2989	
ZNF	-0.3552	0.3946	-0.0470	0.4044	
FEF	-0.2218	-0.2591	-0.5240	-0.1704	

Apéndice 15. Continuación

Correlations Between the 'VAR' Variables and Their Canonical Varia

	V1	V2	V3	V4	V5
PH	0.1882	-0.2372	0.4014	0.1515	0.487
ALI	-0.2998	0.1074	0.2210	-0.4154	0.181
SAL	-0.3188	-0.4130	0.3574	-0.0623	0.133
CA	-0.3307	-0.1549	-0.1645	0.1377	0.104
P	-0.2340	-0.2005	-0.4671	0.2355	0.322
K	0.3020	0.0074	0.3856	0.3064	-0.537
MG	-0.3509	0.2214	0.1505	-0.1498	-0.282
NA	0.7158	-0.0695	0.4405	-0.0944	0.172
CU	-0.1523	0.3405	0.4224	0.1264	-0.079
FE	-0.1504	0.5401	-0.0780	0.2793	0.200

	V6	V7	V8	V9
PH	0.1606	0.5623	-0.3368	0.1773
ALI	0.3158	0.3121	0.3347	-0.4636
SAL	0.1353	-0.4104	-0.0604	0.1054
CA	-0.5106	0.5912	0.1665	-0.3115
P	-0.1116	0.4247	0.3719	-0.0987
K	0.4140	-0.3281	0.1784	-0.0144
MG	0.0473	0.4693	0.1787	0.6360
NA	-0.1706	-0.3579	0.2388	-0.0055
CU	-0.3255	-0.3485	0.0210	0.2511
FE	-0.0161	0.1064	-0.1443	-0.3085

Apéndice 15. Continuación

Correlations Between the 'WITH' Variables and Their Canonical Varia

	W1	W2	W3	W4	W5
PC	0.1529	0.5767	0.1656	-0.3359	-0.08
CAF	0.1541	-0.2151	0.3941	0.0008	0.16
PF	0.4189	0.4619	-0.1153	0.1518	0.44
NAF	0.7200	0.0058	-0.0885	0.0788	-0.18
KF	0.2406	-0.1371	-0.4045	0.0888	0.37
MGF	-0.0549	0.1652	-0.2897	0.7846	-0.41
CUF	-0.0859	-0.2994	0.4027	0.4406	0.38
ZNF	-0.3447	0.3331	0.1217	0.0805	0.38
FEF	0.0850	0.2430	0.5813	0.2179	-0.29

Correlations Between the 'WITH' Variables and Their Canonical Varia

	W6	W7	W8	W9
PC	0.5987	-0.0015	0.1278	0.3487
CAF	0.3655	0.7181	-0.1261	-0.2849
PF	0.1546	0.0902	0.1803	-0.5581
NAF	-0.4263	0.1820	0.2462	0.3975
KF	0.2086	-0.1251	-0.7166	0.1866
MGF	0.2521	0.1447	0.1030	0.0164
CUF	0.3101	-0.4430	0.2492	0.2038
ZNF	-0.5050	0.4016	-0.0796	0.4246
FEF	-0.3646	-0.2613	-0.4890	-0.1535

Apéndice 15. Continuación

Correlations Between the 'VAR' Variables and the Canonical Variables of the 'WITH' Variables					
	W1	W2	W3	W4	W5
PH	0.1108	-0.1234	0.1709	0.0513	0.117
ALI	-0.1765	0.0559	0.0941	-0.1407	0.044
SAL	-0.1877	-0.2149	0.1522	-0.0211	0.032
CA	-0.1947	-0.0806	-0.0700	0.0466	0.025
P	-0.1377	-0.1044	-0.1988	0.0798	0.078
K	0.1777	0.0039	0.1641	0.1038	-0.130
MG	-0.2065	0.1152	0.0640	-0.0507	-0.068
NA	0.4213	-0.0362	0.1875	-0.0320	0.041
CU	-0.0896	0.1772	0.1798	0.0428	-0.019
FE	-0.0885	0.2810	-0.0332	0.0946	0.048
	W6	W7	W8	W9	
PH	0.0226	0.0346	-0.0200	0.0041	
ALI	0.0445	0.0192	0.0198	-0.0107	
SAL	0.0191	-0.0252	-0.0036	0.0024	
CA	-0.0719	0.0364	0.0099	-0.0072	
P	-0.0157	0.0261	0.0220	-0.0023	
K	0.0583	-0.0202	0.0106	-0.0003	
MG	0.0067	0.0289	0.0106	0.0146	
NA	-0.0240	-0.0220	0.0141	-0.0001	
CU	-0.0458	-0.0214	0.0012	0.0058	
FE	-0.0023	0.0065	-0.0085	-0.0071	

Apéndice 15. Continuación

Correlations Between the 'WITH' Variables and
the Canonical Variables of the 'VAR' Variables

	V1	V2	V3	V4	V5
PC	0.0900	0.3001	0.0705	-0.1138	-0.020
CAF	0.0907	-0.1119	0.1678	0.0003	0.040
PF	0.2466	0.2403	-0.0491	0.0514	0.107
NAF	0.4238	0.0030	-0.0377	0.0267	-0.044
KF	0.1416	-0.0714	-0.1722	0.0301	0.091
MGF	-0.0323	0.0860	-0.1233	0.2658	-0.101
CUF	-0.0506	-0.1558	0.1714	0.1492	0.093
ZNF	-0.2029	0.1733	0.0518	0.0273	0.092
FEF	0.0500	0.1264	0.2474	0.0738	-0.070

	V6	V7	V8	V9
PC	0.0843	-0.0001	0.0076	0.0080
CAF	0.0515	0.0442	-0.0075	-0.0066
PF	0.0218	0.0055	0.0107	-0.0128
NAF	-0.0600	0.0112	0.0146	0.0091
KF	0.0294	-0.0077	-0.0425	0.0043
MGF	0.0355	0.0089	0.0061	0.0004
CUF	0.0437	-0.0273	0.0148	0.0047
ZNF	-0.0711	0.0247	-0.0047	0.0098
FEF	-0.0513	-0.0161	-0.0290	-0.0035