



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA,
INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA**

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**DIAGNÓSTICO MINERAL DE GANADO BOVINO EN
CONDICIONES DE TRÓPICO HÚMEDO**

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

SAÚL CASTAÑEDA CHIRINOS

Bajo la supervisión de: MAXIMINO HUERTA BRAVO, Ph.D.



Julio 2012

Chapingo, Estado de México



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

DIAGNÓSTICO MINERAL DE GANADO BOVINO EN CONDICIONES DE
TRÓPICO HÚMEDO

Tesis realizada por **SAÚL CASTAÑEDA CHIRINOS** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



Ph.D. MAXIMINO HUERTA BRAVO

ASESOR:



Ph.D. JOSÉ LUIS ZARAGOZA RAMÍREZ

ASESOR:



Ph.D. GILBERTO ARANDA OSORIO

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE APÉNDICES	viii
DEDICATORIAS	ix
AGRADECIMIENTOS	x
DATOS BIOGRÁFICOS	xi
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Diagnóstico mineral	3
2.2 Clasificación y principales funciones de los minerales	5
2.3 Signos clínicos asociados a desbalances minerales	10
2.4 Componentes del diagnóstico mineral	16
2.4.1 Suelo	16
2.4.2 Agua	18
2.4.3 Forraje	20
2.4.4 Muestras de origen animal	25
2.5 Literatura citada	28
3. DIAGNÓSTICO MINERAL DE GANADO BOVINO EN LA REGIÓN SUROESTE DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO	34
3.1 Resumen	34
3.2 Abstract	35
3.3 Introducción	36
3.4 Materiales y métodos	37
3.4.1 Colecta y procesamiento de las muestras	37
Agua	37
Suelo	38

Forraje	38
Suero sanguíneo	39
pH del suelo.....	39
3.4.2 Cuantificación mineral.....	40
3.5 Diseño experimental y análisis estadístico.....	40
3.6 Resultados y Discusión.....	42
3.6.1 Concentración de minerales en agua	42
3.6.2 Concentración de minerales en suelo.....	43
3.6.3 Concentración de minerales en forraje	45
3.6.4 Concentración mineral en suero sanguíneo	49
3.7 Conclusiones.....	56
3.8 Literatura citada	57
APÉNDICE.....	60

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Principales funciones de macrominerales (adaptado de McDowell y Arthington, 2005).....	8
Cuadro 2. Funciones de algunas enzimas que requieren microminerales (adaptado de Suttle, 2010).....	9
Cuadro 3. Signos de deficiencia y toxicidad causados por macrominerales en el ganado bovino (tomado de McDowell y Arthington, 2005).	11
Cuadro 4. Signos clínicos de deficiencia y toxicidad causados por microminerales en el ganado bovino (McDowell y Arthington, 2005).....	12
Cuadro 5. Diferencias del contenido mineral en forrajes (materia seca) de distinta especie y diferente clima (tomado de Minson, 1990).....	21
Cuadro 6. Algunas condiciones que afectan el contenido mineral del forraje. ..	22
Cuadro 7. Tipos de muestras utilizadas con mayor frecuencia para la cuantificación mineral en la detección de deficiencias (tomado de Puls, 1988; McDowell y Arthington, 2005).	26
Cuadro 8. Tejidos indicadores para la detección de estados de deficiencia en rumiantes (tomado de Haenlein y Anke, 2011).	27
Cuadro 9. Medias de cuadrados mínimos para las concentraciones de minerales en el agua disponible para el ganado y nivel de significancia.	42
Cuadro 10. Medias de cuadrados mínimos para las concentraciones (mg kg ⁻¹) de macrominerales extraíbles del suelo y nivel de significancia.....	44
Cuadro 11. Medias de cuadrados mínimos para las concentraciones (mg kg ⁻¹) de microminerales extraíbles y pH del suelo y nivel de significancia.....	45

Cuadro 12. Medias de las concentraciones (% de materia seca) de macrominerales en el forraje y nivel de significancia.	46
Cuadro 13. Medias de las concentraciones de microminerales en el forraje y nivel de significancia.	47
Cuadro 14. Medias de las concentraciones (mg L ⁻¹) de macrominerales en suero sanguíneo y nivel de significancia.....	50
Cuadro 15. Medias de la concentración de microminerales en suero sanguíneo y nivel de significancia.....	51
Cuadro 16. Medias de las concentraciones de macrominerales y microminerales en suero sanguíneo por grupo de edad del ganado (vacas y crías) y nivel de significancia para grupo de edad del ganado y su interacción con rancho.....	52
Cuadro 17. Concentración de minerales en seis mezclas utilizadas en las unidades de producción en estudio, y el potencial que tiene cada una de ellas, para cubrir el requerimiento mínimo de un animal que consume 10 kg de materia seca al día, al emplear 100 g de cualquier mezcla mineral.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema para el diagnóstico diferencial de desórdenes minerales con signos no específicos (tomado de Suttle, 2010).....	4
Figura 2. Clasificación de los minerales de acuerdo a su concentración (porcentaje y partes por millón) en los tejidos y funciones biológicas.	7
Figura 3. Secuencia de eventos fisiopatológicos que pueden ocurrir en el ganado con privación mineral (tomado de Suttle, 2010).	14
Figura 4. Secuencia de eventos bioquímicos que pueden ocurrir en el ganado durante la exposición por largo periodo a cantidades excesivas de minerales (tomado de Suttle, 2010).	15
Figura 5. Interacciones minerales que afectan su absorción en tracto digestivo (Tisch, 2006).	23
Figura 6. Consumo de materia seca en dependencia de factores ambientales (Bodisco <i>et al.</i> , 1975).	24
Figura 7. Efecto del rancho sobre las concentraciones séricas (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de calcio, fósforo, magnesio y sodio de vacas y crías de diez ranchos de la región suroeste de Veracruz.	53
Figura 8. Efecto del rancho sobre las concentraciones séricas (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de selenio, cobre, zinc y hierro de vacas y crías de diez ranchos de la región suroeste de Veracruz.	54

LISTA DE APÉNDICES

Cuadro 18. Correlación lineal y significancia entre el contenido mineral del suelo y contenido mineral del forraje; y entre pH del suelo y contenido mineral del forraje.	60
Cuadro 19. Correlación lineal y significancia entre el contenido mineral del forraje y contenido mineral del suero sanguíneo.	60

DEDICATORIAS

A aquellas personas que me han acompañado en las dos grandes etapas de mi vida:

Primeramente a mis padres, *Gregorio Castañeda Castañeda[†]* y *Teresa Chirinos Hernández[†]*, que a través de su ejemplo de amor, lealtad y entereza aún en los momentos más difíciles, me enseñaron siempre a darle gracias a la vida y a Dios por lo obtenido. A mis hermanos *Joel, Israel, Gregorio y Arturo Castañeda Chirinos*, ejemplos para mí de constancia y superación, y por quienes convencido estoy que como individuos podemos ser fuertes, pero como familia somos más que eso.

A mi esposa *Mónica Godínez López*, mi principal bastión y quien me muestra día a día con su enorme esfuerzo, paciencia y amor dedicados a su formación profesional, a nuestra sociedad y al mayor aliciente de nuestras vidas - *Regina y Sofía* -, que mi jornada por más pesada que sea, no es más que un mero día sin abruptos para ella. Para ti - *Mónica* - mi mayor amor, respeto y admiración.

A doña *María Mónica*, por su invaluable ayuda y aliento.

Mi mayor agradecimiento para todas y cada una de estas valiosas personas,
Saúl Castañeda Chirinos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), a la Universidad Autónoma Chapingo y al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT), que a través de la asignación de recursos económicos provenientes del pueblo de México, me han permitido cumplir con una meta de vida, espero que esta me permita retribuirle aunque sea un poco a ese pueblo con el desarrollo de mi profesión.

A los miembros de mi comité asesor, Dr. Maximino Huerta Bravo, Dr. José Luis Zaragoza Ramírez y Dr. Gilberto Aranda Osorio, que contribuyeron con sus sugerencias para desarrollar un mejor trabajo.

Al Sr. Indalecio Flores Santamaría, por brindarme su conocimiento, experiencia, apoyo y amistad con el único interés de reflejar la disciplina del laboratorio en resultados fehacientes.

A mis compañeros de generación: Oscar Rojas, Leodan Rodríguez, Antonio Saavedra, Delfino Herrera, Gilberto Maldonado, Ernesto Olaya, Pedro Meda y Renato González, por haber hecho bastante amena la duración de la maestría, un deseo sincero de éxito para cada uno de ellos.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Saúl Castañeda Chirinos
Fecha de nacimiento	7 de septiembre de 1977
Lugar de nacimiento	Delegación Tláhuac, Distrito Federal
No. Cartilla militar	2072211
CURP	CACS770907HDFSHL03
Profesión	Médico Veterinario Zootecnista
Cédula profesional	5896933

Desarrollo académico

Bachillerato	Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo
Licenciatura	Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM
Maestría	Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En regiones tropicales, la nutrición del ganado bovino en pastoreo suele ser afectada por el desbalance de minerales, energía y proteína de los forrajes que consume, manifestándose en los animales alteraciones físicas y biológicas de distinto grado, siendo más acentuadas en aquellos casos donde el ganado se alimenta exclusivamente de forraje (Pfander, 1971; Preston, 1982).

Respecto a las alteraciones en la nutrición mineral de los animales en condiciones tropicales, Pfander (1971), Stonaker (1975) y McDowell y Arthington (2005) señalan como principal factor, que tanto suelos como forrajes presentan deficiencias en varios macro y microminerales, por tanto, los animales en pastoreo no logran cubrir sus requerimientos, manifestándose problemas reproductivos, baja producción de carne y leche, bajo peso corporal de terneros durante la lactancia, entre otros.

Aunado a lo anterior, Fick *et al.* (1978) mencionan que es común que el ganado presente una producción ineficiente a causa de deficiencias minerales, y con frecuencia se magnifique el antagonismo entre algunos elementos, trayendo como consecuencias variación en la disponibilidad de las fuentes minerales para el organismo, disminución del valor nutritivo del forraje y potencial toxicidad por algunos elementos (Underwood y Suttle, 1999). Estas consecuencias pueden agravarse al proporcionar un suplemento mineral inespecífico que además puede elevar los costos de producción.

Los minerales presentes en el agua y el suelo consumidos por el ganado, en ciertas situaciones pueden contribuir a la satisfacción de los requerimientos de los animales (Grace *et al.*, 1996; Socha *et al.*, 2001; Grace, 2006), sin embargo pueden además ser causales de desbalances, ya sea por contener elementos

en cantidades elevadas en el caso del agua, o por sus propiedades edáficas contener elementos tóxicos para el caso del suelo (Rosas *et al.*, 1999).

Algunos diagnósticos del estado mineral en ganado bovino, realizados en regiones tropicales de México revelan deficiencias de selenio, cobre y zinc en suelo, forraje y suero sanguíneo; suficiencia y exceso en manganeso y hierro en suelo y forraje; y resultados muy variables en los contenidos de calcio, magnesio, sodio, potasio y fósforo en suero sanguíneo, forraje, agua y suelo (Aguirre y López, 2004; Martínez, 2006; Ramos, 2009; Gámez, 2009).

Por esta razón es indispensable conocer el estado mineral del ganado y de su entorno; y asociarlo al desempeño productivo, reproductivo y sanitario de los animales en pastoreo, siendo la herramienta más inmediata para ello, el diagnóstico basado en el análisis de los componentes del sistema de producción, conformado principalmente por agua, suelo, planta, animal y otros componentes que sean fuentes de minerales para el ganado (McDowell y Arthington, 2005).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Diagnóstico mineral

Diagnóstico (del griego *diagnostikos*), significa “distinguir entre”, cuando se usa en sanidad animal, implica el reconocimiento de una enfermedad diferenciándola de otras, a través de la identificación de anomalías clínicas y patológicas claves. Es parte elemental del procedimiento para la detección y resolución de disturbios en la salud de los animales, el cual se rige por un orden cronológico de fases (anamnesis, exploración física, diagnóstico diferencial, pruebas paraclínicas y de laboratorio, diagnóstico final y plan terapéutico), donde cada una de ellas debe ser completada antes de iniciar la otra (Radostits *et al.*, 2000).

El diagnóstico del estado mineral del ganado es fundamental para evaluar su estado nutricional, ya sea por inspección física de los animales, o a través de la comparación de sus perfiles metabólicos y tisulares con valores de referencia (Núñez *et al.*, 2007). Esto último con el objetivo de distinguir de manera más inmediata, la existencia y prevalencia de desbalances minerales en los animales, aún en aquellos sin manifestaciones claras o clínicas de tal situación (Figura 1), o valorar la evolución de un tratamiento dado; a diferencia de la respuesta positiva a la suplementación mineral específica, que aunque es la resolución más confiable de un diagnóstico presuntivo, requiere de mayor tiempo y tratamientos para confirmarlo (McDowell, 1985; Kincaid, 1999).

Los valores metabólicos de referencia, considerados para diferenciar un estado óptimo o anormal del ganado, se fundamentan sobre la representatividad de la población (sexo, edad, condición fisiológica) y ambiente entre otros factores; y provienen de la generación de intervalos de confianza ($\bar{x} \pm 2\sigma$) tomados de animales que cumplen características específicas (Evans, 2009). Dichos

valores, se emplean para hacer comparaciones estadísticas con las concentraciones minerales del ganado sujeto a estudio; determinando su estado nutricional, a través de la ubicación del valor hallado dentro o fuera del intervalo de referencia (Álvarez, 2001; Kaneko *et al.*, 2008).

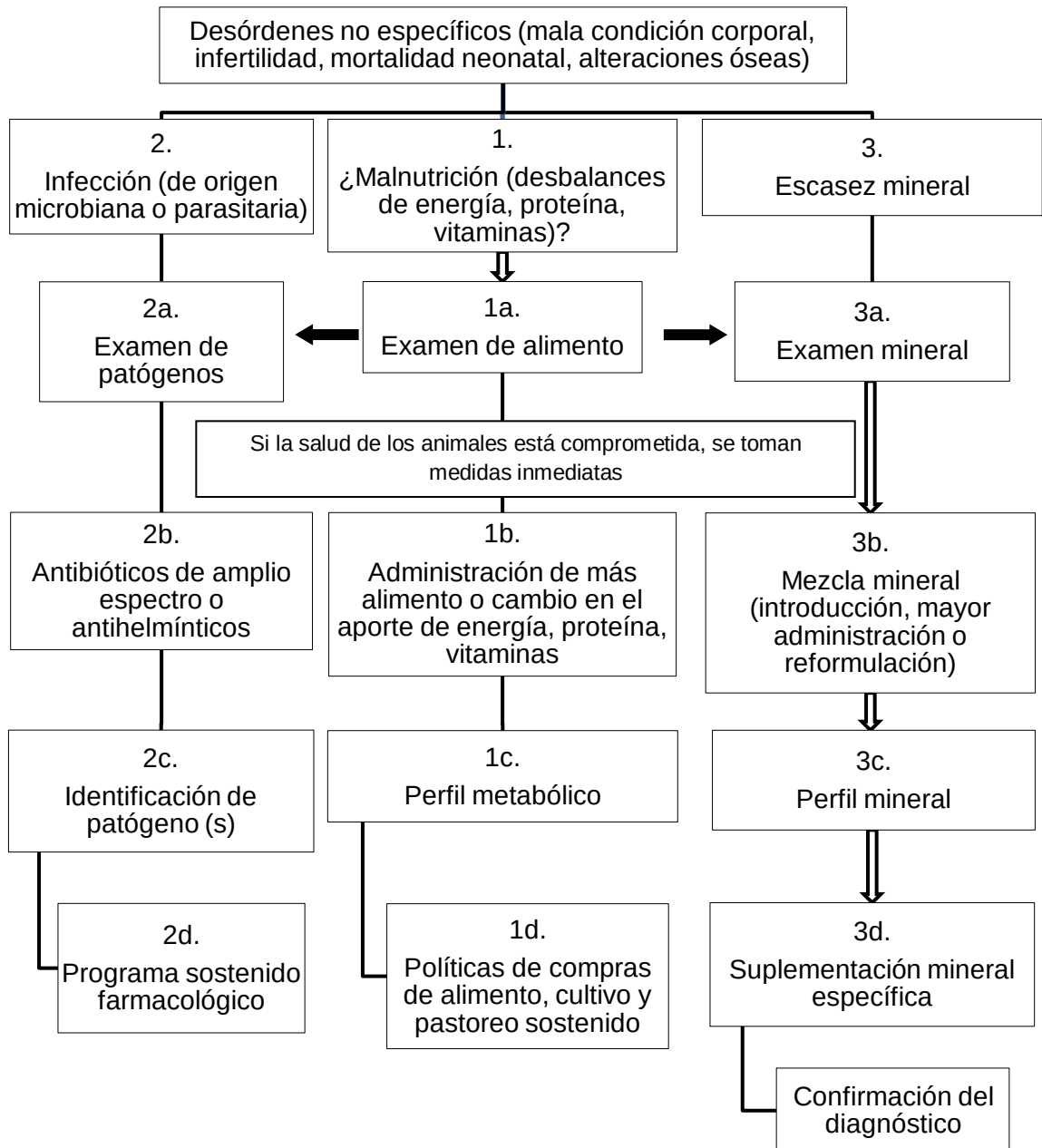


Figura 1. Esquema para el diagnóstico diferencial de desórdenes minerales con signos no específicos. Partir de 1 y desviar la línea de investigación a 2 si el análisis del alimento no denota desbalances, o desviar a 3 en caso de existir desbalances en el contenido nutrimental (tomado de Suttle, 2010).

Otra finalidad del diagnóstico mineral es establecer la relación entre el perfil mineral del ganado y los perfiles minerales del forraje, agua, suelo y complementos. Por lo que la suma de los aportes minerales de los sustratos, que estén por debajo del requerimiento mínimo, o por arriba del nivel máximo tolerable para el ganado, será un indicio que sugerirá la existencia de un problema nutricional. Sin embargo, la confiabilidad de estos resultados dependerá tanto de las buenas prácticas de laboratorio, como por el adecuado protocolo de obtención de las muestras, supeditado a obtener muestras que representen verdaderamente el consumo del ganado (selectividad), además de considerar el consumo de los sustratos (cantidad) y la disponibilidad de los minerales que contienen (McDowell, 2005).

2.2 Clasificación y principales funciones de los minerales

Los minerales son elementos inorgánicos esenciales para los animales, que no pueden ser sintetizados por sus organismos. Por tal razón, necesitan tenerlos presentes en los alimentos que consumen, y así puedan desarrollarse apropiadamente sus funciones metabólicas, aunque esto conduzca a la presencia de algunos elementos de los cuales no se ha comprobado su esencialidad (McDonald *et al.*, 2006).

O'Dell y Sunde (1997) consideran esencial a un elemento cuando este es necesario para el crecimiento, salud y reproducción adecuados a lo largo del ciclo de vida, cuando los demás nutrimentos están en cantidades óptimas incluyendo los demás minerales; por lo que al existir un consumo inferior a las necesidades, se producirán alteraciones de las funciones antes citadas en los animales.

Determinar la esencialidad de un mineral resulta difícil y costoso, particularmente para aquellos minerales cuyos requerimientos son a nivel de trazas o partes por millón (ppm). Sin embargo se puede establecer que un elemento es esencial si cumple con las siguientes consideraciones (Georgievskii *et al.*, 1982; Álvarez, 2001):

1. Está presente en los organismos, incluyendo en fetos y neonatos.
2. Su concentración en cualquier tejido u órgano es constante y similar, al considerar individuos de la misma especie, edad y etapa fisiológica.
3. Desempeña una función bioquímica en el organismo animal.
4. Su ausencia causa alteraciones fisiológicas en el organismo animal.
5. Al ser administrado después de un periodo de carencia, alivia las alteraciones fisiológicas.

Con base en las anteriores consideraciones, actualmente se consideran esenciales a 22 elementos. Georgievskii *et al.* (1982) los clasifican de acuerdo a tres criterios:

a. Por su presencia en ciertos tejidos o tropismo:

1. En tejido óseo: calcio, magnesio, estroncio, berilio, flúor.
2. En sistema retículoendotelial: hierro, cobre, manganeso.
3. Sin especificidad o preferencia por algún tejido: sodio, potasio, cloro, azufre.

b. Por su concentración en el organismo (Figura 2):

1. Macroelementos.
2. Microelementos.
3. Elementos traza.

c. Por sus funciones biológicas:

1. Elementos esenciales.
2. Elementos probablemente esenciales.

3. Elementos con función poco conocida o desconocida.

O'Dell y Sunde (1997) y Suttle (2010) coinciden en señalar que, las funciones estructurales, fisiológicas y reguladoras de señales son realizadas de manera general por los macrominerales (Cuadro 1) y que las funciones catalíticas son en mayor medida ejercidas por los microminerales (Cuadro 2). Al no desarrollar funciones únicas, significa que los elementos están implicados en más de una función de manera simultánea, tanto en animales mayores, bacterias, parásitos, y plantas (Waldron *et al.*, 2009; Merchant, 2010; Suttle, 2010).

La actividad de catálisis es compartida por macrominerales y microminerales, y es tan imprescindible la disponibilidad de estos elementos (principalmente metales) para que más del 50% de las enzimas puedan funcionar gracias a la asociación específica con alguno de ellos (Waldron *et al.*, 2009).

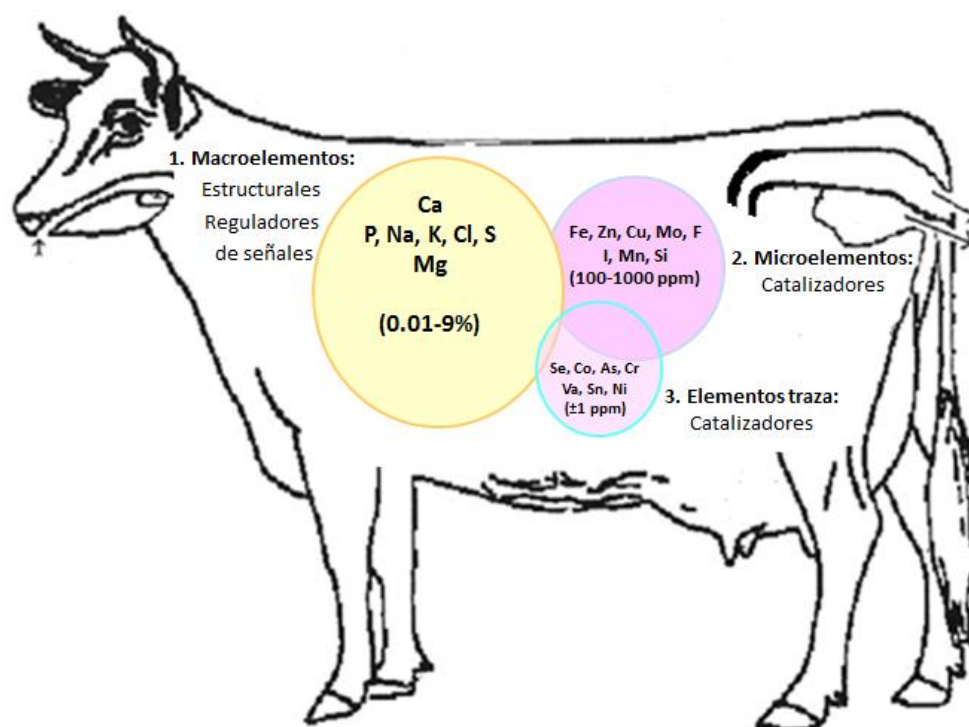


Figura 2. Clasificación de los minerales de acuerdo a su concentración (porcentaje y partes por millón) en los tejidos y funciones biológicas.

La clasificación en macrominerales y microminerales está enteramente ajustada a la concentración en los organismos, y no indica mayor o menor funcionalidad.

Cuadro 1. Principales funciones de macrominerales (adaptado de McDowell y Arthington, 2005).

Mineral	Funciones principales
Calcio (Ca)	Forma parte de la estructura de huesos y dientes, transmisión de impulsos del tejido nervioso, contracción muscular, coagulación sanguínea, permeabilidad celular, producción de leche.
Fósforo (P)	Forma parte de la estructura de huesos y dientes, fosforilación, compuestos de fosfato de alta energía. El fosfato es el mayor radical aniónico del fluido intracelular, participa en el balance ácido-base, componente del ARN, ADN y sistemas enzimáticos.
Sodio (Na)	Mayor catión del fluido extracelular involucrado en la regulación de la presión osmótica y el balance ácido-base, transmisión del impulso nervioso, preservación de la irritabilidad normal de la célula muscular, permeabilidad celular.
Cloro (Cl)	Principal anión involucrado en la presión osmótica y el balance ácido-base. Anión principal de los jugos gástricos como parte del ácido clorhídrico.
Potasio (K)	Catión mayor del fluido intracelular involucrado en la regulación de la presión osmótica y el balance ácido-base, contracción muscular cardíaca, fosforilación de la creatina. Influye en el metabolismo de los carbohidratos favoreciendo la entrada de glucosa a las células.
Magnesio (Mg)	Desarrollo de huesos, contracción muscular, activador enzimático primordialmente en el sistema glicolítico. Participa en la fosforilación oxidativa, ayuda a disminuir la irritabilidad de los tejidos.
Azufre (S)	Forma parte de aminoácidos con S, constituyente del sulfato de condroitina, tiamina y biotina, indispensable en la síntesis de proteína.

Sin embargo, esta funcionalidad puede ser alterada en ciertas condiciones, pues no se requiere para todas las funciones la misma concentración orgánica del mineral (McDonald *et al.*, 2006; Suttle, 2010), siendo afectadas principalmente aquellas funciones que requieren altas concentraciones orgánicas. En este sentido, las interacciones entre los minerales, son las que

finalmente permitirán o no, que estos alcancen formas funcionales en el organismo.

Cuadro 2. Funciones de algunas enzimas que requieren microminerales (adaptado de Suttle, 2010).

Mineral	Enzima, hormona	Funciones principales
Hierro (Fe)	Succinato deshidrogenasa Citocromo a, b y c Catalasa	Oxidación aerobia de carbohidratos Transferencia de electrones Protección frente a H ₂ O ₂ (peróxido de hidrógeno). Respiración celular
Cobre (Cu)	Citocromo oxidasa Lisil oxidasa Ceruloplasmina Superóxido dismutasa	Oxidasa terminal Oxidación de lisina Transporte del cobre Dismutación de superóxido (O ₂ ⁻)
Zinc (Zn)	Anhidrasa carbónica Alcohol deshidrogenasa Carboxipeptidasa A Fosfatasa alcalina Polimerasa nuclear (A) Colagenasa	Formación de dióxido de carbono Metabolismo del alcohol Digestión de proteínas Hidrólisis de ésteres de fosfato Replicación celular Reparación tisular
Manganeso (Mn)	Piruvato carboxilasa Superóxido dismutasa Glicosilaminotransferasa	Metabolismo de piruvato Antioxidante para remover O ₂ ⁻ Síntesis de proteoglicanos
Selenio (Se)	Glutación peroxidasas Deiodinasas Tiorredoxinasas Selenofosfato sintetasa 2	Traslado de H ₂ O ₂ e hidroperóxido Conversión de la tiroxina Protección contra estrés oxidativo Reacción de selenuro con AMP
Cobalto (Co)	Metilmalonil-Co A mutasa Metionina sintetasa	Incorpora propionato al metabolismo para utilizarlo como energía Regeneración de metionina a partir de homocisteína
Iodo (I)	Tiroxina Triyodotironina	Ambas participan en: incremento del metabolismo, temperatura corporal y ritmo cardíaco, absorción de glucosa, estimulan el crecimiento y la maduración, y anabolismo de proteínas.

Las interacciones entre los propios minerales y con otros nutrientes, pueden ser sinérgicas o antagónicas, y pueden ocurrir en la propia constitución del alimento, el tracto digestivo y el metabolismo celular y tisular de los animales

(Georgievskii *et al.*, 1982). Estas interacciones intervienen en el acceso potencial de la mucosa intestinal a determinado mineral (accesibilidad), en la transferencia potencial del mineral absorbido por la mucosa hacia el compartimiento de transporte (capacidad de absorción), en la retención potencial del mineral transferido (capacidad de retención) y finalmente, en la incorporación potencial del mineral retenido en formas funcionales (Funcionalidad). Todas estas, componentes de la biodisponibilidad de los minerales y determinantes del valor de los alimentos como fuentes de los mismos (Suttle, 2010).

2.3 Signos clínicos asociados a desbalances minerales

La presencia de desbalances minerales no siempre es fácil de apreciar, pueden asociarse de manera aguda con cambios anatómicos y fisiológicos fácilmente perceptibles, o por el contrario, asociarse a cuadros subclínicos de difícil diagnóstico (Cuadro 3 y Cuadro 4) que se confunden entre los propios desbalances minerales o bien con otro tipo de desbalances nutricionales y enfermedades (Álvarez, 2001; McDowell y Arthington, 2005). Entre los signos más evidentes de la desnutrición mineral, que padecen los animales en pastoreo en condiciones tropicales están el crecimiento lento y la fertilidad alterada (Pfander, 1971; Stonaker, 1975; Preston, 1982).

Stonaker (1975) cita reportes para ganancias de peso en regiones tropicales tan variables, con oscilaciones entre 1 a 1.5 kg animal⁻¹ año⁻¹ (Colombia) hasta 264 kg animal⁻¹ año⁻¹ (Venezuela). También cita que en algunas sabanas africanas, los animales lograban ganar peso durante la época de lluvias, pero conservaban sólo entre 25 a 30% del máximo peso alcanzado una vez establecida la época de estiaje, requiriendo los animales de seis a diez años, para alcanzar peso para el mercado cuando no se suministraban suplementos. En tanto las hembras requerían de tres y medio a cuatro años para tener su primer parto, y comúnmente sólo alcanzaban esta etapa 50% de las hembras servidas y en raras ocasiones lograban ligar dos partos en dos años

consecutivos. Estas alteraciones se asociaron a problemas de fertilidad del suelo y deficiente calidad del forraje.

Cuadro 3. Signos de deficiencia y toxicidad causados por macrominerales en el ganado bovino (tomado de McDowell y Arthington, 2005).

Elemento ^z	Signos clínicos	
	Deficiencia	Toxicidad
Calcio (0.30%)	Debilidad ósea, crecimiento retrasado, producción baja de leche y tetania.	Anormalidades óseas, reducción del consumo de alimento y ganancia de peso.
Fósforo (0.25%)	Huesos frágiles, debilidad general, pérdida de peso, delgadez excesiva, producción de leche y reproducción reducidas, pica.	Similar a los signos causados por el exceso de calcio.
Magnesio (0.20%)	Tetania e irritabilidad, convulsiones, seguida por la muerte.	Debilidad, alteración de la locomoción, diarrea, somnolencia, muerte.
Sodio (0.06%)	Gran apetito al suministrar sal, lamido ansioso de madera, suelo y sudor de otros animales, y consumo de agua mayor a lo normal.	Reducción del consumo de alimento y agua, problemas digestivos, diarrea y baja ganancia de peso.
Potasio (0.80%)	Signos no específicos: disminución del consumo y la eficiencia de utilización de alimento y agua; reducción del crecimiento, debilidad muscular, trastornos nerviosos, rigidez y delgadez excesiva.	Difícil alcanzar niveles tóxicos. Antagoniza con el magnesio, sodio y calcio.
Azufre (0.20%)	Pérdida de peso, debilidad, lagrimeo, reducción de la producción de leche y muerte; acumulación de ácido láctico en el rumen, la sangre y la orina.	Polioencefalomalacia, dolor abdominal, intoxicación por sulfuros, congestión pulmonar, deshidratación y enteritis severas.

^z Nivel mínimo requerido en la materia seca disponible para el ganado.

Anomalías similares describen Ahmed *et al.* (2002), respecto al tiempo para alcanzar la pubertad en becerras de diferentes razas de cuatro sitios distintos de Sudán. A pesar de que todos los grupos presentaron concentraciones deficientes en suero sanguíneo de zinc y cobre, y sólo uno de fósforo, el grupo

que alcanzó más pronto la pubertad (840 días), tenía el mejor estado de cobre y acceso a alimento concentrado y forraje con los mayores contenidos de zinc.

Cuadro 4. Signos clínicos de deficiencia y toxicidad causados por microminerales en el ganado bovino (McDowell y Arthington, 2005).

Elemento ^z	Signos clínicos	
	Deficiencia	Toxicidad
Selenio (0.1 ppm)	Distrofia muscular, baja tasa de reproducción, rigidez y muerte súbita.	Somnolencia, emaciación, pelo áspero, crecimiento alargado de pezuñas, cojera y parálisis.
Cobre (10 ppm)	Anemia, diarrea profusa, crecimiento lento, decoloración del pelo, ataxia en recién nacidos, infertilidad temporal, fibrosis miocárdica y huesos frágiles.	Anemia, distrofia muscular, bajo crecimiento y deterioro reproductivo. Vómito, salivación, dolor abdominal, convulsiones, parálisis, colapso y muerte.
Zinc (30 ppm)	Reducción en el consumo de alimento y tasa de crecimiento, piel seca, escamosa con grietas y difícil cicatrización, pérdida y aspereza de pelo, crecimiento testicular reducido.	Difícil de observar eventos.
Hierro (30 ppm)	Difícil observar deficiencia, anemia, baja ganancia de peso, letargo, fatiga aún con poco movimiento.	Reducción del consumo de alimento y ganancia de peso, diarrea, hipotermia y acidosis metabólica.
Manganeso (40 ppm)	Anormalidades óseas, fertilidad reducida, abortos y deformaciones fetales; patas deformadas en becerros.	Difícil observar eventos, tasa reproductivas bajas.
Cobalto (0.2 ppm)	Signos no específicos; pérdida paulatina del apetito, emaciación, mucosas pálidas, crecimiento retardado, pelaje áspero, y reducción en producción de leche.	Disminución del apetito y peso, anemia.
Yodo (0.5 ppm)	Bocio, ceguera en neonatos, mortinatos, anestro, retención placentaria, semen anormal.	Depresión del apetito, apatía, piel escamosa, tos seca y lagrimeo excesivo.

^z Nivel mínimo requerido en la materia seca disponible para el ganado.

La manifestación de signos clínicos en los animales, ya sea por privación o intoxicación mineral, es la fase final del desbalance. Es quizá en las etapas intermedias donde se suscitan las mayores repercusiones negativas sobre el mantenimiento de la salud, el crecimiento y la reproducción; siendo estas funciones las que definen el éxito de cualquier sistema de producción animal. Es por esto que uno de los criterios más confiables para diagnosticar un desbalance de minerales, es el mejoramiento en las tres funciones previamente mencionadas, después de una complementación específica de minerales con ensayos bien diseñados y ejecutados (Suttle, 2010).

Es también en las etapas intermedias entre el estado óptimo del animal y los niveles extremos de la deficiencia o de la intoxicación, donde se expresan con menor definición las manifestaciones de los desbalances de minerales, y cuya apreciación visual es nula o confusa; obligando a proponer modelos para las fases que teóricamente anteceden al evidente desbalance y su posible secuencia. Además de crear una situación de constante búsqueda de procedimientos de laboratorio, para detectar cambios bioquímicos en los tejidos, fluidos, secreciones y excreciones, que sean indicativas o inherentes a dichas fases, para diagnosticar desórdenes aún en estadios subclínicos (Chesters y Arthur, 1988; Suttle, 2010).

Suttle (2010) esquematizó la serie de eventos que podrían desencadenarse desde el estado óptimo del animal, hasta el desorden evidente ya sea por privación o intoxicación mineral. Según este autor, en la privación (Figura 3) se desarrollaría la siguiente secuencia:

1. La cantidad almacenada del mineral es reducida.
2. Se reduce la cantidad del mineral transportado.
3. La función o funciones que dependen del mineral quedan limitadas.
4. Los signos clínicos del desorden son claramente visibles.

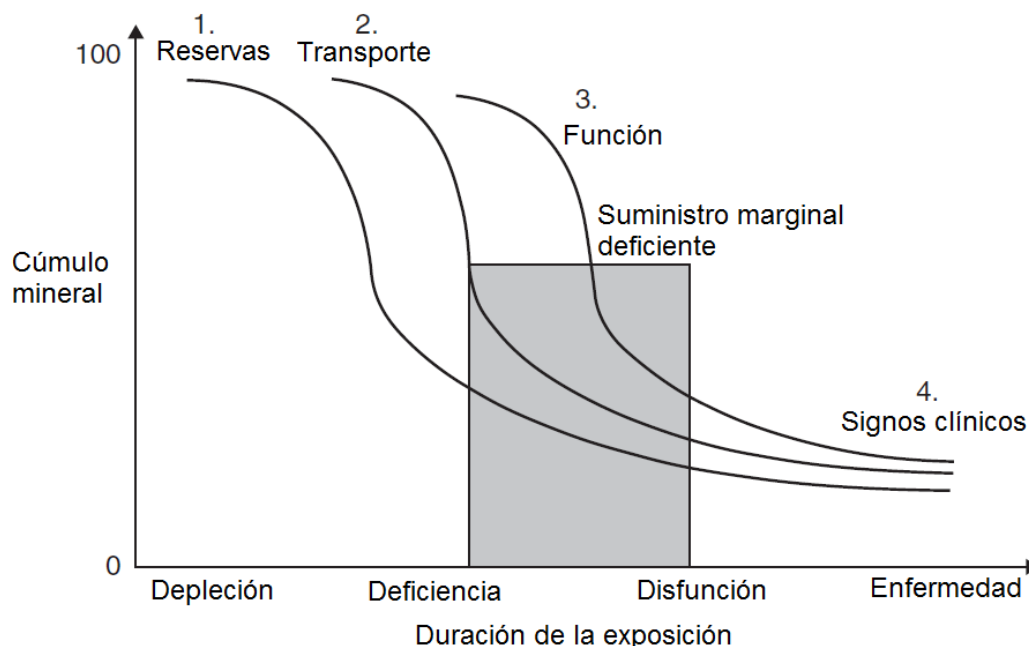


Figura 3. Secuencia de eventos fisiopatológicos que pueden ocurrir en el ganado con privación mineral (tomado de Suttle, 2010).

En la exposición a niveles elevados de minerales (Figura 4) se presentarían eventos de manera casi inversa a los presentados en la privación:

1. Hay un incremento del mineral en todos los sitios que sirven de reserva.
2. Aumenta la concentración del mineral en el compartimiento de transporte.
3. Hay una posible disfunción por acumulación de metabolitos y constituyentes anormales en los tejidos, fluidos y excreciones.
4. Los signos clínicos del desorden son evidentes.

Sin embargo, la secuencia precisa de eventos en ambas situaciones (privación e intoxicación), varía de mineral a mineral y en muchos casos se traslapan las etapas, por lo que el hallazgo de indicadores bioquímicos específicos resulta complicado.

Un ejemplo de lo anterior, sucede con la valoración del estado del hierro, ya que para condiciones controladas de deficiencia, Dallman *et al.* (1982) reportaron una disminución de la cantidad de hierro circulante en suero sanguíneo (transporte de hierro), del hematocrito y la enzima citocromo C en músculo e

intestino (componentes con hierro con función fisiológica específica), antes que las reservas de hierro del hígado y bazo fueran agotadas. Esta situación ocurre de manera similar con calcio durante un largo periodo de depleción, ya que los mecanismos de homeorresis logran mantener concentraciones séricas adecuadas a través de la resorción ósea, que en circunstancias altamente demandantes como la lactancia pueden ser insuficientes.

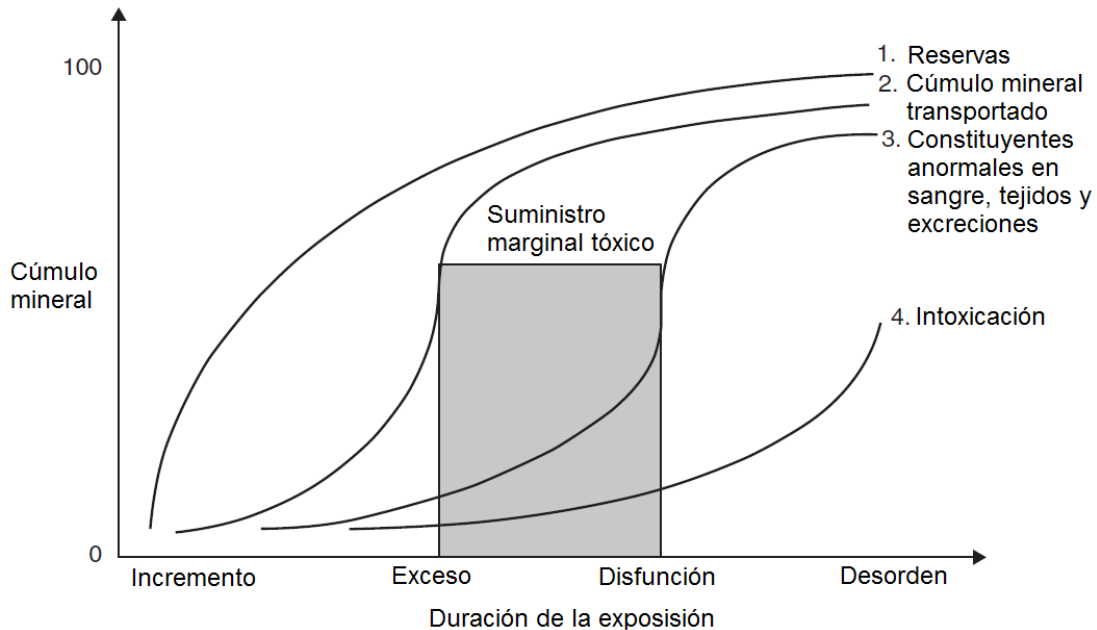


Figura 4. Secuencia de eventos bioquímicos que pueden ocurrir en el ganado durante la exposición por largo periodo a cantidades excesivas de minerales (tomado de Suttle, 2010).

La diferenciación de las fases, puede ser aún más complicada con aquellos elementos para los cuales los organismos *per se* generan reservas limitadas, y en situaciones de ligera privación se reflejará casi de manera inmediata una reducción de su concentración en el compartimiento de transporte, como ocurre con el magnesio, zinc y cobalto (Suttle, 2010).

En resumen, el hallazgo y empleo de cambios bioquímicos como indicadores de desbalances minerales, ofrecen la oportunidad de realizar un diagnóstico anticipado a la fase clínica, no obstante, esto podría acarrear subestimación o sobrestimación del estado mineral, al solo considerar una función del elemento.

Además, de que requieren pruebas de laboratorio y personal técnico especializado, por lo que su aplicación práctica es limitada a situaciones de acceso a instituciones de investigación o enseñanza.

2.4 Componentes del diagnóstico mineral

El diagnóstico mineral puede estar conformado, por tantos componentes se consideren aportadores de minerales al ganado. Sin embargo, su realización exige alto costo monetario y logístico, por lo que deben seleccionarse y analizarse el número mínimo de muestras, que sean representativas e indicativas del estado nutricional del ganado y su relación con factores directamente involucrados en la nutrición mineral.

2.4.1 Suelo

El suelo es el sustrato sobre el que crecen las plantas forrajeras, por lo que la concentración de los minerales en sus tejidos depende de la fertilidad, pH del suelo, de la disponibilidad de los minerales en la solución del suelo y de la forma química en la que se encuentre el mineral en la parte física y solución del suelo (Foth y Ellis, 1997). Por lo tanto, al asociar la concentración de un mineral en la planta forrajera con la concentración de este mismo en el suelo; se puede averiguar, si la desnutrición mineral del animal, es resultado de un bajo contenido con respecto al requerimiento del ganado pero suficiente para el crecimiento del forraje, o a la baja disponibilidad mineral del suelo.

Al considerar la concentración de un mineral en los forrajes, debe reconocerse la diferencia entre su capacidad para absorber los minerales del suelo y la habilidad para satisfacer sus necesidades, que en la mayoría de los casos no se igualan (Whitehead, 2000; McDowell y Arthington, 2005). De acuerdo con Vázquez *et al.* (2011), las plantas acumulan minerales durante el periodo de crecimiento activo, por lo que su contenido mineral puede no estar necesariamente relacionado con el contenido del mismo en el suelo. Las principales características físicas y químicas del suelo que determinan el

contenido mineral son (Foth y Ellis, 1997; Whitehead, 2000; Navarro y Navarro, 2003):

1. Material parental del que procede.
2. Entradas de nutrientes por la atmósfera, por fertilización, por abonado, por deyecciones, por material arrastrado.
3. Reciclamiento de todos estos nutrientes.

En tanto, que la biodisponibilidad de los elementos para las plantas está en función de:

1. Forma química del mineral.
2. Capacidad de intercambio catiónico.
3. pH.
4. Contenido de materia orgánica en el suelo, y
5. Potencial redox del suelo.

Tanto las características del suelo como las determinantes de la biodisponibilidad de los minerales mantienen interacciones y son distintas entre regiones (Whitehead, 2000; Navarro y Navarro, 2003).

De acuerdo con Etchevers (1987) y Aguilar (1987), para que el análisis del suelo sea realmente de utilidad práctica para el diagnóstico mineral, deben interpretarse correctamente los resultados y seguir el siguiente protocolo:

1. Obtener una muestra representativa del suelo a analizar, preferentemente a la profundidad de crecimiento de las raíces (7 a 15 cm) de la planta forrajera incluida en el diagnóstico, considerando las variaciones en color, textura y topografía del suelo, evitando las zonas cercanas a cercos metálicos, eléctricos, canales, drenajes y los 3 cm superficiales en caso de muestrear suelos fertilizados al voleo. Se recomienda tomar muestras en al menos 15 a 25 puntos distintos, mezclarlas uniformemente y hacer una sola muestra de medio a un kilogramo aproximadamente.

2. Manejar apropiadamente las muestras y realizar cuidadosamente las técnicas de laboratorio necesarias (secado, molienda, almacenamiento, extracción de fracciones minerales y análisis) para obtener la porción del material a analizar. Debe especificarse la determinación química a realizar (fracción del mineral soluble, intercambiable, extraíble, fijado y mineralizable).
3. Realizar la discriminación (correlación) de métodos, la cual consiste en la búsqueda bajo condiciones controladas de la solución extractora y el método de extracción, que reflejan de mejor manera la absorción de un nutrimento por parte de las plantas.
4. Calibrar el método o métodos, para seleccionar el procedimiento que provee la determinación cuantitativa más confiable entre la fracción mineral del suelo y ciertas variables productivas del cultivo en campo. De este proceso de varios años se obtiene el nivel crítico, que es el valor analítico del suelo por debajo del cual existe probabilidad de respuesta positiva a la fertilización.

Por otro lado, a través del consumo inadvertido del suelo impregnado al forraje, el ganado obtiene minerales, que en condiciones de privación o escasez de estos por largo periodo, lo obligará a la geofagia en un intento por satisfacer sus requerimientos (Smith *et al.*, 2000). Siendo este comportamiento un signo clínico fuertemente relacionado con desbalances minerales.

2.4.2 Agua

El agua es considerada el nutriente más importante para el ganado, debido a dos funciones de vital relevancia en el organismo: 1) es el medio en el cual se llevan a cabo las reacciones químicas del metabolismo, y el solvente en el que se transportan tanto los nutrientes dentro del cuerpo, como los desechos hacia afuera del cuerpo; y 2) el regulador de la temperatura corporal, debido a su alto calor específico, alto calor latente de evaporación y alta conductividad térmica (Church *et al.*, 2003; McDonald *et al.*, 2006).

Sin embargo, a pesar de lo anterior, el agua recibe poca atención en la nutrición animal quizás como consecuencia de ser un recurso abundante, de fácil acceso y obtenida a bajo costo con respecto a otros nutrimentos.

La calidad del agua de bebida destinada para consumo humano y animal, puede evaluarse (Beede, 1993; NRC, 2001) por sus:

- a) Características organolépticas, como olor y sabor.
- b) Características fisicoquímicas, como pH, sólidos totales disueltos, dureza y oxígeno disuelto.
- c) Contenido excesivo de macro y microminerales, como calcio, magnesio, fósforo, azufre, cloro, sodio, hierro, manganeso y flúor.
- d) Contenido de componentes tóxicos como, el arsénico, cadmio, plomo, mercurio, cianuro, mercurio, hidrocarburos y organofosfatos.
- e) Contaminación por microorganismos tales como, bacterias principalmente, protozoarios y algas.

Estos criterios estarán dados por la contaminación, química del suelo, cinética, tiempo de estancamiento, sedimentos, pH del agua, entre otros factores específicos. Así también determinarán el grado de aceptabilidad del agua por el ganado y posibles afecciones a los sistemas del organismo de los animales.

De acuerdo con el NRC (2001) y Beede (2009) los sulfatos (>1000 ppm), cloruro de sodio (>1000 ppm), nitratos (>45 ppm) y el hierro (>0.3 ppm), son los principales contaminantes del agua que causan una disminución en su consumo y disminución de la producción animal, remarcándose estos efectos adversos durante la época de mayor temperatura ambiental.

Son muchos los factores que hacen variar la calidad del agua, pese a esto, su aporte mineral de algunos elementos puede ser significativo para el ganado. McDowell (1985) empleando información acumulada durante 13 años, de concentraciones de varios minerales de agua superficial en los Estados Unidos, estimó mediante el consumo diario de agua por el ganado, que el promedio de

las concentraciones fueron suficientes para cubrir los requerimientos en 34 y 19% de cloruro de sodio, 10 y 8% de calcio, 28 y 45% de azufre de ganado bovino productor de carne y leche respectivamente; así también las concentraciones de cobalto, magnesio y manganeso pudieron cubrir hasta 12, 11 y 6% de sus respectivos requerimientos; mientras que para fósforo, potasio, hierro, zinc, cobre y selenio los aportes del agua fueron menores al 2%.

Por tanto, no considerar el contenido de minerales en el agua al momento de balancear la ración del ganado, deriva inadvertidamente en situaciones desfavorables como desbalances de índole nutricional (Socha *et al.*, 2001; Beede, 2009) y la deposición de contaminantes al ambiente a través de las deyecciones de los animales (Castillo *et al.*, 2007).

2.4.3 Forraje

El ganado en climas tropicales se cría en condiciones de pastoreo, donde el forraje es la principal fuente de nutrimentos. Por lo tanto, los forrajes que el ganado pastorea deben ser analizados en el laboratorio para diagnosticar el perfil nutricional de su alimentación. En aquellos casos que el pastoreo sea complementado con concentrados, granos y sales minerales; deben ser incluidos estos alimentos en el diagnóstico, con la finalidad de tener evidencias claras de qué tan bien nutrido está el ganado en un momento determinado.

Los factores que influyen sobre el crecimiento y contenido mineral de las distintas partes vegetativas de los forrajes son varios y están interrelacionados (Givens *et al.*, 2000; Vázquez *et al.*, 2011):

1. El género, la especie, la variedad, la anatomía y la fisiología de la planta.
2. La naturaleza física y química del suelo en el que crece la planta.
3. Las condiciones climáticas, edáficas y de manejo a las que está expuesta la planta durante su crecimiento.
4. El estado de madurez de la planta al momento de ser pastoreada.

5. La exposición a plagas, enfermedades y maleza antes de ser pastoreada.

La dimensión en que estos factores modifican el contenido mineral de los forrajes, varía entre los distintos minerales, y de los tratamientos aplicados principalmente al suelo (tipo de fertilización, aplicación de mejoradores del pH, de la frecuencia de riego) y al propio forraje (cruzamientos, selección de cultivares, control de plagas, entre otros). Estos factores afectan de diferente manera a gramíneas y a leguminosas, debido a su habilidad distinta para absorber y almacenar minerales (Cuadro 5).

Cuadro 5. Diferencias del contenido mineral en forrajes (materia seca) de distinta especie y diferente clima (tomado de Minson, 1990).

Elemento	Leguminosas		Gramíneas	
	Templado	Tropical	Templado	Tropical
Calcio g kg ⁻¹	14.2	10.1	3.7	3.8
Fósforo g kg ⁻¹	3.2	2.7	3.5	2.3
Magnesio g kg ⁻¹	2.6	2.8	1.8	3.6
Sodio g kg ⁻¹	De manera general <2.0, concentraciones más bajas en forrajes de clima tropical.			
Potasio g kg ⁻¹	Contenido ligeramente mayor en leguminosas cuando crecen en mismas condiciones. Se revierte cuando crecen en combinación y el suministro de potasio es limitado.			
Selenio mg kg ⁻¹	Mayor concentración en especies de clima tropical. Entre 50-450% mayor contenido en pastos al compararlos contra una leguminosa, con cuatro niveles de fertilización.			
Cobre mg kg ⁻¹	7.8	3.9	4.7	7.8
Zinc mg kg ⁻¹	38	40	34	36
Manganeso mg kg ⁻¹	Cuando leguminosas y gramíneas crecen en el mismo sitio y las concentraciones de estas últimas no rebasan 60 mg kg ⁻¹ , las concentraciones serán similares en ambas; si las concentraciones rebasan 60 mg kg ⁻¹ , serán mayores sus concentraciones que en leguminosas.			
Yodo mg kg ⁻¹	Promedio 0.26 mg kg ⁻¹ , intervalo 0.05-1.90 mg kg ⁻¹ .			

Una evidencia que demuestra claramente la diferencia entre plantas forrajeras, es el hecho de que algunas especies vegetales acumulan sodio (Youssef, 1988), o selenio (White, 2007) en sus tejidos no siendo esenciales para su metabolismo; y que otras especies aun creciendo en los mismos suelos no acumulen tales minerales.

La maduración de los forrajes está gobernada por señales internas ligadas a la genética de la planta, por factores del entorno de la planta como clima y estación del año, y otras, que suelen ser modificadas con el manejo de la pradera (Cuadro 6).

Cuadro 6. Algunas condiciones que afectan el contenido mineral del forraje.

Factor	Respuesta
Longitud del día	Incremento de sodio y selenio cuando las horas del día incrementaron, sin que sus contenidos en los forrajes llegaran a ser suficientes para cubrir los requerimientos del ganado (Arizmendi-Maldonado <i>et al.</i> , 2002a, b).
Temperatura del ambiente	Decremento de cobre, zinc, cobalto, selenio, magnesio y calcio; y exceso de potasio y manganeso en <i>Lolium multiflorum</i> y <i>Avena sativa</i> durante la transición del invierno a primavera, situación que predispone a hipomagnesemia (Spann, 2010).
Diferencia en la altitud	Incremento en la concentración de cobre y disminución en la de selenio al aumentar la altitud. Incremento de fósforo ($>0.37 \text{ g kg}^{-1}$ de materia seca) al aumentar cada 305 metros a partir de 1340 a 2340 metros (Jumba <i>et al.</i> , 1996).
Madurez avanzada	La concentración de fósforo disminuye conforme a la edad, la intensidad es menor en las leguminosas (Coates <i>et al.</i> , 1990).
Edad de la planta	Las concentraciones de magnesio, zinc, cobre, manganeso, cobalto, níquel, molibdeno y hierro disminuyen, mientras que la de silicio aumenta (Minson, 1990):
Estación del año: húmeda y seca	Incremento en las concentraciones de fósforo (60%), magnesio (75%) y potasio (110%) durante la estación húmeda con respecto a la estación seca (Kiatoko <i>et al.</i> , 1982).

Por ejemplo, se puede lograr que las plantas forrajeras estén en estadio joven permanente, con más hoja y menos tallo, planificando el pastoreo; y que produzcan más hoja aplicando fertilizante nitrogenado, y que absorban la cantidad de minerales que necesitan aumentando la frecuencia del riego.

Un mayor contenido de minerales en los forrajes será benéfico para el ganado, de ello dependerá mayor acceso de fracciones biodisponibles de algunos minerales a nivel de la mucosa intestinal, mayor absorción y retención del mineral en el organismo del animal como biomoléculas (Suttle, 2010). Por supuesto la cantidad absorbida del mineral dependerá de las interacciones antagónicas o sinérgicas a nivel del tracto intestinal entre minerales (Figura 5) y con otros compuestos (Georgievskii, 1982).

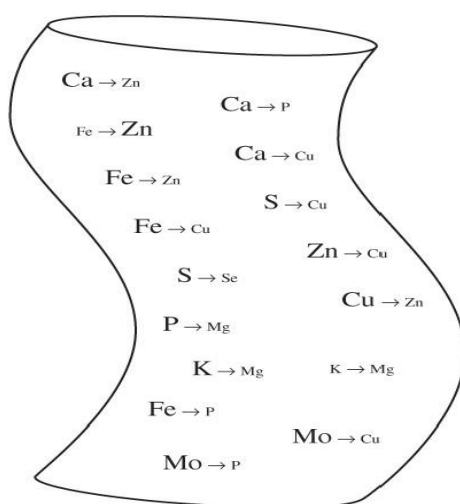


Figura 5. Interacciones minerales que afectan su absorción en tracto digestivo. Letra grande indica exceso mineral o incremento en su absorción, letra pequeña indica deficiencia mineral o decremento en su absorción (Tisch, 2006).

Además del contenido y biodisponibilidad de los distintos minerales, la cantidad de materia seca consumida es otro factor que influye sobre el valor del forraje como fuente de minerales. El consumo será dependiente de los factores físicos del forraje (estructura de la planta y de la pradera), factores del animal (edad, tamaño, etapa fisiológica) y factores metabólicos; sumándose también los efectos adversos que ejercen principalmente la temperatura ambiental y la

humedad relativa del trópico (Figura 6), disminuyendo el consumo de materia seca, la tasa de pasaje y motilidad intestinal.

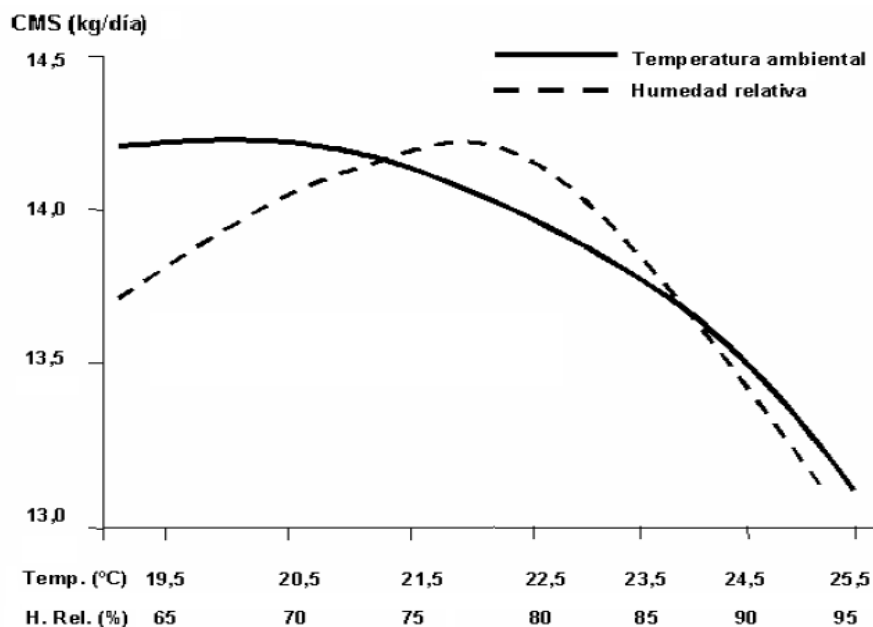


Figura 6. Consumo de materia seca en dependencia de factores ambientales (Bodisco *et al.*, 1975).

El ambiente y ecología particulares de los rumiantes modifican su metabolismo mineral, gracias a la actividad degradadora de las bacterias que permiten la utilización de fitatos y en menor grado de oxalatos. Además, el consumo de forrajes favorece la producción de saliva y con ello al reciclamiento de sodio y fósforo. Considerando lo anterior, el análisis del contenido de minerales en el forraje consumido por el ganado es necesario para diagnosticar el perfil nutrimental de la dieta diaria.

Sin embargo, un factor ajeno a la composición de los forrajes que influye en la cantidad de minerales ingeridos por el ganado, son las partículas de suelo que suelen estar presentes en el forraje, debido a la lluvia o al pisoteo de los animales en pastoreo. Se ha estimado que debido a lo anterior, el ganado bovino adulto consume de 0.5 a 0.87 kg de suelo animal⁻¹ día⁻¹ (Healy, 1968), de 0.46 a 0.78 kg de suelo animal⁻¹ día⁻¹ (Thornton, 1974), de 0.01 a 1.5 kg de

suelo animal⁻¹ día⁻¹ (Mayland *et al.*, 1975) y de 0.73 a 0.99 kg de suelo animal⁻¹ día⁻¹ (Mayland *et al.*, 1977).

Como resultado de la contaminación con suelo, el contenido de algunos minerales en el forraje puede aumentar hasta dos veces o más (Healy *et al.*, 1974). Además, la acción que ejercen las secreciones del tracto gastrointestinal sobre el suelo consumido, alteran las concentraciones minerales en el organismo animal (Healy, 1972); y en la mayoría de los minerales ocurre aumento de su disponibilidad; lo que posiblemente favorezca su concentración en los tejidos de los animales (Healy *et al.*, 1970; Grace *et al.*, 1996; Grace, 2006) y en algunos casos también se favorezca la absorción de elementos potencialmente dañinos como el arsénico, cadmio, plomo, flúor y otros (Bramley, 1990; Rosas *et al.*, 1999; Grace *et al.*, 2005).

2.4.4 Muestras de origen animal

De los distintos componentes del diagnóstico mineral, sin duda las concentraciones minerales y cambios bioquímicos (enzimas, proteínas y otros metabolitos) del metabolismo mineral en tejidos, fluidos y otro tipo de muestras elegidas de manera específica de los animales (Cuadro 7), son los mejores indicadores del estado mineral, y dejan en evidencia si los aportes de la dieta satisfacen o no, o sobrepasan los requerimientos del ganado (Álvarez, 2001; McDowell, 2005). Además son el eslabón que da sustento a la información recabada durante la anamnesis, la exploración física de los animales y su comportamiento en campo y/o corrales.

No obstante a la evolución de las herramientas de laboratorio para la valoración del estado mineral de los animales, todavía existen obstáculos que limitan su plena aplicación. Dos de los principales obstáculos posiblemente sean, primero, que aún no existen en todos los casos métodos confiables establecidos de evaluación ni en animales (Mills, 1987; Chesters y Arthur, 1988), ni en humanos (Bogden y Klevay, 2000; Hambidge, 2003), y segundo, que la elección de las muestras se rige más por su facilidad de obtención o conveniencia, que por su

calidad diagnóstica (Kincaid, 1999; Suttle, 2010), lo que puede conducir a una interpretación errónea.

Cuadro 7. Tipos de muestras utilizadas con mayor frecuencia para la cuantificación mineral en la detección de deficiencias (tomado de Puls, 1988; McDowell y Arthington, 2005).

Elemento	Muestra	Nivel crítico ^z
Calcio	Hueso (sin grasa)	24.5%
	Hueso (ceniza)	37.6%
	Plasma	8 mg/100 mL
Magnesio	Suero	1.8 mg/100 mL
	Orina	10 mg/100 mL
	Líquido cefalorraquídeo	1.6 mg/100 mL
Fósforo	Hueso (sin grasa)	11.5%
	Hueso (ceniza)	17.6%
	Hueso (volumen)	120 mg P/cm ³
	Plasma	4.5 mg/100 mL
Potasio	Suero	9.8 mg/100 mL
Sodio	Suero	299 mg/100 mL
	Saliva	100 a 200 mg/100 mL
	Heces	1000 ppm
Cobalto	Hígado (como Co)	0.05 a 0.07 ppm
	Hígado (como vitamina B ₁₂)	0.11 a 0.22 ppm
Cobre	Hígado	25 a 75 ppm
	Suero	0.65 ppm
Yodo	Suero (como I)	<0.1 ppm
	Suero (como tiroxina)	20 a 30 ng/mL
Hierro	Hemoglobina	10 g/100 mL
	Transferrina	13 a 15% de saturación
	Suero	13 ppm
Manganeso	Hígado	6 ppm
Selenio	Suero	0.03 ppm
	Hígado	0.25 ppm
	Pelo o lana	0.25 ppm
Zinc	Suero	0.6 a 0.8 ppm
	Hígado	25 a 40 ppm

^z Nivel por debajo del cual, se presentan signos de deficiencia y hay probabilidad de respuesta positiva a la suplementación.

Ejemplo de ello es el uso generalizado de la sangre o sus componentes como muestra diagnóstica, que por un lado es de obtención relativamente fácil, pero por otro, no refleja el estado real de los animales, debido a que los mecanismos de homeorresis pueden mantener concentraciones minerales sanguíneas adecuadas por largo periodo, en tanto que las reservas corporales están cuasi agotadas. Por tanto, la obtención y análisis de la muestra que ofrezca la mayor confiabilidad en la detección del desbalance (Cuadro 7 y Cuadro 8), dará mayor certeza al diagnóstico, aumentando las posibilidades de éxito del tratamiento (Álvarez, 2001; Haenlein y Anke, 2011).

Por otro lado, las condiciones en campo no siempre reúnen los requisitos necesarios para la obtención de la muestra más apropiada, dejando como única opción la toma de la muestra más conveniente, que con adecuados procedimientos de obtención y análisis, y el cotejo de sus resultados con verdaderos valores de referencia, proveerán suficiente evidencia sugestiva.

Cuadro 8. Tejidos indicadores para la detección de estados de deficiencia en rumiantes (tomado de Haenlein y Anke, 2011).

Tejido	Se	Cu	Zn	Mn	I	Mo	Cd	Pb	As
Suero sanguíneo	*** ^z	*	0	0	***	***	0	*	*
Hígado	**	***	0	***	***	***	**	***	***
Costilla	0	0	***	0	0	*	0	***	0
Pelo	**	*	*	*	***	***	*	*	**
Riñón	*	0	0	*	***	**	***	***	***
Cerebro	0	***	0	0	0	*	0	0	*

^z Tejido indicador con (***) mayor, (**) media, (*) baja y (0) nula confiabilidad en la detección de deficiencias.

A pesar de las ventajas que ofrece el uso de las pruebas de laboratorio en la detección de alteraciones minerales, son quizá la escasez de laboratorios especializados y el alto costo de los análisis las mayores barreras en la diseminación de su uso, pero a su vez, es un área estratégica de investigación

y desarrollo, necesaria en la resolución de problemas de nutrición animal que han estado presentes desde antaño en regiones tropicales de México (Colegio de Posgraduados y Fundación Produce Veracruz, 2003).

2.5 Literatura citada

- Aguilar N., A. G. 1987. Análisis de suelos para estudios de fertilidad, su problemática y su uso. *In: El Análisis Químico de Suelos*. Tah I., J. F. (comp.). Chapingo. Estado de México. 1984. Universidad Autónoma Chapingo. pp: 81-90.
- Ahmed M., M .M., I. M. T. Fadlalla, and M. E. S. Barri. 2002. A possible association between dietary intake of copper, zinc and phosphate and delayed puberty in heifers in Sudan. *Tropical Animal Health and Production* 34: 75-80.
- Álvarez C., J. L. 2001. *Bioquímica Nutricional y Metabólica del Bovino en el Trópico*. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia. 201 p.
- Arizmendi-Maldonado, D., L. R. McDowell, T. R. Sinclair, P. Mislevy, F. G. Martin, and N. S. Wilkinson. 2002a. Mineral concentrations in four tropical forages as affected by increasing daylength. I. Macrominerals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33: 1991-2000.
- Arizmendi-Maldonado, D., L. R. McDowell, T. R. Sinclair, P. Mislevy, F. G. Martin, and N. S. Wilkinson. 2002b. Mineral concentrations in four tropical forages as affected by increasing daylength. II. Microminerals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33: 2001-2009.
- Aguirre R., C. J., y W. López A. 2004. Estado mineral de bovinos de doble propósito bajo pastoreo en Hidalgotitlán, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 43 p.
- Beede, D. K. 1993. Water nutrition and quality for dairy cattle. *In: Proceedings Western Large Herd Management Conference*. Las Vegas, Nevada. April 22-24. pp. 193-205.
- Beede, D. K. 2009. Solving bad water problems for thirsty cows. *In: Proceeding Western Dairy Management Conference*. Reno, Nevada. March 11-13. 9 p.
- Bodisco, V., A. Valle, S. Mendoza, y E. García. 1975. Consumo voluntario de materia seca, peso y producción de vacas lecheras. *Agronomía Tropical* 25: 533-547.
- Bogden, J. D., and L. M. Klevay. 2000. *Clinical Nutrition of the Essential Trace Elements and Minerals: The Guide for Health Professionals*. Ed. Humana Press. New Jersey, USA. 398 p.
- Bramley, R. G. V. 1990. Cadmium in New Zealand agriculture. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 33: 505–519.

- Castillo, R. A., J. E. P. Santos, and T. J. Tabone. 2007. Mineral balances, including in drinking water, estimated for Merced County dairy herds. *California Agriculture* 61: 90-95.
- Chesters, J. P., and J. R. Arthur. 1988. Early biochemical defects caused by dietary trace element deficiencies. *Nutrition Research Reviews* 1: 39-56.
- Church, D. C., W. G. Pond, y K. R. Pond. 2003. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales. Segunda edición. Ed. Limusa Wiley. México. 635 p.
- Coates, D. B., P. C. Kerridge, C. P. Miller, W. H. Winter. 1990. Phosphorus and beef production in Australia. 7. The effect of phosphorus in the composition, yield and quality of legume based pasture and their relation to animal production. *Tropical Grasslands* 24: 209-220.
- Colegio de Postgraduados y Fundación Produce de Veracruz. 2003. Síntesis de oportunidades estratégicas de investigación y desarrollo. *In: Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología de la Cadena de Bovinos de Doble Propósito en el Estado de Veracruz*. Tepetates, Ver. Mayo de 2003. pp: 107-120.
- Dallman, P. R., M. D. Canio Refino., and M. J. Yland. 1982. Sequence of development of iron deficiency in the rat. *The American Journal of Clinical Nutrition* 35: 671-677.
- Etchevers B., J. D. 1987. Análisis químicos de suelo. El porqué de sus fallas. *In: El Análisis Químico de Suelos*. Tah I., J. F. (comp.). Chapingo. Estado de México. 1984. Universidad Autónoma Chapingo. pp: 15-47.
- Evans, G. O. 2009. Animal Clinical Chemistry. A Practical Guide for Toxicologists and Biomedical Researchers. Second edition. CRC Press. USA. 320 p.
- Fick, K. R., L. R. McDowell, and R. H. Houser. 1978. Current status of mineral research in Latin America. *In: Symposium on mineral nutrition research with grazing ruminant*. Conrad, J. H., and L. R. McDowell (ed.). University of Florida, Gainesville. pp: 149-162.
- Foth D. H., and B. G. Ellis. 1997. Soil Fertility. Second edition. CRC Press Inc., Lewis Publishers. 290 p.
- Georgievskii, V. I., B. N. Annenkov, and V. T. Samokhin. 1982. Mineral Nutrition of Animals. Ed. Butterworths. London, UK. 475 p.
- Gámez B., J. R. 2009. Diagnóstico del estado mineral de bovinos en San Juan Del Río, Choapam, Oaxaca. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 66 p.
- Givens, D. I., E. Owen, R. F. E. Axford, and H. M. Omed. 2000. Forage Evaluation in Ruminant Nutrition. CABI Publishing. United Kingdom. 480 p.

- Grace, N. D., J. R. Rounce, and J. Lee. 1996. Effect of soil ingestion on the storage of Se, vitamin B12, Cu, Cd, Fe, Mn, and Zn in the liver of sheep fed lucerne pellets. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 39: 325-331.
- Grace, N. D., P. Loganathan, M. W. Deighton, G. Molano, and M. J. Hedley. 2005. Ingestion of soil fluorine: Its impact on the fluorine metabolism of dairy cows. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 48: 23-27.
- Grace, N. D. 2006. Effect of ingestion of soil on the iodine, copper, cobalt (vitamin B12) and selenium status of grazing sheep. *New Zealand Veterinary Journal* 54: 44-47.
- Haenlein, G. F. W., and M. Anke. 2011. Mineral and trace element research in goats: A review. *Small Ruminant Research* 95: 2-19.
- Hambidge, M. 2003. Biomarkers of trace mineral intake and status. *Journal of Nutrition* 133: 948-955.
- Healy, W. B. 1968. Ingestion of soil by dairy cows. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 11: 487-499.
- Healy, W. B., W. J. McCabe, and G.F. Wilson. 1970. Ingested soil as a source of microelements for grazing animals. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 13: 503-521.
- Healy, W. B. 1972. In vitro studies on the effects of soil on elements in ruminal, "duodenal", and ileal liquors from sheep. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 15: 289-305.
- Healy, W. B., P. C. Rankin, and H. M. Watts. 1974. Effect of soil contamination on the element composition of herbage. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 17: 59-61.
- Jumba, I. O., N. F. Suttle, E. A. Hunter, and S. O. Wandiga. 1996. Effects of botanical composition, soil origin and composition on mineral concentrations in dry season pastures in Western Kenya. *In: Environmental Geochemistry and Health. Geological Society Special Publication No. 113.* Appleton, J.D., R. Fuge, and G. J. H. McCall. (eds.). London. pp. 39-45.
- Kaneko, J. J., J. W. Harvey, and M. L. Bruss. 2008. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. Sixth edition. Academic Press. USA. 928 p.
- Kiatoko, M. L. R. McDowell, J. E. Bertrand, H. L. Chapman, F. M. Pate, F. G. Martin, and J. H. Conrad. 1982. Evaluating the nutritional status of beef cattle herds from four soil order regions of Florida. I. Macroelements, protein, carotene, vitamins A and E, hemoglobin and hematocrit. *Journal of Animal Science* 55: 28-37.
- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. *In: Proceedings of the American Society of Animal Science.* Indianapolis, Ind. July 21-23. 10 p.

- Martínez C., E. 2006. Diagnóstico y suplementación mineral de ganado bovino en condiciones tropicales. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 102 p.
- Mayland, H. F., A. R. Florence, R. C. Rosenau, V. A. Lazar, and H. A. Turner. 1975. Soil ingestion by cattle on semiarid range as reflected by titanium analysis of feces. *Journal of Range Management* 28: 448-452.
- Mayland, H. F., G. E. Shewmaker, and R. C. Bull. 1977. Soil ingestion by cattle grazing crested wheatgrass. *Journal of Range Management* 30: 264-265.
- Merchant, S. S. 2010. The elements of plant micronutrients. *Plant Physiology* 154: 512-515.
- McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, y C. A. Morgan. 2006. *Nutrición Animal*. Sexta edición. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 587 p.
- McDowell, L. R. 1985. *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press, Inc. USA. 444 p.
- McDowell, L. R., y J. D. Arthington. 2005. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. Cuarta edición. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA. 94 p.
- Mills, C. F. 1987. Biochemical and physiological indicators of mineral status in animals: copper, cobalt and zinc. *Journal of Animal Science* 65: 1702-1711.
- Minson, D. J. 1990. *Forage in Ruminant Nutrition*. Academic Press, Inc. California, USA. 483 p.
- National Research Council. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. Seventh revision edition. The National Academies Press. Washington, D. C. USA. 381 p.
- Navarro B., S., y G. Navarro G. 2003. *Química Agrícola: El Suelo y los Elementos Químicos Esenciales para la Vida Vegetal*. Segunda edición. Ed. Mundi Prensa. España. 487 p.
- Núñez, O. L., y J. Bouda. *Patología Clínica Veterinaria*. Segunda edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 334 p.
- O'Dell, B. L. and R. A. Sunde. 1997. Introduction. In: O'Dell, B. L. y R. A. Sunde (Eds.). *Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements*. p. 1-12. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Pfander, W. H. 1971. Animal nutrition in the tropics-problems and solutions. *Journal of Animal Science* 33: 843-849.
- Preston, T. R. 1982. Nutritional limitations associated with the feeding of tropical forages. *Journal of Animal Science* 54: 877-884.
- Puls, R. 1988. *Mineral Levels in Animal Health Diagnostic Data*. Ed. Sherpa International. Canada. 154 p.

- Radostits, O. M., I. G. Mayhew, and D. M. Houston. 2000. Veterinary Clinical Examination and Diagnosis. Ed. Elsevier. Toronto, Canada. 621 p.
- Ramos M., P. 2009. Diagnóstico del estado mineral de bovinos para carne pastoreando en la región huasteca alta. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 92 p.
- Rosas, I., R. Belmont, A. Armienta, and A. Baez. 1999. Arsenic concentrations in water, soil, milk and forage in Comarca Lagunera, México. Water, Air and Soil Pollution 112: 133-149.
- Smith, J. W., E. A. Adebawale, F. I. Ogundola, A. A. Taiwo, S. O. Akpavie, A. Larbi, and M. A. Jabbar. 2000. Influence of minerals on the aetiology of geophagia in periurban dairy cattle in the derived savannah of Nigeria. Tropical Animal Health and Production 32: 315-327.
- Socha, M. T., J. G. Linn, D. J. Tomlinson, and A. B. Johnson. 2001. Impact of variations in chemical composition of water on potential palatability and mineral intake of dairy cattle. Journal of Dairy Science 84, Supplement 1: 85-85.
- Spann, A. J., J. N. Carter, L. R. McDowell, N. S. Wilkinson, R. O. Myer, M. K. Maddox, and M. Brennan. 2010. Forage mineral concentrations and mineral status of beef cattle grazing cool season pastures in northwestern Florida, emphasizing magnesium. Communications in Soil Science and Plant Analysis 41: 472-481.
- Stonaker, H. H. 1975. Beef production systems in the tropics I. Extensive production systems on infertile soils. Journal of Animal Science 41: 1218-1227.
- Suttle, N. F. 2010. Mineral Nutrition of Livestock. 4th Edition. CABI Publishing. UK. 587 p.
- Tisch, D. A. 2006. Animal Feeds, Feeding and Nutrition and Ration Evaluation. Ed. Thomson Learning. New York, USA. 491 p.
- Thornton, I. 1974. Biochemical and soil ingestion studies in relation to trace element nutrition of livestock. In: 2nd International Symposium on Trace Element Metabolism in Animals. Wisconsin. pp: 451-454.
- Underwood, E. J. and N. F. Suttle. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock. 3rd edition. CABI Publishing. New York. USA. 624 p.
- Vázquez G. J., Pérez, P. J. y Meléndez N. F. 2011. Fertilidad de Suelos para Praderas Tropicales. Fundación Produce – Universidad Autónoma de Chiapas – Facultad de Ciencias Agropecuarias. México. 437 p.
- Waldron, K. J., J. C. Rutherford, D. Ford, and N. J. Robinson. 2009. Metalloproteins and metal sensing. Nature 460: 823-830.
- White, P. J., H. C. Bowen, B. Marshall, and M. R. Broadley. 2007. Extraordinarily high leaf selenium to sulfur ratios define 'Se-accumulator' plants. Annals of Botany 100: 111-118.

Whitehead, C. D. 2000. Nutrient Elements in Grassland: Soil-Plant-Animal Relationships. CABI Publishing. UK. 369 p.

Youssef, F. G. 1988. Some factors affecting the mineral profiles of tropical grasses. Outlook on Agriculture 17: 104-111.

3. DIAGNÓSTICO MINERAL DE GANADO BOVINO EN LA REGIÓN SUROESTE DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO

3.1 Resumen

Se realizó un diagnóstico del estado mineral en diez unidades de producción bovina (UP) dedicadas al doble propósito en la región suroeste de Veracruz, México. El objetivo fue cuantificar el contenido de calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na), selenio (Se), cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe) y manganeso (Mn) del agua, suelo, forraje y suero sanguíneo obtenidos al azar. El modelo de análisis para las concentraciones minerales en agua, suelo y forraje incluyó el efecto de UP, y para las concentraciones en suero se incluyeron los efectos de UP, grupo de edad de los animales y su interacción. Las concentraciones de P y K en agua fueron diferentes entre UP ($p \leq 0.05$) y superiores al nivel máximo recomendable para consumo del ganado. Las concentraciones de Cu y Zn en suelo fueron inferiores al nivel mínimo requerido para el desarrollo del forraje. Las concentraciones de K, Fe, Na, Cu y Zn en el forraje fueron similares entre UP ($p > 0.05$), y a excepción del K y Fe, los demás minerales tuvieron concentraciones inferiores a los requerimientos del ganado. El contenido de Se representó menos del 50% del requerimiento diario del ganado en la mayoría de las UP. Las concentraciones minerales séricas fueron diferentes ($p \leq 0.05$) entre UP. El Ca, Na, Se, Cu y Zn estuvieron por debajo del intervalo adecuado en cuatro, cinco, ocho, nueve y diez UP respectivamente, mientras el P excedió el intervalo adecuado en todas las UP. Las concentraciones minerales en suero de vacas y crías fueron diferentes ($p \leq 0.05$), excepto para K. La interacción UP x grupo de edad de los animales fue significativa ($p \leq 0.05$), excepto para la relación Ca:P. En promedio el suelo, forraje y suero sanguíneo fueron deficientes en Se, Cu y Zn, y adecuados en Ca y Fe. Las concentraciones séricas de P y K fueron excesivas. El contenido promedio de sodio en agua fue suficiente para cubrir el requerimiento mínimo del ganado adulto.

Palabras claves: agua, suelo, forraje, suero sanguíneo

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Saúl Castañeda Chirinos
Director de Tesis: Ph.D. Maximino Huerta Bravo

MINERAL DIAGNOSIS OF BEEF CATTLE FROM SOUTHWESTERN REGION OF VERACRUZ, MÉXICO

3.2 Abstract

In order to diagnose the mineral status of ten dual purpose cattle farms (DPCU) in southwest of Veracruz, Mexico, the concentrations of calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K), sodium (Na), selenium (Se), copper (Cu), zinc (Zn), iron (Fe) and manganese (Mn) were quantified in samples of water, soil, forage and blood serum. The statistical model for mineral concentrations in water, soil and forage included the effect of DPCU, while that for minerals in blood serum included the effects of DPCU, age-group of animals and their interaction. Concentrations of P and K in water were different ($p \leq 0.05$) between DPCU and exceeded the maximum level recommended for livestock consumption. Copper and Zn concentrations ($p \leq 0.05$) in soil were lower than the minimum level required for forage development. Concentrations of K, Fe, Na, Cu and Zn in forages were similar ($p > 0.05$) among DPCU. Sodium, Cu and Zn in forages were lower than cattle requirements. Forage Se was lower in nine DPCU, with less than 50% of the requirement, while P was deficient in only one. All serum mineral concentrations were different ($p \leq 0.05$) among DPCU. Calcium, Na, Se, Cu and Zn were under the lower limit in four, five, eight, nine and ten DPCU respectively. However, P exceeded the upper limit in all farms. There were differences ($p \leq 0.05$) in all mineral concentrations among serum samples of cows and calves, except for K. All interactions between the DPCU and age-group of animals were significant ($p \leq 0.05$), except for the Ca:P ratio. Soils, forages and blood serum were on average deficient in Se, Cu and Zn, and adequate in Ca and Fe concentrations. Serum P and K were excessive. The average of Na content in water was sufficient to cover the minimum requirement of livestock.

Key words: water, soil, forage, blood serum

3.3 Introducción

La ganadería bovina es la principal actividad agropecuaria que se desarrolla en las regiones tropicales de México, donde se concentra aproximadamente el 80% de la población bovina de doble propósito, y cuya alimentación base son los forrajes que crecen en los agostaderos y praderas, que ocupan aproximadamente 50 y 25% respectivamente de los 48.8 millones de hectáreas que conforman las regiones tropicales mexicanas (Colegio de Postgraduados y Fundación Produce Veracruz, 2003). En estas condiciones, la productividad de los sistemas de pastoreo con ganado bovino es baja, debido principalmente a la variación estacional en la producción y la calidad de los forrajes (Pfander, 1971; Preston, 1982; Ortega, 1990).

El perfil mineral de los forrajes de regiones tropicales, estrechamente relacionado con la fertilidad y propiedades físicas del suelo, es deficiente en varios minerales respecto a los requerimientos del ganado bovino. McDowell (1985) reporta que de un análisis de entre 133 a 1129 forrajes, el porcentaje de estos que resultaron deficientes fueron: calcio, 75%; fósforo, 73%; magnesio, 35%; sodio, 60%; potasio, 15%; selenio, 51%; cobre, 47%; zinc, 75%; hierro, 24% y manganeso, 21%.

En tanto en regiones tropicales de México, el análisis de entre 50 a 112 forrajes indica que la concentración promedio de estos aportó: 127% $\pm$ 34 de calcio, 98% $\pm$ 29 de fósforo, 99% $\pm$ 37 de magnesio, 66% $\pm$ 29 de sodio, 185% $\pm$ 41 de potasio, 59% $\pm$ 20 de cobre, 104% $\pm$ 43 de zinc, 272% $\pm$ 192 de manganeso, 1242% $\pm$ 517 de hierro y 77% $\pm$ 21 de selenio del requerimiento mínimo de bovinos en pastoreo (Alvear, 2003; Martínez, 2006; Gámez, 2009; Ramos, 2009).

Además de la variabilidad en el contenido mineral de los forrajes, se agrega la interferencia y antagonismo natural o provocado (por complementación mineral desbalanceada) entre algunos elementos, como factores que limitan la disponibilidad de las fuentes minerales, afectando su valor nutritivo o

promoviendo una potencial toxicidad por el exceso (Suttle, 2010). Las consecuencias de lo anterior suelen ser problemas reproductivos, baja producción de carne y leche, bajas ganancias de peso y bajo peso corporal en terneros durante la lactancia, entre otras anomalías. Por tal razón, la cuantificación del contenido mineral de los componentes del sistema de producción de bovinos en pastoreo (agua, suelo, planta y animal), es necesario para identificar de manera inmediata y específica posibles desbalances en la nutrición mineral del ganado (McDowell y Arthinhon, 2005; Castillo *et al.*, 2007).

El objetivo de la presente investigación fue diagnosticar el estado mineral en ganado bovino de doble propósito, a través de la cuantificación del contenido mineral en agua, suelo, forraje y suero sanguíneo de bovinos de la región suroeste del estado de Veracruz, México.

3.4 Materiales y métodos

En el mes de febrero de 2010, se colectaron 25 muestras de suelo, 30 de agua, 42 de forraje y 194 de suero sanguíneo (97 vacas y 97 crías) de 10 unidades de producción bovina de doble propósito (ranchos), de los municipios Jesús Carranza (17° 26' latitud norte y 95° 01' longitud oeste), San Juan Evangelista (17° 53' latitud norte y 95° 08' longitud oeste) y Sayula de Alemán (17° 53' latitud norte y 94° 57' longitud oeste), en el trópico húmedo al suroeste del estado de Veracruz, México.

3.4.1 Colecta y procesamiento de las muestras

Agua

Se colectaron dos o más muestras de agua de cada fuente disponible para el ganado, dentro de cada unidad de producción siguiendo el protocolo recomendado por Ramos *et al.* (2003). Las muestras se colocaron en bolsas de plástico y botellas de plástico (previamente limpiadas de manera específica) apropiadamente identificadas. En el laboratorio se mezclaron las muestras de cada fuente para formar una muestra compuesta, la cual se depositó en

envases de nalgene identificados, y se almacenaron en congelación hasta ser analizadas.

Antes de realizar el análisis, las mezclas fueron filtradas con papel Whatman® del número 42. Una vez filtradas, parte de ellas se expusieron a un proceso de digestión con ácido clorhídrico (5% volumen/volumen), excepto las porciones destinadas para cuantificar fósforo (digestión con ácido nítrico) y selenio (evaporación y digestión con ácidos nítrico y perclórico).

Suelo

Se colectaron muestras de suelo según el protocolo descrito por Aguilar (1984), colectando mediante muestreo estratificado de cuatro a cinco muestras compuestas, tomadas entre 15 a 20 cm de profundidad a una distancia de 10 a 15 cm de las plantas forrajeras colectadas. Las muestras se depositaron en bolsas de plástico identificadas. En el laboratorio las muestras se secaron en una estufa con aire forzado a una temperatura de 65 °C durante 48 horas. Las muestras secas se molieron usando mortero y pistilo, y se cernieron con una maya cribada de 1 mm. Se formó una muestra problema al mezclar las muestras colectadas en campo, considerando homogeneidad en su colecta.

El proceso de obtención de la porción mineral extraíble del suelo fue de acuerdo con la metodología de Perkin Elmer (1996), que consistió en la aplicación de 20 mL de una solución extractora doble ácido (ácido clorhídrico 0.05 N y ácido sulfúrico 0.025 N) a 5 g de la muestra problema, agitadas durante 15 minutos. Después fueron filtradas con papel Whatman® del número 542, y aforadas a 50 mL empleando la misma solución extractora doble ácido. Las porciones para la cuantificación de fósforo (método Bray) y selenio (extracción con ácido nítrico y perclórico) fueron tratadas con una solución específica para cada caso.

Forraje

Previo a la colecta de las muestras de forraje, se recorrieron los potreros para conocer qué tan homogéneo era cada uno. En caso de ser heterogéneos en

plantas forrajeras, topografía y tipo de suelos, se colectaron muestras de forrajes y suelo para cada situación de acuerdo con Fick *et al.* (1979).

Se colectaron cinco o más muestras de cada especie forrajera por rancho, mediante el método de simulación del pastoreo (hand pluncking). Las muestras colectadas fueron depositadas en bolsas de papel identificadas. Para cada especie forrajera se formó una muestra compuesta de aproximadamente 400 g por potrero. Cada muestra compuesta fue secada en una estufa con aire forzado por más de 48 horas a una temperatura de 100 °C. Una vez secas las muestras fueron molidas en dos ocasiones inmediatas, inicialmente con una criba de 2 mm y posteriormente con una criba de 1 mm de diámetro y de acero inoxidable, en un molino marca Wiley con aspas con recubrimiento de bronce. Las muestras molidas se almacenaron en empaque hermético hasta su análisis.

De cada muestra molida se tomó una porción de 5 g de materia seca para someterla a una combustión de la materia orgánica, en una mufla marca Felisa, a una temperatura de 500° C durante 8 horas. Las cenizas resultantes fueron digeridas en ácido clorhídrico, excepto para la cuantificación de selenio, el cual se obtuvo por medio de digestión húmeda de 0.5 g de muestra, con ácido nítrico y perclórico.

Suero sanguíneo

De cada vaca y cría muestreada se colectó aproximadamente 10 mL de sangre siguiendo la metodología de Fick *et al.* (1979), por punción en la vena yugular con aguja calibre 18 conectada a tubo vacutainer sin anticoagulante. El suero fue separado por centrifugación a 3000 rpm durante 10 minutos después de 2 horas de reposo. Una vez separado el suero se mantuvo en congelación a -20° C hasta su análisis.

pH del suelo

Del suelo colectado, ya seco y molido se tomó una porción y se mezcló con agua desionizada empleando una proporción de suelo y agua de 1:2

peso/volumen, mezclándolos durante 10 minutos y realizando la medición después de transcurrir este tiempo en la fase líquida de la mezcla.

3.4.2 Cuantificación mineral

La cuantificación de la concentración de calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe) y manganeso (Mn) se realizó por espectrofotometría de absorción atómica, utilizando un espectrofotómetro modelo 700 AAnalyst (Perkin Elmer), y siguiendo los procedimientos descritos por Fick *et al.* (1979) y en el manual de métodos analíticos para espectrofotometría de absorción atómica (Perkin Elmer, 1996). La concentración de selenio (Se) fue cuantificada con el método fluorométrico usando un espectrofotómetro de luminiscencia modelo LS30 (Perkin Elmer), siguiendo el procedimiento descrito por Tamari *et al.* (1986). Finalmente, la concentración de fósforo (P) se determinó con el método colorimétrico (Fick *et al.*, 1979; Clesceri *et al.*, 1992), con un espectrofotómetro UV/VIS modelo Lambda 2 (Perkin Elmer). La medición del pH se realizó mediante un potenciómetro modelo 05669-20 (Cole Parmer).

3.5 Diseño experimental y análisis estadístico

La población de animales de cada rancho fue organizada en grupos (vacas y crías), y de cada grupo fueron seleccionados al azar diez animales, excepto en uno de ellos (se seleccionaron siete animales). De igual manera, los lugares para coleccionar las muestras de agua, suelo y forraje fueron seleccionados al azar. Por lo tanto, el conjunto y la organización estadística de datos obtenidos para la concentración de minerales, corresponde a un diseño completamente al azar (Lentner y Bishop, 1993).

Las variables de respuesta a analizar, en agua, suelo y suero sanguíneo, fueron la concentración de Ca, P, Mg, Na, K, Se, Cu, Zn y Fe. Adicionalmente, para el caso del forraje se midió la concentración de Mn. Las fuentes de variación que influyeron en las variables de respuesta fueron, la unidad de producción

(rancho) y el grupo de edad de los animales (unidad experimental) muestreados (Lentner y Bishop, 1993).

El modelo estadístico para probar el efecto rancho (R_i) sobre la concentración de minerales en agua, suelo y forraje (Y_{ij}) fue $Y_{ij} = \mu + R_i + \varepsilon_{ij}$; donde Y_{ij} fue la concentración de cada mineral en agua, suelo, y planta forrajera; μ fue la media general de la población, R_i fue el efecto de la i -ésima unidad de producción animal (rancho) muestreado ($j = 1, 2, \dots, 10$), y E_{ij} fue el j -ésimo error aleatorio cometido durante el proceso de muestreo [$\varepsilon \sim \text{NIID}(0, \sigma_e^2)$].

El modelo estadístico para evaluar los efectos de rancho y edad del ganado sobre la concentración de minerales en el suero sanguíneo de los animales muestreados fue $Y_{ijk} = \mu + A_i + R_j + (A * R)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$. Donde Y_{ijk} fue la concentración de cada mineral en el suero sanguíneo, μ fue la media general de la población para la concentración de minerales, A_i fue la i -ésima edad de los animales muestreados ($i = \text{vaca, cría}$), R_j fue el efecto de la j -ésima unidad de producción animal muestreada ($j = 1, 2, \dots, 10$), $(A * R)_{ij}$ fue la ij -ésima interacción de la edad del ganado por rancho y E_{ijk} fue el k -ésimo error aleatorio cometido durante el proceso de muestreo [$\varepsilon \sim \text{NIID}(0, \sigma_e^2)$].

El efecto de cada variable, que pudieron causar variación en la concentración de los minerales estudiados, fue evaluado por el procedimiento estadístico para modelos lineales (GLM) de SAS (2004). La comparación de la concentración promedio de cada mineral fue con la prueba de rango múltiple de Tukey a un $\alpha=0.05$ (Lentner y Bishop, 1993). Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación simple para las concentraciones de minerales en suelo con la concentración de los respectivos minerales en forraje. Así como para la concentración de minerales en el forraje con la respectiva concentración del mineral en el suero sanguíneo. La correlación se consideró significativa a un $\alpha=0.05$ y se interpretó según el signo y el valor obtenido para el respectivo coeficiente de correlación (Bhattacharyya y Johnson, 1977).

3.6 Resultados y Discusión

3.6.1 Concentración de minerales en agua

Al analizar el total de las muestras de agua se detectaron diferencias estadísticas en ellas ($p \leq 0.05$) para las concentraciones de Ca, P, Na, K y Se. Las concentraciones de P, K y Se fueron las más variables entre las muestras de agua colectadas ($p \leq 0.0007$) de las fuentes disponibles para el ganado; mientras que las concentraciones de Mg y Cu fueron similares ($p > 0.05$) en las muestras de la región en estudio (Cuadro 9).

La concentración de P y K fue 6.9 y 1.25 veces superior a la concentración máxima recomendada en agua para consumo por el ganado de acuerdo con Puls (1988). Sin embargo, Beede (2005) no señala que estas concentraciones para ambos elementos, puedan ocasionar problemas de salud al ganado.

Cuadro 9. Medias de cuadrados mínimos para las concentraciones de minerales en el agua disponible para el ganado y nivel de significancia.

Rancho	Ca	P	Mg	Na	K	Cu	Se
	mg L ⁻¹						- ng L ⁻¹ -
1	9.8 ^{ab}	11.9 ^{ab}	1.9 ^b	94.9 ^b	37.1 ^{bc}	0.05 ^a	279.9 ^{cde}
2	18.1 ^{ab}	7.8 ^{ab}	4.9 ^{ab}	135.2 ^{ab}	46.2 ^{abc}	0.04 ^a	360.4 ^{abc}
3	11.7 ^{ab}	1.5 ^c	4.8 ^{ab}	86.8 ^b	89.2 ^{ab}	0.04 ^a	225.8 ^e
4	24.9 ^{ab}	1.9 ^c	4.2 ^{ab}	102.6 ^b	35.3 ^{bc}	0.05 ^a	318.2 ^{abcd}
5	10.9 ^{ab}	1.1 ^c	2.4 ^{ab}	61.4 ^b	18.3 ^{bc}	0.05 ^a	370.4 ^{ab}
6	10.3 ^{ab}	11.5 ^{ab}	2.5 ^{ab}	111.6 ^{ab}	38.3 ^{bc}	0.05 ^a	290.7 ^{bcde}
7	22.7 ^{ab}	0.5 ^c	4.2 ^{ab}	73.0 ^b	96.6 ^a	0.06 ^a	379.8 ^a
8	17.2 ^{ab}	1.0 ^c	4.0 ^{ab}	96.2 ^b	27.3 ^{bc}	0.05 ^a	307.4 ^{abcd}
9	27.2 ^a	17.9 ^a	18.9 ^a	285.9 ^a	45.4 ^{abc}	0.06 ^a	350.7 ^{abcd}
10	6.4 ^b	0.4 ^c	1.9 ^b	44.9 ^b	18.1 ^{bc}	0.05 ^a	269.6 ^{de}
EEM ^z	3.88	1.79	3.38	35.31	11.50	0.016	16.67
Pr>F	0.0105	<0.0001	0.0654	0.0080	0.0007	0.9820	<0.0001
NMR ^y	<1000	<0.7	<1000	<800	<20	<1.0	<10000

Medias en la misma columna, sin literal en común son distintas ($p < 0.05$, Tukey).

^z Error estándar de la media.

^y Nivel máximo recomendable de minerales en agua para beber para ganado (Puls, 1988).

Zinc y hierro no fueron detectados con la técnica empleada.

Las diferencias en las concentraciones en los distintos minerales, que por un lado fueron heterogéneas ($p \leq 0.05$) entre las unidades de producción como el Ca, P, Na, K y Se, y por otro fueron homogéneas ($p > 0.05$) como el Mg y Cu, reflejan que el agua como una fuente de minerales, puede aportar cantidades mínimas de algunos elementos, o por el contrario, aportar cantidades de otros suficientes para cubrir el requerimiento diario de los animales.

En un escenario hipotético, con temperatura ambiental de 30° C y la concentración promedio estimada para los minerales en el agua analizada; una vaca de 500 kg de peso vivo, que consume 14 kg de materia seca y produce 9 kg de leche, necesitará consumir aproximadamente 90 L de agua al día (Winchester y Morris, 1956), y en ella ingerir 1.43 g de Ca, 0.498 g de P, 0.448 g de Mg, 9.834 g de Na, 4.06 g de K, 4.5 mg de Cu y 0.03 mg de Se. Para el caso del Na, la vaca estará ingiriendo una cantidad equivalente a 0.07% de la materia seca que consume al día, cubriendo el requerimiento mínimo del ganado que es 0.06%.

3.6.2 Concentración de minerales en suelo

La concentración de P y K fue similar en las muestras de suelo colectadas ($p > 0.05$); y por el contrario la concentración de Ca, Mg y Na fue diferente ($p \leq 0.05$) entre las mismas (Cuadro 10). La concentración promedio en mg kg^{-1} para Ca (157), P (641), Mg (26) y K (134) fue 1.2, 63.0, 2.0 y 1.3 veces mayores que el nivel mínimo requerido para el crecimiento de las plantas respectivamente (McDowell, 1985). La concentración de Na fue sumamente variable, seguida de la concentración de Mg y Ca.

Todos los suelos tuvieron una concentración de P muy por arriba de la concentración mínima requerida por las plantas (cuando menos 49 veces), situación similar para el K, a excepción de un rancho; en tanto que dos ranchos tuvieron una concentración de Ca y Mg menor a la requerida para el crecimiento de las plantas (Cuadro 10).

Cuadro 10. Medias de cuadrados mínimos para las concentraciones (mg kg⁻¹) de macrominerales^z extraíbles del suelo y nivel de significancia.

Rancho	Ca	P	Mg	Na	K
1	255.4 ^{ab}	657.7 ^a	31.4 ^{abc}	27.6 ^{abc}	297.1 ^a
2	198.6 ^{abcd}	833.3 ^a	42.5 ^a	48.1 ^a	125.3 ^a
3	47.9 ^d	774.8 ^a	8.6 ^{bc}	14.7 ^{bc}	92.2 ^a
4	152.7 ^{abcd}	500.0 ^a	27.9 ^{abc}	33.0 ^{ab}	97.9 ^a
5	244.5 ^{abc}	681.7 ^a	37.6 ^{ab}	32.9 ^{ab}	113.3 ^a
6	165.3 ^{abcd}	531.5 ^a	25.9 ^{abc}	23.6 ^{bc}	137.4 ^a
7	266.2 ^a	540.5 ^a	35.6 ^{abc}	32.7 ^{ab}	191.2 ^a
8	78.3 ^{bcd}	657.7 ^a	4.9 ^c	9.6 ^c	65.8 ^a
9	149.8 ^{abcd}	585.6 ^a	37.7 ^{ab}	20.5 ^{bc}	187.9 ^a
10	65.6 ^{cd}	603.6 ^a	7.6 ^{bc}	12.1 ^{bc}	49.8 ^a
EEM ^y	34.6	173.7	6.0	4.2	58.8
Pr>F	0.0018	0.9349	0.0012	0.0003	0.2401
NC ^x	70	10	8.5	-	59
Intervalo ^w	1000-2000**	<350***	23000**	200-10000*	100-4000***

Medias en la misma columna, sin literal en común son distintas ($p < 0.05$, Tukey).

^z Considerados así, de acuerdo a los requerimientos de plantas, excepto Na.

^y Error estándar de la media.

^x Nivel mínimo requerido para el desarrollo de plantas (McDowell, 1985).

^w Extremos mínimos y máximos comúnmente hallados en suelos (Whitehead, 2000*; Navarro y Navarro, 2003**; Vázquez *et al.*, 2011***).

Para el caso del Cu y Zn, la concentración fue menor al nivel mínimo requerido para el crecimiento de plantas, de acuerdo a los valores reportados por Shorrocks y Alloway (1988) y Alloway (2008) respectivamente (Cuadro 11).

El pH promedio (5.3) de los suelos, corresponde a una situación de fuerte acidez (pH entre 5.1 y 5.5; Foth y Ellis, 1997). Del total de suelos de las unidades de producción (Cuadro 11), según Foth y Ellis (1997) tres se clasificaron como extremadamente ácidos (pH de 4.5 a 5.0), dos como fuertemente ácidos (pH de 5.1 a 5.5), y cinco como moderadamente ácidos (pH de 5.6 a 6.0). En el primer grupo de suelos, la disponibilidad del nitrógeno (N-NO₃-), molibdeno (Mo), y Ca debió haber sido sumamente menor, y muy grande la disponibilidad del aluminio (Al), Fe, Mn, y Zn. En el segundo grupo de suelos, la disponibilidad del Mo y Ca debió ser menor, y aún menor disponibilidad del Mg, Zn, Fe y Al comparada con la del primer grupo. En el

tercer grupo de suelos, la disponibilidad de Zn, Mo, Mn, Ca y Fe debió haber sido menor comparada con el resto de los macro y microminerales.

Cuadro 11. Medias de cuadrados mínimos para las concentraciones (mg kg⁻¹) de microminerales^z extraíbles y pH del suelo y nivel de significancia.

Rancho	Se	Cu	Zn	Fe	pH
1	0.08 ^a	0.97 ^b	4.35 ^{ab}	88.3 ^a	5.7 ^{ab}
2	0.05 ^a	2.40 ^a	4.40 ^{ab}	207.4 ^a	5.6 ^{abc}
3	0.11 ^a	0.83 ^b	0.69 ^b	219.7 ^a	4.8 ^{bc}
4	0.04 ^a	1.57 ^{ab}	2.25 ^{ab}	151.1 ^a	5.2 ^{abc}
5	0.08 ^a	1.15 ^{ab}	4.36 ^{ab}	60.1 ^a	5.7 ^{abc}
6	0.07 ^a	0.91 ^b	2.15 ^{ab}	69.2 ^a	5.1 ^{abc}
7	0.08 ^a	0.73 ^b	6.44 ^a	78.9 ^a	6.0 ^a
8	0.11 ^a	0.39 ^b	0.69 ^b	139.4 ^a	4.5 ^{bc}
9	0.03 ^a	0.52 ^b	2.90 ^{ab}	235.4 ^a	5.7 ^{abc}
10	0.05 ^a	0.59 ^b	0.70 ^b	341.3 ^a	4.8 ^{bc}
EEM ^y	0.029	0.248	1.017	64.61	0.227
Pr>F	0.3966	0.0017	0.0125	0.1168	0.0020
NC ^x	0.5*	5**	10***	-	-
Intervalo ^w	0.03-2.0****	25-60*	10-300***	10000-50000**	-

Medias en la misma columna, sin una literal en común son diferentes ($p < 0.05$, Tukey).

^z Considerados así, de acuerdo a los requerimientos de plantas, excepto Se.

^y Error estándar de la media.

^x Nivel mínimo para crecimiento de plantas (NRC, 1983*; Shorrocks y Alloway, 1988**; Alloway, 2008***).

^w Extremos mínimos y máximos comúnmente hallados en suelos (Shorrocks y Alloway, 1988*; Navarro y Navarro**, 2003; Alloway, 2008***; Vázquez *et al.*, 2011****).

3.6.3 Concentración de minerales en forraje

No se detectaron diferencias estadísticas entre los forrajes colectados en las diez unidades de producción para las concentraciones de Ca, P, Na y K ($p > 0.05$), solo hubo diferencia para la concentración de Mg ($p \leq 0.05$), resultando deficiente su contenido con respecto al requerimiento mínimo de los animales en siete ranchos (Cuadro 12). En las unidades de producción (excepto en una) la concentración de Na en forraje fue de máximo el 50% de lo requerido por el ganado. Por el contrario, la concentración de K fue suficiente para cubrir las necesidades del ganado en todos los ranchos, llegando en algunos de estos a niveles excesivos (>2% de materia seca) de acuerdo al NRC (2005).

En todos los ranchos el forraje cubrió las necesidades de Ca y P; sólo en uno de ellos se presentó bajo contenido de este último.

Cuadro 12. Medias de las concentraciones (% de materia seca) de macrominerales^z en el forraje y nivel de significancia.

Rancho	Ca	P	Mg	Na	K
1	0.36 ^a	0.34 ^a	0.26 ^a	0.02 ^a	1.75 ^a
2	0.31 ^a	0.24 ^a	0.19 ^{abc}	0.02 ^a	2.72 ^a
3	0.34 ^a	0.34 ^a	0.23 ^{abc}	0.02 ^a	2.42 ^a
4	0.36 ^a	0.29 ^a	0.17 ^{bc}	0.02 ^a	2.83 ^a
5	0.33 ^a	0.28 ^a	0.15 ^c	0.03 ^a	2.27 ^a
6	0.62 ^a	0.30 ^a	0.19 ^{abc}	0.03 ^a	2.54 ^a
7	0.36 ^a	0.34 ^a	0.16 ^{bc}	0.06 ^a	2.08 ^a
8	0.53 ^a	0.45 ^a	0.24 ^{ab}	0.02 ^a	2.28 ^a
9	0.34 ^a	0.29 ^a	0.18 ^{bc}	0.02 ^a	2.78 ^a
10	0.49 ^a	0.32 ^a	0.19 ^{abc}	0.02 ^a	1.46 ^a
EEM ^y	0.10	0.053	0.017	0.012	0.31
Pr>F	0.4267	0.5611	0.0006	0.2660	0.0748
NM ^x	0.1-5.0	0.3-0.5	0.15-0.35	-	2.0-5.0
MR ^w	0.30	0.25	0.20	0.06	0.80

Medias en la misma columna, sin literal en común son distintas ($p < 0.05$, Tukey).

^z Todos ellos son considerados así, excepto el sodio.

^y Error estándar de la media.

^x Nivel mínimo en plantas suficiente para su desarrollo (Marschner, 1995).

^w Nivel mínimo para cubrir requerimientos del ganado bovino (McDowell y Arthington, 2005).

La asociación entre el contenido de P en suelo y en forraje fue negativa y no significativa ($r = -0.098$; Apéndice, Cuadro 18). El hecho de no encontrar una relación positiva quizás sea a consecuencia de la formación de fosfatos de Fe y aluminio (Al) con el P de la solución del suelo, especialmente en los suelos clasificados como severamente (rancho 8) y fuertemente (ranchos 2, 4, 5, 6 y 9) ácidos; disminuyendo la disponibilidad del P (H_2PO_4^-) para las plantas forrajeras (Foth y Ellis, 1997; Whitehead, 2000).

Por su parte, el contenido de P en el forraje se relacionó negativamente ($p \leq 0.05$), con los contenidos de magnesio ($r = -0.707$), sodio ($r = -0.719$) y cobre

($r = -0.695$); y positivamente con el contenido de selenio ($r = 0.719$; Apéndice, Cuadro 18).

Con respecto al contenido de los microminerales analizados (Cuadro 13), el único con concentraciones diferentes entre las unidades de producción fue el Mn ($p = 0.0044$), cubriendo en todos los ranchos el requerimiento de los animales (entre 0.77 a 3.8 veces más alto), al igual el Fe, que fue de 4.6 a 11.4 veces superior al requerido por bovinos.

Cuadro 13. Medias de las concentraciones de microminerales^z en el forraje y nivel de significancia.

Rancho	Se -- ng g ⁻¹ --	Cu ----- mg Kg ⁻¹ -----	Zn	Fe	Mn
1	44 ^{ab}	3.2 ^a	7.7 ^a	168 ^a	115 ^{abc}
2	46 ^{ab}	6.9 ^a	13.6 ^a	373 ^a	192 ^a
3	45 ^{ab}	5.6 ^a	18.8 ^a	247 ^a	175 ^{ab}
4	37 ^b	8.4 ^a	13.0 ^a	204 ^a	92 ^c
5	39 ^b	4.5 ^a	18.1 ^a	228 ^a	133 ^{abc}
6	41 ^b	6.9 ^a	13.4 ^a	230 ^a	83 ^{bc}
7	40 ^b	5.1 ^a	25.7 ^a	246 ^a	71 ^c
8	57 ^{ab}	7.6 ^a	13.7 ^a	326 ^a	109 ^{abc}
9	40 ^b	6.3 ^a	13.3 ^a	210 ^a	86 ^{bc}
10	119 ^a	5.3 ^a	27.5 ^a	325 ^a	134 ^{abc}
EEM ^y	16.0	1.51	5.14	73.06	21.36
Pr>F	0.0937	0.3824	0.2247	0.7237	0.0044
NM ^x	-	1-5	15-20	50-150	10-20
MR ^w	100	10	30	30	40

Medias en la misma columna, sin literal en común son distintas ($p < 0.05$, Tukey).

^z Todos ellos son considerados esenciales para las plantas, excepto el selenio.

^y Error estándar de la media.

^x Nivel mínimo en plantas suficiente para su desarrollo (Marschner, 1995).

^w Nivel mínimo para cubrir requerimientos del ganado bovino (McDowell y Arthington, 2005).

La comparación del contenido de los microminerales en el forraje con las necesidades de los bovinos reveló que en todos los casos el contenido de Cu y Zn en forraje fue inferior a la cantidad requerida por el ganado al día, cubriendo en la mayoría de los casos menos del 50% de las necesidades de dichos

minerales. El contenido de Se fue inferior con respecto al requerimiento del ganado, y en solo un rancho logró cubrirlo, pero en ocho más ni siquiera aportó el 50% del requerimiento. Considerando que este elemento no es esencial para todas las plantas, y sólo lo integran en sus tejidos por tenerlo presente en el suelo, no se puede considerar forraje propiamente deficiente.

De acuerdo con Foth y Ellis (1997) y Whitehead (2000), en suelos con pH entre 4.5 y 5.7 debería de haber amplia disponibilidad de Cu y Zn, particularmente en suelos con altas fracciones solubles de estos minerales (Foth y Ellis, 1997), y consecuentemente no debería ser deficiente en las plantas forrajeras. Por lo que, las posibles explicaciones de los menores contenidos cuantificados en los forrajes muestreados, se deba a la lixiviación de las formas solubles de los minerales (Cu , Cu^{2+} , y Zn^{2+}) por la infiltración hídrica, por la formación de complejos insolubles con la materia orgánica o por la limitada absorción por las plantas durante los periodos de estrés hídrico (Foth y Ellis, 1997). Ocurre lo contrario en el caso del Se, el pH ácido reduce su disponibilidad, lo que agudiza su pobre aporte al forraje (Marschner, 1995).

Sin embargo, al considerar las concentraciones de macro y microminerales contenidas en el material vegetal, señaladas por Marschner (1995) como suficientes para el adecuado desarrollo de las plantas y compararlas con las concentraciones halladas en la región en estudio, puede presumirse que salvo algunas excepciones, en el mayor de los casos el suelo fue capaz de soportar los requerimientos del forraje, manifestando estas concentraciones adecuadas, que no empatan a las requeridas por los animales principalmente en Cu, Zn, Se y Na, siendo los últimos dos elementos no esenciales para todas las plantas.

A nivel regional, el contenido promedio de minerales fue suficiente para cubrir el mínimo requerimiento de Ca, P, K, Fe y Mn del ganado; y fue deficiente en Na, Se, Cu y Zn, como en otras regiones tropicales de México (Alvear, 2003; Gámez, 2009; Ramos, 2009). Por su parte la concentración de Mg, insuficiente en la región en estudio (98% del requerimiento) y en la de los tres autores antes

citados (80% del requerimiento), contrasta con lo reportado por Martínez (2006), donde el forraje aportó el 158% del requerimiento mínimo del ganado.

No fue posible establecer alguna relación entre el pH del suelo y el contenido de minerales en el forraje para la mayoría de los casos ($p > 0.05$). Para el contenido del Na y K se detectó una relación positiva con el pH (Cuadro 18), lo cual indica que la disponibilidad de ambos minerales se incrementó con el aumento del pH, de 4.5 a 6.0. Esto coincide con lo señalado por Foth y Ellis (1997) para la disponibilidad del K.

3.6.4 Concentración mineral en suero sanguíneo

Existieron diferencias estadísticas entre los sueros sanguíneos de los animales de las distintas unidades de producción, para la concentración de macrominerales y la relación Ca:P y Na:K ($p < 0.001$, Cuadro 14). En todos los ranchos, la concentración de P en suero sanguíneo de las crías fue superior a la reportada como óptima entre 66 a 200%, y en adultos entre 150 a 350%; así como la concentración de K fue superior de 17.6 a 98% en siete ranchos de acuerdo con Puls (1988). En el caso del P, alcanzó niveles considerados tóxicos en seis de las diez unidades de producción, en tanto que el contenido de K superó el intervalo adecuado también en seis ranchos. La concentración de Mg, Ca y Na se ubicó por debajo del intervalo normal en uno, cuatro y cinco ranchos respectivamente.

La elevada concentración de P en suero sanguíneo ocasionó que la relación Ca:P fuera invertida (< 1) en todas las unidades de producción. En el caso de la relación Na:K, fue anormal en tres ranchos, situación que se atribuye a la elevada concentración de K.

Fue posible establecer una relación positiva entre el contenido de K en el forraje y la concentración del mismo en suero sanguíneo ($r = 0.120$; Apéndice, Cuadro 19). Este mineral estuvo en cantidades excesivas tanto en forraje y suero sanguíneo, por lo que potencialmente existe el riesgo que ocurran casos de tetania (hipomagnesémica), principalmente en vacas en lactancia, considerando

que la concentración sérica promedio de magnesio (23.5 mg L^{-1}) se encontró cerca del nivel mínimo adecuado (18 mg L^{-1}). Otra situación similar antagónica, puede suceder por el bajo nivel sérico de calcio (83.7 mg L^{-1}) y el alto nivel de fósforo (134 mg L^{-1}), dejando la posibilidad a la presentación de tetania (hipocalcémica) y bajo rendimiento lácteo en vacas (Núñez y Bouda, 2007).

Cuadro 14. Medias de las concentraciones (mg L^{-1}) de macrominerales en suero sanguíneo y nivel de significancia.

Rancho	Macrominerales					Relación	
	Ca	P	Mg	Na	K	Ca:P	Na:K
1	87.3 ^{cd}	99.7 ^e	26.3 ^b	1831.9 ^d	110.7 ^f	0.91 ^a	16.9 ^{ab}
2	111.4 ^a	125.8 ^d	22.2 ^{bcd}	2769.7 ^c	159.3 ^{ef}	0.91 ^a	17.7 ^a
3	104.1 ^{ab}	119.8 ^d	19.7 ^{cd}	2702.1 ^c	153.4 ^{ef}	0.88 ^{ab}	18.2 ^a
4	70.8 ^{ef}	180.3 ^a	23.2 ^{bc}	3429.1 ^b	188.1 ^{de}	0.42 ^d	18.5 ^a
5	81.5 ^{de}	112.6 ^{de}	20.9 ^{cd}	3664.2 ^b	228.5 ^{cd}	0.74 ^c	16.2 ^{abc}
6	65.0 ^f	144.5 ^c	23.0 ^{bc}	2735.4 ^c	251.4 ^{bc}	0.45 ^d	10.9 ^e
7	58.6 ^f	153.2 ^{bc}	17.7 ^d	2765.1 ^c	220.5 ^{cd}	0.39 ^d	12.9 ^{de}
8	71.8 ^{ef}	164.9 ^{ab}	21.7 ^{bcd}	3983.8 ^{ab}	317.9 ^a	0.44 ^d	13.2 ^{de}
9	96.6 ^{bc}	113.3 ^{de}	31.4 ^a	4393.3 ^a	294.4 ^{ab}	0.87 ^{abc}	15.1 ^{bcd}
10	93.4 ^{bcd}	123.2 ^d	32.0 ^a	4558.8 ^a	320.5 ^a	0.76 ^{bc}	14.4 ^{cd}
EEM ^z	3.0	4.06	1.08	139.76	11.3	0.029	0.551
PrF	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Intervalo	80	60 a 90 ^x	18 a 30	3100	160	1.3:1	14.4:1
adecuado ^y	a			a	a	a	a
	110	40 a 60 ^w		3450	215	2.7:1	21.6:1

Medias en la misma columna, sin literal en común son distintas ($p < 0.05$, Tukey).

^z Error estándar de la media.

^y Concentración mineral adecuada en suero sanguíneo de ganado bovino (Puls, 1988).

^x Animales jóvenes.

^w Animales adultos.

La concentración para los cuatro microminerales analizados en suero sanguíneo se presenta en el (Cuadro 15). Se detectaron diferencias significativas entre las unidades de producción estudiadas ($p < 0.001$).

Cuadro 15. Medias de la concentración de microminerales en suero sanguíneo y nivel de significancia.

Rancho	Se -- ng mL ⁻¹ --	Cu ----- mg L ⁻¹ -----	Zn ----- mg L ⁻¹ -----	Fe
1	26.02 ^d	0.31 ^g	0.24 ^c	2.19 ^b
2	52.38 ^{cd}	0.33 ^g	0.45 ^b	3.75 ^a
3	35.22 ^d	0.46 ^{ef}	0.24 ^c	2.22 ^b
4	180.01 ^a	0.34 ^g	0.46 ^b	2.28 ^b
5	40.44 ^{cd}	0.40 ^{fg}	0.49 ^b	1.38 ^c
6	48.99 ^{cd}	0.52 ^{de}	0.47 ^b	1.95 ^{bc}
7	70.77 ^c	0.58 ^{cd}	0.69 ^a	1.70 ^{bc}
8	38.54 ^d	0.68 ^{bc}	0.37 ^{bc}	2.11 ^b
9	103.88 ^b	0.83 ^a	0.20 ^c	2.29 ^b
10	53.25 ^{cd}	0.70 ^b	0.21 ^c	1.84 ^{bc}
EEM ^z	6.89	0.024	0.044	0.15
Pr>F	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Intervalo adecuado ^y	80 a 300	0.8 a 1.5	0.8 a 1.4	1.3 a 2.5

Medias en la misma columna, sin literal en común son distintas ($p<0.05$, Tukey).

^z Error estándar de la media.

^y Concentración mineral adecuada en suero sanguíneo de ganado bovino (Puls, 1988).

La concentración de Fe se ubicó en el intervalo normal en nueve ranchos, y en el restante lo sobrepasó. Las concentraciones de Se, Cu y Zn en suero sanguíneo fueron inferiores al intervalo adecuado en ocho, nueve y diez ranchos, y representaron de 32 a 88%, de 38 a 96% y de 25 a 86% de las concentraciones séricas adecuadas en los bovinos, respectivamente.

La concentración de macro y microminerales en el suero sanguíneo de vacas y crías fue diferente ($p\leq 0.05$), excepto para el K (Cuadro 16). Tanto vacas como crías presentaron niveles séricos excesivos de K y P de acuerdo con Puls (1988). La mayor concentración de Ca, P, K, Zn y Fe se registró para las crías, en tanto que la mayor concentración de Mg, Na, Se y Cu se registró en las vacas.

Cuadro 16. Medias de las concentraciones de macrominerales y microminerales en suero sanguíneo por grupo de edad del ganado (vacas y crías) y nivel de significancia para grupo de edad del ganado y su interacción con rancho.

Mineral	Grupo de edad		EEM ^z	Grupo de edad	Rancho x grupo de edad
	Vaca	Crías		Pr>F	Pr>F
Ca, mg L ⁻¹	81.78 ^b	85.72 ^a	2.18	0.0400	0.0040
P, mg L ⁻¹	123.57 ^b	144.56 ^a	3.13	<0.0001	0.0048
Mg, mg L ⁻¹	24.69 ^a	22.45 ^b	0.66	0.0014	0.0009
Na, mg L ⁻¹	3386.9 ^a	3100.9 ^b	103.95	0.0015	0.0021
K, mg L ⁻¹	220.76 ^a	222.27 ^a	8.55	0.7600	0.0213
Ca:P	0.720 ^a	0.625 ^b	0.025	<0.0001	0.1362
Na:K	16.40 ^a	14.46 ^b	0.352	<0.0001	0.0050
Se, ng mL ⁻¹	78.95 ^a	51.67 ^b	6.58	<0.0001	<0.0001
Cu, mg L ⁻¹	0.586 ^a	0.431 ^b	0.023	<0.0001	<0.0001
Zn, mg L ⁻¹	0.357 ^b	0.415 ^a	0.026	0.0490	<0.0001
Fe, mg L ⁻¹	2.071 ^b	2.291 ^a	0.095	0.0282	<0.0001

Medias en la misma hilera, sin literal en común son distintas ($p < 0.05$, Tukey).

^z Error estándar de la media.

Las concentraciones de Ca, Mg, Na, Fe, así como la relación Na:K se ubicaron en el intervalo considerado adecuado para vacas y crías. Sin embargo, las concentraciones de Se, Cu, Zn, además de la relación Ca:P estuvieron por debajo del intervalo adecuado en ambos grupos de edad del ganado. Por otra parte, la interacción entre rancho y grupo de edad del ganado, fue estadísticamente significativa para la concentración sérica de todos los minerales analizados además de la relación Na:K, excepto para la relación Ca:P ($p = 0.1362$). Lo que denota que las condiciones de cada rancho afectan de distinta forma las concentraciones séricas minerales tanto de vacas como de crías (Figura 7 y Figura 8).

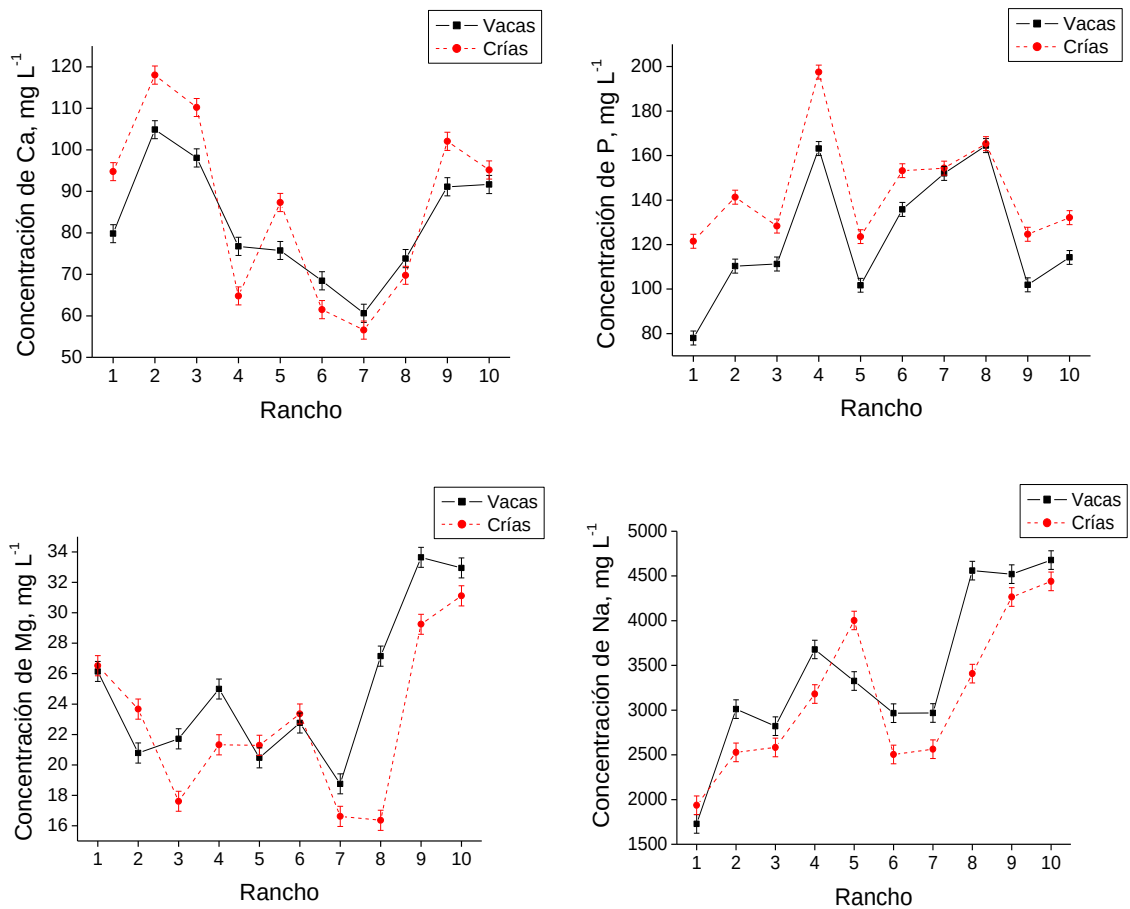


Figura 7. Efecto del rancho sobre las concentraciones séricas (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de calcio, fósforo, magnesio y sodio de vacas y crías de diez ranchos de la región suroeste de Veracruz.

Los efectos de rancho sobre las concentraciones séricas del ganado, pueden deberse a la alimentación diferenciada a la que son expuestos los animales, tanto entre ranchos y dentro de cada uno de estos, donde pueden suministrar o no alimentos concentrados y/o suplementos lácteos, asignar potreros de mejor o peor calidad, administrar por vía parenteral vitaminas y minerales, entre otras acciones que impliquen un mayor o menor aporte mineral.

No se lograron establecer asociaciones significativas entre el contenido de minerales del forraje y su correspondiente contenido en el suero sanguíneo de los animales (Apéndice, Cuadro 19). Esta situación puede atribuirse a que el estado mineral del ganado analizado en un momento dado, corresponde a las contribuciones minerales de tiempo atrás y no a ese instante. Además se

desconocen datos reales de la biodisponibilidad de los minerales en los forrajes analizados, aunque Minson (1990) y McDowell y Arthington (2005) señalan que suele ser baja. También en este sentido se desconoce la cantidad y tipo de suplemento mineral (Cuadro 17) suministrado y consumido por el ganado.

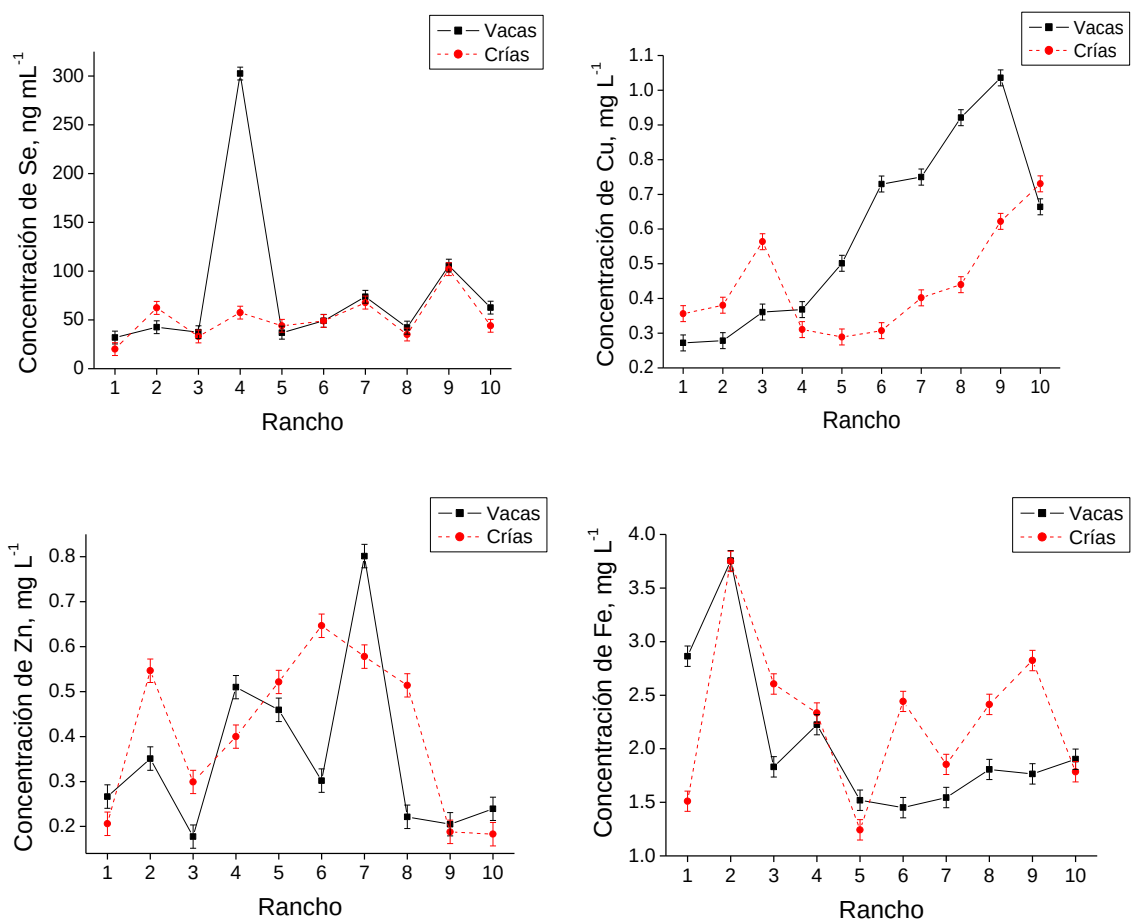


Figura 8. Efecto del rancho sobre las concentraciones séricas (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de selenio, cobre, zinc y hierro de vacas y crías de diez ranchos de la región suroeste de Veracruz.

El estado mineral de los animales y el aporte mineral potencial del forraje guardan relación en sus desbalances, situación de la cual se desconoce la magnitud causada por los suplementos minerales, que a juzgar por su potencial para satisfacer el requerimiento mínimo del ganado bovino en pastoreo (Cuadro 17), se empata a dicha situación, por lo que la administración de cualquiera de estos suplementos minerales contribuirá en menor o mayor medida a mantener los desbalances en el ganado.

Esta situación pareada en desbalances, abre la posibilidad de corregirse mediante el balanceo de los suplementos minerales disponibles, principalmente en aquellos minerales deficientes como Se, Cu, Zn; o de mejor manera, mediante el suministro de suplementos balanceados específicamente, que en este caso contemple las deficiencias severas de Se, Cu y Zn, y las suficiencias escasas de Ca, Mg y Na, considerando que los forrajes de la región poseen concentraciones elevadas de P, K, Fe y Mn, elementos que ejercen fuerte antagonismo sobre todos los anteriores.

Cuadro 17. Concentración de minerales en seis mezclas utilizadas en las unidades de producción en estudio, y el potencial que tiene cada una de ellas, para cubrir el requerimiento mínimo de un animal que consume 10 kg de materia seca al día, al emplear 100 g de cualquier mezcla mineral.

Mezcla	Ca	P	Mg	Na	K	Se	Cu	Zn	Fe	Mn
	----- % -----					----- ppm -----				
1	8.7	20.4	3.9	2.6	0.42	0.16	692	2425	6700	501
2	9.5	19.0	2.3	0.8	0.58	4.06	1026	6695	6830	11720
3	14.3	4.1	0.8	8.9	0.88	0.20	191	159	5720	439
4	19.7	2.1	0.8	9.9	0.65	0.12	4	10	1470	126
5	1.2	0.8	0.8	34.4	0.83	0.25	32	153	5160	186
6	10.2	13.1	1.5	7.5	1.13	1.84	934	2855	9030	1837
----- % del requerimiento mínimo cubierto por cada 100 g -----										
1	29.0	81.6	19.5	43.3	0.5	1.6	69.2	80.8	223.3	12.5
2	31.7	76.0	11.5	13.3	0.7	40.6	102.6	223.2	227.7	293.0
3	47.7	16.4	4.0	148.3	1.1	2.0	19.1	5.3	190.7	11.0
4	65.7	8.4	4.0	165.0	0.8	1.2	0.4	0.3	49.0	3.2
5	4.0	3.2	4.0	573.3	1.0	2.5	3.2	5.1	172.0	4.7
6	34.0	52.4	7.5	125.0	1.4	18.4	93.4	95.2	301.0	45.9

Las deficiencias de Se, Cu y Zn en suelo, forraje y suero sanguíneo de los animales, están acordes a lo comúnmente reportado para zonas de clima tropical (McDowell y Conrad, 1977; McDowell *et al.*, 1982). Salvo excepciones, como la hallada por Ramos (2009), donde el ganado presentó concentraciones adecuadas de Se en suero sanguíneo, atribuyéndole este estado a los aportes del agua y a que el forraje aportó más del 75% de requerimiento del ganado. Por su parte el contenido de P en forraje, considerando los resultados de este estudio y los realizados por Alvear (2003) y Ramos (2009), muestran que más del 72% del total de las muestras contuvieron concentraciones adecuadas para

el ganado, en tanto que McDowell (2005) señala que aproximadamente el 73% de las muestras analizadas en varios países latinoamericanos son deficientes.

En un panorama de deficiencia McDowell y Conrad (1977) y Mills (1987), señalan que es frecuente que ocurran alteraciones en la reproducción (anestro, largos intervalos entre partos, infertilidad), en la ganancia de peso y estado sanitario del ganado, muchas veces a nivel subclínico y por lo tanto difícil de apreciar visualmente, reconocidos únicamente mediante el análisis de los distintos componentes del sistema (Quiroz-Rocha, 2000).

3.7 Conclusiones

El agua como fuente de minerales para el ganado bovino, fue suficiente para cubrir el 100% de las necesidades mínimas de sodio de un animal adulto, en tanto, que para los restantes minerales cuantificados no aportó más del 4%. La concentración de minerales en el tejido vegetal, sustenta que el suelo contiene suficientes fracciones minerales disponibles para el desarrollo adecuado de los forrajes, respecto a calcio, fósforo, magnesio, potasio, hierro y manganeso; sin embargo, las concentraciones de cobre, zinc, selenio y sodio rozan la insuficiencia.

A pesar de que las concentraciones de minerales halladas en el forraje denotan ser suficientes para su adecuado desarrollo, no cubren las necesidades del ganado bovino, ya que existen deficiencias de cobre, zinc y selenio, dejándolo predispuesto a la presentación de anomalías asociadas a la deficiencia de estos elementos. En tanto el estado adecuado de calcio, magnesio, sodio, hierro, y el estado excesivo de fósforo y potasio en suero sanguíneo, pueden ser atribuidos además de los aportes del forraje consumido, a los aportes del agua, suplementos minerales e inclusive el suelo.

El contenido mineral de los suplementos minerales usados en las unidades de producción, carecen del balance necesario para corregir el estado mineral que guarda el ganado; por lo que es necesario adecuar su contenido, o formular

suplementos que sufraguen las deficiencias de selenio, cobre y zinc, que compensen la escasez de calcio, fósforo, magnesio y sodio, y que no aporten potasio, hierro y manganeso, elementos con concentraciones elevadas en el forraje. Se recomienda suministrar un suplemento mineral *ad libitum* que aporte no menos de 70, 60 y 50% de selenio, cobre y zinc respectivamente, respecto al requerimiento mínimo diario del ganado, y analizar la evolución del estado mineral del ganado.

3.8 Literatura citada

- Aguilar S., A. 1987. Muestreo de suelos y manejo de las muestras. *In*: El Análisis Químico de Suelos. Tah I., J. F. (comp.). Chapingo. Estado de México. 1984. Universidad Autónoma Chapingo. pp: 49-57.
- Alloway, B. J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Second edition. International Zinc Association and International Fertilizer Industry Association. Belgium and France. 139 p.
- Alvear H., E. 2003. Diagnóstico y suplementación mineral en ganado bovino de Zirándaro, Guerrero. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 124 p.
- Bhattacharyya, K. G., and R. A. Johnson. 1977. Statistical Concepts and Methods. First edition. John Wiley and Sons. New York. U.S.A. 639 p.
- Beede, D. K. 2005. Assessment of Water Quality and Nutrition for Dairy Cattle. *In*: Proceeding: Mid-South Ruminant Nutrition Conference. Arlington, Texas. April 27-28. 19 p.
- Castillo R., A., J. E. Santos P., and T. J. Tabone. 2007. Mineral balances, including in drinking water, estimated for Merced County dairy herds. California Agriculture 61: 90-95.
- Clesceri, S. L., E. A. Greenberg, y R. R. Trusseli. 1992. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Ed. Díaz De Santos. España. pp: 4-187 – 4-195.
- Colegio de Postgraduados y Fundación Produce de Veracruz. 2003. Síntesis de oportunidades estratégicas de investigación y desarrollo. *In*: Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología de la Cadena de Bovinos de Doble Propósito en el Estado de Veracruz. Tepetates, Ver. Mayo de 2003. pp: 3-28.
- Fick, K. R., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. Funk, J. H. Conrad, y R. Valdivia. 1979. Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales. Segunda edición. Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA. 358 p.

- Foth D. H., and B. G. Ellis. 1997. Soil Fertility. Second edition. CRC Press Inc., Lewis Publishers. 290 p.
- Gámez B., J. R. 2009. Diagnóstico del estado mineral de bovinos en San Juan Del Río, Choapam, Oaxaca. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 66 p.
- Lentner, M., and T. Bishop. 1993. Experimental Design and Analysis. Second edition. Valley Book Company. Blacksburg, V. A. 24063. 585 p.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second edition. Academic Press. United Kingdom. 890 p.
- Martínez C., E. 2006. Diagnóstico y suplementación mineral de ganado bovino en condiciones tropicales. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 102 p.
- McDowell, L. R. and J. H. Conrad. 1977. Trace mineral nutrition in Latin American. World Animal 24: 24-32.
- McDowell, L. R., M. Kiatoko, J. E. Bertrand, H. L. Chapman, F. M. Pate, F. G. Martin and J. H. Conrad. 1982. Evaluating the nutritional status of beef cattle herds from four soil order regions of Florida. II. Trace minerals. Journal of Animal Science 55: 38-47.
- McDowell, L. R. 1985. Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates. Academic Press, Inc. USA. 444 p.
- McDowell, L. R., y J. D. Arthington. 2005. Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. Cuarta edición. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA. 94 p.
- Mills, C. F. 1987. Biochemical and physiological indicators of mineral status in animals: copper, cobalt and zinc. Journal of Animal Science 65: 1702-1711.
- Minson, D. J. 1990. Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press, Inc. California, USA. 483 p.
- Navarro B., S., y G. Navarro G. 2003. Química Agrícola: El Suelo y los Elementos Químicos Esenciales para la Vida Vegetal. Segunda edición. Ed. Mundi Prensa. España. 487 p.
- NRC. 1983. Selenium in Nutrition. National Academic Press. Washington, D.C. 174 p.
- NRC. 2005. Mineral Tolerance of Animals. Second edition. The National Academies Press. Washington, D. C., USA. 510 p.
- Núñez, O. L., y J. Bouda. Patología Clínica Veterinaria. Segunda edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 334 p.
- Ortega S., J.A. 1990. Manejo y utilización de forrajes para producción de carne. En: Memoria del X Simposium de Ganadería Tropical "Bovinos productores de carne". Centro de Investigaciones Forestales y

- Agropecuarias del Estado de Veracruz. INIFAP. Publicación Especial # 8. Campo Experimental "La Posta". Veracruz, Veracruz. México. 85 pp.
- Perkin Elmer. 1996. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy. United States of America. 300 p.
- Pfander, W. H. 1971. Animal nutrition in the tropics-problems and solutions. Journal of Animal Science 33: 843-849.
- Preston, T. R. 1982. Nutritional limitations associated with the feeding of tropical forages. Journal of Animal Science 54: 877-884.
- Puls, R. 1988. Mineral Levels in Animal Health Diagnostic Data. Ed. Sherpa International. Canada. 154 p.
- Quiroz-Rocha, G.; J. Bouda; V. Velásquez. 2000. Importância do diagnóstico de deficiências de cobre, zinco e selênio. In: González, F. H. D.; J. B. Borges; M. Cecim (ed.). Uso de provas de campo e de laboratório clínico em doenças metabólicas e ruminais dos bovinos. Porto Alegre, Brasil. pp: 43-46.
- Ramos O., R., R. M. Sepúlveda, y F. M. Villalobos. 2003. El Agua en el Medio Ambiente. Muestreo y Análisis. Edit. Plaza y Valdes, y Universidad Autónoma de Baja California. 210 p.
- Ramos M., P. 2009. Diagnóstico del estado mineral de bovinos para carne pastoreando en la región huasteca alta. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 92 p.
- SAS. 2004. SAS/STAT 9.1. User's Guide. Vol. 1-7. SAS Publishing. Cary, NC, USA. 5180 p.
- Shorrocks, V. M., and B. J. Alloway. 1988. Copper in Plant, Animal and Human Nutrition. Copper Development Association. Report TN35. Copper Development Association. United Kingdom. 109 p.
- Suttle, N. F. 2010. Mineral Nutrition of Livestock. 4th Edition. CABI Publishing. United Kingdom. 587 p.
- Tamari, Y., S. Ohmori, and K. Hiraki. 1986. Fluorometry of nanogram amounts of selenium in biological samples. Clinical Chemistry 32: 1464-1467.
- Vázquez G. J., Pérez, P. J. y Meléndez N. F. 2011. Fertilidad de Suelos para Praderas Tropicales. Fundación Produce – Universidad Autónoma de Chiapas – Facultad de Ciencias Agropecuarias. México. 437 p.
- Whitehead, C. D. 2000. Nutrient Elements in Grassland: Soil-Plant-Animal Relationships. CABI Publishing. United Kingdom. 369 p.
- Winchester, C. F., and M. J. Morris. 1956. Water intake rates of cattle. Journal of Animal Science 15: 722-740.

APÉNDICE

Cuadro 18. Correlación lineal y significancia entre el contenido mineral del suelo y contenido mineral del forraje; y entre pH del suelo y contenido mineral del forraje.

Forraje	Suelo									
	Ca	P	Mg	Na	K	Se	Cu	Zn	Fe	pH
Ca	-0.376 *	- *	- *	- *	- *	+ *	- *	- *	- *	- *
P	- *	-0.098 *	-0.707 0.0222	-0.719 0.0189	- *	0.7194 0.0190	-0.695 0.0255	- *	- *	- *
Mg	- *	+ *	-0.532 *	- *	+ *	+ *	- *	- *	+ *	- *
Na	+ *	- *	+ *	0.354 *	+ *	+ *	- *	0.643 0.0447	- *	+ *
K	- *	+ *	+ *	+ *	-0.104 *	- *	+ *	+ *	- *	+ *
Se	- *	- *	- *	- *	- *	-0.144 *	- *	- *	0.709 0.0217	- *
Cu	- *	- *	- *	+ *	- *	- *	0.236 *	- *	+ *	- *
Zn	- *	- *	- *	- *	- *	+ *	- *	-0.006 *	+ *	- *
Fe	- *	+ *	- *	+ *	- *	- *	+ *	- *	0.478 *	- *
Mn	- *	0.925 0.0001	- *	+ *	- *	+ *	+ *	- *	+ *	- *

*No significativo

Cuadro 19. Correlación lineal y significancia entre el contenido mineral del forraje y contenido mineral del suero sanguíneo.

Suero	Forraje									
	Ca	P	Mg	Na	K	Se	Cu	Zn	Fe	Mn
Ca	-0.469 *	- *	+ *	- *	+ *	+ *	- *	- *	+ *	0.823 0.0035
P	+ *	0.292 *	- *	+ *	+ *	- *	0.778 0.0080	+ *	+ *	- *
Mg	+ *	- *	0.107 *	- *	- *	+ *	- *	- *	- *	- *
Na	+ *	+ *	- *	-0.320 *	- *	+ *	+ *	+ *	+ *	- *
K	+ *	+ *	- *	- *	-0.120 *	+ *	+ *	+ *	+ *	- *
Se	- *	- *	- *	+ *	+ *	-0.204 *	+ *	- *	- *	- *
Cu	+ *	+ *	- *	- *	- *	+ *	0.133 *	+ *	+ *	- *
Zn	- *	- *	- *	0.867 0.0011	+ *	- *	+ *	0.224 *	+ *	- *
Fe	- *	- *	+ *	- *	+ *	- *	+ *	- *	0.487 *	+ *

*No significativo.