

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Se ha comprobado que aun con abundante alimento en los agostaderos, el ganado bovino y otros rumiantes pueden no alcanzar un nivel aceptable de productividad debido a las deficiencias o excesos de algunos minerales en suelo y forrajes. Esto se ve agravado aun mas, ya que el ganado en pastoreo rara vez recibe un suplemento mineral, excepto sal común. Por esta razón, el reconocimiento de áreas específicas con deficiencias o excesos de minerales, es necesario para lograr que los productores puedan, efectiva y económicamente, corregir las limitaciones existentes.

El conocimiento de los niveles de los macrominerales y minerales traza existentes en suelos, forrajes y tejidos del ganado, permite elaborar estrategias de suplementación para mejorar la eficiencia productiva del ganado en condiciones de agostadero (Espinosa et al., 1991).

Las deficiencias, excesos y/o desequilibrios de los minerales presentes en suelos y forrajes de los agostaderos, son los responsables de los pobres índices productivos que se presentan en el ganado mantenido bajo condiciones extensivas, ya que la mayoría de los rumiantes bajo esta alternativa dependen principalmente del forraje para satisfacer sus requerimientos nutricionales.

Durante la época seca, el consumo inadecuado de forraje por el ganado en pastoreo, ocurre como resultado de un contenido bajo de proteína, y un aumento en la lignificación y el contenido de fibra, consecuentemente puede reducir el consumo total de minerales. Por otro lado, durante la época húmeda, una abundancia de forraje, que proporcione cantidades adecuadas de energía y proteína para los rumiantes en pastoreo, puede

permitir un crecimiento rápido de los rumiantes en pastoreo (Kawas y Houston, 1990; McDowell et al., 1985). En estas condiciones, los requerimientos de elementos minerales aumentan y las deficiencias son más frecuentes.

Ammerman (1983) y McDowell et al. (1985) señalan que existen cinco factores que aumentan la predisposición de los animales a deficiencias y/o excesos minerales: (1) Composición y tipo de suelo (material parental, textura, pH y fertilidad); (2) La fuente de agua; (3) Las especies forrajeras existentes y su grado de madurez; (4) El clima; y (5) La interacción ambiental. Además, en las áreas donde existen deficiencias o excesos de minerales en forrajes, existe una asociación geográfica con los niveles correspondientes de minerales y su disponibilidad en el suelo.

Los suplementos minerales son ofrecidos para corregir las deficiencias de elementos minerales en la dieta del ganado. La utilización de suplementos minerales específicos que consideren las concentraciones de los macrominerales y minerales traza en los suelos y forrajes de las diferentes zonas ecológico-geográficas del país, son indispensables para *maximizar la producción del ganado en pastoreo*. En estos suplementos se debe considerar la relación calcio:fósforo, las interacciones entre elementos minerales, y la presencia de cantidades tóxicas de algunos minerales (McDowell et al., 1985).

Objetivos

1.1 Determinar las concentraciones de macrominerales y minerales traza en suelos, forrajes y tejidos (suero sanguíneo) del ganado bovino en agostaderos en tres regiones geográficas del Estado de Nuevo León (mapeo sistemático), durante las épocas Húmeda y Seca.

1.2 Efectuar recomendaciones precisas con respecto a las cantidades y/o concentraciones de proteína cruda, macrominerales y minerales traza que se requieren en los suplementos, considerando las concentraciones de estos nutrientes en los forrajes que consume el ganado en los agostaderos del estado de Nuevo León, además del desarrollo

de recomendaciones de suplementación que permitan mejorar los indicadores de producción del ganado, en estado de Nuevo León.

CAPITULO 2

LITERATURA REVISADA

2.1. Interacción Suelo-Planta-Animal

Para los animales, en orden de importancia, las fuentes y disponibilidad de minerales son: forraje, agua y aire (Pope, 1971). En rumiantes, su marcada dependencia por el forraje acentúa la importancia de la interacción suelo-planta-animal para la obtención de nutrientes.

La concentración de minerales en las plantas está asociada con los niveles correspondientes que existan en el perfil del suelo, y su absorción está correlacionada significativamente con su contenido y disponibilidad (McDowell et al., 1984). Aún cuando el contenido mineral en plantas es conocido, este no representa una valoración de su biodisponibilidad para el aprovechamiento de los tejidos animales, afectando a esto, la forma orgánica de los mismos, que además, se asocian con complejos quelatantes y oxalatos que dificultan su absorción a nivel intestinal (Pope, 1971). Se ha comprobado plenamente la superioridad del suplemento mineral inorgánico a ser metabolizado por el organismo (McDowell et al., 1984).

El genotipo y los niveles de producción animal afectan los requerimientos y tolerancia de los minerales. En rumiantes, el aumento o disminución de la absorción de minerales a nivel intestinal, obedece a una adaptación a los amplios rangos en el consumo dietético de los mismos, versus sus requerimientos metabólicos; proceso mediante el cual conforma un mecanismo orgánico de control homeostático minimizando así las tendencias a sufrir

deficiencias o toxicidades (Kincaid, 1983 y Miller, 1985).

Fuera de los límites nutricionales de tolerancia, la habilidad de los animales para hacer frente a procesos infecciosos cae bruscamente, reduciéndose la resistencia a las enfermedades, debido a que ocurre un deterioro en la respuesta fagocitaria, esto, además de los trastornos estructurales y endocrinológicos (Miller, 1985).

2.2. Los Minerales en el Suelo

2.2.1 Situación Mineral.

Las investigaciones científicas desarrolladas a lo largo de las últimas décadas, concluyen acerca de la necesidad de las plantas para ciertos elementos minerales indispensables en el ajuste normal de su desarrollo fisiológico (Mitchell et al., 1957).

Consecuentemente, se reconoce la importancia del suelo como estructura de soporte para cualquier especie vegetal, y que serán por consiguiente, sus características las que definan el desarrollo de la planta con respecto a la concentración y disponibilidad que tenga de los elementos minerales presentes (Buckman y Brady, 1982).

Los constituyentes más sencillos y solubles de los suelos tienden a desaparecer vía desecación, lixiviación o utilización por microorganismos y plantas; mientras que los constituidos por formas complejas, que representan la mayor proporción, requieren de un proceso gradual de simplificación que incrementa su facilidad de asimilación (Buckman y Brady, 1982).

La nutrición mineral que ofrece el suelo a las plantas no está en función de la concentración de elementos presentes en él, sino de la facilidad que exhiba el tipo de suelo para simplificarlo a formas solubles asimilables. Los minerales en suelo están sujetos a un criterio de clasificación que las divide en macro y micronutrientes (Fuentes, 1989).

2.2.2 Macronutrientes

Los macrominerales requeridos por las plantas en mayores cantidades son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. La escasez de estos elementos en el suelo, su baja disponibilidad biológica y facilidad de asimilación, o su desequilibrio con el resto de los elementos nutritivos repercutirá directamente sobre la tasa de crecimiento de las plantas.

2.2.3 Micronutrientes

Los microminerales o minerales traza requeridos por las plantas son hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno y cloro son utilizados en cantidades muy pequeñas, aunque fundamentalmente son tan importantes como los macrominerales.

2.2.4 Deficiencias o Excesos de Minerales en el Suelo

El contenido de nutrientes menores, varía según los tipos de suelos, siendo pobre en suelos arenosos gruesos, a diferencia de todos aquellos suelos pesados que generalmente poseen concentraciones adecuadas, aunque, éstas no siempre están fácilmente a disposición de las plantas (Velasco, 1992).

Las condiciones climáticas secas (época del año), favorecen las deficiencias minerales, ya que generan un detrimento en la solubilidad de los elementos y disminuyen su disposición en los sistemas radiculares (Kawas y Houston, 1990).

A su vez, las condiciones climáticas extremadamente lluviosas también favorecen las deficiencias minerales, solubilizando y acarreado elementos mediante el fenómeno de la lixiviación alejándolos del perímetro de absorción radicular (Velasco, 1992).

Las deficiencias minerales se diagnostican generalmente por los síntomas que se detectan en los forrajes, y la evaluación de la concentración mineral de suelo provee la

retrospectiva del potencial forrajero que puede esperarse en un area determinada, así como la incidencia a trastornos metabólicos ocasionados por deficiencias o procesos de sinergismo o antagonismo entre minerales (Davies et al., 1987).

Son cuatro los puntos relevantes sobre los que se sientan los fundamentos de las deficiencias nutritivas en los suelos: la concentración mineral en el suelo; las formas de combinación u asociación mineral; los procesos de simplificación mineral; y la solución del suelo y su pH (Buckman y Brady, 1982).

Buckman y Brady (1982), proponen que el pH del suelo puede influir en la absorción nutritiva y crecimiento de las plantas de dos maneras: (1) A través del efecto directo del ión H^+ ; y (2) Por su influencia sobre la asimilación de los nutrientes y la presencia de iones tóxicos (TABLA 1).

Según Fuentes (1989), para los sistemas radiculares de las plantas, un buen grado de asimilación de nutrientes minerales se encuentra cercano a un pH de 6.5, situación no persistente en las zonas áridas y semiáridas del norte de México, donde característicamente encontramos suelos calcáreos con pH superiores a 7.5, lo que enmascara la disponibilidad de algunos elementos.

Esta condición domina también en la gran parte de los municipios del estado de Nuevo León. La TABLA 2 presenta las formas minerales elementales en suelos.

2.3 Los Minerales en las Plantas

2.3.1 Situación Mineral e Interrelaciones Suelo-Planta

La transferencia de nutrientes del suelo a la planta esta gobernada por la solubilidad y disponibilidad del elemento mineral, la capacidad de asimilación de la planta y la intervención de su sistema radicular. (Salisbury y Ross, 1985).

Las raíces de las plantas excretan grandes cantidades de anhídrido carbónico y otras

TABLA 1

Influencia del pH en la asimilación de nutrientes

pH	Incrementan su potencial de asimilación
> 7.5	Molibdeno.
= 5,9	Hierro, Manganeso, Zinc, Calcio, Potasio.
< 5.0	Aluminio, Hierro y Manganeso se tornan tóxicos muy alcalino.
muy alcalino	El Bicarbonato impide que las plantas tomen otros iones.

Fuente: Buckman y Brady (1982).

TABLA 2

Formas en que se presentan los macronutrientes en los suelos

	Formas más complejas y menos activas
Nitrógeno	Proteínas, aminoácidos y formas coloidales
Fósforo	Apatita; fosfatos de Ca, Fe y Al; fitina y ácidos nucleicos
Potasio	Feldespatos y micas; silicatos de Al; arcillas (ilita)
Calcio	Feldespatos, calcita y dolomita
Magnesio	Mica y dolomita; montmorillonita
Azufre	Pirita y yeso; formas orgánicas coloidales
	Formas más sencillas y asimilables
NH₄⁺	Sales amónicas
NO₂⁻	Nitritos
NO₃⁻	Nitratos
PO₄H⁻	Fosfatos
PO₄H₂⁻	Fosfatos solubles
K⁺	Iones de K coloidales y sales de K (sulfatos, carbonatos)
Ca⁺⁺	Iones de Ca coloidales y sales simples de Ca
Mg⁺⁺	Iones de Mg coloidales y sales simples de Mg
SO₃⁼	Sulfitos
SO₄⁼	Sulfatos

Fuente: Buckman y Brady (1982).

sustancias ácidas, además de alimento y energía que son aprovechadas por los microorganismos del suelo, encargados de llevar a cabo el fenómeno de simplificación de las asociaciones minerales para poner la mayor concentración de iones a disposición del sistema radicular, aumentando así, la proporción y facilidad de la transferencia de nutrientes del suelo a la planta (Bidwell, 1983).

Salisbury y Ross (1985), apuntan la existencia de dos fuentes generales de nutrientes fácilmente asimilables en el suelo: los nutrientes absorbidos por los coloides (iones cargados positivamente) y las sales presentes en la solución del suelo (iones cargados negativamente). Las plantas superiores obtienen la mayor parte del carbono y oxígeno directamente del aire, por fotosíntesis. El hidrógeno se deriva del agua del suelo, y todos los demás elementos esenciales son obtenidos de los sólidos del suelo, a excepción del nitrógeno; y son estos, los que comúnmente limitan el desarrollo de las plantas (Rojas y Rovalo, 1986). Los factores que influyen en el crecimiento de las plantas superiores son: luz; soporte mecánico; temperatura, aire, agua y otros nutrientes; y es conveniente recordar que sólo la combinación favorable de todos los elementos puede apoyar significativamente el proceso. El nivel de producción forrajera no será mayor que el determinado por el más limitante de los factores esenciales del crecimiento vegetal (Bidwell, 1983).

2.3.2 Función Mineral en la Planta

Los elementos químicos que se encuentran en las células vegetales pueden ser muchísimos, pero el hecho de encontrarlos en alguna planta no es suficiente para concluir que sea esencial para su desarrollo, ya que los minerales son absorbidos por intercambio catiónico del medio, de acuerdo a las leyes físicas y no a la importancia que tengan en el metabolismo (Salisbury y Ross, 1985).

Los elementos minerales pueden desempeñar funciones directas, aunque por

supuesto, todo elemento tiene su papel metabólico específico, estas funciones consisten en ser, según Rojas y Rovalo (1986): (1) Partes constituyentes de las células; (2) Enzimas o coenzimas; (3) Antagonistas en el balance metabólico; (4) Amortiguadores de pH (bufferizantes); (5) Factores osmóticos;

En la TABLA 3 se presenta el papel funcional de cada elemento para el desarrollo de las plantas.

2.3.3 Factores que Afectan el Contenido Mineral de los Forrajes

Las concentraciones de elementos minerales en el forraje dependen de la interacción entre varios factores, entre los que se cuentan, el suelo, la especie forrajera, el nivel de madurez, el rendimiento, el manejo de los pastos, y el clima. La mayor parte de las deficiencias que ocurren naturalmente en los herbívoros están asociadas con regiones específicas y las características del suelo (Meir, 1979) .

La tasa de absorción de minerales del suelo por los forrajes puede ser modificada, aumentándola para minerales como Mn y Co, por las características de drenaje que tenga el suelo, y disminuyendo la disponibilidad por aumentos del pH en los casos de elementos como Fe, Mn, Zn, Cu y Co (Volkweiss y Rodríguez, 1978).

Para la mayoría de los elementos minerales, existen plantas que funcionan como “acumuladoras”, es decir, que contienen niveles sumamente altos de un mineral específico. Al madurar las plantas, su contenido mineral disminuye a consecuencia de un proceso natural de dilución y a la traslocación de los nutrientes al sistema de raíces (Rojas y Rovalo, 1986).

Según Underwood (1981), generalmente los elementos, K, Mg, Na, Cl, Cu, Co, Fe, Se, Zn y Mn disminuyen su concentración en forma directamente proporcional con la maduración de la planta.

TABLA 3

Función metabólica de los elementos en las plantas

Nitrógeno	Forma de 16-18% de las proteínas y es el elemento principal del protoplasma.
Fósforo	Forma fosfatos de hexosas y triosa, ácidos nucleicos, coenzimas y transportadores de energía. (Esencial).
Potasio	Adsorbido en las mitocondrias, forma parte de enzimas activas en la fosforilación oxidativa y la síntesis proteica.
Calcio	Se encuentra en la pared celular otorgando rigidez y su contenido aumenta con la edad; es cofactor de enzimas en la hidrólisis del ATP y fosfolípidos. (Esencial)
Magnesio	Forma el núcleo de las clorofilas. (Esencial)
Azufre	Es parte de las proteínas y coenzima A.
Hierro	Forma parte del citocromo y participa en el proceso de respiración.
Manganeso	Induce la síntesis de clorofila.
Cobre	Componente enzimático que participa en la oxidación respiratoria. (Esencial)
Molibdeno	Componente de la No Reductasa.
Zinc	Interrelación con la formación de reguladores de crecimiento.
Cloro	Participa en la evolución del oxígeno en la fotosíntesis.
Sodio	Funcional.
Sílice	Aumenta la resistencia a enfermedades.
Aluminio	Importante en trazas; en exceso es tóxico.
Cobalto	Funcional en coenzimas.
Iodo	Componente de la iodotirosina

Fuente: Rojas y Rovalo (1986).

2.3.4 Toxicidad, Deficiencia y Desequilibrios Minerales en las Plantas

Las deficiencias minerales en plantas, según Spears (1994), pueden reconocerse por su aspecto, siendo necesario apoyar el diagnóstico mediante un análisis foliar (TABLA 4).

Existen elementos no esenciales, que la planta absorbe en ciertas condiciones y que pueden resultar nocivos para el ganado. De igual modo, algunos elementos esenciales son tóxicos cuando se absorben en exceso (Kiatoko et al., 1982).

Algunos iones inhiben la absorción de otros o bien contrarrestan su función metabólica (Salisbury y Ross, 1985), convirtiéndose en verdaderos factores antagónicos, que por citar algunos ejemplos tenemos: (1) Fe es antagónico de Mn; (2) Mg no es tóxico pero induce deficiencia de K; (3) P al acumularse en los tejidos de la planta determina que el Fe precipite induciendo clorosis; (4) Ca es antagónico de Mn; y (5) K es antagónico del Ca en su acción metabólica.

También ocurre el fenómeno de sinergismo dentro de la planta, entre los elementos minerales, y representa el proceso por el cual un ion favorece la absorción de otro o refuerza su acción metabólica, por ejemplo, el Na y K. Por otro lado, el B capacita a la planta a absorber mejor el Ca (Salisbury y Ross, 1985).

2.3.5 Absorción de Nutrientes por la Planta

Las sales del suelo no pueden entrar a la célula por mera difusión, pues como la membrana es semipermeable y no permite, por definición, que la atraviesen los solutos, sino sólo los solventes (Salesbury y Ross, 1985).

Las sales minerales sirven a la planta como nutrientes inorgánicos para construir sus moléculas de proteínas, enzimas, ácidos nucleicos, y otros componentes, que son tomadas del suelo en forma ionizada. La entrada de iones, por lo tanto, de primordial

TABLA 4

Síntomas característicos de deficiencias vegetales de algunos minerales

Nitrógeno	Planta desmedrada y clorótica. Regiones afectadas amarillas.
Fósforo	Crecimiento lento; enanismo. No hay clorosis ni necrosis.
Azufre	Planta no muy desmedrada. Hojas verde-pálido.
Calcio	Planta leñosa y desmedrada.
Potasio	Planta no muy desmedrada pero con áreas necróticas.
Hierro	Clorosis general acentuada.
Magnesio	Clorosis mayor en partes viejas.
Manganeso	Clorosis mayor en ápice.

Fuente: Rojas y Rovalo (1986).

importancia metabólica y de gran interés fisiológico

La absorción iónica está gobernada por el equilibrio de Donnan, que toma en cuenta el efecto de los iones no difusibles (Rojas y Robalo, 1986).

2.4 Los Minerales en los Tejidos Animales

2.4.1 Función

Los minerales desarrollan muchas funciones que guardan una relación directa o indirecta con el crecimiento animal. Contribuyen a mantener la rigidez de los huesos y de los dientes, y representan una parte importante de las proteínas y lípidos del organismo animal.

Además, los minerales conservan la integridad celular mediante las presiones osmóticas y son un componente de muchos sistemas enzimáticos que catalizan las reacciones metabólicas en los sistemas biológicos (Hafez y Dyer, 1980).

Cuando menos 15 elementos minerales son nutricionalmente esenciales para el ganado (NRC, 1984). Los nutrientes minerales mayores (macrominerales) son, calcio (Ca), fósforo (P), sodio (Na), cloro (Cl), magnesio (Mg), potasio (K), y azufre (S). Los nutrientes minerales menores o trazas (microminerales) son, yodo (I), hierro (Fe), molibdeno (Mo), cobre (Cu), cobalto (Co), manganeso (Mn), zinc (Zn), y selenio (Se).

Varios factores afectan los requerimientos de estos minerales en los suplementos o ingredientes alimenticios, entre ellos, las interrelaciones entre elementos minerales y con otros nutrientes, el consumo de suplemento mineral, la raza y la adaptación del ganado (McDowell et al., 1993; Kawas y Huston, 1989).

Los perfiles de minerales en suelo y tejidos del ganado (sangre, hígado, hueso, y pelo) ayudan solamente a avalar los resultados obtenidos cuando se detectan deficiencias

o intoxicaciones en los resultados de análisis de forrajes y agua que consume el ganado, los cuales son los mejores indicadores de deficiencias en pastoreo. En cuanto a tejidos, el análisis sanguíneo provee una retrospectiva confiable en la determinación de deficiencias o excesos minerales (Miller, 1985), aunque no más que lo proveería el análisis de hueso e hígado, ofreciendo la ventaja de su disponibilidad y fácil manejo sin sacrificar el animal (Pope, 1971).

2.4.1 Fuentes

Los animales disponen de tres fuentes primarias para la obtención de elementos inorgánicos en los sistemas pecuarios: alimento, agua y suplementos minerales.

Aún cuando las plantas pueden proporcionar una buena parte de los minerales necesarios, la suplementación de minerales constituye una práctica necesaria en los animales bien nutridos (Underwood, 1981), según el tipo de sistema de producción zootécnica en particular y los objetivos de producción que la misma empresa se plantee.

El contenido mineral de los vegetales depende primariamente de la especie forrajera, abundancia del elemento en el suelo y de las condiciones persistentes durante el crecimiento de la planta, y en consecuencia, sobre su captación de minerales (Valdes et al., 1988).

2.4.2 Absorción, Deficiencia y Excreción

La absorción de minerales depende de muchos factores, entre los que se incluyen, la cantidad del elemento ingerida, edad del animal, pH del contenido intestinal, respuesta del animal a deficiencias, excesos o contenidos apropiados de minerales, presencia de otros minerales o nutrientes antagónicos (Bondi, 1989).

Las deficiencias, toxicidades y/o desequilibrios de los minerales presentes en los

suelos y forrajes de los agostaderos son los principales responsables de los pobres índices productivos que se presentan en el ganado en pastoreo bajo condiciones extensivas, ya que la mayoría de los rumiantes bajo estas condiciones dependen principalmente del forraje para satisfacer sus requerimientos nutricionales (Ammerman y Goodrich, 1983). Las áreas donde existen deficiencias o excesos de minerales están asociadas geográficamente con los niveles correspondientes de minerales en el suelo (Volkweiss y Rodríguez, 1978). Por lo tanto, la absorción de estos elementos por las plantas está correlacionada de manera altamente significativa con su contenido y disponibilidad en el suelo (Velasco, 1992).

En un suelo en particular, la absorción de estos elementos inorgánicos por las plantas será proporcional a su concentración en el suelo, cuando ésta no sea excesiva en relación a la capacidad de absorción de las plantas o cuando no les causen disturbios fisiológicos. Consecuentemente, de acuerdo con las necesidades de la planta, estando un elemento en concentración baja, alta o excesiva en el suelo, la planta sufrirá una deficiencia, suficiencia o toxicidad del elemento en cuestión, respectivamente. Obviamente la variación desde la carencia hasta la toxicidad es continua (Valdes et al., 1988 b).

Volkweiss y Rodríguez (1978), y Hafez y Dyer (1980), indican que la deficiencia o toxicidad de un elemento provoca desequilibrios en la absorción de otros elementos, y en ambos casos el desarrollo de la planta es perjudicado. La ausencia de ciertos microorganismos en el suelo pueden ser también causa de concentraciones deficientes o tóxicas de algunos elementos para las plantas (Salisbury y Ross, 1985).

La Figura 1 muestra las interrelaciones minerales existentes en el metabolismo animal. Se hace notar que las flechas indican el antagonismo existente entre los elementos, por ejemplo, en el caso de la relación entre calcio y fósforo, ambos son mutuamente antagónicos (indicado con dos flechas encontradas). Consecuentemente, el elemento que se encuentre en mayor concentración enmascarará la disponibilidad y

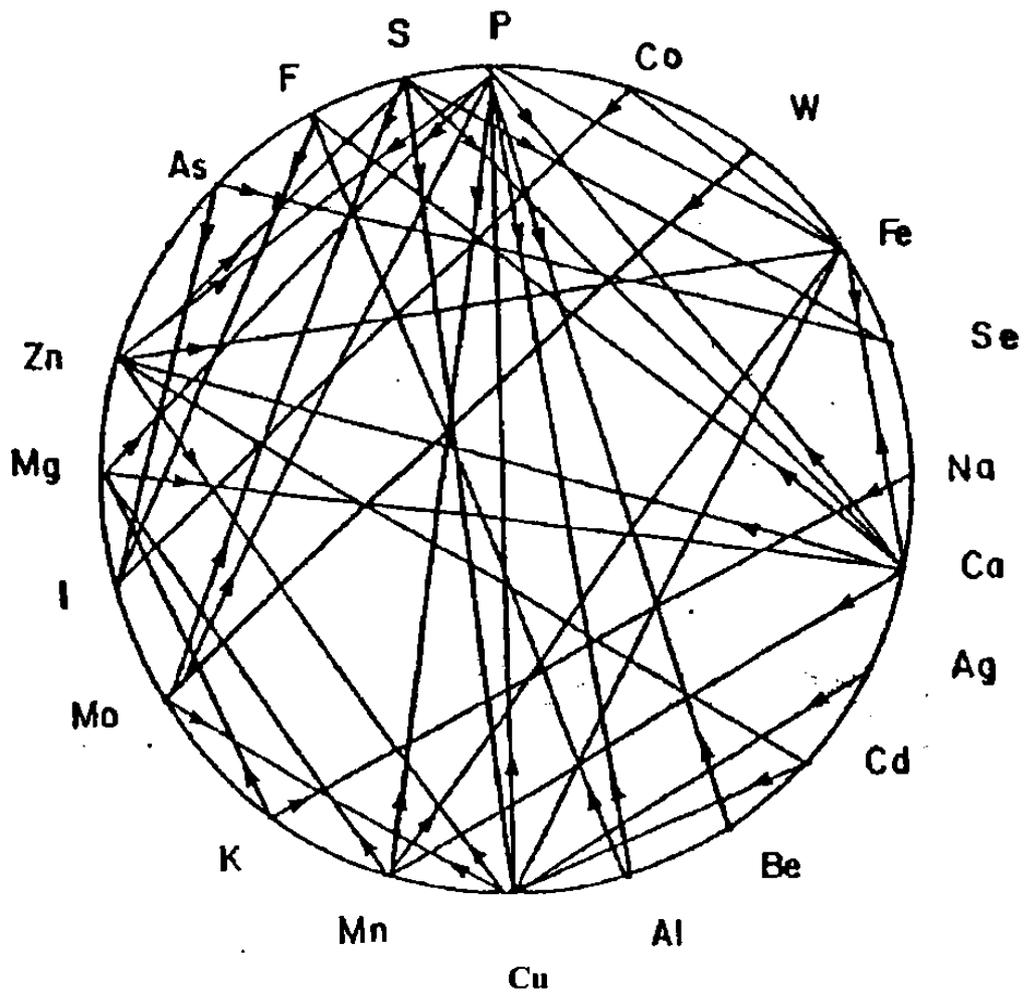


Figura 1. Interacciones Minerales que se presentan en los rumiantes.

utilización del otro. Por otro lado, en el caso de la relación calcio-zinc, la flecha va desde el calcio y apunta hacia el zinc, significando que a concentraciones altas de calcio, la utilización y disponibilidad del zinc será enmascarada en algún grado (Hafez y Dyer, 1980). A manera de observación especial, se hace notar que una figura este tipo, puede ser obtenida para condiciones específicas de un sistema de producción, con sus comportamientos específicos e incluso cuantificaciones estadísticas, mediante el análisis de un estudio de correlaciones minerales dentro de los tejidos y entre tejidos.

Los animales, aún ingiriendo cantidades normales de este forraje, no solamente podrán tener deficiencias de minerales, sino también la de otros nutrientes. Por lo tanto, la calidad y cantidad de nutrientes en un forraje depende directamente de la disponibilidad de elementos esenciales y no esenciales para la planta en el suelo (Volkweiss et al., 1978).

Los forrajes considerados como especies claves de utilización para el ganado en pastoreo en los municipios del Estado de Nuevo León, corresponden al tipo de los ubicados como típicos del semidesierto mexicano, los cuales, en general, se caracterizan por su baja disponibilidad y más aún, su bajo contenido proteico y estructura altamente lignificada, información que concuerda con la obtenida por Gartenberg et al. (1989) y Guevara (1982), quienes encontraron una situación especialmente difícil durante la época de sequía, en que los animales se hallan limitados para completar sus requerimientos de consumo de forraje, lo que ocasiona una disminución de los índices productivos y reproductivos. Junto con el deterioro de la calidad bromatológica del forraje, se hacen tangibles las deficiencias, toxicidades y desequilibrios minerales presentes en la zona.

Los minerales son compuestos inorgánicos que participan directamente en funciones del metabolismo básico, como son, crecimiento, regulación de presiones osmóticas o como catalizadores enzimáticos, y su contenido en los forrajes está limitado por su abundancia en el suelo, disponibilidad biológica para la absorción radicular, especie forrajera, estado de madurez y sistema de pastoreo, además de condiciones como son pH, humedad y clima entre otras (Miller, 1974).

Según Bondi (1989), todos los animales pueden padecer deficiencias minerales, que pueden estar originadas por: (1) Una cantidad subóptima de un determinado elemento en el pienso; (2) Desequilibrio de otro mineral que reduce la absorción; (3) Cualquier acción que incremente la tasa de eliminación del elemento en el intestino; y (4) Un antagonismo metabólico que determine una necesidad superior del elemento en el animal.

En la TABLA 5, se muestran las condiciones generales para la absorción de minerales. Es importante hacer notar que los términos “desequilibrio” y “deficiencia” no son sinónimos, aunque cualquiera de estos trastornos puede provocar el otro (Bondi, 1989), y ser potencialmente tan fuerte el desequilibrio ocasionado que alcance niveles “críticos”.

Las pautas y tasas de excreción de los elementos inorgánicos exhiben comportamientos variables, algunos se eliminan casi totalmente o casi por completo mediante la orina, mientras que algunos otros son excretados por otras vías (Bondi, 1989; Hafez y Dyer, 1980; Miller, 1974). A nivel tisular, los animales necesitan esencialmente la misma cantidad de minerales dependiendo de la función realizada (NRC, 1984).

Los factores que influyen sobre las necesidades dietéticas de minerales, según las investigaciones propuestas por Bondi (1989); Hafez y Dyer (1980); McDowell et al., (1993) son: (1) Cantidad de alimento ingerido por unidad de peso; (2) Tasa de crecimiento; (3) Funciones u objetivos productivos de la especie; (4) Temperatura ambiente; (5) Clase de alimento, en función de su digestibilidad y liberación de nutrientes disponibles; (6) Forma en que es ingerido el elemento; (7) Equilibrio dietético con otros nutrientes (la formación de jabones cálcicos puede influir sobre la absorción de algunos elementos al cambiar el pH del intestino); (8) Nivel de productos antagónicos que aparece en la dieta; (9) Edad del animal (tasa de absorción más altas en animales jóvenes que en adultos); y (10) Salud del animal.

2.4.3 Importancia Nutritiva de los Minerales para los Animales

TABLA 5

Condiciones para la absorción de minerales por los animales

Elemento	Órgano de Absorción	Mecanismo	Forma Química	Condiciones que favorecen la absorción
Calcio	Duodeno y yeyuno	T.A. estimulados por vitamina D	Ca ⁺⁺	Dietas pobres en Ca y P, fitato, oxalatos y fosfatos; presencia de vit. D, lactosa, ác.cítrico y amoniacos; acidez intestinal.
Cloruro	I.D.	T.A.	Cl ⁻	
Magnesio	I.D.	T.A.	Mg ⁺⁺	Nivel bajo de amoniaco
Fósforo	Duodeno	T.A.	Fosfatos	Presencia de K; escasez de Ca, Fe y Mg; condición acidez.
Potasio	I.D.	T.A.	K ⁺	
Sodio	I.D.	T.A.(hexosa)	Na ⁺	
Azufre	I.D.		Sulfatos, cistina, metionina	
Cobalto	I.D.		Hexavalente	Ausencia de jugo gástrico
Cobre	Tubo digestivo	T.A.	Cu ⁺⁺	Mayor acidez intestinal; escasez de carbonatos Mo, sulfato y zinc.
Flúor	I.D.		NaF	Escasez de Ca y Al
Iodo	Intestino		Ioduros inorg.	
Hierro	Duodeno	T.A.	Fe ⁺⁺	Acidez favorecida por la manosa, fructuosa y glucosa; proteína dietética apropiada.
Manganeso	I.D.	T.A.	Mn ⁺⁺	[] bajas de Ca, P y Fe
Molibdeno	Tubo digestivo		Hexavalentes	Dietas pobres en sulfatos.
Selenio	I.D.		Org. e Inorg.	[] bajas de S; condición de acidez
Zinc	Duodeno		Zn ⁺⁺ , CO ₃ , SO ₄ , óxido	Dieta con escaso contenido de ácido fítico.

T.A. (Transporte activo); I.D. (Intestino delgado)

(Hafez y Dyer, 1980)

2.4.3.1 Utilización. Los minerales son elementos que el cuerpo requiere en proporciones bastante pequeñas para su crecimiento, conservación y reproducción. La valoración de los elementos contenidos en los alimentos y suplementos minerales, depende no sólo del contenido mineral absoluto, sino también de la magnitud de su absorción y utilización por los animales. La determinación de la digestibilidad aparente de los minerales no es significativa, ya que la excreción fecal incluye minerales no absorbidos y de origen endógeno (Church, 1989).

2.4.3.2. Efecto de las Deficiencias y Desequilibrios, y su Prevención. La ingestión prolongada de raciones deficientes, desequilibradas o con altos contenidos en ciertos minerales, determinan cambios en la concentración en los tejidos animales, por debajo o por encima de los límites permisibles (Gartenberg et al., 1989). En esas circunstancias, las funciones fisiológicas pueden verse afectadas negativamente (Loosly y Beltrán, 1976). Los trastornos nutricionales provocados, además de los síntomas externos, determinan retrasos en el crecimiento, mala utilización de los alimentos y productividad, así como trastornos en la fertilidad y estado de salud general (Miller, 1985). Estos trastornos de la nutrición oscilan desde la deficiencia mineral grave o la intoxicación, acompañadas de alta mortalidad, hasta situaciones intermedias que se presentan con cierta frecuencia debido a deficiencias minerales locales (Valdes et al., 1988).

Los casos graves de deficiencias o intoxicaciones suelen ser raros en condiciones prácticas. Para la mayoría de los elementos esenciales se han determinado las necesidades mínimas y las tolerancias máximas que los animales son capaces de soportar, antes de incurrir en síntomas característicos críticos (NRC, 1980).

La TABLA 6 enuncia los síntomas característicos de exceso o deficiencia de algunos minerales. La concentración excesiva o deficiente puede ocasionar trastornos que van desde ámbitos conformacionales hasta muerte por intoxicaciones, o “simplemente”

TABLA 6**Signos y síntomas de deficiencias y excesos de minerales, en los animales**

Elemento	Deficiencias	Excesos
Calcio	Reducción del crecimiento, especialmente de los huesos; osteoporosis y osteomalacia; hiperirritabilidad y tetania; hemorragias.	Hipercalcemia idiopática; síndrome de leche alcalina; hipercalcuria; cálculos renales.
Cloro	Alcalosis; deficiencia de K; lesiones renales; hiperexcitabilidad	
Magnesio	Irritabilidad del SNC; susceptibilidad a arteriosclerosis; vasodilatación.	Depresión del SNC y cardiovascular
Fósforo	Disminuye crecimiento corporal y óseo; raquitismo	
Potasio	Susceptibilidad a infecciones y reducción del crecimiento.	Hipercalcemia
Sodio	Disminución del crecimiento	Hipertensión
Azufre	Disminuye la síntesis de metionina cisterna, tiamina y biotina.	
Cobalto Cobre	Anorexia, anemia e incoordinación. Anemia; disminución del crecimiento y eficiencia reproductiva; opacidad del pelo; anomalías óseas	
Flúor	Esmalte menos denso	Deformación dental y anorexia
Iodo Hierro	Bocio; disminuye estatura física Anemia; fatiga; resistencia minada a infecciones.	Los excesos no se absorben en los individuos normales.
Manganeso	Ovulación defectuosa; degeneración testicular; deformidad congénita.	
Molibdeno		Diarrea; pérdida de peso; opacidad del pelo.
Zinc	Lesiones en la piel; atrofia de los túbulos seminíferos; retraso en el crecimiento de testículos y órganos sexuales secundarios en machos.	

Fuente: Hafez y Dyer (1980).

deterioro de la capacidad productiva (Bondi, 1989).

La absorción adecuada de minerales al metabolismo animal depende de la edad, raza y fin zootécnico, y ha demostrado que puede: (1) Reducir hasta un 29% la tasa de abortos y distocias al parto con respecto al índice de pariciones; (2) Incrementar el peso de los becerros al destete hasta en un 26% y 17% en el peso a los 18 meses; y (3) Fuerte disminución hasta en un 45% en el índice de mortalidad antes del destete.

Las interrelaciones entre minerales o las interacciones entre minerales y compuestos orgánicos, pueden determinar mayor o menor utilización de los minerales (Valdes et al., 1988a). El exceso de ciertos iones en el medio básico del intestino, pueden determinar la precipitación de sales insolubles y reducir la utilización de los elementos respectivos (Bondi, 1989). Por otra parte existen componentes de los alimentos como los aminoácidos y péptidos que mejoran la absorción de ciertos minerales al formar quelatos solubles.

Generalmente, los quelatos son compuestos solubles formados entre un compuesto orgánico y un ion metálico (Pope, 1971). Uno de los agentes quelantes más potentes es el compuesto sintético EDTA (ácido etilenaminotetracético). Los quelatos pueden reducir o mejorar la utilización de los minerales. Mientras que los quelatos con EDTA no permiten la absorción, otros quelatos, especialmente con aminoácidos (Ejemplo: Metionina de Zn o Lisinato de Cu), parecen mejorar la utilización de los minerales (McDowell, 1985).

2.4.4 Macrominerales

2.4.4.1 Calcio y Fósforo

2.4.4.1.1 Metabolismo en los Huesos. El hueso no es un depósito estático de minerales que sirve únicamente para una función estructural, sino que se encuentra en

estado dinámico. Los huesos sirven como reserva de calcio y fósforo que pueden mobilizarse cuando el aporte de estos minerales es insuficiente para cubrir las necesidades del organismo. El metabolismo mineral del hueso supone, no sólo la acreción de calcio y fósforo durante el crecimiento, sino también el intercambio continuo entre los huesos y la sangre.

Los macroelementos absorbidos (calcio, fósforo, magnesio, potasio, sodio) alcanzan la sangre, que actúa como intermediario para el intercambio de calcio, magnesio y fósforo entre los diversos órganos.

Las concentraciones de calcio y fósforo en sangre se mantienen a nivel constante (mecanismo de control homeostático) por la acción reguladora de dos hormonas: hormona paratiroidea (PTH) y calcitonina además del metabolismo activo de la vitamina D₃ 1,25 dihidroxicolecalciferol [1,25(OH)₂D₃]. Las hormonas y la vit. D₃ controlan la absorción de calcio y fósforo en el tracto gastrointestinal, influyen sobre la deposición y resorción en el hueso y afectan al grado en que ese excretan por las heces y la orina.

2.4.4.1.2 Funciones en los Tejidos Blandos y Líquidos Orgánicos. Las pequeñas cantidades de Ca (1%) y P (20%) existentes en los tejidos blandos y líquidos orgánicos tienen funciones importantes.

El calcio controla la excitabilidad de los nervios y músculos, y es necesario para la coagulación normal de la sangre debiendo encontrarse para la transformación de la protrombina en trombina. La presencia de calcio es necesaria para la activación de ciertas enzimas como la tripsina y la adenosinatrifosfatasa.

Se conocen más funciones del fósforo que de ningún otro elemento en el organismo animal. Funciona en el metabolismo energético como componente de las sustancias ricas en energía como el ADP, ATP y la fosfocreatina. Las reacciones metabólicas de los carbohidratos, proteínas y lípidos se realizan a través de compuestos intermediarios fosforilados. El fósforo forma parte de los fosfolípidos, que son importantes en el transporte de lípidos y su metabolismo, y como componente de las membranas celulares.

El fosfato forma parte del RNA y DNA, componentes celulares vitales, esenciales para la síntesis proteica. El fosfato forma parte de sistemas enzimáticos como la carboxilasa y NAD.

2.4.4.1.3 Absorción en el Tracto Digestivo. La correcta nutrición del calcio y el fósforo depende, no sólo del adecuado aporte en la dieta, sino de su relación en la dieta y la presencia de otros compuestos o iones en la misma. La vitamina D es el compuesto más importante que afecta la utilización del calcio y fósforo.

Además existen numerosos factores que afectan a su solubilidad en el punto de contacto con las membranas de absorción. Las cantidades excesivas de calcio o fósforo interfieren la absorción del otro elemento al reducirse la solubilidad de los fosfatos cálcicos. La ingestión abundante de sales de hierro, aluminio y magnesio interfieren la absorción del fósforo al formar fosfatos insolubles.

2.4.4.1.4 El Fósforo y la Relación Calcio:Fósforo. En los animales monogástricos, una relación calcio:fósforo comprendida entre 1:1 y 2:1 puede resultar óptima. El aporte de vitamina D reduce considerablemente la importancia de las relaciones de calcio:fósforo mayores a 2:1 o menores a 1:1. La exposición de los animales a la luz del sol es suficiente para producir la cantidad de vitamina D necesaria. Los rumiantes en crecimiento pueden tolerar un amplio intervalo en la relación calcio:fósforo, incluso hasta de 7:1 (NRC, 1984).

Se puede aseverar con seguridad que, mundialmente, el fósforo es el mineral más comúnmente deficiente en forrajes pastoreados por el ganado (McDowell et al., 1993). Esto es especialmente cierto en áreas tropicales y subtropicales, y para la mayor parte de América Latina. En condiciones de pastoreo, ya sea en agostaderos o praderas sin fertilización, los niveles de fósforo de las gramíneas se encuentran muy por debajo de los requerimientos del animal. Los forrajes maduros por lo general contienen menos de 0.15% P, mientras que los requerimientos de los bovinos de carne son por lo general

superiores al 0.20% (NRC, 1984).

Los signos de deficiencia de fósforo no son fácilmente distinguidos excepto en los casos severos cuando se notan huesos frágiles, debilidad general, pérdida de peso, emaciación, rigidez, reducción en la producción de leche, y masticación de madera, rocas, huesos y otros objetos. Sin embargo, la masticación anormal de objetos también ocurre con otras deficiencias nutricionales (NRC, 1984). Bajo condiciones de deficiencia extrema, el ganado puede permanecer sin producir un becerro durante dos o tres años, o puede no presentar estro. Si una vaca con una deficiencia de fósforo produce un becerro, ésta puede permanecer sin presentar estro hasta que los niveles de fósforo del cuerpo se recuperen nuevamente (McDowell et al., 1993).

La suplementación adicional de fósforo para satisfacer los requerimientos del ganado en pastoreo, puede llevarse a cabo suministrando suplementos comerciales que contienen, además del fósforo, microminerales, macrominerales y sal común. La cantidad de fósforo absorbida (disponibilidad) por el animal depende de la fuente de fósforo, la cantidad de consumo, la relación calcio:fósforo, el pH intestinal, la edad del animal, y los niveles en la dieta de calcio, hierro, aluminio, manganeso, potasio, magnesio, y grasa (Irving, 1964)

En una revisión sobre la disponibilidad de las fuentes de fósforo más comunes, Peeler (1972) situó las disponibilidades de las fuentes de fósforo de mayor a menor, de la siguiente manera: fosfatos de sodio, ácido fosfórico, fosfato monocálcico, fosfato dicálcico, fosfato tricálcico, fosfato defluorinado, harina de hueso, y por último, roca fosfórica. Los fosfatos de sodio y amonio son aproximadamente equivalentes al fosfato dicálcico en cuanto a disponibilidad del fósforo.

La mayoría de las fuentes de fósforo también contienen niveles altos de flúor, elemento aparentemente esencial en cantidades trazas para la mayoría de las especies animales (NRC, 1984). Sin embargo, solamente sus efectos tóxicos son de importancia para el ganado en condiciones de pastoreo (McDowell et al., 1984; NRC, 1980). En

condiciones de pastoreo, los bovinos son menos tolerantes a una toxicidad por flúor que otras especies de ganado. Una fluorosis crónica puede observarse mediante el consumo continuo de suplementos fosforados altos en flúor. Las fuentes de fósforo producidas mediante el método de horneado contienen solamente cantidades trazas de flúor. Aquellas fuentes producidas a partir de ácido fosfórico defluorinado contienen cantidades aceptables, si la relación flúor:fósforo no es superior a 1:100 (0.2 % de flúor en una fuente que contiene 20% de fósforo). Con algunas excepciones, la roca fosfórica contiene, por lo general, más de diez veces el nivel de flúor que otras fuentes de fósforo. Algunas fuentes orgánicas como la harina de hueso también pueden tener concentraciones altas de flúor. El uso de fuentes como la roca fosfórica es recomendado exclusivamente durante cortos períodos de tiempo, como el caso de ganado de engorda en corral.

Por otro lado, el calcio es el mineral más abundante del cuerpo. El contenido de calcio de las gramíneas está generalmente por debajo de los requerimientos del animal, mientras que en las leguminosas y muchas de las dicotiledoneas es relativamente alto. La mayoría de los suplementos fosforados también proporcionan cantidades considerables de calcio. Gartenberg et al. (1989) reportó que el contenido de calcio (de 1.29 a 1.66%) de forrajes de agostaderos del noreste de México, fue mucho mayor al requerido por el ganado (de 0.16 a 0.30%).

La nutrición adecuada de calcio y fósforo no dependen solamente de la cantidad o concentración en los suplementos o alimentos, sino también de la forma química en la que están presente y de la disponibilidad de estos macroelementos. La relación calcio:fósforo también ha sido considerada de importancia. Una relación calcio:fósforo entre 1:1 y 2:1 se asume es ideal para la formación ósea y el crecimiento, ya que ésta es la relación de los dos minerales en el hueso.

Los rumiantes pueden tolerar mayores rangos de relaciones calcio:fósforo, especialmente si el nivel de vitamina D del ganado es alto. Con relaciones de

calcio:fósforo menores de 1:1 y mayores de 7:1, el crecimiento del ganado y la eficiencia alimenticia no se reduce significativamente si el ganado consume suficiente fósforo para satisfacer los requerimientos (NRC, 1984).

Cantidades excesivas de calcio o fósforo en la ración puede disminuir la disponibilidad de ciertos minerales traza (McDowell et al., 1984), lo que puede ser perjudicial, especialmente con deficiencias marginales de estos elementos. El exceso de calcio en la dieta reduce la absorción y utilización de los minerales, especialmente del fósforo y los minerales traza.

Gartenberg et al. (1989) reportó relaciones de calcio:fósforo de hasta 10:1 en los forrajes de la zona noreste de México.

El principal lugar de absorción del calcio y el fósforo, en la mayoría de las especies, es el duodeno, segregándose cantidades considerables de estos minerales en la porción final del intestino delgado. La absorción del calcio en los rumiantes oscila entre el 22 y el 55%, en tanto que la del fósforo es del 55% y en el ganado vacuno desciende con la edad.

2.4.4.1.5. Síntomas de Deficiencia. El raquitismo se caracteriza por malformación de los huesos, articulaciones engrosadas, cojeras, fracturas y paso envarado, y es característico principalmente de animales jóvenes. En adultos, la enfermedad se denomina osteomalacia, que puede deberse a la excesiva movilización de minerales del hueso. La osteoporosis es otro trastorno del metabolismo del hueso de los animales adultos causado por la deficiencia en calcio. Es importante hacer notar, que los animales son más sensibles a la deficiencia en fósforo que a la de calcio, ya que el mineral del hueso se moviliza con menos facilidad para mantener el nivel de fósforo en el suero que el calcio. Por lo tanto, un bajo nivel de fósforo inorgánico en el suero puede ser indicativo de una deficiencia en fósforo. El primer síntoma de la deficiencia en fósforo es la anorexia (pérdida de apetito). Las deficiencias que se presentan de forma natural suelen ser múltiples, desarrollándose en los animales afectados una tendencia a masticar e ingerir objetos variados no nutritivos

como arena, madera y huesos. Este comportamiento recibe el nombre de pica.

2.4.4.1.6 Efectos de Excesos. El exceso de fósforo en la ración respecto al calcio puede dar lugar a un trastorno óseo denominado hiperparatiroidismo nutricional secundario. El exceso de fósforo reduce la absorción de calcio, y por consiguiente, la concentración de Calcio en sangre se reduce. Este efecto estimula la liberación de la hormona PTH que determina la movilización del calcio de los huesos para mantener el nivel en sangre. El esqueleto desmineralizado se substituye por tejido conjuntivo.

Otro trastorno causado por la ingestión excesiva de fósforo es la urolitiasis. Se trata de la formación de cálculos en el riñón o la vejiga con la consiguiente obstrucción para la secreción de orina.

2.4.4.2 Magnesio

2.4.4.2.1 Función. El magnesio guarda mucha relación con el calcio y el fósforo del organismo. Aproximadamente el 70% del magnesio del organismo se localiza en el esqueleto y el 30% se distribuye en los tejidos blandos y líquidos. Aproximadamente un 75% del magnesio de la sangre se encuentra en los eritrocitos. El suero sanguíneo contiene 2-4 mg de magnesio ionizado por 100 ml. Además de ser un componente esencial de huesos y dientes, el magnesio es necesario para la fosforilación oxidativa que conduce a la formación de ATP. Por consiguiente participa en el metabolismo de los carbohidratos y lípidos, y en la síntesis de proteína. (Bondi, 1989; Grunes, 1989; Kiatoko et al., 1982; Miller, 1985).

2.4.4.2.2 Absorción. Los rumiantes requieren raciones que contengan 0.20% de magnesio en la materia seca, el magnesio se absorbe en los rumiantes principalmente a través del retículo-rumen.

2.4.4.3 Sodio, Potasio y Cloro.

2.4.4.3.1 Distribución en el Organismo y Funciones. Estos tres minerales

presentan semejanza en sus funciones y distribución en el organismo. Se encuentran fundamentalmente en los líquidos orgánicos y tejidos blandos, mantienen la presión osmótica, regulan el equilibrio ácido-base y controlan el metabolismo del agua en los tejidos. Son esenciales para el funcionamiento de los sistemas enzimáticos. La conducción y transmisión neural y muscular son altamente dependientes de los niveles adecuados de sodio, potasio y magnesio. (Bondi, 1989; Grunes, 1989; Kiatoko et al., 1982; Miller, 1974; 1985).

2.4.4.3.2 Absorción y Regulación Metabólica. Los iones de Na, K y Cl se absorben en el tracto gastrointestinal de los rumiantes. Las necesidades de Na y Cl en rumiantes son del orden de 0.1-0.2% de la materia seca, para cada uno de los elementos. Las necesidades de potasio son, aproximadamente 0.6-0.8%. Por otra parte, el sodio y en menor grado el cloro, no siempre se encuentran en las raciones normales en cantidades suficientes. Por consiguiente, lo normal es suplementar las raciones con sal común. El exceso de cloro en la ración puede producir acidosis y el exceso de sodio alcalosis.

2.4.4.4 Azufre. La mayor parte del azufre del organismo de los animales y de los alimentos, se encuentra en las proteínas que incluyen los aminoácidos que contienen azufre, cistina, cisteína y metionina; sólo una pequeña cantidad de azufre se encuentra en forma inorgánica, principalmente sulfatos. (Bondi, 1989; Kiatoko et al., 1982; Miller, 1985).

Las cantidades excesivas de sulfatos reducen la ingestión de alimentos y afectan negativamente a los animales al disminuir la utilización de otros minerales como el zinc y el manganeso. Las necesidades de azufre estimadas para el ganado vacuno son de 0.20%; el máximo debe limitarse a 0.35% de la ración.

2.4.5 Microminerales

2.4.5.1 Hierro

2.4.5.1.1 Distribución y Funciones. La hemoglobina, mioglobina y varias enzimas respiratorias contienen hierro quelado en forma de un complejo de porfirina-hem, que se une a un componente proteico que es distinto para cada uno de estos compuestos activos. La hemoglobina funciona como transportador de oxígeno en los procesos respiratorios debido a que los enlaces entre el hierro y la globina estabilizan el Fe en estado ferroso permitiéndole ligarse de forma reversible con el O₂.

La hemoglobina transporta oxígeno entre los pulmones y los tejidos. Los hematíes y la hemoglobina se destruyen y reemplazan constantemente. El hierro mantiene un metabolismo muy activo en el organismo.

El hierro liberado en la destrucción normal de los hematíes se emplea para la resíntesis de hemoglobina que tiene lugar en la médula ósea para reemplazar a la hemoglobina catabolizada. Debido al eficiente reciclado del hierro, las necesidades de este mineral en los animales domésticos, son relativamente bajas (25-100 mg por cada kg de materia seca de la ración).

2.4.5.1.2. Absorción del Hierro. El hierro es absorbido en la luz intestinal por las células de la mucosa. La absorción del hierro está relacionada con las necesidades orgánicas y es más eficiente en los animales jóvenes que en los adultos. Los compuestos hem presentes en los alimentos de origen animal, como la harina de pescado, se absorben mejor que el hierro de los alimentos de origen vegetal, que contienen principalmente sales inorgánicas de hierro. La magnitud de absorción del hierro se ve afectada por los quelatados, algunos de los cuales (ácido ascórbico o cisteína) favorecen la absorción, en tanto que otros la inhiben. La absorción del hierro se reduce por otros iones bivalentes (zinc, manganeso, cobalto) que se considera compiten por los puntos de enlace en la mucosa intestinal. Los fosfatos y fitatos interfieren la absorción del hierro al formar sales de hierro insolubles. El cobre interviene de forma muy importante en la utilización del hierro, ya que el cobre se encuentra en la enzima ferroxidasa que facilita la liberación del

hierro de la ferritina en las células de la mucosa intestinal.

2.4.5.1.3 Necesidades y Deficiencias. Las necesidades de hierro son bajas en los animales adultos, 25-40 ppm en base seca, en las raciones de rumiantes. La administración de compuestos de hierro a las hembras gestantes, puede servir para incrementar los niveles de hemoglobina en sangre y las reservas de hierro de los animales recién nacidos, si bien, no aumenta el contenido en hierro de la leche por la administración del mismo.

La anemia es el síntoma principal de la deficiencia de hierro con depleción de sus reservas en el organismo, es decir, la reducción de hematíes y menor contenido en hemoglobina en sangre.

2.4.5.2. Cobre.

El cobre es esencial para el crecimiento y prevención de una serie de trastornos clínicos y patológicos en toda clase de animales. La deficiencia de cobre en el ganado vacuno en pastoreo se considera como uno de los problemas de mayor importancia práctica en muchas partes del mundo. Es consecuencia de la ingestión de cantidades demasiado bajas de cobre o de sustancias que interfieren su utilización, presentes en los pastos, como el molibdeno y los sulfatos (Bondi, 1989; Hafez y Dyer, 1980; McDowell et al., 1982).

2.4.5.2.1 Funciones. El Cu forma parte de diversas enzimas con función oxidasa, y es necesario para la utilización del Fe en la síntesis de hemoglobina, produciéndose la anemia por deficiencia en Cu o en Fe.

La deficiencia de Cobre en los rumiantes se manifiesta con notables trastornos óseos y fracturas espontáneas: (1) despigmentación y marcados cambios en el crecimiento y aspecto físico del pelo; y (2) grave diarrea asociada con atrofia de la mucosa del intestino delgado, que puede determinar un síndrome de mala absorción.

2.4.5.2.2 Utilización. La absorción del cobre y, por consiguiente, las necesidades

en este mineral están notablemente afectadas por los demás componentes de la ración. Las necesidades de cobre en la ración del ganado bovino de carne son de 5 ppm normalmente, y notablemente superiores cuando existen molibdeno y sulfatos.

2.4.5.2.3 Síntomas de Exceso. Al consumir cantidades excesivas de cobre, los rumiantes lo acumulan en gran cantidad en el hígado. Los síntomas de intoxicación se deben a la liberación de grandes cantidades de cobre del hígado a la sangre, produciendo hemólisis considerable.

2.4.5.2.4 Interracción Molibdeno y Cobre. El requerimiento de molibdeno del ganado en pastoreo se estima en 0.1 ppm (partes por millón) o menos, no habiéndose reportado o identificado deficiencias en los rumiantes en pastoreo (McDowell et al., 1993). Por lo tanto, la importancia de considerar al molibdeno en la formulación de suplementos minerales para la región norte de México, se relaciona con su toxicidad (Gartenberg et al., 1989).

Con la excepción del fósforo, una deficiencia de cobre es la limitante más severa, en cuanto a minerales, en el subtrópico (McDowell et al., 1984). Los requerimientos de cobre son poderosamente influenciados por las interacciones con otros minerales, especialmente, molibdeno y azufre, mediante la formación de complejos indispensables (NRC, 1980). En regiones donde las concentraciones de molibdeno se consideren tóxicas (> 3 ppm) y las concentraciones se consideren deficientes (< 5 ppm), se recomienda la administración de suplementos minerales que contengan de 0.1 a 0.2% de sulfato de cobre (0.04 a 0.08% de cobre). De esta manera, se reduce el efecto tóxico del molibdeno, y se aumenta la cantidad de cobre disponible para satisfacer los requerimientos.

2.4.5.3 Cobalto

2.4.5.3.1 Función. La única función fisiológica comprobada del cobalto es su papel como parte integrante de la molécula de la vitamina B₁₂. Es necesario para los microorganismos del rumen para la síntesis de esta vitamina, que a su vez es necesaria

para los tejidos del animal hospedador.

El requerimiento de cobalto por el rumiante es único entre especies animales debido a que este elemento es usado y requerido por los microbios del rumen que lo convierten en vitamina B₁₂ (cianocobalamina) y sus análogos. Sin embargo, el requerimiento del animal huésped es específicamente para vitamina B₁₂ (NRC, 1984). Una deficiencia de cobalto en rumiantes en condiciones de pastoreo, depende de las condiciones geográficas y geológicas y se manifiesta por la apatía, indiferencia y emaciación del ganado en pastoreo. La falta de apetito es, en parte, responsable de una deficiencia de cobalto.

La suplementación de sales mineralizadas son la mejor manera de proveer este elemento.

2.4.5.3.2 Deficiencia. La deficiencia en cobalto se presenta en los rumiantes en pastoreo con diferentes grados de intensidad, y se caracteriza por trastornos no específicos como reducción en la ingestión de alimentos, pérdida de peso, retraso del crecimiento, consunción de los músculos del esqueleto, emaciación, degeneración grasa del hígado, etc. Las manifestaciones clínicas de la deficiencia en cobalto son semejantes a las de la mal nutrición y no son lo suficientemente específicas como para permitir hacer el diagnóstico.

2.4.5.4 Manganeso

2.4.5.4.1 Funciones. El manganeso es difícilmente absorbido por las plantas y animales. Como componente de diversas enzimas, el manganeso realiza funciones bioquímicas específicas en el organismo por ejemplo, interviene en el metabolismo de los carbohidratos y grasas. Es necesario como cofactor de la enzima que cataliza la conversión del ácido mevalónico en escualeno y es necesario para la síntesis del colesterol; protege la integridad de la membrana celular. (Bondi, 1989; Hafez y Dyer, 1980; McDowell et al., 1982; Miller, 1985).

2.4.5.4.2 Deficiencia. Las consecuencias de la deficiencia son deformaciones del esqueleto, retraso del crecimiento, trastornos de la reproducción y anomalías en los recién nacidos. La suplementación de hierro y manganeso es menos importante en regiones tropicales donde la mayoría de los suelos son ácidos (McDowell et al., 1993). Sin embargo, en los suelos alcalinos (pH de 8.1 a 8.9) del Noreste de México (Gartenberg et al., 1989; 1989), la disponibilidad de algunos elementos minerales aumenta. En terrenos alcalinos las concentraciones de calcio son altas y la disponibilidad de fósforo es baja. Algunos elementos esenciales (hierro, manganeso, y zinc) se hacen menos disponibles conforme aumenta el pH del suelo. Por otro lado, la disponibilidad del molibdeno y del selenio aumentan con niveles de pH alcalinos.

2.4.5.5. Zinc.

2.4.5.5.1 Funciones. Es el componente integral de varias enzimas como las lactato, malato y glutamato deshidrogenasas fosfatasa alcalina, carboxipeptidasas A y B y la carbónico anhidrasa. Como componente de las RNA y DNA polimerasas interviene en las síntesis de proteína. (Bondi, 1989; McDowell et al., 1984; Miller, 1985).

2.4.5.5.2 Deficiencia. Las enzimas que contienen zinc participan en procesos primarios del metabolismo proteico y división celular, habiéndose observado las siguientes manifestaciones de la deficiencia de zinc en los animales: retraso del crecimiento, menor consumo de alimentos, mala transformación del pienso, menor rendimiento en la reproducción y anomalías en la piel y pelo. La cicatrización de las heridas se retrasa en los animales deficientes en zinc.

Deficiencias de zinc (bajos niveles en suelo, plantas y animales) han sido reportadas en la mayoría de los países latinoamericanos (McDowell et al., 1984). Los efectos tempranos de una deficiencia de zinc incluyen una reducción en el consumo de alimento, la tasa de crecimiento y la conversión alimenticia.

Signos visuales de una deficiencia severa incluyen, piel seca, escamosa, y partida.

En los casos de una deficiencia marginal de zinc la función reproductiva de animales machos y hembras se ve afectada

2.4.5.6 Iodo

2.4.5.6.1 Función. La única función conocida del iodo es como componente de la hormona tiroxina. Esta hormona es la única que contiene un componente inorgánico. Su función primaria es el control del ritmo de oxidación celular. Las hormonas tiroideas aceleran las reacciones celulares en casi todas las células del organismo, determinando un mayor consumo de oxígeno y un incremento en el ritmo metabólico basal. Si la dieta contiene cantidades insuficientes de iodo, la productividad del animal se ve afectada, manifestándose un aumento de tamaño de la glándula tiroides, conocido con el nombre de bocio. Los ioduros ingeridos con los alimentos se absorben en el aparato digestivo y pasan a la circulación. (Bondi, 1989; McDowell et al., 1984; Miller, 1985).

Mientras que el iodo no tiene ninguna función conocida en las plantas, la habilidad de varios forrajes de obtener iodo varía considerablemente y está aparentemente relacionado con la genética de la planta. La suplementación de iodo es requerida en regiones donde los animales presentan bocio debido a una deficiencia de este elemento. La deficiencia de este elemento es más común en praderas de una sola especie forrajera (McDowell et al., 1993).

2.4.5.7 Selenio

2.4.5.7.1 Funciones. Como elemento esencial guarda relación funcional con la vitamina E, ya que ambos participan en la defensa de la célula contra los daños oxidativos debido a los metabolitos reactivos de los lípidos. Forma parte de la enzima de la sangre glutatión peroxidasa, y es necesario para la integridad y el funcionamiento normal del páncreas. (Bondi, 1989; McDowell et al., 1984; Miller, 1985; Spears, 1994).

2.4.5.7.2 Deficiencia. Los signos de una deficiencia de selenio en rumiantes incluyen una reducción en el crecimiento y distrofia muscular de origen nutricional,

conocida también como enfermedad del músculo blanco en corderos y becerros, y un bajo desempeño reproductivo en animales adultos. La suplementación de cantidades adecuadas de selenio también reduce la incidencia de retenciones de placentarias (McDowell et al., 1984; NRC, 1984). Sin embargo, excesos de selenio en los forrajes e intoxicaciones del ganado en algunas regiones de México (Gartenberg et al., 1989) y Estados Unidos (McDowell et al., 1984), se relacionan con cantidades excesivas de selenio disponible en los suelos de origen calcáreo o alcalinos. Existen varios grados de toxicidad. La toxicidad crónica se caracteriza por los siguientes signos generales: pérdida de apetito, adelgazamiento, torpeza, pelo áspero, pérdida de pelo de la cola, crecimiento alargado de las pezuñas y una muerte eventual. En los casos de toxicidad aguda, los animales sufren de ceguera, dolor abdominal, salivación y algo de parálisis (McDowell et al., 1993; NRC, 1984).

2.4.5.8 Molibdeno. Se ha identificado como componente de las enzimas xantina oxidasa, aldehído oxidasa y sulfito oxidasa. Su toxicidad está relacionada con la deficiencia en cobre, ya que el molibdeno es antagónico con la utilización del cobre. Las manifestaciones más importantes de la intoxicación por molibdeno son diarrea, mal pelo y pérdida de peso (Bondi, 1989; McDowell et al., 1982; Miller, 1985).

2.4.6 Deficiencias y Toxicidades Minerales del Ganado en Pastoreo

La desnutrición es la mayor limitación de la producción ganadera en las explotaciones de pastoreo. Ya hace tiempo que las deficiencias y desequilibrios minerales en el suelo han sido considerados causantes de los problemas de baja producción y reproducción en el ganado (McDowell, 1985).

Deficiencias en desequilibrios de minerales se han reportado de casi todas las

regiones tropicales y subtropicales del mundo (Boyazoglu, 1972; McDowell et al., 1984; 1984; Pfander, 1971). Los suplementos minerales son ofrecidos para corregir las deficiencias de elementos minerales en la dieta del ganado. Los suplementos minerales que se venden comercialmente, por lo general, varían en su contenido de minerales. Sin embargo, muchos de estos, no contienen cantidades significativas en relación a los requerimientos del animal. Más aún, los análisis obtenidos de mezclas minerales colectadas a través de América Latina han demostrado, muy frecuentemente, poca relación entre las cantidades de los elementos que muestra la etiqueta y las concentraciones determinadas en el suplemento (McDowell et al., 1982). Por otro lado, algunos suplementos comerciales que contienen selenio, son distribuidos en regiones donde se han comprobado intoxicaciones por selenio en el ganado.

En la zona aledaña a la ciudad de Saltillo, los macrominerales más deficientes en la dieta del ganado en pastoreo pudieran ser fósforo, y sodio; y en solamente algunas áreas, existe una deficiencia de magnesio y una deficiencia marginal de potasio (Gartenberg et al., 1989). El fósforo y el sodio también fueron los macroelementos de mayor deficiencia en la planicie oriental de Colombia (Lebdoesoekojo et al., 1982) y el trópico de Bolivia (McDowell et al., 1982). Kiatoko et al. (1982), también reportaron deficiencias de magnesio durante las época de sequía. En Florida, E.U.A., el macromineral más deficiente fue el fósforo (Kiatoko et al., 1982). Otros macrominerales deficientes, en solamente algunas áreas y principalmente durante el período de sequía, fueron el magnesio y el potasio. En contraste, un estudio en el trópico de Guatemala (Valdes et al., 1988a) mostró solamente una deficiencia de sodio, y posiblemente de magnesio. Aunque la concentración de fósforo del suelo fue baja, la concentración de fósforo extraíble (disponible para la planta) observada en ese estudio fue alta por lo tanto, la concentración de fósforo del forraje fue adecuada. El pH del suelo de casi neutro a parcialmente ácido, aparentemente aumentó la cantidad de fósforo disponible para los forrajes.

En el estado de Nuevo León, los microminerales de mayor deficiencia en los

forrajes fueron, cobre y zinc, mientras que se observó una menor deficiencia de manganeso y cobalto (Gartenberg et al., 1989). El selenio no se encontraba presente en cantidades tóxicas. Sin embargo, las concentraciones de molibdeno en el forraje fueron suficientemente altas para considerarlas potencialmente tóxicas. En Zacatecas, los microminerales más deficientes en la dieta del ganado fueron, cobre, zinc, y manganeso (Gartenberg et al., 1989). Las concentraciones de selenio en muestras de forraje de Zacatecas fueron suficientemente altas para considerarlas tóxicas, mientras las concentraciones de molibdeno fueron solamente ligeramente altas. En Coahuila, el cobre y el zinc fueron los microminerales más deficientes en la dieta del ganado (Gartenberg et al., 1989).

Las concentraciones de cobalto, manganeso, hierro, y selenio, en Nuevo León, fueron normales. Sin embargo, los niveles de molibdeno en los forrajes fueron los más elevados de todos los microelementos, y se pueden considerar tóxicos. Deficiencias de microminerales en otras regiones de América fueron: Guatemala, cobre y zinc (Valdes et al., 1988); Colombia, cobre (Lebdoesoekojo et al., 1982); Bolivia, cobre y Colombia, cobre (Lebdoesoekojo et al., 1982); Bolivia, cobre y zinc (McDowell et al., 1982); y Florida (E.U.A.), cobre, zinc, cobalto y selenio (McDowell et al., 1982). Exceso de molibdeno en los forrajes también fue detectado en la región tropical de Guatemala (Valdes et al., 1988).

En un muestreo llevado a cabo para determinar el perfil mineral de suelo, forraje, y tejidos del ganado en los agostaderos de la región norte del estado de Coahuila por Pérez (1993). Los suelos muestreados eran calcáreos. El pH de las muestras de suelo varió entre 8.8 y 9.8. Conforme aumenta el pH del suelo, disminuye la disponibilidad y absorción de Fe, Mn, Zn, Cu, y Co por las plantas.

Las concentraciones de macrominerales y minerales traza obtenidas en tejidos vegetales fueron inferiores a los "niveles críticos" de deficiencia. Los "niveles críticos" en forrajes, son las concentraciones de elementos inferiores a los requerimientos mínimos

(NRC, 1984) y superiores a los niveles tolerables (NRC, 1980). También, los "niveles críticos" en tejidos de animales son aquellos valores inferiores o superiores, que están asociados con signos clínicos específicos (McDowell et al., 1993). Los niveles críticos de deficiencia en forrajes para macrominerales(%) son: Ca, 0.30; P, 0.25; Mg, 0.2; K, 0.7; y Na, 0.08, mientras que para minerales traza(ppm) son: Fe, 50; Cu, 10; Zn, 30; y Mn, 40. .

2.4.7. Suplementación en Relación con Deficiencias y Toxicidades

Los suplementos minerales son ofrecidos para corregir las deficiencias de elementos minerales en la dieta del ganado. La utilización de suplementos minerales específicos que consideren las concentraciones de los macrominerales y los minerales traza en los suelos y forrajes de las diferentes zonas ecológico-geográficas del país, es indispensable para maximizar la producción del ganado en pastoreo. En estos suplementos se debe considerar la relación calcio:fósforo, las interacciones entre elementos minerales, y la presencia de cantidades tóxicas de algunos minerales. También se debe considerar el consumo del suplemento mineral que debe variar, por lo general, entre 50 y 150 gramos por día.

Las TABLAS 7, 8, 9 y 10 enuncian los rangos de concentración y nivel crítico minerales, para el suelo, forraje y los bovinos, respectivamente. Entre los factores que influyen los requerimientos minerales de los animales encontramos: edad, raza, nivel de producción, consumo de minerales, cantidad y forma química de los elementos y sus relaciones con los demás nutrientes (NRC, 1984).

Las prácticas mejoradas de manejo conducen a incrementos en el nivel productivo de los animales, sea cual fuere su objetivo de producción, pero esto a su vez, realza la importancia de vigilar la eficiencia de la nutrición mineral.

De esta manera, se entiende que al aumentar la producción, las deficiencias minerales probablemente expresadas marginalmente hasta el momento, se vuelvan críticas

TABLA 7**Niveles críticos de elementos minerales en el suelo**

Mineral	Unidades	Rango de Concentración en Suelo	Desviación Estándar	Nivel Crítico
Calcio	ppm	403.5	154.6	71
Fósforo	ppm	76.2	26.7	5.0
Potasio	ppm	76.3	82.6	30
Sodio	ppm	16.3	6.1	NR
Magnesio	ppm	70.5	9.8	9.1
Cobre	ppm	0.63	0.55	1.0
Hierro	ppm	16.3	4.4	4.5
Manganeso	ppm	3.3	0.82	5.0
Zinc	ppm	1.4	1.34	NR
Materia Orgánica%		1.6	0.34	NR
pH		6.3		0.35

Fuente: McDowell, L. R. (1983)

TABLA 8**Niveles críticos de minerales en los forrajes**

Mineral	Unidades	Rango de Concentración (Desviación Estándar)	Nivel Crítico
Calcio	%	0.30 + 0.14	0.3
Fósforo	%	0.22 + 0.05	0.25
Magnesio	%	0.22 + 0.06	0.20
Potasio	%	1.43 + 0.27	0.60
Sodio	%	0.09 + 0.04	0.06
Cobalto	ppm	0.12 + 0.04	0.10
Cobre	ppm	15.1 + 13.3	10
Hierro	ppm	29.2 + 12.9	30
Manganeso	ppm	66.3 + 25.1	30
Molibdeno	ppm	0.20 + 0.02	6
Selenio	ppm	0.04 + 0.02	0.1
Zinc	ppm	18.7 + 6.4	30

Fuente: McDowell y Conrad (1977).

TABLA 9**Requerimientos minerales del ganado de carne***

Mineral	Vacas secas o preñadas	Vacas Lactantes
Macrominerales	(%)	(%)
Calcio	0.18	0.25 - 0.44
Fósforo	0.18	0.25 - 0.39
Sodio	0.06 - 0.10	0.06 - 0.10
Magnesio	0.05 - 0.10	0.18
Potasio	0.6 - 0.8	0.6 - 0.8
Azufre	0.1 - 0.2	0.1 - 0.2
Microminerales	ppm	ppm
Hierro	50 50	
Manganeso	40 40	
Cobre	8 - 10	8 - 10
Zinc	30 - 40	30 - 40
Cobalto	0.10	0.10
Iodo	0.5 - 0.8	0.5 - 0.8
Selenio	0.10	0.10

*Valores expresados en base a materia seca.

Fuente: McDowell y Conrad (1977).

TABLA 10**Niveles críticos de mienrales en el suero sanguíneo**

Mineral	Unidades	Rango concentración			Nivel Cítrico
		Desviación Standar			
Calcio	mg/100 ml	10.4	+	2.6	8
Fósforo	mg/100 ml	5.2	+	1.8	4.5
Magnesio	mg/100 ml	2.4	+	0.32	2
Cobre	µg/ml	0.90	+	0.02	0.65
Selenio	µg/ml	0.006	+	0.003	0.03
Zinc	µg/ml	0.84	+	0.03	0.8

Fuente:McDowell y Conrad (1977).

y sus síntomas pueden manifestarse.

La importancia de la inclusión de suplementos minerales que logren satisfacer las deficiencias o excesos manifiestos en los sistemas de producción se ha discutido ampliamente. En la TABLA 11 se propone las características deseadas para los suplementos mineral para rumiantes, consumidos *ad libitum*.

Para el diseño de suplementos minerales, es necesario tener aproximaciones de los requerimientos de los animales señalados para los nutrientes esenciales, esto incluye edad de los animales, estado actual del ciclo productivo o reproductivo y propósito deseado por el cual el animal es alimentado ya sea por corto o largo tiempo, y la disponibilidad biológica relativa de las fuentes de minerales a utilizar en la suplementación (TABLA 12). Además, es importante considerar la ingestión diaria aproximada por animal por día de la mezcla mineral y del total de materia seca que los animales van a consumir; y la concentración de los nutrientes esenciales en la mezcla mineral.

Las diferencias importantes en el metabolismo de los mineral pueden ser atribuidas a la raza y la adaptación, aunque también participan activamente el contenido de proteína de las plantas y su grado de lignificación. Estos factores pueden considerarse limitantes del consumo de forrajes, el cual es esencial para los rumiantes en pastoreo para satisfacer sus requerimientos minerales.

Muchos reportes de las regiones tropicales del mundo que datan de inicio del siglo han revelado los efectos benéficos de la suplementación de P sobre la producción y la reproducción. El incremento en la eficiencia reproductiva, debido a la suplementación mineral en 18 localidades en Latinoamérica, África y Asia, indican una mejora promedio de hasta un 51% en los índices de parición para los animales que recibieron sal solamente versus un 73% para aquellos que recibían suplemento mineral.

Aun cuando el ganado en pastoreo no satisface sus necesidades minerales al consumir un suplemento ofrecido *ad libitum*, usualmente no hay otra forma práctica de suplir las necesidades de minerales. La sal común (NaCl), debido a su palatabilidad, es un

TABLA 11

Características de un buen suplemento mineral para suministrar a libre acceso en el ganado

-
1. Mezcla final debe poseer como mínimo 6-8% de fósforo, en áreas donde los forrajes son consistentemente más bajas que 0.20%, suplementos minerales que contenga del 8-10% de fósforo son preferidos.
 2. Relación Ca:P, no substancialmente mayor que 2:1.
 3. Proveer una proporción significativa (v. gr. 50%) de los requerimientos de minerales trazas de Co, Cu, I, Mn y Zn. En conocidas regiones deficientes en minerales trazas, 100% de los específicos minerales trazas deben ser proveídas.
 4. Suministrar alta calidad de sales minerales y proporcionar las formas con mayor disponibilidad biológica de cada elemento mineral. Evitar la adición de sales minerales que contengan elementos tóxicos (v. gr. fosfatos en concentraciones altas en Flúor).
 5. Formulando para ser suficientemente gustoso y que permita adecuado consumo en relación a los requerimientos.
 6. Sostenidos por un fabricante con reputación con control de calidad y garantía en la exactitud minerales en la etiqueta.
 7. Adecuado tamaño de partícula, el cual permite adecuadas propiedades en la mezcla, con baja calidad de partículas sedimentadas después de la elaboración de la mezcla.
-

Fuente: L.R. McDowell (1983).

TABLA 12

Porcentaje y disponibilidad biológica de elementos minerales en compuestos comúnmente usados en suplementos minerales

Elemento	Compuesto base	% de elemento en compuesto	Disponibilidad biológica
Calcio	harina de hueso cocida	23-37	alta
	fosfato dicálcico	23.3	alta
	carbonato de calcio	40.0	intermedia
	piedra caliza molida	38.5	intermedia
Cobalto	sulfato de cobalto	21.0	prueba critica no hecha sino
Cobre	sulfato cúprico	25.0	alta
Iodo	yodato de calcio	63.5	disponible pero inestable
Hierro	sulfato ferroso	20 - 30	alta
Magnesio	óxido de magnesio	21 - 28	alta
	sulfato de magnesio	9.8 - 17	alta
Manganeso	sulfato de manganeso	27.0	alta
Fósforo	fosfato cálcico	18.6 -21	alta
	fosfato dicálcico	18.5	intermedia
	fosfato de sodio	21 - 25	alta
	harina de hueso cocida	8 - 18	alta
Potasio	cloruro de potasio	50.0	alta
Selenio	selenato de sodio	40.0	alta
	selenito de sodio	45.6	alta
Azufre	sulfato de potasio	28.0	alta
	sulfato de sodio	10.0	intermedia
	flores de azufre	96.0	baja
Zinc	sulfato de zinc	22 - 36	alta

Fuente: L.R. McDowell (1983).

valioso "vehículo" para suministrar otros minerales. Si las mezclas contienen entre 20 a 40% de sal común, generalmente se consumen cantidades suficientes para suplir las necesidades suplementarias de otros minerales. A manera de un seguro de bajo costo, los suplementos minerales completos deben estar disponibles a libre acceso al ganado en pastoreo.

Una mezcla mineral completa usualmente incluye sal común, una fuente de P de bajo contenido de F, Ca, Co, Cu, Mn I, Fe y Zn. En las regiones tropicales con suelos ácidos, el Mn y el Fe pueden ser eliminados de la mezcla mineral completa, a menos que el Fe ayude a aliviar los efectos del parasitismo. El Se es importante, especialmente en regiones tropicales, sin embargo, en algunas regiones con suelos calcáreos, las concentraciones de Se en los forrajes pueden ser superiores al NC_t.

El Ca, Cu y Se en exceso pueden ser mas dañinos que beneficiosos a la producción de rumiantes. Donde predomina el alto contenido de Mo en el forraje, se necesita 3 a 5 veces el contenido de Cu en las mezclas minerales para contrarrestar la toxicidad de Mo.

2.5 La Espectrofotometría de Absorción Atómica

La ciencia de espectrofotometría de absorción atómica ha producido tres técnicas de uso analítico: la emisión, la absorción y la fluorescencia. La espectrofotometría de absorción atómica es una técnica alternativa actualmente muy utilizada para la determinación de la concentración de minerales en diferentes tipos de tejido, debido a la facilidad de su uso, precisión y simplificación de marchas (Ammerman, 1983).

El átomo esta constituido por un núcleo rodeado por electrones. Cada elemento tiene un número específico de electrones que está directamente relacionada con el núcleo

atómico y que conjuntamente con él, da una estructura orbital, que es única para cada elemento. Los electrones ocupan posiciones orbitales en una forma predecible y ordenada. La configuración más estable y de más bajo contenido energético, es conocida como "estado fundamental" y es la configuración orbital normal para el átomo.

Si a un átomo se le aplica energía de una magnitud apropiada, ésta será absorbida por él, induciendo a que el electrón exterior sea promovido a un orbital menos estable o "estado excitado". Como este estado es inestable, el átomo inmediatamente y espontáneamente retornará a su configuración fundamental. El electrón por lo tanto retornará a su orbital inicial estable y emitirá energía radiante equivalente a la cantidad de energía inicialmente absorbida en el proceso de excitación (Perkin Elmer, 1980).

La longitud de onda de la energía radiante emitida está directamente relacionada a la transición electrónica que se ha producido, puesto que el elemento dado tiene una estructura electrónica única que lo caracteriza; la longitud de onda de la luz emitida es una propiedad específica y característica de cada elemento.

La espectrofotometría de absorción atómica es actualmente muy utilizada para la determinación de la concentración de minerales en diferentes tipos de tejido, debido a la facilidad de su uso, precisión y simplificación de marchas (Ammerman, 1983).

CAPITULO 3

MATERIALES Y METODOLOGIA

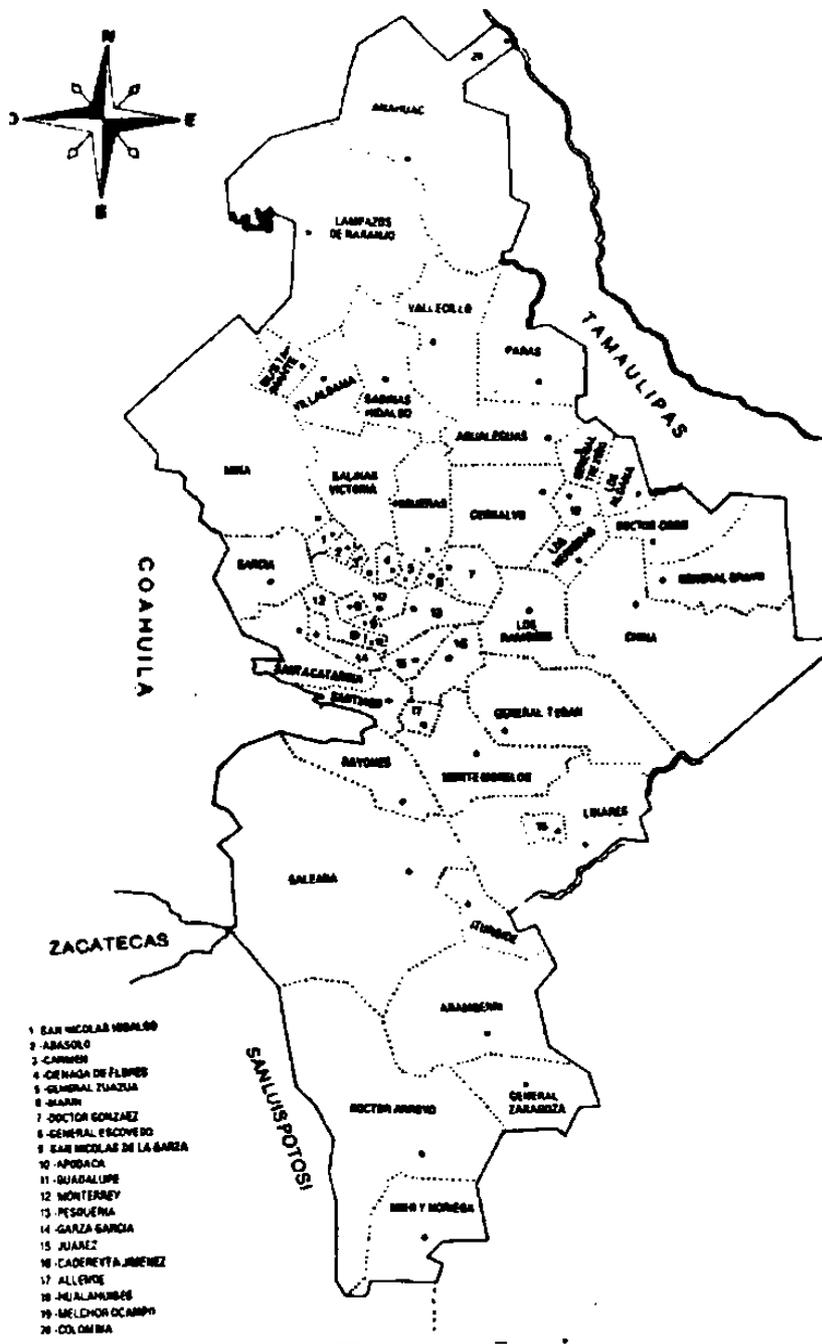
3.1 Generalidades

En la elaboración de esta investigación se obtuvieron muestras de 24 ranchos ganaderos en el estado de Nuevo León. En estos ranchos, el ganado no recibía suplementación mineral. En los ranchos en los que se obtuvieron muestras para este trabajo, se ubican en once municipios del estado de Nuevo León.

Los municipios considerados para este estudio fueron agrupados de acuerdo a su ubicación geográfica y al grado de similitud climatológica, dividiendo el estado en tres regiones (Figura 2): (1) Norte (Lampazos, Anáhuac, Sabinas y Vallecillo); (2) Centro (Apodaca, China, Pesquería y Bravo); (3) Sur: Montemorelos, Allende y Galeana.

El muestreo se efectuó en el año de 1992, durante dos épocas del año, la Húmeda (septiembre a noviembre) y la Seca (febrero a abril). Un total de 220 muestras de suelo, 680 de forraje y 220 de suero sanguíneo, se obtuvieron para análisis.

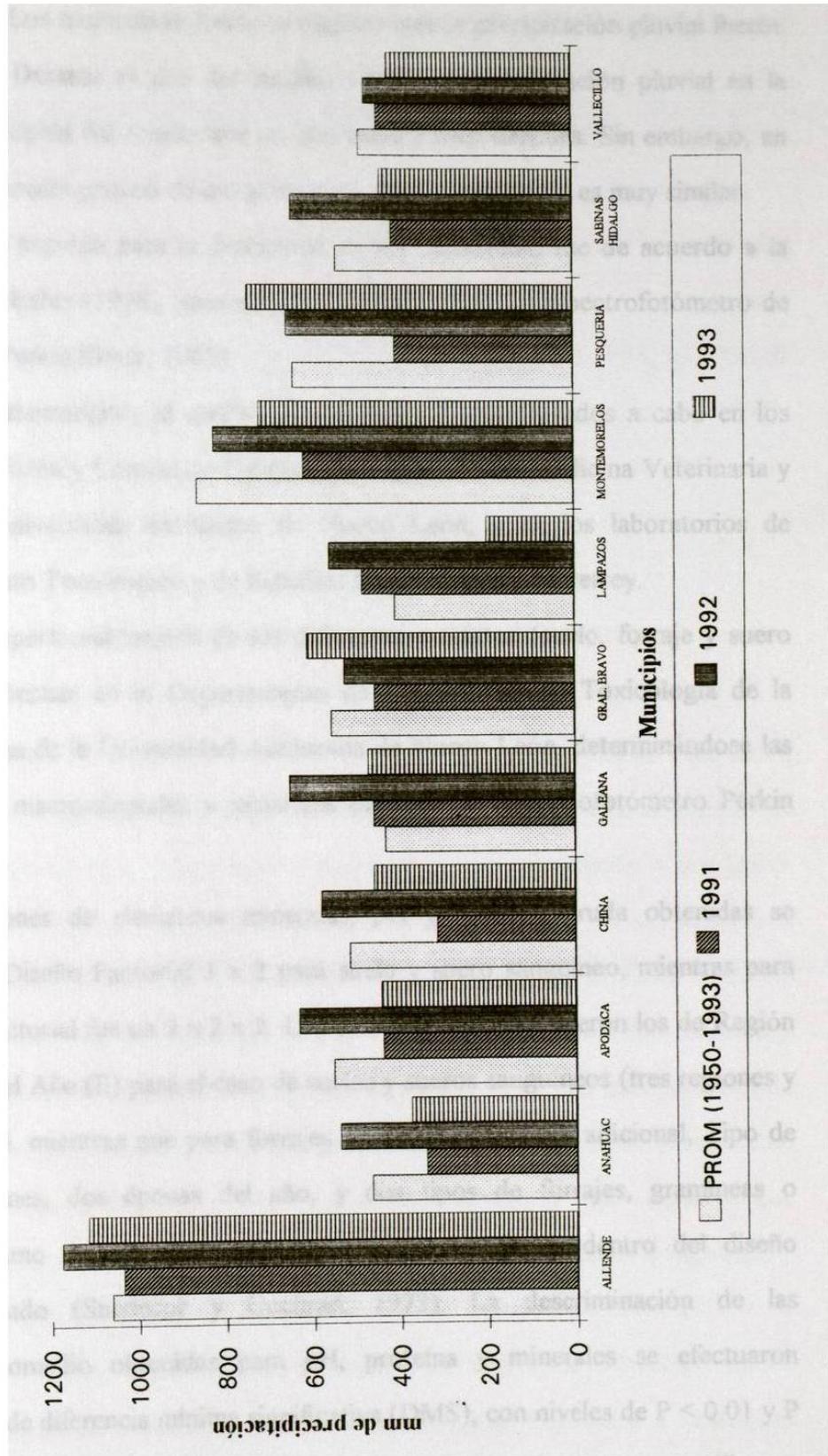
En cada rancho se colectaron cinco muestras de suelo y suero sanguíneo, respectivamente. En el caso de los forrajes, se obtuvieron muestras de las especies de zacates que más consume el ganado en los agostaderos, obteniéndose 5 muestras para posteriormente mezclarlas en proporciones iguales (muestra compuesta). Además, se obtuvo información sobre la precipitación pluvial (promedio anual) de cada municipio (Figura 3), un año antes, el año del estudio, y un año después, además del promedio de



- 1 - SAN NICOLÁS VIBALDO
- 2 - ABASOLO
- 3 - CARMEN
- 4 - CENAGA DE FILIBES
- 5 - GENERAL ZARAZA
- 6 - SAN JUAN
- 7 - DOCTOR GONZALEZ
- 8 - GENERAL ESCOBEDO
- 9 - SAN NICOLÁS DE LA BARRA
- 10 - APISACA
- 11 - GUADALUPE
- 12 - MONTERREY
- 13 - PESQUERA
- 14 - GARZA GARCIA
- 15 - JUÁREZ
- 16 - CADREYTA JIMENEZ
- 17 - ALLENDE
- 18 - MUALAHUNDÉS
- 19 - MELCHOR OCAMPO
- 20 - COLIMBA

Figura 2. División Política del estado de Nuevo León

Figura 3. Comparación de la distribución anual promedio de las precipitaciones, en los municipios del estado de Nuevo León, muestreados en este estudio



los últimos 43 años. Los municipios donde se registró menos precipitación pluvial fueron de la región norte. Durante el año del estudio (1992), la precipitación pluvial en la mayoría de los municipios fue mayor que un año antes y otro después. Sin embargo, en comparación con la media general de los últimos 43 años, el promedio es muy similar.

El procedimiento seguido para la extracción de los elementos, fue de acuerdo a la técnica descrita por Bahía (1978), para su posterior lectura en un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer, 1980).

Los análisis de laboratorio y el análisis de los datos fueron llevados a cabo en los laboratorios de Nutrición y Control de Calidad, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Autónoma de Nuevo León, y en los laboratorios de Zootecnia del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Las lecturas de espectrofotometría de los diferentes extractos (suelo, forraje y suero sanguíneo) fueron hechas en el Departamento de Farmacología y Toxicología de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Nuevo León, determinándose las concentraciones de macrominerales y minerales traza en un espectrofotómetro Perkin Elmer.

Las concentraciones de elementos minerales, pH y proteína cruda obtenidas se analizaron bajo un Diseño Factorial 3 x 2 para suelo y suero sanguíneo, mientras para forraje el Diseño Factorial fue un 3 x 2 x 2. Los efectos estudiados fueron los de Región (R) y el de Época del Año (E) para el caso de suelos y sueros sanguíneos (tres regiones y dos épocas del año), mientras que para forrajes se estudio un factor adicional, Tipo de Forraje (tres regiones, dos épocas del año, y dos tipos de forrajes, gramíneas o arbustivas). Cada uno de los efectos fue considerado un factor dentro del diseño experimental utilizado (Snedecor y Cochran, 1973). La discriminación de las concentraciones promedio obtenidas para pH, proteína y minerales se efectuaron mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS), con niveles de $P < 0.01$ y $P < 0.05$. Como apoyo a la realización de los análisis estadísticos requeridos se utilizaron

los paquetes estadísticos Stat View Graphic- 512 + TM y SPSS TM. Se realizaron estudios de correlación entre los constituyentes de cada tipo de muestras (suelo, forraje y suero sanguíneo), con la finalidad de establecer los grados de asociación entre las variables en estudio.

Las concentraciones promedio obtenidas fueron además comparadas con las indicadas como **Niveles Críticos (NC)**, entendiéndose por este concepto, aquellas concentraciones de elementos minerales inferiores a los requerimientos mínimos (NRC, 1984; McDowell et al., 1993) y superiores a los niveles tolerables (NRC, 1980; McDowell et al., 1993), para finalmente establecer el número de muestras menores al nivel crítico de deficiencia (NC_d) o mayores al nivel crítico de tolerancia (NC_t).

3.2 Muestreo y Análisis del Suelo, Forraje y Suero Sanguíneo.

3.2.1 Suelo

3.2.1.1 Obtención de Muestras de Suelo. La falta de precisión en los resultados de los análisis de suelo, se debe a errores en la obtención de muestras en el campo. El procedimiento seguido en este trabajo estuvo de acuerdo a lo recomendado por Bahía (1978). La obtención de muestras de suelo fue totalmente al azar en los agostaderos o potreros de los ranchos. En cada rancho se obtuvieron cinco muestras de 500 g de suelo, a una profundidad de aproximadamente de 10 a 20 cm (dependiendo del tipo de suelo y hábito de crecimiento de las especie(s) forrajera(s) del lugar), con una pala tipo espada de acero inoxidable. Las muestras fueron guardadas en bolsas de plástico previamente identificadas de acuerdo al número de muestra de cada rancho y a la región al que correspondía la ubicación del rancho. Las muestras fueron posteriormente congeladas y analizadas en el laboratorio.

3.2.1.2 Extracción de Minerales de Muestras de Suelo. La extracción de los elementos fue efectuada de acuerdo a la técnica descrita por Volkweiss y Rodríguez

(1978). Para la determinación de calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn) y selenio (Se) se puso en práctica el siguiente procedimiento:

1. Secada del suelo al sol.
2. Cribada en tamiz del No. 10.
3. Pesado de la muestra (5 g de suelo seco y cribado).
4. Adición de 20 ml de solución doble ácido (H_2SO_4 0.025N + HCl 0.05N).
5. Agitación por 5 minutos.
6. Filtración rápida con Whatman No. 40.
7. Almacenamiento de la muestra preparada en un congelador a $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

✓ **3.2.1.4 Determinación de pH y la Concentración de Minerales en muestras de Suelo.** Las concentraciones de macrominerales y minerales traza fueron determinadas mediante la lectura en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer. El pH del suelo se determinó mediante el un método sugerido por Volkweiss y Rodríguez (1978). El método sugiere el uso de un vaso de precipitados de 50 ml, donde se colocan 10 g de suelo. Posteriormente se agregan 10 ml de agua destilada y la mezcla formada se deja reposar por un período 30 minutos. Después del filtrado, el pH del suelo obtenido se determina con un potenciómetro.

3.2.2 Forraje

3.2.2.1 Obtención de Muestras de Forraje. Para la selección de las Gramíneas o Arbustivas que deberían ser muestreadas, un día antes de efectuar el muestreo, se observó al ganado y se identificó las plantas que éste más consumía en los agostaderos. Se tomaron 5 muestras de cada especie de Gramíneas y/o Arbustivas (posteriormente se mezclaron en proporciones iguales para integrar una muestra compuesta), lo anterior de

acuerdo a los procedimientos descritos por Fick et al., (1979). Después de la identificación de las plantas en los agostaderos, 400 g de forraje fueron obtenidos cortando con unas tijeras de acero inoxidable y puestas en bolsas de plástico, identificándose de acuerdo al municipio y a la especie a la que pertenecía. Las muestras fueron congeladas a -25 °C, para la determinación posterior de análisis en el laboratorio.

3.2.2.2. Dilución de los elementos minerales.

1. Descongelar las muestras de forraje.
2. Introducir las en un horno de aire forzado para su secado a una temperatura de 50 °C.
3. Secado de las plantas por un tiempo aproximado de 16 horas, debiendo estar en bolsas de papel.
4. Permitir que las muestras entren en equilibrio con la humedad ambiental durante 48 horas.
5. Molido de muestras en un molino Wiley a través de una criba de 4 mm y luego se a criba través de una malla de 1 mm, las cribas deben necesariamente ser de acero inoxidable.
6. El material molido se guardó en bolsas de plástico perfectamente selladas, para después proceder hacer la dilución de los minerales.
7. Para la incineración y dilución se hace el siguiente procedimiento:
 - a. Tomar los crisoles y secarlos en estufa bacteriológica a 100° C por dos horas. retirar los y enfriarlos en desecador por dos horas.
 - b. Pesar los crisoles en balanza analítica.
 - c. Pesar 5 g de muestra de forraje secado al aire, sin retirar el crisol de la balanza.
 - d. Hacer duplicado de cada muestra.

- e. Pesar el crisol más la alícuota (muestra de 5 gr.), y colocarlos a 100° C por toda la noche o 16 horas. Retirar de la estufa y enfriar en desecador durante dos horas.
- f. Pesar el crisol más materia seca y meterlo a la mufla a 200° C y luego elevar la temperatura a intervalos de 100° hasta alcanzar los 500° C.
- g. Manener esta temperatura por lo menos durante 8 horas.
- h. Retirar los crisoles después de que se hayan enfriado parcialmente y ponerlos en desecador por dos horas hasta que se enfrien.
- i. Pesar los crisoles con cenizas.
- j. Poner los crisoles en una plancha caliente para hidrólisis ácida.
- k. Humedecer las cenizas con una gotas de agua deionizada.
- l. Agregar aproximadamente 5 ml de HNO₃ al 50%.
- m. Evaporar la solución de HNO₃ hasta la mitad del volúmen.
- n. Agregar HNO₃ al 10% hasta 2/3 partes del volúmen del crisol, enjuagando las paredes del crisol con esta adición.
- o. Evaporar la solución hasta 10 ml. y no permitir que se seque.
- p. Agregar agua desionizada hasta 2/3 partes del crisol.
- q. Evaporar la solución hasta cerca de 5 ml.
- r. Remover el crisol de la plancha caliente.
- s. Enjuague el embudo que contiene el papel filtro con HNO₃ al 10% en un vaso.
- t. Colocar el embudo en el cuello de un frasco volumétrico de 50 ml. teniendo cuidado de permitir que el aire salga en el momento de vertir el líquido.
- u. Limpiar las paredes del crisol con la ayuda de una paleta.
- v. Agregar 5 ml. de agua deionizada y repetir la transferencia.
- w. Enjuagar el crisol, papel filtro y paleta con dos porciones de 3 ml. de agua deionizada, dejar escurrir el papel filtro entre cada lavado.
- x. Retirar el papel filtro y enjuagar el embudo y la punta cuando se retira.

- y. Ajustar el volumen a 50 ml mediante el lavado del cuello del frasco volumétrico.
- z. Mezclar invirtiendo el frasco por lo menos 8 veces, y transferir a frascos de almacenamiento (polietileno), para su posterior lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.

3.2.2.3 Proteína cruda. Esta determinación se basa en el hecho de que la mayoría del material nitrogenado presente en los ingredientes son proteínas, y que éstas poseen en promedio 16% de nitrógeno. El procedimiento seguido fué:

1. Pesar de 1-5g de la muestra preparada en un pedazo de papel filtro libre de nitrógeno.
2. Determinación de la cantidad de N amoniacal presente en la muestra, de acuerdo con el siguiente procedimiento:
 - a) Digestión en ácido sulfúrico concentrado en presencia de sulfato de sodio o potasio, además de un catalizador para convertir el nitrógeno amoniacal en sulfato de amonio, $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$.
 - b) Transformación del N amoniacal en Hidróxido de Amonio, mediante la adición de Hidróxido de Sodio concentrado en exceso, hasta lograr que la solución sea muy alcalina.
 - c) Adición de agua y destilado del amonio, en una cantidad conocida de una solución ácida y determinando, por titulación con una solución alcalina estándar, la cantidad de ácido neutralizado por el amonio formado por el nitrógeno presente en el ingrediente. Con esto, la cantidad de nitrógeno fue calculada.
3. Cálculo de la cantidad de proteína en la muestra, multiplicando la cantidad de nitrógeno por 6.25 (considerando que si 16% de nitrógeno está presente en una proteína, 6.25 veces la cantidad de nitrógeno presente en la muestra igualaría la cantidad total o el 100% de proteína en la muestra).

3.2.3 Sangre

3.2.3.1 Recolección y procesado de la sangre. Se obtuvieron cinco muestras de sangre de 10 ml cada una de animales adultos elegidos completamente al azar. Toda la metodología, tanto de muestreo como de procesado se efectuó de acuerdo a lo descrito por Fick et al., (1979).

3.2.3.2 Toma de muestras. El método que se usó para obtener la sangre fue el de punción de la vena coccígea, en la base de la cola, con la ayuda de jeringas desechables. La sangre extraída se transfirió a tubos de ensayo, cuidando evitar la hemólisis de las muestras. Los tubos de ensayo se colocaron en una inclinación de 45°, con el propósito de que se formara el coágulo en el fondo del tubo, separándose el suero en la parte superior.

3.2.3.3 Procesado de la sangre. Una solución libre de proteínas fue utilizada para el análisis de fósforo y macrominerales. El suero sobrante se utilizó para el análisis de microminerales. El procedimiento que se empleó para la precipitación de las proteínas (desproteinización) fue el siguiente:

1. Dispensar 9 ml. de ácido tricloroacético (TCA) al 10% en un tubo de ensayo marcado.
2. Pipetar 1 ml de suero y añadir a los 9 ml de TCA (La muestra de suero debe mezclarse inmediatamente antes de tomar la muestra de un ml).
3. Mezclar (tapado) por un minuto en un agitador “vortex”.
4. Dejar en reposo por lo menos 10 minutos y después centrifugarlo por 10 minutos a 2500 rpm.
5. Decantar el sobrenadante si se desea guardar por un período prolongado de tiempo.

El sobrenadante representa una dilución de 1:10 de la muestra de suero. Los estándares se deben diluir con TCA en la misma manera. Posteriormente esta dilución se lee con ayuda de un espectrofotómetro de absorción atómica (según técnica de Fick et al., 1979), y de un espectrofotómetro fotocolorímetro para la determinación de fósforo únicamente, de acuerdo a la técnica propuesta por Fiske (1925), y la modificada por Fick et al. (1979).

CAPITULO 4

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Suelos

4.1.1 pH en Suelo

El comportamiento del pH en suelos, por Región y Época, se ilustra en la Figura 4. Cuando el pH se ubica en valores superiores a 7.5, la constitución química de varios minerales del suelo llega a cambiar, alterando la disponibilidad de estos para las plantas. Los valores de pH mas elevados encontrados en este estudio fueron los de la Región Norte (8.0), donde predominan los suelos áridos y semiáridos, mismos que son ricos en Na (90 ppm) y Ca (5710 ppm). En el rango de pH obtenido (7.3 a 8.0), es de esperarse que el Al no sea causante de una reducción en la disponibilidad de P para la planta. Cuando el pH es mayor a 7.0, se observa una tendencia en la acumulación de Ca en suelo. Los excesos de Ca pueden formar compuestos insolubles tales como los fosfatos de Ca, lo que genera una inmovilización del P nativo del suelo como de todo aquel que se llegara a aplicar, bloqueándose la absorción y utilización del P (Gartenberg et al., 1989).

4.1.2 Macrominerales

4.1.2.1 Región. Las concentraciones de macrominerales obtenidas para las tres regiones del estado de Nuevo León se muestran en la TABLA 13. Los valores de Ca se ubicaron en un rango de 5710 a 11126 ppm, presentándose el mayor valor en la Región Norte, donde se tienen también las máximas concentraciones de Na y K (90 y 122 respectivamente). La Región Norte del estado de Nuevo León se caracteriza por tener suelos calcáreos, en los que la concentración de carbonatos de Ca en suelo alcanza valores hasta de un 10 al 20% (Velasco, 1992).

Tabla 13

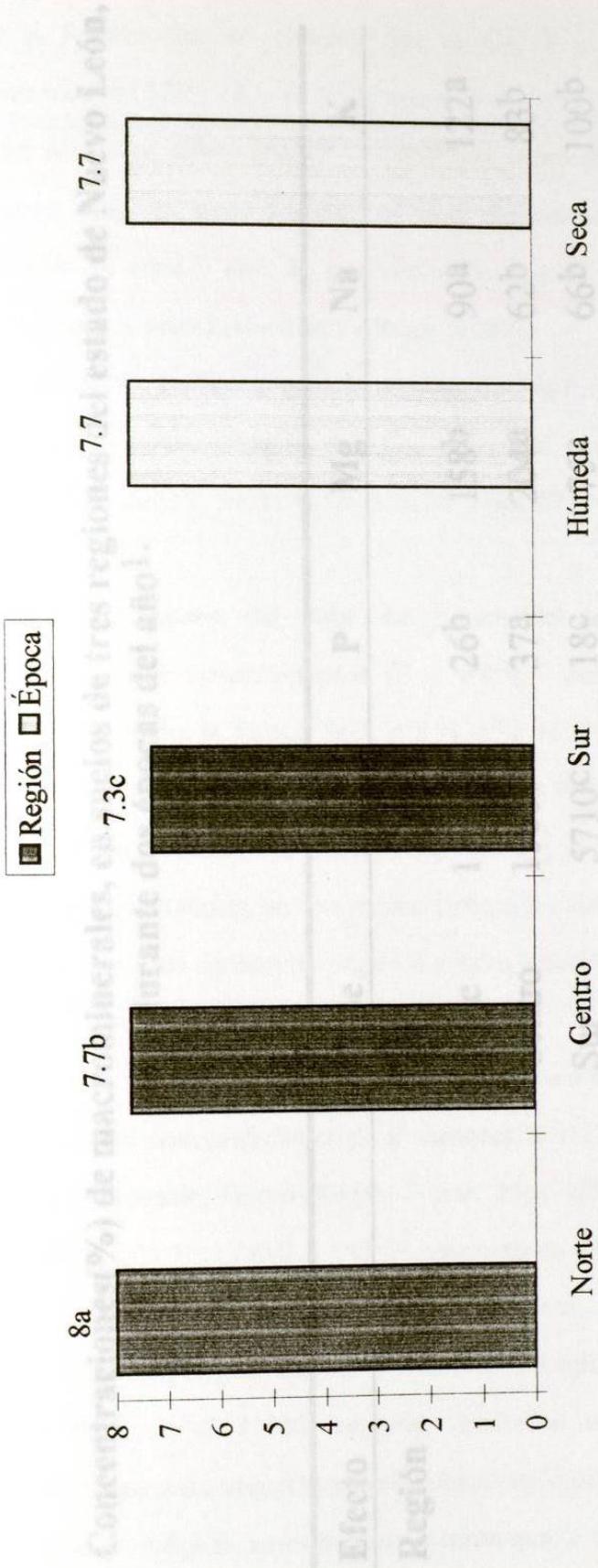


Figura 4. Valores promedio de pH de los suelos de las regiones Norte, Centro y Sur del estado de Nuevo León, así como su comportamiento durante las épocas Húmeda y Seca. a,b,cValores promedio en columnas con letras superíndices diferentes, difieren entre sí (P<0.05).

a,b,cValores promedio en columnas con letras superíndices diferentes, difieren entre sí (P<0.05). Viets y Lindsay (1973) y Rhue y Kidder (1983) reportaron los niveles críticos en suelo de Ca (71 ppm), P (15 ppm), Mg (9.1 ppm), K (60 ppm).

TABLA 13

Concentraciones(%) de macrominerales, en suelos de tres regiones del estado de Nuevo León, durante dos épocas del año¹.

Efecto	Clase	Ca	P	Mg	Na	K
Región	Norte	11126b	26b	158b	90a	122a
	Centro	15667a	37a	204a	62b	83b
	Sur	5710c	18c	75c	66b	100b
Época	Húmeda	13674a	29	158	78	112a
	Seca	8927b	26	147	69	92b

a,b,cValores promedio en columnas con letras superíndices diferentes, difieren entre si (P< 0.05).
¹Viets y Lindsay (1973) y Rhue y Kidder (1983) reportaron los niveles críticos en suelo de Ca (71 ppm), P (15 ppm), Mg (9.1 ppm), K (60 ppm).

En la Región Sur se observa que el Ca, P y Mg presentaron las menores concentraciones (5710, 18 y 75 ppm, respectivamente), y en esta misma Región, el Na y el K no presentan diferencias ($P > 0.05$) con respecto a la Región Centro. En estos municipios, el tipo de suelo que predomina es el arcilloso, que se caracteriza por el lento movimiento de agua y aire, lo que afecta de manera importante la disponibilidad de nutrientes para la planta (Buckman y Brady, 1982).

Se observa una tendencia entre la relación Ca:Mg:P, donde se detecta claramente que a mayores concentraciones de Ca, mayores concentraciones de Mg y P (Centro:15667:204:37; Norte:11126:158:26; y Sur 5710:75:18).

4.1.2.2 Época del Año. La Época del año tuvo un efecto sobre las concentraciones de macrominerales ($P < 0.05$), siendo mayores durante la Época Húmeda que durante la Época Seca (Ca, 13674 vs. 8927 ppm; Na, 112 vs. 92 ppm). Estos resultados son similares a los reportados por Prabowo et al. (1991) en Indonesia, para las épocas Húmeda y Seca (Ca, 1058 y 656 ppm; Na, 45 y 28 ppm, respectivamente). Además, en este mismo trabajo los autores observaron diferencias ($P < 0.01$) en el contenido de materia orgánica y sales solubles en suelo, que fueron atribuidas a la época del año.

Deficiencias minerales en suelo fueron observadas solamente para P y K. El porcentaje de muestras con concentraciones de P menores al NC_d durante las épocas Húmeda y Seca, respectivamente, fueron: Región Norte: 35 y 45%; Región Centro: 2.5 y 15%; y Región Sur: 0 y 23.3% (TABLA 14). El porcentaje de muestras con concentraciones de K menores al NC_d durante las Épocas Húmeda y Seca, respectivamente, fueron: Región Norte: 7.5 y 58.3%; Región Centro: 0 y 32.5%; y Región Sur: 0 y 10.0%. Prabowo et al. (1991) y Valdes et al. (1988) reportan resultados similares en suelos tropicales de Indonesia y Guatemala, respectivamente, observando una mayor cantidad de muestras de deficientes en P. Además, estos autores notaron que la concentración promedio de P fue

TABLA 15

Concentraciones (ppm) de minerales traza, en suelos de tres regiones del estado de Nuevo León, durante dos épocas del año¹.

Efecto	Clase	Fe	Co	Cu	Zn	Mo	Se
Región	Norte	58.8ab	5.8a	2.6a	6.8a	0.60a	0.23b
	Centro	61.2a	2.0b	1.9b	4.0b	0.70a	0.18b
	Sur	48.0b	2.9b	2.8a	4.8b	0.33b	0.34a
Época	Húmeda	50.4b	3.9a	2.8a	4.2b	0.69a	0.31a
	Seca	63.1a	3.3b	2.0b	6.2a	0.42b	0.17b

a,b Valores promedio en columnas con letras superíndices diferentes, difieren entre si ($P < 0.05$).
¹ Viets y Lindsay (1973) y Rhue y Kidder (1983) reportaron los niveles críticos en suelo de Fe (30 ppm), Cu (2 ppm), Zn (8 ppm).

mayor ($P < 0.01$) durante la Época Seca, situación que contrasta con lo encontrado en este estudio (Húmeda, 29 ppm; Seca, 26 ppm). Mengel y Kikby (1982) indicaron que en suelos vírgenes, el contenido de P orgánico depende de la edad del suelo; además, la presencia de carbonatos de Ca que adsorbe a los fosfatos, forman complejos de apatitas, lo que hace indisponible al P para la planta (Pastrana, et.al., 1991).

La disponibilidad de K en el suelo no es afectada por niveles elevados de pH. La relación de Na:K se mantuvo en un rango muy estrecho, entre 1.3:1 (Región Centro) y 1.6:1 (Región Sur).

4.1.3 Minerales Traza

4.1.3.1 Región. Las concentraciones obtenidas para minerales traza en el suelo se enlistan en la TABLA 15. Los valores para Fe fueron muy superiores (hasta 20 veces más): Norte, 58.8 ppm; Centro, 61.2 ppm; y Sur, 48.0 ppm. Sin embargo, el contenido de Fe soluble en suelos es extremadamente bajo en comparación con la concentración total de éste. La disponibilidad de Fe se ve aumentada en suelos alcalinos ($pH > 7.5$), mismos que favorecen la formación de hidróxidos de Fe, inmovilizando a este elemento, generando síntomas de deficiencia en la planta, aún en presencia de elevadas concentraciones totales de Fe.

Los niveles mas elevados de Co se obtuvieron en los suelos de la Región Norte (5.8 ppm), y los menores fueron en la Región Centro (2.0 ppm), no existiendo diferencia ($P > 0.05$) de ésta última con la Región Sur (2.9 ppm). Estos valores se ubican en la parte inferior del rango promedio reportado para la mayoría de los suelos (1 a 40 ppm). Las concentraciones de Co en suelos arenosos (< 10 ppm) son bajas (Minson, 1990), mientras que son más elevadas (> 30 ppm) en aquellos suelos de origen ígneo (Velasco, 1992).

Las concentraciones (ppm) de Cu por Región fueron las siguientes: Norte, 2.6 ppm; Centro, 1.9 ppm; y Sur: 2.8 ppm. El Cu es un mineral que en el suelo se encuentra fuertemente ligado al contenido de materia orgánica, lo anterior debido a su carga divalente. Autores como Mengel y Kirkby (1982) reportaron concentraciones de Cu de 5-50 ppm en suelos con vocación agrícola, siendo los suelos calcáreos los que regularmente presentan concentraciones particularmente bajas. Las concentraciones de Cu obtenidas para el estado de Nuevo León son similares a las encontradas por Prabowo et al. (1991), quien reportó un valor máximo de 3.3 ppm y un mínimo de 1.3 ppm.

Los grupos de suelos con bajos niveles de Cu total, han sido identificados por Minson (1990) como aquellos que poseen algunas de las siguientes características: (1) Suelos jóvenes con textura arenosa y baja cantidad de arcilla, (2) Suelos con una composición elevada de hidróxidos férricos y ferrosos o de aluminio, y (3) Suelos calcáreos con textura arenosa, estos últimos muy similares a algunos encontrados en el estado de Nuevo León. Además, de acuerdo a Viets y Landasy (1973), los niveles de Cu disponible en suelo disminuyen conforme se incrementa el pH, debido a la fuerte adsorción de éste a las partículas del suelo.

En lo que respecta al Zn, se observó una diferencia ($P < 0.05$) en las concentraciones de éste elemento entre las tres regiones de estado de Nuevo León. Las mayores concentraciones se presentaron en la Región Norte (6.8 ppm) en comparación con las regiones Centro (4.0 ppm) y Sur (4.8 ppm), donde no existió diferencia entre ellas ($P > 0.05$). Estos valores son similares a los encontrados por Sarker et al. (1990) en el Oeste de Bengal, en suelos con un rango de pH de 6.3 a 8.0 y una concentración de Zn de 1.56 a 8.15 ppm. La movilización de Zn hacia la planta, puede ser restringida conforme aumente el pH, ya que la solubilidad alcanza valores muy bajos, especialmente en suelos ricos en Ca.

Las regiones Norte y Centro presentaron una concentración de Mo de 0.6 y 0.7 ppm, respectivamente, mientras que en la Región Sur fué de 0.3 ppm. Las concentraciones

totales de Mo en el suelo son muy variables y dependen en gran medida de la pedogénesis del suelo. Los valores promedio de Mo en suelo regularmente se ubican alrededor de 2.0 ppm.

El Mo al igual que otros minerales traza sufre un fuerte efecto del pH, donde se reporta que la capacidad de adsorción de éste, se reduce conforme se incrementa el pH. La máxima adsorción de Mo se logra a un pH de 4.0 (Mengel y Kirkby, 1982).

El último mineral traza que aparece en la TABLA 15 es el Se, donde se observa que la mayor concentración se obtuvo para la Región Sur (0.34 ppm), siendo esta diferente ($P < 0.05$), con respecto a las regiones Norte y Centro (0.23 ppm y 0.18 ppm, respectivamente). Estos valores son diez veces mayores a los encontrados por Pastrana et al. (1991) en Colombia, donde el promedio fue de 0.03 ppm y el total de muestras analizadas fueron deficientes en Se, de acuerdo a los NC_d reportados por Viets y Landsay (1973). En suelos cuyo pH es neutro o ácido, la disponibilidad de Se es baja, y comunmente se le encuentra formando complejos férricos, en contraste con suelos ricos en Se (en forma de selenatos), que son encontrados principalmente en regiones áridas (Mengel y Kirkby, 1982).

4.1.3.2 Época del Año. En este estudio, un efecto debido a Época del año fue detectado ($P < 0.05$) para todos los minerales traza analizados, donde las mayores concentraciones (ppm) se obtuvieron durante la Época Húmeda para Co (3.9 vs. 3.3), Cu (2.8 vs. 2.0), Mo (0.69 vs. 0.42) y Se (0.31 vs. 0.17), mientras que las concentraciones (ppm) de Fe y Zn fueron mayores durante la Época Seca (63.1 vs. 50.4 y 6.2 vs. 4.2, respectivamente). Estas tendencias son similares a la reportadas por Prabowo et al. (1991) y Pastrana et al. (1991).

El Zn fue el mineral con mayor número de muestras deficientes (TABLA 16). Durante las épocas Húmeda y Seca el número de muestras deficientes fueron 100 y 96.6%. El Cu fue el segundo mineral traza con mayor número de muestra deficientes, alcanzando 82.5 y

TABLA 14

Porcentaje de muestras deficientes de suelo en macrominerales en tres regiones del estado de Nuevo León, durante las épocas Húmeda y Seca

Elemento	NC	Época	Región Norte			Región Centro			Región Sur		
			Media	DE	% de muestras menores del NC	Media	DE	% de muestras menores del NC	Media	DE	% de muestras menores del NC
Ca	< 71	Húmeda	13049	9743	0	19778	6891	0	6368	3236	0
		Seca	9204	0	0	11556	5145	0	5052	4137	0
P	< 15	Húmeda	27.6	19.2	35	38	19.6	2.5	19	6.2	0
		Seca	24.1	16.3	45	35.14	21.8	15	17.2	7.0	23.3
Mg	< 9.1	Húmeda	158.6	95.9	0	219	106.8	0	73.2	21.2	3.3
		Seca	157.8	58.4	0	188.2	87.0	0	77.0	20.4	0
Na	-----	Húmeda	90.8	34.9	---	66.91	33.2	-----	74.6	18.3	---
		Seca	88.4	26.0	---	57.27	25.9	-----	57.8	25.6	---
K	< 60	Húmeda	138.2	78.0	7.5	92.65	24.1	0	101.2	29.8	0
		Seca	106.2	30.0	58	72.83	23.2	32.5	98.5	29.6	10

TABLA 16

Porcentaje de muestras deficientes de suelo en minerales traza en tres regiones del estado de Nuevo León, durante las épocas Húmeda y Seca

Elemento	NC	Época	Región Norte			Región Centro			Región Sur		
			Media	DE	% de muestras menores del NC	Media	DE	% de muestras menores del NC	Media	DE	% de muestras menores del NC
Cu	< 2	Húmeda	2.15	0.73	52.5	1.52	0.86	82.5	2.33	1.06	53.3
		Seca	3.04	1.25	20.0	2.31	1.17	47.5	3.22	1.90	30.0
Fe	< 30.	Húmeda	64.34	19.47	2.5	69.05	33.72	5.0	53.60	33.37	36.6
		Seca	53.22	28.17	37.5	53.36	27.53	20.0	42.51	25.3	33.0
Zn	< 8.0	Húmeda	8.36	2.9	42.5	4.98	2.6	85.0	4.90	2.04	96.6
		Seca	5.19	3.10	80.0	3.06	3.22	90.0	4.54	1.38	100
Co	-----	Húmeda	5.54	4.02	-----	1.60	0.78	---	2.60	2.21	---
		Seca	5.96	2.53	-----	2.44	0.92	---	3.28	2.72	---
Mo	-----	Húmeda	0.45	0.30	-----	0.59	0.22	---	0.14	0.07	---
		Seca	0.75	0.22	-----	0.78	0.29	-----	0.51	0.25	-----
Se	-----	Húmeda	0.17	0.23	-----	0.08	0.05	-----	0.30	0.05	---
		Seca	0.28	0.32	-----	0.28	0.19	-----	0.38	0.17	-----

47.5% durante las épocas Húmeda y Seca, respectivamente. En estudios realizados por Knebusch et al. (1988) y Balbuena et al. (1989), se reportaron comportamientos similares con respecto al contenido de los minerales traza, que con mayor frecuencia se encuentran deficientes en las muestras analizadas (100% para ambos Cu y Zn).

Las correlaciones entre los minerales y pH del suelo se muestran en la Apéndice B. Las correlaciones más importantes encontradas fueron: K y Ca ($r = 0.48$, $P < 0.01$); pH y Mg ($r = 0.41$, $P < 0.01$); P y K ($r = -0.42$, $P < 0.01$); y la de K y Se ($r = 0.65$, $P < 0.01$).

4.2 Forrajes

El ganado en pastoreo comúnmente no recibe suplementación mineral, excepto sal común, por lo que depende exclusivamente del consumo de forraje para cubrir sus requerimientos, mismos que tan solo en contadas ocasiones pueden llegar a ser cubiertos por las especies forrajeras consumidas en los agostaderos. En un resumen efectuado por McDowell (1993), se reportan resultados de los análisis de 2615 muestras de forrajes que indican los porcentajes de muestras deficientes con respecto al NC_d (o deficiencias marginales): Co, 43%; Cu, 47%; Fe, 24%; Mn, 21; y Zn, 75%.

Los resultados obtenidos a partir de 136 muestras procedentes de diez especies forrajeras (Gramíneas y Arbustivas), se muestran en la TABLA 17 y las Figuras 5, 6 y 7.

4.2.1 Proteína Cruda

Los efectos que tiene la Región de muestreo en el estado de Nuevo León, la Época del año y el tipo de Forraje (Gramínea o Arbustiva), sobre las concentraciones (%) de PC, se presentan en la Figura 5. La Región donde se obtuvieron las muestras de forraje, no tuvo efecto ($P > 0.05$) sobre las concentraciones (%) de PC. El NC_d de PC en forrajes es menor a 7.0% (NRC, 1987). Las concentraciones de PC variaron ($P < 0.01$) entre las épocas Húmeda y Seca (6.77 y 5.28% respectivamente). Los cambios estacionales que

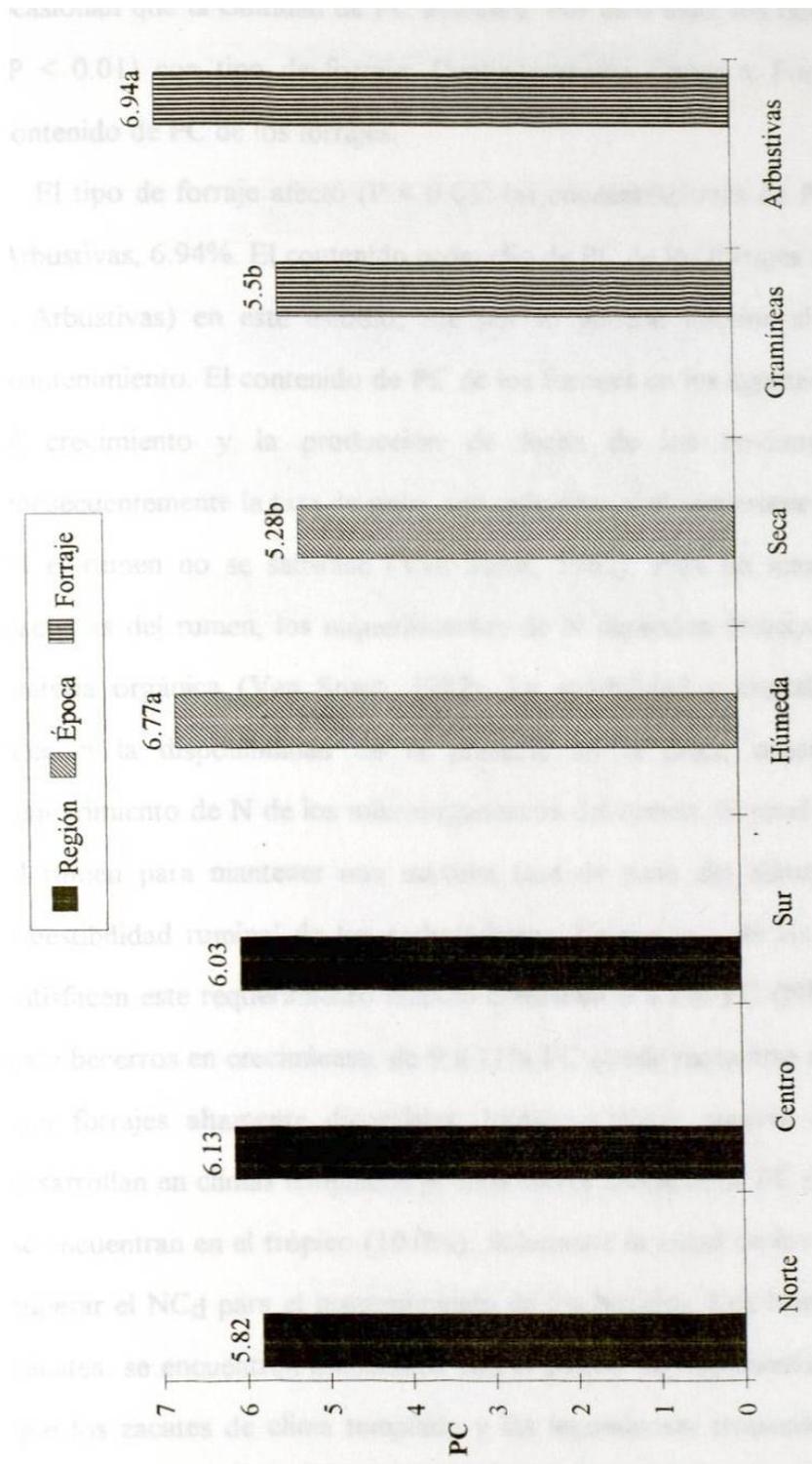


Figura 5. Concentraciones (%) de PC en forrajes (Gramíneas y Arbustivas), consumidas por el ganado en agostaderos de tres regiones del estado de Nuevo León, durante dos épocas del año.

a,b,cValores promedio en columnas con letras superíndices diferentes, difieren entre sí ($P < 0.05$).

favorecen el rebrote (mayor cantidad de biomasa, constituida principalmente por hojas), ocasionan que la cantidad de PC aumente. Por otro lado, los contenidos de PC variaron ($P < 0.01$) con tipo de forraje. Una interacción Época x Forraje se detectó para el contenido de PC de los forrajes.

El tipo de forraje afectó ($P < 0.05$) las concentraciones de PC: Gramíneas, 5.50% y Arbustivas, 6.94%. El contenido promedio de PC de los forrajes muestreados (Gramíneas y Arbustivas) en este estudio, fué por lo general inferior al 7% requerido para el mantenimiento. El contenido de PC de los forrajes en los agostaderos es importante para el crecimiento y la producción de leche de los bovinos. La digestibilidad, y consecuentemente la tasa de paso, son reducidas si el requerimiento de N de las bacterias en el rumen no se satisface (Van Soest, 1982). Para un máximo crecimiento de las bacterias del rumen, los requerimientos de N dependen principalmente del consumo de materia orgánica (Van Soest, 1982). La solubilidad y degradabilidad de la proteína afectan la disponibilidad de la proteína en la dieta, necesaria para satisfacer el requerimiento de N de los microorganismos del rumen. El nivel de N que se requiere en el rumen para mantener una máxima tasa de paso del alimento, debe variar con la digestibilidad ruminal de los carbohidratos. La mayoría de las dietas en el agostadero satisfacen este requerimiento cuando contienen 6 a 8% PC (NRC, 1987). Sin embargo, para becerros en crecimiento, de 9 a 11% PC puede requerirse en la dieta, especialmente con forrajes altamente digestibles. Minson (1990), reporta que los zacates que se desarrollan en climas templados poseen mayor cantidad de PC (12.9%) que aquellos que se encuentran en el trópico (10.0%). Solamente la mitad de los zacates tropicales logran superar el NC_d para el mantenimiento de los bovinos. Los bajos niveles de PC de estos zacates, se encuentran asociados con el patrón de fotosíntesis de plantas C₄, mientras que los zacates de clima templado y las leguminosas tropicales utilizan un mecanismo fotosintético C₃, lo que les permite tener concentraciones de PC de hasta 16.6 y 17.5% respectivamente (Tilley y Terry, 1963).

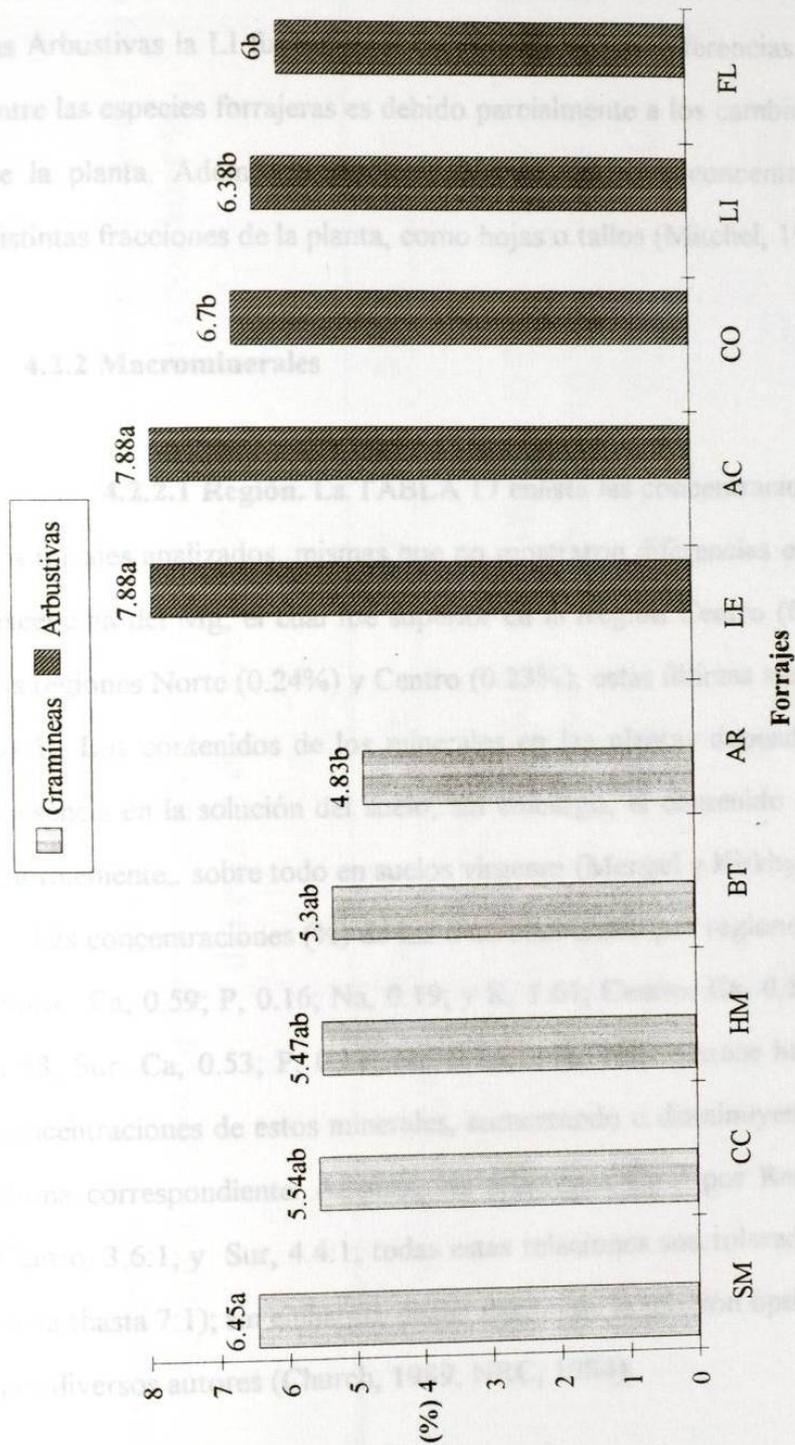


Figura 6. Concentraciones (%) de PC en Gramíneas y Arbustivas del estado de Nuevo León a,b,cValores promedio en columnas con letras superíndices diferentes, difieren entre si ($P < 0.05$).