



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA
POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO MINERAL DE BOVINOS EN SAN JUAN DEL RÍO, CHOAPAM, OAXACA

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

PRESENTA:

José Roberto Gámez Banegas

Bajo la supervisión de: Maximino Huerta Bravo, Ph.D.



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

Diciembre de 2009

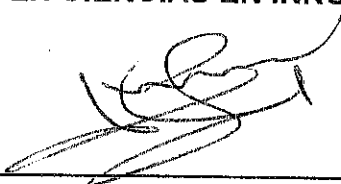
Chapingo, Estado de México

**DIAGNÓSTICO DEL ESTADO MINERAL DE GANADO BOVINO EN SAN
JUAN DEL RÍO, CHOAPAM, OAXACA**

Tesis realizada por **José Roberto Gámez Banegas** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

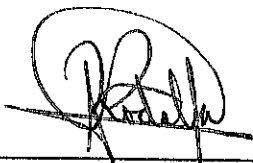
MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR: _____



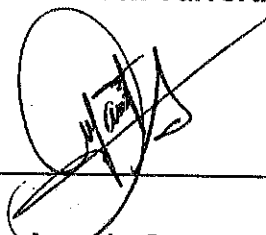
Ph.D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR: _____



Ph.D. Rodolfo Ramírez Valverde

ASESOR: _____



Ph.D. Gilberto Aranda Osorio

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
DEDICATORIAS.....	ix
DATOS BIOGRÁFICOS	x
1 INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Importancia de los minerales.....	4
2.2 Función biológica de los minerales	5
2.3 Clasificación de los minerales.....	6
2.3.1 Calcio (Ca).....	6
2.3.2 Fósforo (P).....	7
2.3.3 Sodio (Na)	7
2.3.4 Potasio (K).....	8
2.3.5 Magnesio (Mg).....	9
2.3.6 Manganeseo (Mn)	10
2.3.7 Zinc (Zn)	10
2.3.8 Hierro (Fe)	11
2.3.9 Cobre (Cu).....	12
2.3.10 Selenio (Se).....	13
2.3.11 Yodo (I).....	14
2.3.12 Molibdeno (Mo).....	14
2.4 Requerimientos minerales	15
2.5 Diagnóstico del estado mineral.....	18
2.5.1 Concentración mineral en agua.....	19
2.5.2 Concentración mineral en suelo	20
2.5.3 Concentración mineral en forraje.....	21
2.5.4 Concentración mineral en suero sanguíneo	23
2.6 Métodos de suplementación mineral	25
2.6.1 Métodos indirectos	25
2.6.2 Métodos directos	26
2.6.3 Suplementación mineral <i>ad libitum</i>	27
2.7 Literatura citada	27

3 DIAGNÓSTICO DEL ESTADO MINERAL DE BOVINOS EN SAN JUAN DEL RÍO, CHOAPAM, OAXACA.....	33
3.1 Resumen.....	33
3.2 Abstract	34
3.3 Introducción	35
3.4 Materiales y métodos	36
3.4.1 Protocolo de muestreo	36
3.4.2 Determinaciones de minerales	37
3.4.3 Análisis Estadístico.....	38
3.5 Resultados y discusión.....	39
3.5.1 Concentración mineral en suelo	39
3.5.2 Concentración mineral en el agua de bebida	44
3.5.3 Concentración mineral en forraje.....	48
3.5.4 Concentración mineral en suero sanguíneo	54
3.6 Conclusiones y recomendaciones	62
3.7 Literatura citada	63

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Requerimientos minerales y concentraciones máximas tolerables para ganado de carne (NRC, 2000).....	15
Cuadro 2. Niveles de significancia (porbabilidad) de época, rancho e interacción época por rancho, para las concentraciones de minerales en el suelo.	39
Cuadro 3. Medias ² de cuadrados mínimos de la época del año sobre las concentraciones de minerales en suelo (base seca).	40
Cuadro 4. Medias ² de cuadrados mínimos de los ranchos sobre las concentraciones de minerales en los suelos (base seca).	42
Cuadro 5. Niveles de significancia (probabilidad) para época, rancho e interacción época por rancho para las concentraciones de minerales en el agua de bebida.	44
Cuadro 6. Medias ² de cuadrados mínimos de la época del año sobre las concentraciones de minerales en el agua de bebida.	45
Cuadro 7. Medias ² de cuadrados mínimos de los ranchos sobre las concentraciones de minerales en el agua de bebida.	46
Cuadro 8. Niveles de significancia (probabilidad) para época, rancho e interacción época por rancho en las concentraciones de minerales en el forraje.	48
Cuadro 9. Medias ² de cuadrados mínimos de la época del año sobre las concentraciones de minerales en los forrajes (base seca).	49
Cuadro 10. Medias ² de cuadrados mínimos de los ranchos sobre las concentraciones de minerales en los forrajes (base seca).	50
Cuadro 11. Niveles de significancia (probabilidad) para época, rancho, tipo de animal e interacciones dobles y triples entre ellas, para las concentraciones de minerales en suero.	54
Cuadro 12. Medias ² de cuadrados mínimos para la época del año sobre las concentraciones de minerales en suero sanguíneo de ganado bovino.	55

Cuadro 13. Medias ^z de cuadrados mínimos para los ranchos sobre las concentraciones de minerales en suero sanguíneo del ganado.	55
Cuadro 14. Medias ^z de cuadrados mínimos para los dos tipos de animales sobre las concentraciones de minerales en suero sanguíneo de bovinos.	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Concentraciones de calcio (a), manganeso (b) y hierro (c) en suelo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) durante la época de lluvias (—■—) y época seca (—●—) en tres ranchos de San Juan del Río, Choapam, Oaxaca.	43
Figura 2. Concentraciones de calcio (a), sodio (b) y hierro (c) en agua (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) durante la época de lluvias (—■—) y época seca (—●—) en tres ranchos de San Juan del Río, Choapam, Oaxaca.	47
Figura 3. Concentraciones de potasio (a), zinc (b) y manganeso (c) en forraje (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) durante la época de lluvias (—■—) y época seca (—●—) en tres ranchos de San Juan del Río, Choapam, Oaxaca.	53
Figura 4. Concentraciones de calcio (a), magnesio (b), potasio (c), fósforo (d) y cobre (e) en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) durante la época de lluvias (—■—) y época seca (—●—) en tres ranchos de San Juan del Río, Choapam, Oaxaca.	59
Figura 5. Concentraciones de fósforo (a) y potasio (b) en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de becerros (—■—) vacas (—●—) en las épocas de lluvias y seca en San Juan del Río, Choapam, Oaxaca.	61
Figura 6. Concentraciones de calcio (a), fósforo (b), magnesio (c) y cobre (d) en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de becerros (—■—) y vacas (—●—) en tres ranchos de San Juan del Río, Choapam, Oaxaca.	62

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por concederme penetración para entender, memoria para retener, método para aprender, lucidez para interpretar y expresarme, y por ser quien en todo momento estuvo conmigo.

Al Ph.D. Maximino Huerta Bravo, principalmente por su amistad, apoyo incondicional, valiosos consejos, grandes conocimientos, además del tiempo y recursos invertidos en esta investigación. Sinceramente gracias doctor y a su señora esposa por todos los consejos que siempre me brindó.

Al Ph.D. Rodolfo Ramírez Valverde por su amistad, confianza, apoyo y acertadas sugerencias para el mejoramiento de este trabajo.

Al Ph.D. Gilberto Aranda Osorio, por su amistad, por las recomendaciones y sobre todo por brindarme parte de su valioso tiempo.

A la planta docente del posgrado en producción animal, por contribuir en mi formación académica integral.

A todos mis amigos, quienes hicieron grata la estancia en el posgrado.

DEDICATORIAS

En primer lugar, a María José Ayala, por ser el gran amor de mi vida, por aguantarme durante todo este periodo de la maestría, por ser esa persona que siempre me brindó ese gran apoyo ese cariño incondicional, por siempre creer en mí y por sus consejos de tomar el mejor camino durante mis estudios, por estar ahí conmigo en los momentos más difíciles de mi vida dándome mucho aliento para seguir adelante. Gracias de todo corazón.

A mis padres, por todo su amor, cariño y por creer siempre en mí, por ser los pilares que mantienen tan fuerte la familia, por haberme educado y soportar mis errores, les agradezco el cariño, la comprensión, la paciencia y el apoyo que me brindaron para poder culminar mi carrera profesional. Para ustedes padres con mucho amor.

A mis hermanos, porque siempre he contado con ellos para todo, por ese apoyo que siempre nos hemos brindados todos juntos y por estar siempre conmigo y enseñarme grandes cosas en la vida y siempre decirme que era lo mejor, qué camino tomar y por darme grandes consejos. Gracias por su cariño.

A mi abuelita Nina, porque siempre me brindó ese calor que necesitaba durante todo mi periodo de estudio y por tener esa fé de creer en mí, y también a mi abuelita María de Gámez Q.D.D.G, por tener siempre palabras de aliento para mí y por decirme que era lo bueno siempre, este gran triunfo también es dedicado para ella porque fue un ángel en toda mi maestría.

Al resto de mis seres queridos que si bien sus nombres no están en este papel, si están en mi mente y corazón.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: José Roberto Gámez Banegas

Fecha de nacimiento: 14 de junio de 1982

Lugar de nacimiento: San Pedro Sula, Honduras, C. A.

Profesión: Ingeniero Agrónomo Administrador

Cédula de identidad: 0501-1982-05426



Formación académica

Bachillerato: Colegio Experimental La Salle (1995-2000)

Licenciatura: Universidad de San Pedro Sula (2001-2006)

Maestría en Ciencias: Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma
Chapingo (2008-2009)

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los animales en pastoreo generalmente no reciben suplementación mineral, excepto sal común, y depende casi exclusivamente de los forrajes para satisfacer sus requerimientos nutricionales. Sin embargo, en ganadería tropical raras veces los forrajes pueden satisfacer los requerimientos minerales de los bovinos (McDowell *et al.*, 1988). Es por ello, que la desnutrición es comúnmente aceptada como una de las limitantes más importantes en la producción de animales en condiciones de pastoreo de países tropicales (McDowell *et al.*, 2005).

McDowell *et al.* (1982) indican que los forrajes en países tropicales tienen grandes deficiencias minerales, por ejemplo: Cu, 47%; Mg, 35%; P, 73%; Na, 60%; y Zn, 75%. Por lo anterior, es importante detectar estos desequilibrios y corregirlos mediante suplementaciones adecuadas. Debido a esta problemática, McDowell *et al.* (2005) mencionan que una nutrición adecuada de los bovinos depende de los nutrimentos en forraje, suelo, agua y suplementos; por lo que es necesario conocer el estado mineral del ganado, que permita implementar medidas para la corrección de las deficiencias minerales.

Los minerales son requeridos para el funcionamiento normal de básicamente todos los procesos bioquímicos en el cuerpo, dado que alrededor del 50% de las enzimas requieren de un metal (Waldron *et al.*, 2009). Un número de macrominerales y microminerales han demostrado ser esenciales para animales. Por ello, se debe proveer cantidades adecuadas de los minerales esenciales para cubrir los requerimientos del animal, y para maximizar la productividad y salud del ganado.

El hombre ha buscado alternativas de manejo (nutrición, genética, sanidad, reproducción) que le permitan mejorar e incluso asegurar los satisfactores que obtiene de los animales (Bogart y Taylor, 1988). Con base en lo anterior, se puede señalar que una nutrición inadecuada en los animales es una de las limitantes más importantes en la producción ganadera, desafortunadamente el sureste mexicano no escapa a esta realidad, a pesar de ser una de las regiones a nivel nacional con un gran auge en la producción de ganado de doble propósito (Pérez y Donato, 2004).

En México, diferentes regiones presentan deficiencias tanto de selenio como cobre (Huerta, 1997), agravándose en animales en pastoreo donde el uso de suplementos es limitado. Tales deficiencias se han tratado de solucionar a través de premezclas, bloques y soluciones inyectables de estos minerales; sin embargo, no se han logrado corregir de manera satisfactoria, debido a que estos métodos requieren de dosificaciones frecuentes y el consumo es muy variable en el caso de libre acceso (Kendall *et al.*, 2001).

La situación actual de producción de carne de bovino para abasto en el país es crítica, ya que no se cubre la demanda de la población y se recurre a las importaciones. Sin embargo, algunas de las regiones tropicales de México, cuentan con un gran potencial de producción, exportación y venta de becerros con un peso alto al destete o bien desarrollarlos hasta la "media ceba" con el fin de abastecer la demanda de los engordadores nacionales (Livas, 2007).

En el Capítulo II se presenta una revisión de literatura científica en la que se resume información referente a la importancia de los minerales, su función biológica, su clasificación, conforme a sus grupos tanto microminerales como macrominerales y su definición. Además, considera los requerimientos de minerales para el animal, su diagnóstico en agua, suelo, forraje y suero sanguíneo, y los diferentes métodos de suplementación mineral que existen. En el Capítulo III se presenta un estudio de caso, en el que se evaluó o diagnosticó

el estado mineral de ganado bovino en la región tropical San Juan del Río,
Choapam, Oaxaca.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de los minerales

Los minerales son importantes para la alimentación del ganado, ya que son necesarios para la transformación de la proteína y la energía de los alimentos en componentes del organismo, para satisfacer las necesidades de mantenimiento y posteriormente las necesidades de producción como son: crecimiento, gestación, lactancia, etc. Además, los minerales ayudan a prevenir enfermedades y a mantener la salud del animal (Huerta, 1999).

Los elementos minerales existen en las células y tejidos del organismo animal en diversas combinaciones funcionales y químicas, y en concentraciones características dependientes del elemento y tejido (Underwood y Suttle, 2003). Las concentraciones de los elementos esenciales deben mantenerse dentro de límites bastante estrechos para salvaguardar la integridad funcional y estructural de los tejidos, y para mantener inalterado el crecimiento, la salud y la productividad del animal (Underwood y Suttle, 2003). Muchos de los minerales considerados esenciales se encuentran en suficientes concentraciones en la dietas, pero otros frecuentemente son deficientes (NRC, 2000).

Según McDowell *et al.* (2005), antes del siglo XX había muy poco interés en la nutrición mineral de los animales domésticos, y ésta era considerada de poca utilidad. Sin embargo, ya se había demostrado que a principios del siglo XIX la concentración de minerales en las plantas variaba de acuerdo al tipo de suelo y estado de madurez de la misma. Los autores mencionan que a pesar de esta situación, algunos investigadores han observado que el ganado muchas veces se deteriora a pesar de tener una abundancia de alimento.

Los macrominerales son componentes estructurales importantes del hueso y otros tejidos, y sirven como constituyentes importantes de fluidos del cuerpo; realizan un papel vital en el mantenimiento del balance ácido-base, la presión osmótica y la transmisión nerviosa. Los microminerales están presentes en tejidos del cuerpo en bajas concentraciones y frecuentemente sirven como componentes de metaloenzimas y cofactores enzimáticos, o como componentes de hormonas del sistema endocrino (NRC, 2001).

Van Soest (1982) menciona que la sobrevivencia, el crecimiento y la producción de los animales en pastoreo dependen de la cantidad de nutrimentos en las plantas forrajeras que componen el pastizal, de su composición botánica y de la variación que sufren a través del año, y del tipo de animales y sus hábitos de pastoreo. Es por esto que los animales en libre pastoreo responden directamente a las condiciones del ambiente en el que se desarrollan y expresan sus preferencias y hábitos en forma que difícilmente lo podrían hacer bajo condiciones restringidas (Williams, 1988).

Los requerimientos nutritivos del ganado en pastoreo son difíciles de estimar, porque pueden ser alterados por la actividad del pastoreo al caminar en busca de alimentos, por el estrés ambiental, y por las prácticas de manejo realizadas por el ganadero (Huerta, 1993).

2.2 Función biológica de los minerales

Los desórdenes de nutrición mineral varían desde deficiencias minerales agudas hasta toxicidades, que se manifiestan desde cambios patológicos hasta una mala condición corporal del animal, y un crecimiento y producción inferior a lo normal. Sin embargo, estas últimas condiciones tienen gran importancia porque ocurren sobre grandes áreas, afectando a un gran número de animales, además de que pueden ser confundidas con deficiencias de energía y proteína, y con varios tipos de parasitismos (Underwood, 1981).

Los minerales que tienen efectos en la reproducción animal son: fósforo, zinc, cobre, manganeso, cobalto, yodo y selenio. Los efectos de estos elementos en el funcionamiento reproductivo de los animales son diversos, pero finalmente dan lugar a menores porcentajes de pariciones y reducción en la producción animal. La deficiencia de todos los minerales esenciales, generalmente es acompañada por un menor consumo de alimento (McDonald *et al.*, 1988).

2.3 Clasificación de los minerales

McDonald *et al.* (1988) indicaron que 40 ó más elementos minerales intervienen en el metabolismo tisular de los rumiantes. En forma general, se considera que en los rumiantes por lo menos 15 elementos minerales son esenciales desde el punto de vista nutricional o tienen problemas por concentraciones elevadas. Los elementos que se consideran mayores o macrominerales son: Ca, P, K, Na, Cl, Mg y S; y los elementos traza o microminerales son: Fe, I, Zn Cu, Mn, Co, Mo, y Se; los cuales se consideran esenciales, aunque algunos autores también incluyen en los microminerales al Cr y F (NRC, 2001).

2.3.1 Calcio (Ca)

El calcio forma parte de los huesos y dientes. Favorece la coagulación de la sangre, interviene en la regulación de la actividad neuromuscular y cardíaca, en la regulación del equilibrio ácido-básico y en la presión osmótica (Maynard, 1992). Aproximadamente el 1% del calcio del cuerpo se encuentra distribuido ampliamente en los tejidos blandos y con una mayor concentración en el plasma sanguíneo (McDowell *et al.*, 2005).

El calcio es comúnmente deficiente para rumiantes jóvenes y vacas en lactancia en los forrajes del Golfo de México, Chiapas y centro del país; por el contrario, el exceso de este mineral se presenta en las regiones: norte del país y en la Península de Yucatán (Huerta, 1997). Entre los principales signos de deficiencia de calcio en rumiantes son: disminución en el consumo de alimento, detención

del crecimiento, debilidad y malformaciones óseas, osteomalacia, y en animales adultos puede causar osteoporosis e hipocalcemia (Kincaid, 1993).

2.3.2 Fósforo (P)

Las funciones del fósforo incluyen su esencialidad para la producción de leche, el desarrollo y mantenimiento del tejido esquelético, y también ayuda a la composición de los ácidos nucleicos y la membrana celular en forma de fosfolípidos (Church y Pound, 1987). Según McDowell *et al.* (2005), aproximadamente el 20% del fósforo en el cuerpo del animal no es parte del esqueleto, sino que está distribuido entre los tejidos blandos, y concentrado especialmente en los glóbulos rojos y en los tejidos musculares y nerviosos.

El fósforo también es esencial para el funcionamiento adecuado de los microorganismos del rumen, especialmente los que digieren la celulosa de las plantas ingeridas, así como para la regulación del pH de la sangre y otros fluidos (McDowell *et al.*, 2005).

Según Minson (1990), los rumiantes mantienen su concentración de fósforo entre 40 y 70 mg de fósforo litro^{-1} de plasma. Sin embargo, los niveles de deficiencia considerados para el forraje, suero y ceniza de hueso son de 0.25 y 6 mg/100 mL, y 17.6%, respectivamente. Las regiones norte, Golfo de México y Península de Yucatán son las más afectadas por esta deficiencia, así como la región semiárida del norte del país (Huerta, 1999).

2.3.3 Sodio (Na)

La mayoría de los forrajes son deficientes en sodio. Huerta (1999) estimó que entre 75 y 88% de los forrajes mexicanos tienen concentraciones deficientes de este mineral para su uso en rumiantes. El sodio es un electrolito principalmente extracelular, que mantiene la presión osmótica, el equilibrio ácido-básico y el metabolismo del agua; también interviene en el mecanismo de la contracción

muscular y en la transmisión del impulso nervioso. Forma parte del jugo pancreático y de la bilis, e interviene en la absorción de carbohidratos y aminoácidos (Miller, 1979).

Las deficiencias de sodio en los forrajes son muy comunes en las regiones norte y centro del país, pero no en la región del Golfo de México; consecuentemente, similares deficiencias se observan en el suero sanguíneo de los bovinos. La no deficiencia de sodio para esta última región, se puede deber a que el suministro de sal común es una práctica rutinaria en la mayoría de las empresas ganaderas (Huerta, 1997). Algo importante que debemos tomar en cuenta, es que el sodio en sangre y tejidos son mantenidos principalmente vía reabsorción y excreción por el riñón (Underwood y Suttle, 2003).

McDowell *et al.* (1988) consideran que casi todos los alimentos de origen vegetal son deficientes en sodio, razón por la cual es necesario suplementar este mineral dentro de la dieta. La deficiencia de sodio en el animal es fácil de detectar, por el consumo excesivo de sal, o lamido de roca, suelo o sudor de otros animales (Underwood, 1981). Una deficiencia de sodio reduce la absorción de magnesio e incrementa la incidencia de hipomagnesemia (Minson, 1990).

2.3.4 Potasio (K)

La gran mayoría de los forrajes son adecuados en potasio para rumiantes en pastoreo (Huerta, 1999). Esto puede estar asociado a factores climáticos combinados con la disponibilidad del agua, o a que el límite crítico superior no está definido claramente. Los niveles de potasio por debajo del 1.6%, son indicativos de que el suelo es deficiente de este mineral (Huerta, 1997).

El potasio es el principal catión intracelular, pues mantiene el equilibrio ácido-básico, la presión osmótica y el balance hídrico (Linsner, 1981), regula la

actividad del miocardio (acción relajante) y la propagación del impulso nervioso, y forma parte de la insulina del páncreas (Linsner, 1981).

La deficiencia de potasio es rara, caracterizándose por el retraso en el crecimiento, marcha insegura, debilidad muscular, pica, diarrea, pérdida de peso, y en casos de deficiencia severa provoca la muerte del animal (Linsner, 1981). Sin embargo, un exceso de potasio interfiere en la absorción y eliminación del magnesio, y también puede dar lugar a cálculos renales (Linsner, 1981). Huerta (1993) menciona que la fertilización con potasio sería recomendable en por lo menos el 50% de los forrajes del país, para así poder evitar deficiencia de este mineral en el crecimiento de los forrajes.

2.3.5 Magnesio (Mg)

Las vacas lecheras de alta producción en sistemas intensivos en pastoreo, son más susceptibles a desarrollar hipomagnesemia, especialmente en las regiones del Golfo, Chiapas y centro del país, dado que los requerimientos de magnesio son altos y los forrajes son deficientes (Huerta, 1997). El magnesio interviene con el calcio y el fósforo en la formación de huesos y dientes, y es de vital importancia en la catalización de 300 enzimas implicadas en la transferencia y utilización de la energía (Minson, 1990).

La disponibilidad de magnesio en el suelo es baja para la planta y depende de la cantidad de magnesio que exista en el suelo, de las concentraciones de calcio y del pH, pero en general se considera que la concentración de magnesio en el forraje oscila entre 1 y 9 g/kg⁻¹ de materia seca (Minson, 1990). La deficiencia de magnesio da lugar a la tetania de los pastos (McDowell *et al.*, 2005). Normalmente no se producen intoxicaciones por exceso de magnesio, pero si llegasen a existir, puede haber depresión del sistema nervioso central, timpanismo y heces acuosas (Miller, 1979).

Según estudios realizados por Méndez (1989) en vacas lecheras de Quintana Roo, la deficiencia de magnesio en suero de bovino fue de alrededor del 7%. El autor sugiere que hay una relación negativa entre los niveles séricos de este mineral y la producción de leche, por lo que sugiere que hay concentraciones deficientes de magnesio cuando la producción de leche supera los 8.9 kg de leche día⁻¹.

2.3.6 Manganese (Mn)

El manganeso es necesario para un crecimiento normal de los huesos en la reproducción y el funcionamiento normal del sistema nervioso, además de ser un cofactor en muchas enzimas asociadas con el metabolismo de los carbohidratos y la síntesis de mucopolisacáridos (McDowell *et al.*, 2005).

La deficiencia de manganeso en los forrajes se presenta prácticamente en todas las regiones del país, pero con mayor intensidad en la Península de Yucatán y Chiapas. Los estudios en hígado de los animales de estas regiones confirman este problema, (Huerta, 1997). La razón es debido a que el nivel crítico de deficiencia es menor a 6 ppm por lo cual no es el nivel adecuado, dado que la información generada en estos estudios demuestran que cuando el forraje contiene 40 ppm de manganeso, la concentración en hígado es de alrededor de 10 ppm (Huerta, 1997). Sin embargo, otros autores mencionan que la deficiencia se manifiesta por la presencia de cojeras y curvaturas de las patas, dado que afecta al esqueleto y por lo tanto el desarrollo del animal no es normal (Miller *et al.*, 1993).

2.3.7 Zinc (Zn)

El zinc es un elemento indispensable para el crecimiento y la salud de los animales (Dana *et al.*, 2002). Es un componente de las estructuras del ADN, ARN y los ribosomas, forma parte del sistema inmune e interviene en el balance de electrolitos; es activador de varios sistemas enzimáticos (Maynard *et al.*,

1981), es importante para la utilización y producción de hormonas como la testosterona, insulina y corticoides (McDonald *et al.*, 1999). Asimismo, interviene en el desarrollo testicular, en la espermatogénesis, y en el crecimiento de órganos primarios y secundarios de machos, y en los procesos reproductivos y de lactancia de las hembras (McDowell *et al.*, 1997). Los signos iniciales de la deficiencia de zinc son disminución en el consumo de alimento, tasa de crecimiento y eficiencia alimenticia, seguido por desórdenes en la piel, tales como piel seca y escamosa (Underwood y Suttle, 2003).

El zinc puede ser suministrado en forma de bolos o de inyecciones con carbonato, sulfato u óxido de zinc (McDowell *et al.*, 2005). Otra alternativa es utilizar fertilizante que contiene zinc en la producción del forraje (Minson, 1990). Niveles altos de zinc en la dieta pueden ocasionar deficiencia de hierro y cobre, e influir en los procesos de absorción y utilización del calcio (McDowell *et al.*, 1997).

2.3.8 Hierro (Fe)

El hierro es un componente esencial de la hemoglobina y la mioglobina, necesarias para el transporte de oxígeno (Puls, 1988). También es importante en el metabolismo de la energía, ya que facilita la transferencia de electrones para la formación de trifosfato de adenosina (Underwood y Suttle, 2003).

La absorción del hierro se lleva a cabo en todo el sistema digestivo, pero principalmente en duodeno y yeyuno; se elimina por heces, orina, sudor y cuando los animales sufren de alguna hemorragia (McDowell *et al.*, 1997). La absorción del hierro depende de factores como el estatus del hierro en el organismo y la edad (McDowell *et al.*, 2005). Los rumiantes jóvenes son más susceptibles a la deficiencia de hierro, debido a que la leche contiene bajos niveles de este mineral ($< 1 \text{ mg L}^{-1} \text{ MS}$, McDowell *et al.*, 1997).

El hierro se transporta en forma de hierro férrico, unido a la transferrina (Underwood y Suttle, 2003). La ceruloplasmina funciona como una ferroxidasa, que facilita la liberación del hierro, y la unión con la transferrina (Frieden, 1971).

Los signos de deficiencia de hierro incluyen anemia, disminución del apetito, cansancio y disminución de la resistencia a las infecciones (Miller, 1979). La intoxicación crónica por hierro causa diarrea y acidosis metabólica, retraso del crecimiento, e interferencia con el metabolismo de otros minerales como el cobre y el fósforo (Minson, 1990; McDowell *et al.*, 1997).

2.3.9 Cobre (Cu)

El cobre es uno de los minerales esenciales requeridos para el soporte vital en los procesos biológicos de los seres vivos; es considerado como un mineral traza, ya que sólo se requiere en cantidades pequeñas para satisfacer las necesidad nutritivas de los animales (Cousins, 1985). También es cofactor de sistemas enzimáticos, componente de la citocromo oxidasa, y es importante en la fosforilación oxidativa (McDowell *et al.*, 1999). Es un componente esencial de varias metaloenzimas importantes, entre las cuales están: ceruloplasmina, citocromo oxidasa, lisil oxidasa y tirosinasa; y es también un micromineral esencial para la salud del sistema inmune de los bovinos (McDowell *et al.*, 2005).

Existen dos mecanismos de absorción del cobre: uno es saturable (activo), que se presenta cuando existen bajas concentraciones de cobre en la dieta; y el otro insaturable (difusión simple) que entra en juego a altas concentraciones de cobre (Huerta, 2003). La absorción del cobre es mayor en animales jóvenes (80 a 90%) que en animales adultos (6 a 8%) (McDowell *et al.*, 2005).

Huerta (2003) menciona que en rumiantes la mayoría del cobre es absorbido en el tracto gastrointestinal, principalmente en el intestino delgado. Sin embargo, un porcentaje alto de cobre liberado durante la digestión ruminal suele

precipitarse en forma de sulfuro de cobre y permanecer sin absorberse, mientras que es liberado durante la digestión post-ruminal (Underwood y Suttle, 2003).

Las deficiencias de cobre en rumiantes aparecen principalmente bajo condiciones de pastoreo, y los signos severos de deficiencia son raros cuando se suministran alimentos concentrados (McDowell *et al.*, 2005). Dentro de algunos signos de deficiencia frecuentes están las anemias, retraso del crecimiento, alteraciones en los huesos como pérdida de rigidez, lesiones en el tronco encefálico y médula espinal, y problemas reproductivos (McDowell *et al.*, 1988).

2.3.10 Selenio (Se)

El selenio es un componente estructural de las enzimas (selenoproteínas) glutatión-peroxidasas, yodotironina deiodinasas y otras selenoproteínas como las P y W. La selenoproteína P muestra una fuerte tendencia a unirse con metales pesados y ejerce un efecto protector contra la intoxicación de mercurio y plomo mientras que la selenoproteína W contiene un gramo de selenio por cada mol de Se-Cys, pero su función no es clara (Underwood y Suttle, 2003).

Las enzimas glutatión-peroxidasa tienen como función proteger a las células del daño peroxidativo catalizando la reducción del peróxido de hidrógeno y de los hidroxiperóxidos formados a partir de ácidos grasos y otras sustancias (McDowell *et al.*, 1988).

La deficiencia de selenio puede dar lugar a la enfermedad de músculo blanco, especialmente en corderos y becerros. En general, se asocia con un menor crecimiento, tanto en machos como en hembras, y menor resistencia a las enfermedades. El exceso de selenio puede producir anemia, salivación excesiva, necrosis de las pezuñas, parálisis e incluso la muerte (Minson, 1990).

2.3.11 Yodo (I)

El yodo tiene como casi única función, la formación de tiroxina y triyodotironina, hormonas que controlan el metabolismo basal, acelerando el crecimiento y aumentando el consumo de oxígeno por el organismo, cuando el yodo no se ingiere en cantidad suficiente, disminuye la síntesis de tiroxina y aumenta el tamaño de la glándula tiroidea para compensar esta deficiencia, este trastorno se denomina bocio endémico. Otros signos de deficiencia pueden ser la supresión del estro en hembras y de la libido en los machos; abortos y pelo quebradizo y lana de baja calidad. La toxicidad por yodo no es frecuente (Huerta, 1999).

2.3.12 Molibdeno (Mo)

El molibdeno forma parte de varias enzimas como la xantina oxidasa, aldehído oxidasa, sulfito oxidasa, además es importante para el transporte de electrones y el metabolismo de las purinas (Underwood y Suttle, 2003). El molibdeno se absorbe en intestino delgado, principalmente en duodeno y yeyuno; se elimina por orina y en menor cantidad por heces y leche (Ward, 1978). El contenido de molibdeno en forraje, tejidos y fluidos animales ha sido poco estudiado. Aunque el molibdeno tiene funciones enzimáticas en la planta y el animal, no se ha mostrado que la deficiencia sea un problema práctico.

Por otro lado, el efecto negativo en la absorción y el metabolismo del cobre del animal es bien conocido, de tal manera que la adición de molibdeno en los suplementos y la dieta de los animales debe evitarse (Huerta, 1999). El principal signo de toxicidad en corderos es pérdida de peso y diarreas (McDowell *et al.*, 2005). Pinto-Santini *et al.* (2007) estimaron que con dietas altas en molibdeno (20 mg kg^{-1}), las vacas presentaron una disminución en cobre hepático.

2.4 Requerimientos minerales

Los requerimientos aproximados y los niveles tóxicos de minerales (Cuadro 1) sugeridos por el NCR (2000) para diversos tipos de rumiantes, son afectados por el tipo y el nivel de producción, la edad, el nivel y la forma química de los elementos en los ingredientes alimenticios, el consumo suplementario del mineral, la raza, el estado fisiológico y la adaptación animal. El nivel dietético del mineral que promueve una buena respuesta es el requerimiento mínimo, pero para su mayor absorción óptima permite que el animal logre por completo su potencial genético y un funcionamiento óptimo (McDowell *et al.*, 2005).

Cuadro 1. Requerimientos minerales y concentraciones máximas tolerables para ganado de carne (NRC, 2000).

para ganado de carne (NRC, 2005).				
Mineral	Requerimientos			Concentración máxima
	Crecimiento y finalización	Vacas		
		Gestantes	Lactación temprana	
Co, ppm	0.10	0.10	0.10	10
Cu, ppm	10	10	10	100
I, ppm	0.50	0.50	0.50	50
Fe, ppm	50	50	50	1,000
Mn, ppm	20	40	40	1,000
Se, ppm	0.10	0.10	0.10	2
Mg, %	0.10	0.12	0.20	0.40
K, %	0.60	0.60	0.70	3
Na, %	0.06-0.08	0.06-0.08	0.01	-
Ca, %	0.19-0.71	0.22-0.38	0.53-0.67	-
P, %	0.12-0.34	0.16-0.24	0.32-0.44	-

Los máximos tolerables para ganado de carne han sido cambiados por el NRC (2005). En particular, el cobalto se aumentó a 25 ppm, el cobre disminuyó a 40

ppm, el hierro bajó a 500 ppm, manganeso subió a 2000 ppm, selenio aumentó a 5 ppm, magnesio subió a 0.6% y potasio bajó a 2%.

Afortunadamente, no es necesario determinar con precisión los requerimientos y niveles tóxicos de muchos elementos, ya que la regulación homeostática tiende a normalizar los consumos marginalmente deficientes o excesivos, cambiando la eficiencia de absorción y excreción (Underwood y Suttle, 2003). El rango de respuesta óptima es lo suficientemente amplio para la mayoría de los minerales y las condiciones, y por esto las concentraciones en la dieta pueden ser añadidas para satisfacer los requerimientos mínimos, sin preocupaciones por la toxicidad o deficiencia (McDowell *et al.*, 2005). A pesar de lo anterior, los requerimientos minerales son altamente dependientes del nivel de productividad, como lo demuestra el hecho que en los ovinos, los requerimientos mínimos de zinc para la espermatogénesis y el desarrollo testicular son más altos que para crecimiento, pero los requerimientos de manganeso (Mn) son más bajos para el crecimiento que para la fertilidad (Underwood y Suttle, 2003).

Los requerimientos minerales son difíciles de determinar con exactitud, ya que cada requerimiento depende de la forma química y de numerosas interrelaciones minerales (Kincaid, 1999). La forma química de los elementos minerales varía en la cantidad de minerales proporcionados en una dieta y en su disponibilidad biológica. Para prevenir la deficiencia de selenio por ejemplo, la forma elemental del selenio no es usada comúnmente en los polluelos, pero sí de manera eficaz en los bovinos y ovinos (Underwood y Suttle, 1999). El efecto de la raza sobre el requerimiento mineral ha sido determinado con frecuencia en los rumiantes, las diferencias reportadas oscilan entre 5 y 35% para Mg, 40 y 80% para P, y 2 y 10% para Cu (McDowell *et al.*, 2005).

El ganado bovino de zonas tropicales que no está adaptado, suda copiosamente y pierde saliva y moco bucal, y por eso puede perder cantidades

significativas de minerales, particularmente en los trópicos secos. Los requerimientos minerales se ven afectados frecuentemente por los parásitos, al grado de reducir a nivel intestinal la absorción mineral (Huerta, 1997). Además, la diarrea y el vómito causados por los parásitos, reducen a nivel intestinal la absorción mineral e incrementan los requerimientos minerales (McDowell *et al.*, 2005).

Existe suficiente información que muestra que tanto los macrominerales como los minerales traza, pueden influir en la relación que hay entre el parásito y el huésped. En un estudio con ovinos realizado por Underwood y Suttle (2003), se encontró que una infestación parasitaria de nemátodos causó desmineralización ósea en esos animales.

Suttle *et al.* (1999) y Kincaid (1999) encontraron que una suplementación de Cu en terneros redujo el establecimiento de *H. contortus* y *T. circumcincta* en un 96 y 56%, respectivamente; por otra parte, la deficiencia de Co puede inducir un mayor conteo fecal de huevos de *T. circumcincta* en terneros infectados con parásitos.

El consumo adecuado de forrajes por los rumiantes en pastoreo, es esencial para satisfacer los requerimientos minerales (Underwood y Suttle, 1999). Los factores que reducen tremendamente el consumo de forrajes, son el bajo contenido de proteína (menos de 7.0%) o el alto nivel de lignina, así como el nivel total de los minerales consumidos (Huerta, 1999). Debido a que los forrajes tienen una menor cantidad de minerales durante la estación seca, es lógico suponer que los rumiantes en pastoreo están más propensos a sufrir deficiencias minerales durante esta estación (McDowell *et al.*, 2005).

Numerosos estudios han demostrado que las deficiencias específicas de los minerales son más frecuentes en la estación lluviosa (Underwood y Suttle, 2003). Asimismo, el ganado en pastoreo es más propenso a tener deficiencias

de Cu y P; presentándose los signos clínicos con severidad después de las lluvias, pero en la estación lluviosa, es cuando los animales aumentan de peso rápidamente, y en el periodo seco, las concentraciones inadecuadas de energía y proteína traen como resultado la pérdida de peso en los animales, lo cual disminuye el requerimiento de minerales (Huerta 1999). No es económico suplementar minerales al ganado en pastoreo, si los principales nutrientes son deficientes con la energía y proteína. En algunos países, el ganado no suplementado durante el invierno puede perder del 25 al 30% de su máximo peso vivo (Kincaid, 1999).

2.5 Diagnóstico del estado mineral

La razón más común para determinar el estado mineral de los rumiantes, es porque influye en gran medida en su comportamiento. Por tanto, la determinación se hace para conocer las deficiencias o toxicidades de nutrientes dentro de una población. La determinación también se hace para evaluar la eficacia de la suplementación dietética o para comparar suplementos disponibles (Kincaid, 1999).

Los trastornos de la nutrición mineral varían desde deficiencias minerales agudas o toxicidades, caracterizadas por signos clínicos bien marcados y cambios patológicos. El método más confiable para confirmar la deficiencia de minerales, es la respuesta que se deriva de la suplementación con un mineral específico (Huerta, 1999). La mayoría de los desequilibrios minerales, particularmente las condiciones muy próximas a deficiencia, no resultan en observaciones patológicas de signos clínicos específicos para un solo mineral, por tanto, para determinar insuficiencias minerales son necesarios análisis químicos y biológicos (McDowell *et al.*, 2005). La detección de alteraciones minerales requiere exámenes clínicos, patológicos y bioquímicos de los animales, de sus tejidos o fluidos, así como conocer el contenido y proporción de minerales de los pastos y raciones; para poder determinar las insuficiencias minerales,

frecuentemente se requieren análisis clínicos y ensayos biológicos. Underwood y Suttle (2003) mencionan que la información obtenida mediante uno solo de estos procedimientos, raras veces es suficiente para obtener pruebas concluyentes de un déficit o intoxicación mineral. Las deficiencias o toxicidades de minerales en animales bajo pastoreo, pueden detectarse utilizando la técnica de análisis de mapeo sistemático o mediante un reconocimiento de la región. La técnica de mapeo sistemático, que utiliza los análisis de tejidos de plantas y animales es utilizada en muchos países, donde se han establecido los niveles minerales de grandes áreas (McDowell *et al.*, 2005).

Datos de un gran número de países tropicales han indicado que las correlaciones minerales entre los suelos, las plantas y los tejidos animales son altamente variables entre localidades y frecuentemente bajas o no existentes; sin embargo, las concentraciones de minerales en el tejido y fluido animal, como también las concentraciones de ciertas enzimas, metabolitos o compuestos orgánicos, están asociadas funcionalmente y constituyen importantes indicadores del estado mineral (McDowell *et al.*, 2005).

2.5.1 Concentración mineral en agua

El agua no es una fuente importante de minerales, ya que tiene un bajo nivel de elementos esenciales (McDowell *et al.*, 2005). La ingestión de agua no suele ser el mayor aporte de minerales para el ganado, aunque existen excepciones como las aguas duras, las cuales suministran grandes cantidades de calcio, magnesio y azufre, y ocasionalmente otros minerales, pero su composición mineral varía según su origen (Underwood y Suttle, 2003). El NRC (2001) indica que dos de los cinco criterios más frecuentes considerados para determinar la calidad del agua, son la presencia de compuestos tóxicos (metales pesados, minerales tóxicos, organofosfatos e hidrocarburos) y la presencia de excesos de minerales o compuestos (nitratos, sodio, sulfatos y hierro). McDowell *et al.* (2005) mencionan que el P en concentraciones medias en el agua proveería

menos del 1% de los requerimientos diarios de animales en granja y menos del 2% de los requerimientos de potasio, hierro, zinc, cobre y selenio. La concentración de azufre en agua de acuíferos puede llegar a 600 mg L^{-1} , lo que supone 3 g S kg^{-1} en forma de sulfatos, en la ración; esta cantidad es mucho mayor de la que necesita el animal y puede inducir una deficiencia de cobre (Smart *et al.*, 1986). Sin embargo, la ingestión diaria de agua es altamente variable, al igual que su composición mineral según su origen (Dahlborn *et al.*, 1998). Un estudio realizado con bovinos en pastoreo determinó variaciones individuales en la ingestión de agua de hasta cuatro veces (Wright *et al.*, 1999).

2.5.2 Concentración mineral en suelo

El consumo directo de grandes cantidades de suelo, muchas veces es una indicación de deficiencias minerales; por lo que en algunos casos los rumiantes en pastoreo pueden consumir tierra, y esto puede llevar a representar hasta un 20% de la materia seca consumida (McDowell *et al.*, 2005). En algunos estudios el consumo de suelo constituye del 10 al 15% de la ingestión total de materia seca para ovinos y bovinos (Healy *et al.*, 1998). La ingestión de suelo, directa o indirecta, puede resultar en consumos elevados de cobalto y, yodo, ya que los suelos contienen mayor concentración que las plantas (McDowell *et al.*, 2005). La ingestión indirecta sucede cuando la presión de pastoreo es alta o cuando hay escasez de forraje (Huerta, 1997). Sin embargo, una de las mayores desventajas de la ingestión de suelo es el consumo de elementos o sustancias tóxicas. Para elementos como el cobalto, flúor, yodo y selenio, que suelen presentar concentraciones superiores en el suelo que en las plantas, la ingestión de suelo puede ser beneficiosa para el animal (Grace *et al.*, 1996). En cambio, los antagonistas del cobre: hierro, molibdeno y zinc, son activos biológicamente en los suelos y su ingestión con el forraje puede ser un factor etiológico en vacas (Suttle *et al.*, 1999). Underwood y Suttle (2003) mencionan que la contaminación de forrajes con suelo, comúnmente causa

concentraciones excesivamente elevadas de cobalto, hierro y manganeso, que coinciden con valores de titanio muy elevados.

2.5.3 Concentración mineral en forraje

Los animales en pastoreo generalmente no reciben suplementos minerales, pero existen regiones específicas, en las cuales las concentraciones tóxicas de cobre, flúor, manganeso, molibdeno y selenio, pueden limitar la producción de los animales en pastoreo; sin embargo, los forrajes de suelos tropicales pueden ser altamente deficientes en muchos de los macro y microminerales esenciales para el animal (McDowell *et al.*, 2005). Por lo que, el contenido mineral de los forrajes determina básicamente el consumo de minerales de los animales en este sistema de explotación (Underwood y Suttle, 2003); y es necesario proveer estos elementos como suplementos dietéticos, con el propósito de lograr una producción más eficiente en animales de regiones cálidas (McDowell *et al.*, 2005). En países tropicales, muchas veces el ganado en pastoreo no recibe suplementación mineral adicional a la sal común, y depende casi exclusivamente de los forrajes para poder satisfacer sus requerimientos; sin embargo, son muy pocas las veces que los forrajes tropicales pueden satisfacer completamente todos los requerimientos minerales (McDowell *et al.*, 2005). Según Underwood y Suttle (2003), la concentración de minerales en los cultivos y en las plantas forrajeras depende básicamente de cuatro factores:

- El género, especie o línea genética,
- el tipo de suelo donde la planta crece,
- las condiciones climáticas y estacionales durante el crecimiento, y
- el estado de maduración de las plantas.

Estos factores también afectan la concentración de minerales en los tejidos vegetales, y varía según el mineral y los tratamientos impuestos por el hombre para mejorar los cultivos o producciones forrajeras.

Las leguminosas cultivadas son más ricas en: calcio, fósforo, magnesio, potasio, azufre, hierro, cobre, zinc, cobalto y nitrógeno. A diferencia de los pastos que tienen un mayor contenido de manganeso, selenio y cobalto que las leguminosas, cuando los suelos son ricos con estos elementos (Huerta, 1997).

Las concentraciones de los minerales en los forrajes dependen de la interacción de varios factores, entre los cuales se incluye el suelo, ya que generalmente refleja las condiciones en que suministra minerales absorbibles por las raíces vegetales (McDowell *et al.*, 2005). Los suelos con un contenido anormal de minerales tienden a producir plantas con grandes deficiencias y también con grandes anomalías de dichos minerales (Underwood y Suttle, 2003). El pH del suelo tiene un efecto fundamental sobre la absorción de minerales para las plantas; cuando el pH es inadecuado para la absorción de un mineral, su contenido en el suelo puede ser alto y muchas veces hay deficiencias de minerales en los forrajes (Huerta, 1997). Las deficiencias minerales que más ocurren naturalmente en los rumiantes, están asociadas a regiones específicas y relacionadas directamente con las características del suelo.

El contenido de fósforo, sodio, potasio, cobre zinc y selenio, son mayores durante la época de lluvias; mientras que el calcio, magnesio y manganeso, siguen la tendencia contraria (McDowell *et al.*, 2005). En general, se espera que los minerales se encuentren en mayor concentración después de la presencia de lluvias, puesto que esto permite que haya un mejor rebrote en los forrajes, para que los animales dispongan de forraje tierno de mejor calidad mineral, proteína y energía (Huerta, 1997). Kiatoko *et al.* (1982) estimaron mayores contenidos de potasio, fósforo y magnesio (110, 60 y 75%, respectivamente), durante la estación húmeda que la seca. En regiones con niveles bajos de

cobre, el inicio de la época de lluvias incrementa el contenido de azufre en el forraje, esto se asocia con el incremento de proteína (Huerta, 1997). Sin embargo, la mejor calidad de los pastos permite una mayor producción en los animales y mayores demandas de nutrientes, de tal manera que algunas deficiencias en los animales pueden agravarse (Knowles *et al.*, 1999).

2.5.4 Concentración mineral en suero sanguíneo

Los análisis bioquímicos en tejidos y fluidos animales son de gran ayuda, junto con las observaciones clínicas y patológicas, para realizar un diagnóstico diferencial de las disfunciones minerales del ganado (Mills, 1987). Las mediciones sanguíneas se usan para determinar el estado mineral de los animales, debido a su correlación significativa con el estado nutricional de algunos elementos (Mills, 1987). Sin embargo, la deficiencia o exceso de un mineral en la ración se refleja, tarde o temprano, en concentraciones más bajas o más altas que lo normal en algunos de los tejidos y fluidos del animal (Underwood y Suttle, 1999). Además, los efectos económicamente importantes en el comportamiento y salud de los animales, pueden ser afectados por deficiencias de minerales, incluso antes de que los signos clínicos sean evidentes (Underwood y Suttle, 2003).

Macrominerales en plasma o suero sanguíneo

La concentración plasmática de sodio tiene poca utilidad, ya que sólo descienden cuando el animal se encuentra en condiciones extremas, y los signos clínicos, por su deficiencia aparecen sin presentar un descenso importante en las concentraciones de sodio en plasma (Seynaeve *et al.*, 1996). Sin embargo, las concentraciones plasmáticas o séricas de calcio, fósforo, magnesio y potasio, ayudan a diagnosticar el estatus de estos minerales en el animal (Underwood y Suttle, 2003).

Microminerales en plasma o suero sanguíneo

Miller (1975) estimó altos coeficientes de correlación entre las concentraciones de microminerales en sangre e hígado de animales deficientes, debido a que las reservas endógenas están agotadas. Sin embargo, la sangre es analizada más frecuentemente, porque es relativamente más fácil de muestrear (Small, 1997). Existen medidas para estimar el estatus del selenio en hígado, suero y sangre entera; donde se determina la actividad de la glutatión peroxidasa en eritrocitos e hígado.

El selenio en suero de vacas está asociado con albúmina, glutatión peroxidasa y selenoproteína P (Awadeh *et al.*, 1998). El reporte de las actividades de la glutatión peroxidasa, varía entre laboratorios, ya que es difícil de estandarizar el procedimiento de análisis y la enzima está sujeta a deterioros por traslados (Stowe y Herdt, 1992). El diagnóstico de una deficiencia de cobre en animales en pastoreo depende de dos condiciones: en primer lugar, la presencia de síntomas clínicos o subclínicos de pérdida en producción; y en segundo lugar la evidencia bioquímica de concentraciones anormales de cobre en tejidos y sangre (Underwood y Suttle, 2003). Además del consumo de cobre, existen otros factores que afectan su concentración en plasma (Small *et al.*, 1997). Xin *et al.* (1993) encontraron que la concentración de cobre en plasma de vacas fue más baja antes del parto que después del parto. Sin embargo, la concentración de zinc en suero o plasma sanguíneo, es el indicador de deficiencia más utilizado, aunque su rápida respuesta supone límites a la precisión y sensibilidad como criterio de diagnóstico (Underwood y Suttle, 2003). Engle *et al.* (1997) realizaron un estudio con vaquillas, mostrando un descenso en el zinc plasmático, desarrollando en los animales una reducción en el crecimiento. Las concentraciones de zinc en plasma fluctúan con la edad, estrés, infecciones y restricción alimenticia que existe en los animales (Kincaid, 1999), por ejemplo, los valores son superiores en animales no suplementados que en animales

suplementados con zinc (Wedekind *et al.*, 1994). Sin embargo, la deficiencia de zinc no ocurre normalmente en rumiantes (Kincaid, 1999).

2.6 Métodos de suplementación mineral

La suplementación mineral apropiada del ganado de doble propósito es esencial para la buena salud y desempeño apropiado de los animales. Una alimentación óptima en el animal significa que los nutrientes individuales, tales como los minerales y vitaminas, tienen que ser provistos en la ración tanto en cantidad como en las proporciones adecuadas, ya que las interacciones individuales de algunos de los minerales, pueden influenciar su disponibilidad y la utilización de otros (Belmar y Sandoval, 2003).

Santiago y Gerardo (1996) mencionan que la viabilidad económica de las alternativas tecnológicas de suplementación dependerá de la magnitud de la respuesta biológica en productividad y de las condiciones conyunturales de relaciones entre productores e insumos, por lo que el aumento de la rentabilidad de las unidades de producción dependen en gran medida de alternativas que permitan reducir los costos de alimentación y para tener una mejor nutrición en el animal.

2.6.1 Métodos indirectos

La provisión indirecta de minerales al ganado tiene efecto principalmente en los animales en pastoreo; esta provisión indirecta incluye el uso de fertilizantes que contengan estos minerales deseables o que alteren el pH del suelo para así poder ayudar al crecimiento del forraje. Sin embargo, estos métodos tienen problemas, ya que algunos reportes indican que el incremento del pH del suelo afecta la absorción mineral del forraje, potencialmente causando deficiencia de cobre y cobalto, y excesos de selenio y molibdeno (McDowell *et al.*, 2005).

Underwood y Suttle (1999) reportaron que el enfoque indirecto para controlar las deficiencias minerales tiene problemas que surgen por la gran complejidad de la interrelación entre suelo-planta-mineral, así como las dificultades relacionadas con el clima y los costos. Cuando las consideraciones climáticas y económicas son favorables, el tratamiento del suelo con fertilizantes es un medio efectivo de mejorar tanto el rendimiento como la composición mineral de los forrajes.

Cuando el animal pastorea en pasturas definidas y pequeñas con cantidad mínima de especies de forraje, se puede añadir el mineral al suelo, para que así pueda ser más eficiente la absorción de los minerales que se estén aplicando para la planta. Sin embargo, si el mineral no es absorbido por la planta, la adición de dicho elemento al suelo es ineficiente. Underwood y Suttle (2003) demostraron que la fertilización con superfosfato no sólo incrementó el fósforo del forraje, sino que también mejoró la palatabilidad y digestibilidad, pero se debe tomar en cuenta, que la dosis de fertilización asegurará un adecuado crecimiento de la planta, lo que significa que el forraje cubra los requerimiento del animal.

2.6.2 Métodos directos

El combinar suplementos minerales con el concentrado es el método más eficiente de proveer los minerales. Este método asegura que cada animal consuma una cantidad adecuada de minerales y de otros nutrientes. Este procedimiento representa un sistema ideal para proveer los minerales; pero no puede ser usado con rumiantes en pastoreo, ya que los animales reciben poco concentrado y su alimentación depende principalmente de las praderas.

Otras alternativas para realizar el suministro de minerales al ganado, puede ser en el agua, bloques minerales, mezclas e inyecciones. El uso de suplementación en el agua, es limitado, debido a que se necesita que los

animales tengan una sola fuente de agua para evitar la variación en las concentraciones de minerales. Un mejor método para la suplementación mineral es dárselos a voluntad, es el método más común y económico de suplementación mineral directa para el ganado en pastoreo (McDowell *et al.*, 2005).

2.6.3 Suplementación mineral *ad libitum*

El consume voluntario de los minerales individuales o las mezclas minerales se le conocen como alimentación *ad libitum*, (alimentación a voluntad) y es el método más común de suplementación directa para el ganado en pastoreo. Esta práctica de suplir los minerales *ad libitum* a los rumiantes ha sido usada por muchos años para suministrar los minerales requeridos; pero está basada en la suposición errónea de que el animal sabe que mineral requiere y cuánto de cada uno necesita. La formulación de estrategias de suplementación mineral a voluntad puede ser compleja debido a las diferencias en la disponibilidad de minerales en forraje. La forma más fácil de suplementación a libre acceso de minerales es la oferta del mismo suplemento durante todo el año en todas las etapas del ganado en pastoreo, pero esta suplementación no es efectiva cuando se trata de satisfacer las necesidades el animal en pastoreo (Greene, 2000).

2.7 Literatura citada

- Awadeh, F. T., M. M. Abdelrahman, R. L. Kincaid, and J. W. Finley. 1998. Effect of selenium supplements on the distribution of selenium among serum proteins in cattle. *Journal of Dairy Science* 81: 1089-1094.
- Belmar C., R., y A. Sandoval C. 2003. Principios para la Alimentación de Rumiantes. Publicado por Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán, México. 78 p.
- Borgart, R., y R. Taylor. 1988. Producción Comercial de Animales en Granja. Limusa. México, D. F. pp: 175-187.

- Church, D. C., y W. G. Pond. 1987. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales. Limusa. México, D. F. 438 p.
- Cousins, R. J. 1985. Absorption, transport and hepatic metabolism of copper and zinc: special reference to metallothionein and ceruloplasmin. *Physiological Reviews* 45: 238-309.
- Dahlborn, K., M. Akerlind, and G. Gustafson. 1998. Water intake by dairy cows selected for high or low milk-fat percentage when fed two forage to concentrate rations with hay or silage. *Swedish Journal of Agriculture Research* 28: 167-176.
- Dana J., T., M. Socha, T., C. Swenson K., y J. Bruce A. 2002. Efecto de minerales traza inorgánicos en el desempeño del ganado lechero y de engorda. *In: Memorias XXX Reunión de la Asociación Mexicana de Producción Animal*. 13 al 15 de octubre. Guadalajara, Jal., México. pp: 18-24.
- Engle, T. E., C. F. Nockels, C. V. Kimberling, D. L. Weaver, and A. B. Johnson. 1997. Zinc repletion with organic and inorganic forms of zinc and protein turnover in marginally zinc-deficient calves. *Journal of Animal Science* 75: 3074-3081.
- Frieden, E. 1971. Ceruloplasmin, link between copper and iron metabolism. Gould. R. F. Eds. *Bioinorganic Chemistry*. American Chemical Society. pp: 292-231.
- Greene, L. W. 2000. Designing mineral supplementation of forage programs for beef cattle. *Journal of Animal Science* 77: 1-9.
- 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 y Zn in the liver of sheep. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 39: 325-331.
- Healy, W. B., P. C. Rankin, and H. M. Watts. 1998. Effect of soil contamination on the element composition of herbage. *Journal of Animal Science* 17: 59-61.
- Huerta B., M. 1993. Suplementación mineral en rumiantes en pastoreo. *In: Memoria del curso ofrecido a técnicos del FIRA*. 8 de diciembre. Xalapa, Veracruz. pp: 13-65.
- Huerta B., M. 1997. Nutrición mineral de rumiantes en pastoreo. *In: Memoria del curso "Alternativas de Manejo de Bovinos para Carne en Pastoreo"*. 21 y 23 de mayo. Chapingo, México. pp: 19-72.

- Huerta B., M. 1999. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. *In: Memorias II Seminario Internacional: Estrategias de Suplementación a Bovinos en Pastoreo*. 28 y 29 de octubre. Chapingo, México. pp: 153-184
- Huerta B., M. 2003. La deficiencia y toxicidad del cobre en ovinos. *In: Memorias del XII Congreso Nacional de Producción Ovina*. 10 al 12 de septiembre. AMTEO. Tulancingo, Hidalgo. pp: 48-64.
- Kendall, N. R., D. W. Jackson, A. M. Mackenzie, D. V. Illingworth, I. M. Gill, and S. B. Telfer. 2001. The effect of zinc, cobalt and selenium soluble glass bolus on the trace element status of extensively grazed sheep over winter. *Journal of Animal Science* 73: 163-169.
- Kiatoko, M., L. R. McDowell, J. E. Bertrand, H. C. Chapman, F. M. Pete, F. G. Matin, 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, haemoglobin and haematocrits. *Journal of Animal Science* 55: 28-47.
- Kincaid, R. L. 1993. Macroelementos para los rumiantes. *In: Church, D. C. 1993. El Rumiante: Fisiología y Nutrición*. CECSA. México. 279 p.
- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: a review. *Proceedings of the American Society of Animal Science* pp: 1-10.
- Knowles, S. O., N. D. Grace, K. Wurms, and J. Lee. 1999. Significance of amount and form of dietary selenium in blood, milk and casein concentrations in grazing cows. *Journal of Dairy Science* 82: 429-437.
- Linsner, J. R. 1981 Potassium in Ruminant. *In: Fourth Annual International Mineral Conference*. St Petersburg Beach, FL. pp: 61-79.
- Livas C., F. 2007. Experiencias en producción de carne bovina bajo pastoreo. Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Ganadería Tropical (CEIEGT), FMVZ-UNAM. Martínez de la Torre, Ver. Bovinotécnica, Boletín Técnico Vol. 14: 1-8.
- Maynard, L. A., K. J. Loosli, H. F. Hintz, y R. G. Warner. 1981. *Nutrición Animal*. 4ª ed. McGraw-Hill. México, D.F. 640 p.
- Maynard, L. A. 1992. *Nutrición Animal*. 4ª ed. McGraw-Hill. México, D. F. 540 p.
- McDonald, P., R. Edward, and J. F. D. Greenhalgh. 1988. *Nutrición Animal* 4ª ed. Acribia. Zaragoza, España. 571 p.
- McDonald P., R. Edward, J. F. D. Greenhalgh, y C. A. Morgan. 1999. *Nutrición Animal*. 5ª ed. Acribia. Zaragoza, España. pp: 89-116.

- McDowell, L. R., B. Bauer, E. Galdo, M. Koger, K. J. Loosli, and H. J. Conrad. 1982. Mineral supplementation of beef cattle in the Bolivian tropics. *Journal of Animal Science* 55: 964-970.
- McDowell, L. R., J. H. Conrad, G. L. Ellis, J. K. Loosli, and J. E. Espinoza. 1988. Nutrición mineral para rumiantes bajo pastoreo en los trópicos. *In* Memoria de la 23 Reunión Anual Asociación Latinoamericana de Producción Animal. 18 al 25 de abril. Cuba pp: 25-42.
- McDowell L., R., J. P. Velásquez, y G. Valle. 1997. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA. 49 p.
- McDowell L. R., J. P. Velásquez, y G. Valle. 2005. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. 4ª ed. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA. 84 p.
- Méndez E., L. G. 1989. Estado mineral y reproducción estacional de vacas lecheras en Quintana Roo, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo, México. 65 p.
- Miller, J. K., N. Ramey, y F. C. Madson. 1993. Elementos Vestigiales. *In*: Church, D. C. 1993. *El Rumiente: Fisiología Digestiva y Nutrición*. Acribia. Zaragoza, España, pp: 389-456
- Miller, W. J. 1975. New concepts and developments in metabolism and homeostasis of inorganic elements in dairy cattle. a review. *Journal of Dairy Science* 58: 1549-1560.
- Miller, W. J. 1979. *Dairy Cattle Feeding and Nutrition*. ed. Academic Press. N. Y. USA. 389 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. San Diego, CA. USA. 438 p.
- NRC. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th revised edition. National Academy Press. Washington, D. C. USA. 54 p.
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th revised edition. National Academy Press, Washington, D. C. 381 p.

- Pérez, D. L., y R. J. A. Donato. 2004. Concentración mineral en el sistema suelo-forraje, en la costa chica de Guerrero y Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 60 p.
- Pinto-Santini L., S. Godoy, C. Chico, y T. Chacón. 2007. Efectos de altos niveles de molibdeno sobre la nutrición del cobre de vacas mestizas. *Revistas Científica FCV-LUZ XVII* (2): 588-596.
- Puls, R. 1988. *Mineral Levels in Animal Health: Diagnostic Data*. Serpa Int. Clearbrook, BC. 240 p.
- Santiago V., M. A., y D. Gerardo C. 1996. Estado mineral de ganado bovino y zacates estrella y guinea en Tepetzintla, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México 22 p.
- Seynaeve, M., R. De Widle, G. Janssens, and B. De Smet. 1996. The influence of dietary salt level on water consumption, farrowing and reproductive performance of lactating sows. *Journal of Animal Science* 74: 1047-1055.
- Small, J. A. 1997. Serum mineral concentrations in relation to parturition in beef heifers and cows fed conserved forage. *Journal of Animal Science* 77: 63-68.
- Small, J. A., E. Charmley, A. V. Rodd, and A. H. Fredeen. 1997. Serum mineral concentrations in relation to estrus and conception in beef heifers and cows fed conserved forage. *Canadian Journal of Animal Science* 77: 55-62.
- Smart, M. E., R. Cohen, D. A. Christensen, and C. M. Williams. 1986. The effects of sulphate removal from the drinking water on the plasma and liver copper and zinc concentrations of beef cows and their calves. *Canadian Journal of Animal Science* 66: 669-680.
- Stowe, H. D., and T. H. Herdt. 1992. Clinical assessment of selenium status of livestock. *Journal of Animal Science* 70: 3928-3933.
- Suttle, N. F., B. J. Alloway, and I. Thornton. 1999. An effect of soil ingestion on the utilization of dietary copper by sheep. *Journal of Animal Science* 84: 249-254.
- Underwood, E. J. 1981. *Los Minerales en la Nutrición del Ganado*. Acribia. Zaragoza, España. 205 p.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*. 3rd edition. CABI Publishing. London, England. pp: 185-212.

- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 2003. Los Minerales en la Nutrición del Ganado. 3ª ed. Acribia, S. A. Zaragoza, España. 637 p.
- Van Soest, P. J. 1982. Nutritional Ecology of the Ruminant. O and B Books Inc. USA. 458 p.
- Waldron, K. J., J. C. Rutherford, D. Ford, and N. J. Robinson. 2009. Mettalloproteins and metal sensing. *Nature* 460: 823-830.
- Ward, G. M. 1978. Molybdenum toxicity and hipocuprosis in ruminants: a review. *Journal of Animal Science* 46: 1078-1085.
- Wedekind, K. J., A. J. Lewis, M. A. Giesemann, and P. S. Miller. 1994. Bioavailability of zinc from inorganic and organic sources for pigs fed corn-soybean meal diets. *Journal of Animal Science* 72: 2681-2689.
- Williams, R. E. 1998. Conservation, development and use for the world's rangeland. *Journal of Range Management* 21: 355-361.
- Wright, D. E., N. R. Towers, P. B. Hamilton, and D. P. Sinclair. 1999. Intake of zinc sulphate in drinking water by grazing beef cattle. *Journal of Animal Science* 21: 215-221.
- Xin, Z., D. F. Waterman, R. W. Hemken, and R. J. Harmon. 1993. Copper status and requirement during the dry period and early lactation in multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 76: 2711-2716.

3. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO MINERAL DE BOVINOS EN SAN JUAN DEL RÍO, CHOAPAM, OAXACA

3.1 Resumen

El objetivo fue determinar el estado mineral de vacas y becerros en las estaciones de seca y lluvias de San Juan del Río, Chaoapam, Oaxaca. El muestreo de suelo, agua, forraje y suero sanguíneo se realizó en tres ranchos. Se determinaron los contenidos de calcio, fósforo, potasio, sodio, magnesio, cobre, zinc, hierro y manganeso; excepto éste último en suero sanguíneo. Fósforo se midió por colorimetría y el resto de minerales por espectrofotometría de absorción atómica. El modelo para la concentración de minerales en forraje, suelo y agua, incluyó el efecto de rancho, época y su interacción. El modelo estadístico para suero sanguíneo incluyó los efectos de rancho, tipo de animal, época y sus interacciones. La información fue analizada con el procedimiento GLM de SAS. Los suelos fueron ricos en todos los minerales; especialmente en fósforo y zinc en la época de lluvias. El resto de los minerales estuvieron en cantidades similares ($p>0.05$) en ambas épocas en los tres ranchos. En agua, las concentraciones de calcio, magnesio, sodio y hierro fueron diferentes ($p\leq 0.03$) entre ranchos. Las concentraciones de calcio, potasio, magnesio, hierro y manganeso en forrajes fueron similares ($p>0.05$) en los tres ranchos y en ambas épocas, no así para sodio, fósforo, cobre y zinc. El sodio, cobre y zinc en forrajes y suero sanguíneo de vacas y becerros fueron deficientes en los tres ranchos en ambas épocas. Las vacas de dos ranchos mostraron deficiencias severas de cobre y hierro. Las concentraciones de calcio y fósforo en suero sanguíneo fueron mayores ($p\leq 0.05$) en la época seca que en las lluvias, y en ambas por arriba del rango normal. Se recomienda suplementar al ganado con sodio, cobre y zinc.

Palabras claves: trópico, bovinos, fósforo, cobre, zinc, sodio.

DIAGNOSIS OF MINERAL STATUS OF CATTLE IN SAN JUAN DEL RÍO CHOAPAM, OAXACA

3.2 Abstract

The objective was to determine the mineral status of cows and calves in the dry and rainy seasons in San Juan del Río, Choapam, Oaxaca. The sampling of soil, water, fodder and blood serum was performed at three farms. Determinations of calcium, phosphorus, potassium, sodium, magnesium, copper, zinc, iron and manganese were performed in all samples, except manganese in blood serum. Phosphorus was measured by colorimetry and other minerals by atomic absorption spectrophotometry. For the concentration of minerals in forage, soil and water, the model included the effect of farm, season and their interaction. Mineral content in blood serum was studied with a model that included the fixed effects of farm, animal type, season and their interactions. The analysis of variance and mean comparison were performed using the GLM procedure of SAS. Soils were rich in all mineral, especially phosphorus and zinc in the rainy season. The other minerals were found in similar amounts ($p>0.05$) in both periods in the three farms. Concentrations of calcium, magnesium, sodium and iron in water were different ($p\leq 0.03$) among farms. The concentrations of calcium, potassium, magnesium, iron and manganese in forages were similar ($p>0.05$) at the three farms and in both seasons, but not for sodium, phosphorus, copper and zinc. Deficiencies of sodium, copper and zinc were found in forages and blood serum of cows and calves at the three farms, and in both seasons. At two farms, cows with severe copper deficiency were also iron-deficient. The concentrations of calcium and phosphorus in serum were higher ($p\leq 0.05$) in the dry season than in the rainy season, and both above the normal range. It is recommended to supplement cattle with sodium, copper and zinc.

Key words: tropics, cattle, phosphorus, copper, zinc, sodium.

Master of Science Thesis, Universidad Autónoma Chapingo
Author: José Roberto Gámez Banegas
Advisor: Ph.D. Maximino Huerta Bravo

3.3 Introducción

La ganadería tropical enfrenta diversos problemas nutricionales a pesar de la diversidad en recursos forrajeros y su potencial productivo. Estos problemas se agudizan durante la época seca, donde el factor primario es la baja disponibilidad de forraje (Romero, 2006). La explotación continua de la tierra y la escasa fertilización del suelo, tanto en cantidad como en variedad de nutrimentos, así como el estado nutricional de los animales que consumen los forrajes producidos agravan el problema (Olson, 2005).

Los desbalances de minerales en suelo y forraje pueden ser responsables de la baja producción y los problemas reproductivos de algunas empresas ganaderas. McDowell y Arthington (2005) consideran que algunos de los signos clínicos observados en bovinos bajo condiciones tropicales, sugieren la presencia de deficiencias minerales (pérdida de pelo, problemas de piel, diarreas, anemia, anormalidades óseas, tetania).

Una nutrición adecuada de los bovinos depende de los nutrimentos en forraje, agua, suelo y suplementos; por lo que es necesario conocer el estado mineral en el ganado y de las fuentes donde los adquiere, para así poder implementar medidas para la corrección de deficiencias o excesos de minerales bajo condiciones específicas (McDowell y Arthington, 2005). En México se han detectado problemas relacionados con deficiencias de minerales en bovinos alimentados en pastoreo, y que pueden ser limitantes en la producción animal (Santiago y Gerardo, 1996). En nuestro país el sistema de producción de animales de doble propósito cobra especial importancia ya que el área tropical de México abarca una buena parte del territorio nacional, lo que equivale al 26.2%. Algo que debemos tomar en cuenta que las entidades con regiones que tienen clima tropical y explotaciones de ganado de doble propósito son: Durango, San Luis Potosí, Tabasco, Yucatán, Oaxaca, Colima, Guerrero y Morelos. Este tipo de ganadería se realiza principalmente en sistemas de

pastoreo (Secretaría de la Reforma Agraria, 2008). El municipio de San Juan del Río Choapam, se encuentra en la región del Papaloapan; siendo la ganadería de doble propósito una de las principales actividades económicas de la región (Enciclopedia de los Municipios de México, 2008), conociendo la importancia de la región aún se desconoce el estado mineral del ganado, por lo que el objetivo principal del presente estudio es diagnosticar el estado mineral en agua, suelo, forrajes, y suero sanguíneo de ganado bovino en la zona de San Juan del Río Choapam, Oaxaca, y con base en los resultados obtenidos, poder realizar propuestas estratégicas de suplementación.

3.4 Materiales y métodos

El estudio se realizó en tres ranchos dedicados a la producción de bovinos de doble propósito, en la región de San Juan del Río, Choapam, Oaxaca. Estos ranchos se localizan en las llanuras que colindan con la sierra de Oaxaca, en la zona norte del estado de Oaxaca. El rancho Arroyo Seco se ubica en las coordenadas 17° 30' 39" N y 95° 44' 14" O, a una altitud de 150 m. El rancho Mano de León se ubica en las coordenadas 17° 31' 12" N y 95 °42' 47" O, a una altitud de 133 m. El rancho Paraíso Escondido se ubica en las coordenadas 17° 30' 1" N y 95° 43' 16" O, a una altitud de 147 m. El clima de la zona se clasifica como trópico húmedo. La precipitación promedio anual del municipio donde se localizan los tres ranchos es de 1600 mm (García, 1987).

3.4.1 Protocolo de muestreo

En el estudio se tomaron muestras de agua, suelo, forraje y sangre de vacas y becerros durante las épocas seca y lluvias.

Muestro de forraje

La colección de los forrajes en los ranchos se realizó en las primeras horas de la mañana, correspondiente a las horas con menor temperatura, para así poder

observar el comportamiento de los animales en pastoreo y realizando la colecta de forraje mediante el método de simulación de pastoreo "Hand Plucking". Para así obtener un total de 18 muestras.

Muestreo de suelo

Las muestras de suelo se tomaron a una profundidad aproximada de 10 a 15 centímetros. La colecta de muestras de suelo se realizó en los puntos en donde se colectaron las muestras de forraje, se tomaron cuatro muestras por rancho, para así hacer un total de 24 muestras.

Muestreo de agua

En cada rancho participante se tomaron cuatro muestras directamente de la fuente de agua utilizada por el ganado. Las muestras fueron de 500 ml, con un total de 24 colectas.

Muestreo de sangre

Las muestras de sangre se obtuvieron de la vena yugular, mediante la utilización de agujas y tubos al vacío sin anticoagulante, extrayendo 10 ml de sangre por animal. Se muestrearon 10 vacas en producción, dentro de los primeros tres meses posparto y de 10 becerros lactantes por rancho, dando un total de 120 muestras. Las muestras se centrifugaron a 4000 rpm durante 15 minutos para separar el suero, el cual fue congelado hasta su análisis.

3.4.2 Determinaciones de minerales

Para las muestras de suero sanguíneo, agua, suelo y forraje se determinaron los contenidos de calcio, fósforo, potasio, sodio, magnesio, cobre, zinc y hierro. Adicionalmente, para las muestras de agua, suelo y forraje se determinó la concentración de manganeso. Las determinaciones se hicieron mediante las técnicas de espectrofotometría de absorción atómica, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica modelo AAnalyst 700, de acuerdo con

la metodología descrita por Fick *et al.* (1979). La concentración de fósforo se determinó de acuerdo con la metodología de colorimetría descrita por Fick *et al.* (1979), mediante un espectrofotómetro ultravioleta-visible modelo Lambda 2 de la empresa Perkin Elmer.

3.4.3 Análisis estadístico

Las variables de respuesta fueron la concentración mineral de calcio, fósforo, potasio, sodio, magnesio, cobre, zinc y hierro, incluyéndose además manganeso para las muestras de forraje, agua y suelo. Los resultados del análisis de laboratorio de las muestras de suelo, agua y forrajes se analizaron con un diseño completamente al azar, los análisis de varianza de los resultados y la comparación de medias se realizaron con el procedimiento GLM del programa de (SAS, 2004). Para la comparación de medias diferentes se utilizó la prueba de Tukey.

El modelo estadístico utilizado para los análisis de agua, suelo y forraje fue:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + S_j + (RS)_{ij} + E_{ijk}$$

donde: Y_{ijk} = concentración de cada uno de los minerales en el i -ésimo rancho y j -ésima estación del año; μ = media general; R_i = efecto del i -ésimo rancho (1, 2 y 3); S_j = efecto de la j -ésima estación del año (seca y lluvias); $(RS)_{ij}$ = efecto de la interacción rancho x estación del año; y E_{ijk} = error experimental en el i -ésimo rancho y j -ésima estación del año.

El modelo estadístico para los análisis de suero sanguíneo fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + A_j + S_k + (RA)_{ij} + (RS)_{ik} + (RAS)_{ijk} + E_{ijkl}$$

donde: Y_{ijkl} = concentración de cada uno de los minerales en el i -ésimo rancho, j -ésimo tipo de animal, k -ésima estación del año y l -ésimo animal; μ = media general; R_i = efecto del i -ésimo rancho (1, 2 y 3); A_j = efecto del j -ésimo tipo de

animal (vacas y becerros); S_k = efecto de la k-ésima estación del año (seca y lluvias); $(RA)_{ij}$ = efecto de la interacción rancho x tipo de animal; $(RS)_{ik}$ = efecto de la interacción rancho por estación del año; $(RAS)_{ijk}$ = efecto de la interacción rancho x tipo de animal x estación del año; y E_{ijkl} = error experimental en el i-ésimo rancho, j-ésimo tipo de animal, k-ésima estación del año y l-ésimo animal.

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Concentración mineral en suelo

En el Cuadro 2 se presentan los niveles de probabilidad de época, rancho e interacción época por rancho, para las concentraciones de los minerales estudiados en el suelo. La época del año afectó ($p \leq 0.01$) únicamente las concentraciones de fósforo y zinc. El efecto de rancho detectó diferencias ($p \leq 0.01$) en las concentraciones de magnesio, potasio, manganeso y hierro. La interacción época por rancho afectó ($p \leq 0.04$) las concentraciones de calcio, manganeso y hierro.

Cuadro 2. Niveles de significancia (probabilidad) de época, rancho e interacción época por rancho, para las concentraciones de minerales en el suelo.

Efecto	Ca	P	Mg	Na	K	Mn	Fe	Cu	Zn
Época	0.18	<0.01	0.09	0.38	0.26	0.30	0.70	0.77	0.01
Rancho	0.65	0.44	<0.01	0.35	<0.01	<0.01	<0.01	0.35	0.69
Época por Rancho	0.04	0.14	0.45	0.37	0.07	<0.01	<0.01	0.07	0.23

En el Cuadro 3 se presentan las medias de cuadrados mínimos para las concentraciones de minerales en suelo en las épocas de lluvias y seca. Las concentraciones de fósforo y zinc en lluvias fueron 44 y 35% más altas ($p \leq 0.05$)

en la época seca. El resto de los minerales fueron encontrados en cantidades similares ($p>0.05$) en ambas épocas.

Cuadro 3. Efecto^z de la época del año sobre las concentraciones de minerales en suelo (base seca).

Minerales (mg/kg)	Época		EEM ^y
	Seca	Lluvia	
Calcio	1899 ^a	1697 ^a	101
Fósforo	133 ^b	192 ^a	5
Magnesio	277 ^a	308 ^a	12
Sodio	317 ^a	203 ^a	90
Potasio	317 ^a	290 ^a	16
Manganeso	109 ^a	116 ^a	4
Cobre	12 ^a	13 ^a	1.2
Hierro	73 ^a	75 ^a	3.0
Zinc	3.7 ^b	5.0 ^a	0.3

^zMedias en la misma hilera, sin una letra en común, son diferentes ($p\leq 0.05$).

^yEEM=error estándar de la media.

En el Cuadro 4 se presentan las medias de cuadrados mínimos para el efecto de rancho en las concentraciones minerales en suelo. Las concentraciones de calcio, fósforo, sodio, cobre y zinc fueron similares ($p\leq 0.05$) en los tres ranchos. La concentración de magnesio en el rancho Arroyo Seco fue 33 y 42% más alta ($p\leq 0.05$) que en los ranchos Mano de León y Paraíso Escondido, mientras que para la concentración de potasio fue 13 y 28% más baja ($p\leq 0.05$). Esto es relevante, para los ranchos Mano de León y Paraíso Escondido, dado que los problemas de hipomagnesemia en bovinos se incrementan cuando el potasio está en alta concentración y el magnesio en baja (Underwood y Suttle, 1999).

El manganeso y el hierro fueron diferentes en los tres ranchos ($p\leq 0.05$) y variaron en sentido inverso; en el rancho Arroyo Seco se tuvo la menor concentración de manganeso y la mayor de hierro, en Mano de León la mayor concentración de manganeso y la menor de hierro, y en Paraíso Escondido la

concentración intermedia de ambos ranchos. Si la concentración de estos dos elementos se refleja en el forraje, su estado en el animal puede ser afectado, dado que son antagonistas a nivel de absorción intestinal (O'Dell, 1989).

Cuadro 4. Medias^z de cuadrados mínimos de los ranchos sobre las concentraciones de minerales en los suelos (base seca).

Minerales (mg/kg)	Ranchos			EEM ^y	Niveles mínimos ^x
	Arroyo Seco	Mano de León	Paraíso Escondido		
Calcio	1722 ^a	1886 ^a	1785 ^a	124	>1500
Magnesio	356 ^a	268 ^b	253 ^b	14	>200
Fósforo	159 ^a	160 ^a	169 ^a	6	>10
Sodio	186 ^a	200 ^a	393 ^a	110	NE ^w
Potasio	172 ^b	393 ^a	345 ^a	20	>200
Manganeso	53 ^c	155 ^a	130 ^b	5	>12
Cobre	11 ^a	14 ^a	13 ^a	1.5	3 a 5
Hierro	111 ^a	40 ^c	70 ^b	3.6	>9
Zinc	4.6 ^a	4.4 ^a	4.1 ^a	0.4	>2

^zMedias en la misma hilera, sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$).

^yEEM=error estándar de la media.

^xConcentraciones sugeridas como mínimas necesarias para el crecimiento de las plantas (McDowell, 1985; Puls, 1994; Castellanos *et al.*, 2000).

^wNE=no especificado

Las concentraciones de todos los minerales en los suelos de todos los ranchos, se encontraron dentro de los niveles considerados adecuados para el forraje. Sin embargo, la ocurrencia de deficiencias minerales en los forrajes depende en primera instancia de concentraciones bajas en los suelos, pero además, dependen del pH del suelo, del contenido de materia orgánica y de interacciones con otros elementos (McDowell, 1985; Puls, 1994; Castellanos *et al.*, 2000).

El pH de los suelos de los ranchos estudiados fue ácido (promedio = 5.22). Este pH permite mejorar la disponibilidad en forrajes de algunos microminerales,

tales como el cobre, zinc, hierro y manganeso (NRC, 2007). Las concentraciones de hierro en los suelos fueron más altas, casi 20 veces, que el nivel mínimo para el óptimo crecimiento de las plantas, lo cual se puede manifestar en consumos altos de hierro por el ganado, debido a consumo accidental o deliberado de suelo y altas concentraciones de hierro en los forrajes. El exceso de hierro puede causar una disminución en la absorción del cobre por los animales y provocar su deficiencia, debido al antagonismo que existe entre estos minerales. McDowell *et al.* (1988) mencionaron que los animales pueden llegar a consumir grandes cantidades de suelo, especialmente cuando el forraje es escaso

Ward *et al.* (1997) y Chase *et al.* (2000) mencionan que a pesar de que el cobre tenga buenos niveles en suelo, las plantas pueden tener problemas al momento de ser absorbidos, debido a los excesos que pueden existir de hierro, molibdeno y azufre dentro del suelo. Wikse *et al.* (1992) mencionan que debido a estos problemas, la deficiencia de cobre es la segunda deficiencia mineral más común bovina en los trópicos, sobrepasada en prevalencia únicamente por la deficiencia de fósforo.

La interacción de época del año por rancho ($p \leq 0.04$) sobre las concentraciones de manganeso, calcio y hierro en suelo, se muestran en la Figura 1. Las concentraciones de manganeso en suelo fueron diferentes para los tres ranchos en las dos épocas ($p \leq 0.05$); en los ranchos Arroyo Seco y Paraíso Escondido las concentraciones fueron mayores en la época de lluvia que en la época seca, mientras que para el rancho Mano de León fue mayor ($p > 0.05$) en la época seca. Las concentraciones de calcio en suelo fueron similares ($p > 0.05$) en ambas épocas para los ranchos Arroyo Seco y Paraíso Escondido, mientras que en Mano de León fueron 45% más altas ($p > 0.05$) en seca que en lluvias. Las concentraciones de hierro en suelo fueron similares ($p > 0.05$) en ambas épocas; en el rancho Mano de León, sin embargo, en el rancho Arroyo Seco fue

más alta ($p \leq 0.05$) durante la época de lluvias, mientras que para el rancho Paraíso Escondido fue mayor en la época seca.

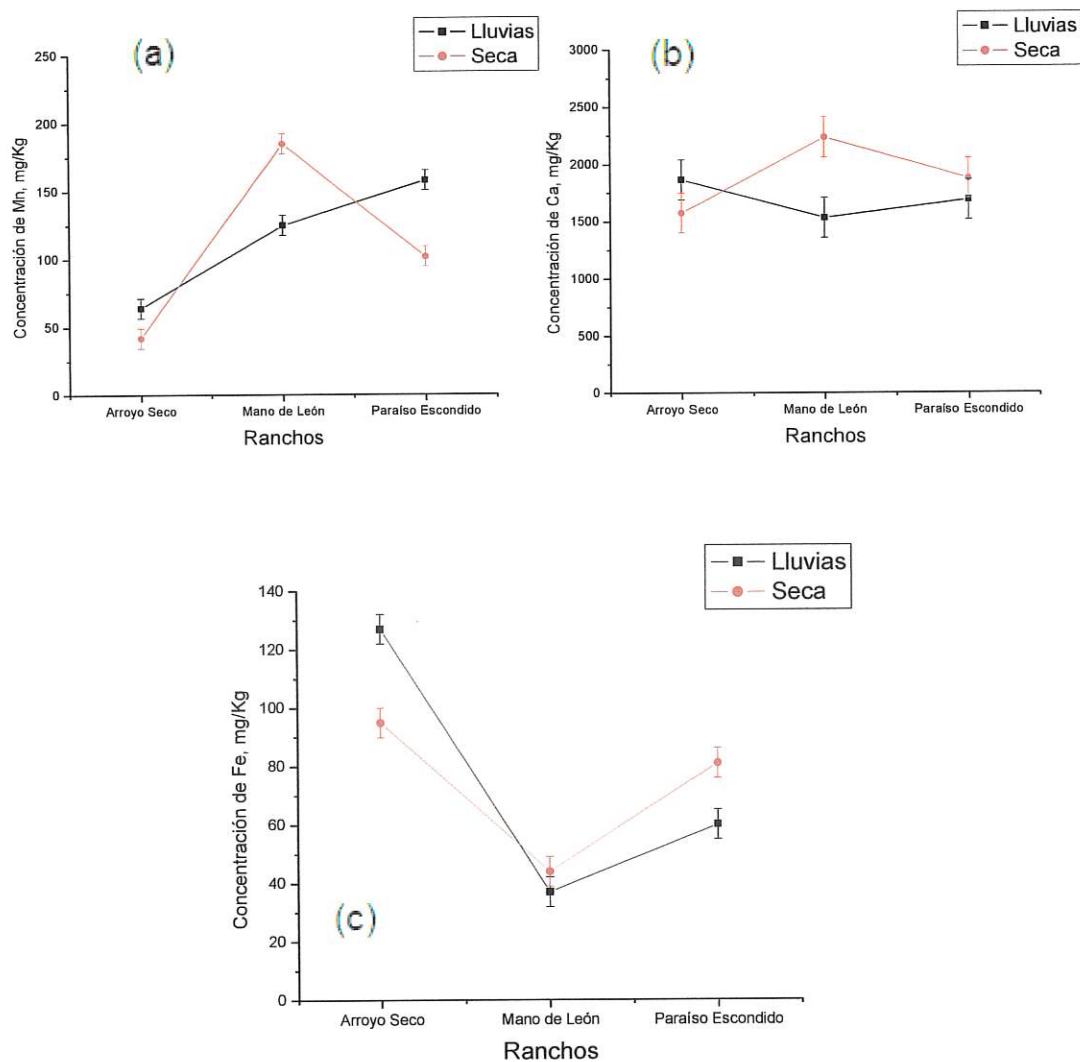


Figura 1. Concentraciones de, manganeso (a), calcio (b) y hierro (c) en suelo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) durante las épocas lluvias (—■—) época seca (—●—) en tres ranchos de San Juan del Río, Choapam, Oaxaca.

La interacción rancho por época en las concentraciones de manganeso, calcio y hierro pueden estar relacionadas con el tipo de suelo, pendiente, solubilización, lavado y exposición del suelo a los factores del clima. En particular, el rancho Mano de León tenía mayores pendientes y suelos con tepetate.

3.5.2 Concentración mineral en el agua de bebida

En el Cuadro 5 se presentan los niveles de significancia de época, rancho e interacción época por rancho, para las concentraciones de minerales estudiados en el agua de bebida. La época del año afectó ($p \leq 0.04$) las concentraciones de calcio, sodio, hierro y manganeso; el rancho afectó ($p \leq 0.03$) las concentraciones de calcio, magnesio, sodio y hierro; y la interacción época por rancho afectó ($p \leq 0.01$) las concentraciones de calcio, sodio y hierro.

Cuadro 5. Niveles de significancia (probabilidad) para época, rancho e interacción época por rancho, para las concentraciones de minerales en el agua de bebida.

Efecto	Ca	Mg	Na	K	Fe	Cu	Zn	Mn
Época	0.04	0.29	<0.01	0.16	<0.01	0.41	0.31	<0.01
Rancho	<0.01	0.03	<0.01	0.26	<0.01	0.27	0.20	0.08
Época por Rancho	<0.01	0.11	<0.01	0.40	<0.01	0.09	0.88	0.08

En el Cuadro 6 se presentan las medias de cuadrados mínimos para el efecto de época del año sobre las concentraciones de minerales en el agua de bebida. Las concentraciones de calcio, hierro y manganeso en el agua de bebida en lluvias fueron 66, 67 y 72% mayores ($p \leq 0.05$) que en seca, mientras que sodio se encontró que tuvo mayor concentración durante la época seca. Las concentraciones de magnesio, potasio, cobre y zinc fueron similares ($p > 0.05$) en ambas épocas en todos los ranchos.

En general, se espera que durante la época de lluvias se incremente la concentración de minerales en el agua, particularmente de aquellos en altas concentraciones, por efecto del lavado. Por otro lado, el sodio normalmente se concentra durante la época seca por la evaporación del agua.

Cuadro 6. Medias^z de cuadrados mínimos de la época del año sobre las concentraciones de minerales en el agua de bebida.

Minerales (mg/L)	Época		EEM ^y
	Seca	Lluvia	
Calcio	0.09 ^b	0.15 ^a	0.02
Magnesio	0.02 ^a	0.03 ^a	0.006
Sodio	0.07 ^a	0.04 ^b	0.005
Potasio	0.01 ^a	0.006 ^a	0.004
Cobre	0.003 ^a	0.002 ^a	0.001
Hierro	0.03 ^b	0.05 ^a	0.003
Zinc	0.0005 ^a	0.0007 ^a	0.0001
Manganeso	0.0018 ^b	0.0031 ^a	0.0003

^zMedias en la misma hilera, sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$).

^yEEM=error estándar de la media.

En el Cuadro 7 se presentan las medias de cuadrados mínimos del efecto de rancho sobre las concentraciones minerales en el agua de bebida. La concentración de calcio fue 48 y 30% menor ($p \leq 0.05$) en los rancho Arroyo Seco y Mano de León que en Paraíso Escondido. El magnesio fue 40% menor ($p \leq 0.05$) en Arroyo Seco que en Paraíso Escondido, y en Mano de León fue similar ($p > 0.05$) a los otros dos ranchos. El sodio en los ranchos Arroyo Seco y Mano de León fue 18 y 22% menor ($p \leq 0.05$) que en Paraíso Escondido. El hierro en los ranchos Mano de León y Paraíso Escondido fue 40 y 26% menor ($p \leq 0.05$) que en Arroyo Seco. Las concentraciones de cobre, potasio, zinc y manganeso fueron similares ($p \leq 0.05$) en los tres ranchos.

En los tres ranchos, el agua de bebida tuvo concentraciones por debajo de los niveles máximos tolerables para todos los minerales (Puls, 1994; NRC, 2005). Considerando el consumo típico de agua en las condiciones del estudio, el aporte de minerales por el agua de bebida a la dieta de los animales es mínimo (Shirley y Montesinos, 1978).

Cuadro 7. Medias^z de cuadrados mínimos de los ranchos sobre las concentraciones de minerales en el agua de bebida.

Minerales (mg/L)	Ranchos			EEM ^y	NMT ^x
	Arroyo Seco	Mano de León	Paraíso Escondido		
Calcio	0.05 ^b	0.08 ^b	0.24 ^a	0.023	< 1000
Magnesio	0.01 ^b	0.03 ^{ab}	0.04 ^a	0.008	< 1000
Sodio	0.05 ^b	0.04 ^b	0.09 ^a	0.006	< 800
Cobre	0.003 ^a	0.002 ^a	0.001 ^a	0.001	< 1.0
Potasio	0.007 ^a	0.008 ^a	0.017 ^a	0.005	< 20
Hierro	0.08 ^a	0.02 ^b	0.03 ^b	0.0035	< 0.3
Zinc	0.0005 ^a	0.0004 ^a	0.0007 ^a	0.00011	< 25
Manganeso	0.0020 ^a	0.0025 ^a	0.0030 ^a	0.0003	< 0.05

^zMedias en la misma hilera, sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$).

^yEEM=error estándar de la media.

^xNMT=Niveles máximos tolerables de minerales en agua (Puls, 1994; NRC, 2005).

El NRC (2001) menciona que no hay estudios de problemas asociados con el consumo de agua de baja calidad, pero la producción puede reducirse rápida y severamente por un bajo consumo de agua. En cambio, Tomlinson *et al.* (2002) señala que el agua de bebida tuvo concentraciones altas de manganeso, hierro, zinc, sodio, y magnesio en el 45, 41, 30, 20 y 8% de las muestras de agua utilizado por bovinos de la zona, lo que afectó el comportamiento animal en forma negativa.

El efecto de la interacción época del año por rancho ($p \leq 0.04$) sobre las concentraciones de sodio, calcio y hierro en agua de bebida se muestra en la Figura 2. Las concentraciones de sodio en agua fueron similares ($p \leq 0.05$) en el rancho Paraíso Escondido en ambas épocas, mientras que para los ranchos Arroyo Seco y Mano de León fueron 94 y 100% más altas ($p \leq 0.05$) en la época seca que en lluvias. Las concentraciones de calcio en agua fueron similares ($p \leq 0.05$) en el rancho Arroyo Seco en ambas épocas, mientras que para el

rancho Mano de León en la época seca fueron 76% más altas ($p \leq 0.05$) que en lluvias, y para el rancho Paraíso Escondido en la época seca fueron 34% menor que en lluvias. Las concentraciones de hierro en agua fueron diferentes para los tres ranchos y en las dos épocas del año ($p \leq 0.05$). En el rancho Arroyo Seco la concentración de hierro en lluvias fue 8% mayor que en la época seca, mientras que para los ranchos Mano de León y Paraíso Escondido, las concentraciones fueron mayores ($p > 0.05$) en seca que en lluvias.

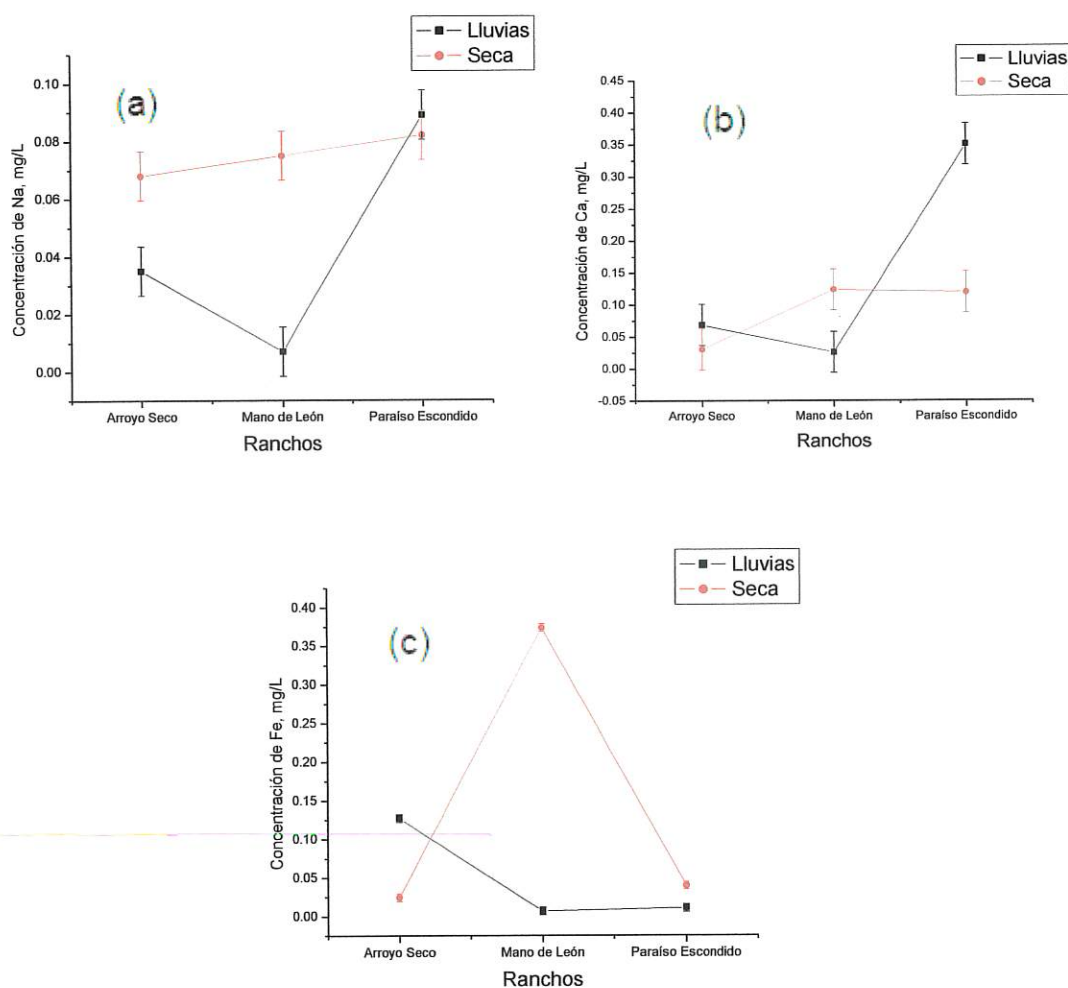


Figura 2. Concentraciones de sodio (a), calcio (b) y hierro (c) en agua (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) durante la época de lluvias (—■—) y época seca (—●—) en tres ranchos de San Juan del Río, Choapam, Oaxaca.

3.5.3 Concentración mineral en forraje

En el Cuadro 8 se presentan los niveles de significancia de época, rancho e interacción época por rancho, para las concentraciones minerales estudiadas en el forraje. La época del año afectó ($p \leq 0.04$) las concentraciones de fósforo, magnesio, manganeso, hierro, zinc y la relación Ca:P; el rancho afectó ($p \leq 0.04$) las concentraciones de calcio, magnesio, manganeso, hierro, cobre, zinc y la relación Ca:P; y la interacción época por rancho afectó ($p \leq 0.03$) las concentraciones de magnesio, potasio, manganeso, zinc y la relación Na:K.

Cuadro 8. Niveles de significancia (probabilidad) para época, rancho e interacción época por rancho en las concentraciones de minerales en el forraje.

Efecto	Ca	P	Mg	Na	K	Mn	Fe	Cu	Zn	Ca:P	Na:K
Época	0.94	<0.01	<0.01	0.31	0.60	<0.01	0.04	0.13	<0.01	<0.01	0.33
Rancho	0.02	0.33	0.01	0.32	0.22	<0.01	<0.01	0.04	<0.01	0.02	0.07
Época por Rancho	0.96	0.30	<0.01	0.69	0.03	<0.01	0.24	0.43	0.02	0.43	0.03

En el Cuadro 9 se presentan las medias de cuadrados mínimos para el efecto de época del año sobre las concentraciones de minerales en los forrajes. Los contenidos de calcio, sodio, potasio, cobre, y la relación Na:K fueron similares en las dos épocas del año ($p \leq 0.05$). Las concentraciones de magnesio, manganeso, hierro, zinc, y la relación Ca:P en la época de lluvias fueron inferiores en 62, 58, 13, 37 y 32% ($p \leq 0.05$) que en la época seca. Lo contrario sucedió con fósforo, que fue 34% más bajo durante la época seca.

En el Cuadro 10 se presentan las medias de cuadrados mínimos para el efecto de rancho sobre las concentraciones minerales en los forrajes. Las concentraciones de fósforo, sodio, potasio, y la relación Na:K fueron similares ($p \leq 0.05$) en los tres ranchos. El calcio fue 29 y 26% menor ($p \leq 0.05$) en los ranchos Arroyo Seco y Paraíso Escondido que en Mano de León. El magnesio fue 25 y 10% menor ($p \leq 0.05$) concentración en el rancho Paraíso Escondido

que en Mano de León. El manganeso fue menor ($p \leq 0.05$) en Paraíso Escondido, intermedio en Arroyo Seco y mayor en Mano de León. El hierro fue 33% menor ($p \leq 0.05$) en el rancho Paraíso Escondido que en Arroyo Seco, mientras que lo encontrado en Mano de León fue similar ($p > 0.05$) al hierro de los otros ranchos. El zinc en los ranchos Arroyo Seco y Mano de León fueron 16% menor ($p \leq 0.05$) que en Paraíso Escondido.

Cuadro 9. Medias^z de cuadrados mínimos de la época del año sobre las concentraciones de minerales en los forrajes (base seca).

Minerales (mg/kg)	Época		EEM ^y
	Seca	Lluvia	
Calcio	3500 ^a	3520 ^a	186
Fósforo	1737 ^b	2331 ^a	84
Magnesio	2238 ^a	1376 ^b	64
Sodio	472 ^a	403 ^a	47
Potasio	15656 ^a	16485 ^a	1076
Manganeso	190 ^a	120 ^b	7
Cobre	5.0 ^a	6.2 ^a	0.5
Hierro	279 ^a	246 ^b	11
Zinc	22 ^a	16 ^b	0.62
Ca:P	2.02 ^a	1.52 ^b	0.08
Na:K	0.031 ^a	0.027 ^a	0.003

^zMedias en la misma hilera, sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$).

^yEEM=error estándar de la media.

De acuerdo con los niveles críticos propuestos por Puls (1994), las concentraciones hierro, manganeso, magnesio y potasio fueron adecuadas para el ganado en todos los forrajes para todos los ranchos; sin embargo, las concentraciones de cobre, zinc, fosforo, calcio y sodio son deficientes en todos los forrajes de todos los ranchos.

Cuadro 10. Medias^z de cuadrados mínimos de los ranchos sobre las concentraciones de minerales en los forrajes (base seca).

Minerales (mg/kg)	Ranchos			EEM ^y	Rangos Adecuados ^x
	Arroyo Seco	Mano de León	Paraíso Escondido		
Calcio	3174 ^b	4109 ^a	3248 ^b	228	3000 a 5000
Fósforo	2102 ^a	2095 ^a	1904 ^a	103	2500 a 3000
Magnesio	1812 ^{ab}	2009 ^a	1600 ^b	79	1000 a 2000
Sodio	473 ^a	364 ^a	476 ^a	57	1000 a 1600
Potasio	14184 ^a	17622 ^a	16406 ^a	1317	9000 a 14000
Manganeso	152 ^b	194 ^a	118 ^c	9	15 a 40
Cobre	7.0 ^a	5.3 ^{ab}	4.6 ^b	0.6	10 a 14
Hierro	302 ^a	259 ^{ab}	227 ^b	13	15 a 100
Zinc	18 ^b	18 ^b	21 ^a	0.8	30 a 75
Ca:P	1.52 ^b	1.99 ^a	1.80 ^{ab}	0.10	1.2 a 2.5
Na:K	0.033 ^a	0.021 ^a	0.032 ^a	0.004	

^zMedias en la misma hilera, sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$).

^yEEM=error estándar de la media.

^xNiveles adecuados en forraje para el ganado (NRC, 2000; Puls, 1994).

Las concentraciones de cobre encontradas en los forrajes de todos los ranchos no cubrió el requerimiento (10 ppm) de los animales. Wikse *et al.* (1992) mencionaron que el cobre en el ganado depende no sólo de la concentración de cobre en el forraje, sino también de su disponibilidad, y señala que la disponibilidad de cobre en animales en pastoreo es muy deficiente, por el tipo de pasturas que existen en los trópicos; además, indican que también depende de la presencia de antagonistas del cobre como el azufre, molibdeno y hierro. En este sentido, la deficiencia de cobre puede ser agravada por los altos contenidos de hierro que se encontraron en los tres ranchos. Philipppo *et al.* (1987) encontraron que incrementos de hierro en la dieta de bovinos de 500 a 700 ppm, reduce drásticamente el contenido de cobre en hígado de 16 a 134 ppm base seca.

A pesar de que las concentraciones de zinc en suelo fueron buenas, este elemento en los forrajes fue deficiente en los tres ranchos, especialmente en la época de lluvias. White *et al.* (1991) mencionan que se presentan deficiencias de zinc cuando los animales en pastoreo consumen forrajes que contienen concentraciones menores de 20 ppm, caracterizado por un bajo crecimiento, reducción en la fertilidad y disminución de los niveles de zinc en plasma. En ganado lechero especializado, el requerimiento de zinc puede llegar a 75 ppm (NRC, 2001).

El manganeso en los forrajes excede el requerimiento del ganado, donde los niveles en el forraje son altos que el requisito mínimo recomendado. En los suelos con pH ácido, como los encontrados en estos ranchos, la disponibilidad y absorción de manganeso se incrementa por parte del forraje (McDowell, 1985). Jenkins y Hidiroglou (1991) mencionan que la toxicidad de manganeso en rumiantes es poco probable que ocurra, en particular porque el nivel máximo tolerable es de 2000 ppm en la materia seca de la dieta (NRC, 2005).

Los niveles de calcio estuvieron dentro del nivel adecuado en forraje para la alimentación del ganado. La deficiencia de calcio se encuentra relacionada con el estado fisiológico de la planta (Ramírez *et al.*, 2005), el cual tiende a acumularse en forrajes maduros y secos, por lo que en forrajes de clima tropical, aunque no es común, pueden encontrarse niveles de calcio bajos durante la época de lluvias (Martínez, 2006).

Las concentraciones de magnesio en el forraje cubrieron los requisitos del ganado en los tres ranchos. McDowell *et al.* (1997) indicaron que la concentración crítica de magnesio para pastos es de 0.20%, mientras que Mayland y Wilkinson (1989) señalan que la concentración que permitirá el máximo crecimiento se sitúa entre 0.1 y 0.5%.

Los forrajes de los tres ranchos mostraron un promedio de concentración de sodio en un rango de 0.03 a 0.05%, lo que representa severas deficiencias para el ganado (Huerta, 1999). Según McDowell y Arthington (2005), los forrajes tropicales normalmente no contienen cantidades adecuadas de sodio para satisfacer los requerimientos de los animales durante todo el año. Minson (1990) señala que la deficiencia ocurre cuando los animales consumen forraje deficiente en sodio y no reciben una fuente de este mineral. Sin embargo, esta deficiencia es fácilmente superada mediante la práctica de proveer sal común a los animales, ya que la mayoría del ganado en pastoreo en regiones tropicales recibe cantidades insuficientes de sal. Underwood y Suttle (1999) señalan que dietas con 0.05 a 0.10% de sodio son deficientes para el ganado.

Los niveles de fósforo en los forrajes variaron de 0.18 a 0.23% en los tres ranchos, concentraciones consideradas deficientes, particularmente durante la época seca. McDowell y Arthington (2005) señalan que la deficiencia mineral más común en el mundo es la de fósforo, encontrándose bajos contenidos de este mineral en suelo y planta; por lo que generalmente el ganado de las zonas tropicales presenta deficiencias de este mineral (McDowell *et al.*, 1997).

Considerando los valores promedios de las concentraciones minerales en forraje obtenidos en este estudio, los forrajes fueron deficientes en cobre, zinc, fósforo y sodio. Algunos autores reportan problemas similares de deficiencias minerales en forrajes en la región tropical de México. Hernández (1996) encontró las mismas deficiencias minerales en los forrajes de Chiapas. Una situación similar reportó Ramos (1996) en Yucatán quien encontró deficiencias de cobre, zinc, sodio y fósforo. Por otro lado, Aladro (1996) encontró deficiencias de cobre, zinc, sodio y fósforo en forrajes del estado de Veracruz.

El efecto de la interacción época por rancho ($p \leq 0.05$) sobre las concentraciones de potasio, manganeso y zinc se muestra en la Figura 3. Las concentraciones de potasio en forraje fueron similares ($p \leq 0.05$) en el rancho Mano de León en

ambas épocas, sin embargo, para el rancho Arroyo Seco fue 42% más altas ($p \leq 0.05$) en la época seca que en lluvias, mientras que para el rancho Paraíso Escondido las concentraciones en la época de lluvias fueron 49% mayores ($p \leq 0.05$) que en la época seca. Las concentraciones de zinc en forraje fueron diferentes para todos los ranchos en ambas épocas, 36% más altas ($p \leq 0.05$) en la época seca que en lluvias. En el rancho Paraíso Escondido, la diferencia entre épocas fue 52% más alta que en los otros ranchos. Las concentraciones de manganeso en forraje fueron similares ($p \leq 0.05$) en el rancho Paraíso Escondido en ambas épocas, mientras que para los ranchos Arroyo Seco y Mano de León fueron 90 y 77% más altas ($p \leq 0.05$) en la época seca que en lluvias.

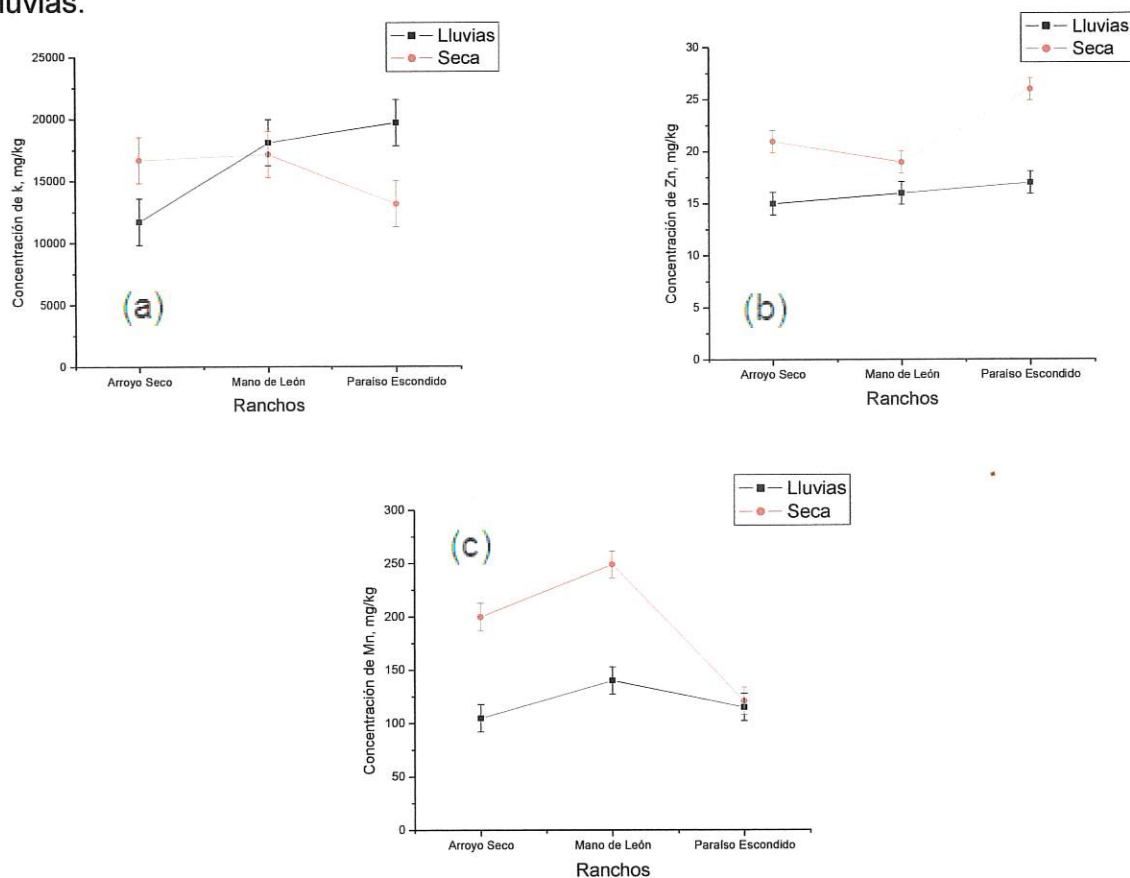


Figura 3 Concentraciones de potasio (a), zinc (b) y manganeso (c) en forraje (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) durante la época de lluvias (—■—) y época seca (—●—) en tres ranchos de San Juan del Río, Choapam, Oaxaca.

3.5.4 Concentración mineral en suero sanguíneo

En el Cuadro 11 se presentan los niveles de significancia (probabilidad) de época, rancho, tipo animal e interacciones dobles y triples entre ellas, para las concentraciones de minerales estudiados en suero sanguíneo. La época del año afectó ($p \leq 0.01$) las concentraciones de todos los minerales estudiados. El rancho afectó ($p \leq 0.03$) las concentraciones de calcio, fósforo, sodio, cobre, zinc, y la relación Ca:P. El tipo de animal afectó las concentraciones de calcio, fósforo, potasio, hierro, cobre, y la relación Ca:P.

Cuadro 11. Niveles de significancia (probabilidad) para época, rancho, tipo de animal e interacciones dobles y triples entre ellas, para las concentraciones de minerales en suero.

Efecto	Ca	P	Mg	Na	K	Fe	Cu	Zn	Ca:P	Na:K
Época	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Rancho	0.03	<0.01	0.75	0.02	0.43	0.20	<0.01	0.01	<0.01	0.48
Tipo animal	<0.01	<0.01	0.78	0.13	0.05	<0.01	<0.01	0.11	<0.01	0.29
Época por										
Rancho	<0.01	0.02	<0.01	0.11	<0.01	0.19	<0.01	0.78	0.74	0.23
Época por										
Tipo animal	0.96	<0.01	0.61	0.20	<0.01	0.13	0.88	0.27	<0.01	0.16
Rancho por										
Tipo animal	0.02	<0.01	0.02	0.21	0.11	0.06	0.03	0.71	<0.01	0.60
Época por										
Rancho por										
Tipo animal	0.33	0.21	0.38	0.57	0.17	0.09	0.60	0.88	0.59	0.71

En el Cuadro 12 se presentan las medias de cuadrados mínimos para el efecto de época del año sobre las concentraciones de minerales en suero sanguíneo del ganado. Las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, potasio, zinc, y la relación Ca:P fueron 89, 33, 56, 35, 40 y 43% más altas ($p \leq 0.05$) en la época seca que en lluvias. Por lo contrario, las concentraciones de sodio, cobre, hierro, y la relación Na:K fueron 24, 17, 68 y 71% más altas ($p \leq 0.05$) en lluvias que en la época seca.

Cuadro 12. Medias^z de cuadrados mínimos para la época del año sobre las concentraciones de minerales en suero sanguíneo de bovinos.

Minerales (mg/L)	Época		EEM ^y
	Seca	Lluvia	
Calcio	201 ^a	106 ^b	1.18
Fósforo	88 ^a	66 ^b	2
Magnesio	36 ^a	23 ^b	0.9
Sodio	2446 ^b	3040 ^a	61
Potasio	174 ^a	128 ^b	2.7
Cobre	0.23 ^b	0.50 ^a	0.01
Hierro	1.22 ^b	2.05 ^a	0.09
Zinc	0.42 ^a	0.30 ^b	0.02
Ca:P	2.42 ^a	1.69 ^b	0.06
Na:K	14.2 ^b	24.3 ^a	0.61

^zMedias en la misma hilera, sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$).

^yEEM=error estándar de la media.

En el Cuadro 13 se presentan las medias de cuadrados mínimos para el efecto de rancho sobre las concentraciones minerales en suero sanguíneo del ganado. El calcio fue 61% mayor ($p > 0.05$) en el rancho Mano de León que en Arroyo Seco, mientras que en el rancho Paraíso Escondido fueron intermedios. Las concentraciones de fósforo en el rancho Paraíso Escondido fueron 12 y 13% mayores ($p > 0.05$) que en los ranchos Mano de León y Arroyo Seco. Las concentraciones de sodio fueron 11 y 6% mayores ($p > 0.05$) en el rancho Paraíso Escondido, que en Arroyo Seco, mientras que el rancho Mano de León tuvo resultados intermedios. El cobre fue menor ($p \leq 0.05$) en Arroyo Seco, intermedio en Mano de León y mayor ($p > 0.05$) en el rancho Paraíso Escondido. El zinc en el rancho Arroyo Seco fue 58% mayor ($p > 0.05$) que en Paraíso Escondido y en el rancho Mano de León se tuvieron concentraciones intermedias.

Cuadro 13. Medias^z de cuadrados mínimos para los ranchos sobre las concentraciones de minerales en suero sanguíneo del ganado.

Minerales (mg/L)	Ranchos			EEM ^y	Rango normal ^x
	Arroyo Seco	Mano de León	Paraíso Escondido		
Calcio	146 ^b	161 ^a	154 ^{ab}	3.7	80-120
Fósforo	74 ^b	73 ^b	83 ^a	2.5	40-60 (Adulto) 60-90 (Jóvenes)
Magnesio	30 ^a	29 ^a	29 ^a	1.2	18-35
Sodio	2600 ^b	2724 ^{ab}	2906 ^a	75	3100-3450
Potasio	148 ^a	152 ^a	153 ^a	3.3	150-200
Cobre	0.27 ^c	0.37 ^b	0.45 ^a	0.01	0.80
Hierro	1.48 ^a	1.72 ^a	1.71 ^a	0.11	1.3-2.5
Zinc	0.42 ^a	0.36 ^{ab}	0.31 ^b	0.03	0.80

^zMedias en la misma hilera, sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$).

^yEEM=error estándar de la media.

^xRango normal en suero sanguíneo del ganado (Puls, 1994).

En el Cuadro 14 se presentan las medias de cuadrados mínimos para los dos tipos de animales sobre las concentraciones minerales en suero sanguíneo del ganado. Las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio en suero sanguíneo de vacas y becerros, en las dos épocas del año y en los tres ranchos (Cuadros 12, 13 y 14) están por arriba del nivel mínimo sugerido por Puls (1994). Durante la época seca el calcio estuvo por arriba del rango normal, mientras que las concentraciones de fósforo en las vacas y becerros (Cuadro 13 y 14) también se encontraron por arriba del nivel máximo. El problema en el metabolismo del calcio y fósforo puede deberse a las deficiencias que se discutirán más adelante, entre las cuales destacan cobre y zinc, minerales importantes en la mineralización del hueso (Underwood y Suttle, 1999). El potasio se encontró cerca del límite inferior, en especial durante la época de lluvias, lo que probablemente está relacionado con los cambios en los niveles de sodio.

Cuadro 14. Medias^z de cuadrados mínimos para los dos tipos de animales sobre las concentraciones de minerales en suero sanguíneo de bovinos.

Minerales (mg/L)	Tipo animal		EEM ^y	Rango normal ^x
	Vaca	Becerro		
Calcio	145 ^b	162 ^a	3.0	80-120
Fósforo	64 ^b	89 ^a	2.0	40-60 (Adulto) 60-90 (Jóvenes)
Magnesio	29 ^a	30 ^a	0.9	18-35
Sodio	2678 ^a	2809 ^a	61	3100-3450
Potasio	147 ^b	155 ^a	3.0	150-200
Cobre	0.33 ^b	0.40 ^a	0.01	0.80
Hierro	1.40 ^b	1.88 ^a	0.09	1.3-2.5
Zinc	0.39 ^a	0.34 ^a	0.02	0.80

^zMedias en la misma hilera, sin una letra en común, son diferentes ($p \leq 0.05$).

^yEEM=error estándar de la media.

^xRango normal en suero sanguíneo, Puls (1994).

El nivel de sodio en suero sanguíneo de vacas y becerros de los tres ranchos y durante la época de seca fue deficiente (Cuadros 12, 13 y 14), debido a la baja concentración de este mineral en el forraje (Cuadro 10) a la escasa o nula suplementación en los ranchos estudiados. En la época de lluvias, los niveles de sodio en suero sanguíneo son apropiados, probablemente porque se había iniciado la suplementación con sal. McDowell *et al.* (1988) señalaron que los forrajes tropicales normalmente son deficientes en sodio, pero que el problema es fácil de corregir mediante la práctica de proveer sal común. Por otro lado, Minson (1990) menciona que la concentración de sodio en sangre es relativamente constante y no sirve como indicador de deficiencia de sodio.

La concentración de cobre varió de 0.27 a 0.45 mg L⁻¹ (Cuadros 12, 13 y 14), por lo cual existen deficiencias de este elemento en las dos épocas del año, en todos los ranchos, y en vacas y becerros. Resultados similares de deficiencia en cobre se han obtenido en otras regiones tropicales de México (Alvear, 2003; Aguirre y López, 2004). La deficiencia de cobre en el ganado es reflejo de los

bajos niveles de este mineral en los forrajes y puede estar acrecentada por los niveles altos de hierro, ya que niveles altos de hierro interfieren con la absorción del cobre (Gengelbach *et al.*, 1994). Chase *et al.* (2000) indicaron que dietas altas en hierro, de 500 mg kg⁻¹, deprimen la concentración de cobre en hígado.

En este estudio, las concentraciones de hierro en los forrajes (Cuadro 10) se encontraron por arriba del rango normal de los requerimientos del ganado. Sin embargo, las concentraciones en suero sanguíneo durante la época seca (Cuadro 12) y en vacas (Cuadro 14) se encontraron por debajo del nivel crítico sugerido por Puls (1994), lo que puede deberse a que los animales presentaron deficiencias de cobre. Según Harris (1997), el cobre es necesario para el funcionamiento de ceruloplasmina, que es una proteína importante en la movilización de hierro en hígado para la síntesis de hemoglobina.

La deficiencia de zinc obtenida en vacas y becerros en ambas épocas y en todos los ranchos (Cuadros 12, 13 y 14) es reflejo de un forraje pobre en este mineral (Cuadro 10), y esto es agravado por una alta ingesta de hierro, ya que los forrajes fueron ricos en este mineral. Gengelbach *et al.* (1994) señalan que un alto contenido de hierro interfiere con la absorción del cobre y zinc en el animal.

La interacción época por rancho afectó las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, potasio y cobre (Figura 4). Las concentraciones de calcio, magnesio, potasio y fósforo en suero sanguíneo fueron diferentes ($p \leq 0.05$) para todos los ranchos en ambas épocas. Las concentraciones fueron entre 36, 53, 35 y 36% más altas ($p \leq 0.05$) en la época seca que en lluvias, notándose que la diferencia fue mayor en los ranchos Arroyo Seco y Mano de León en comparación con Paraíso Escondido. Por el contrario, la concentración de cobre fue 46% mayor en la época seca que en lluvias, en todos los ranchos, y la diferencia entre épocas fue mayor para el ganado de Paraíso Escondido que en los otros dos ranchos.

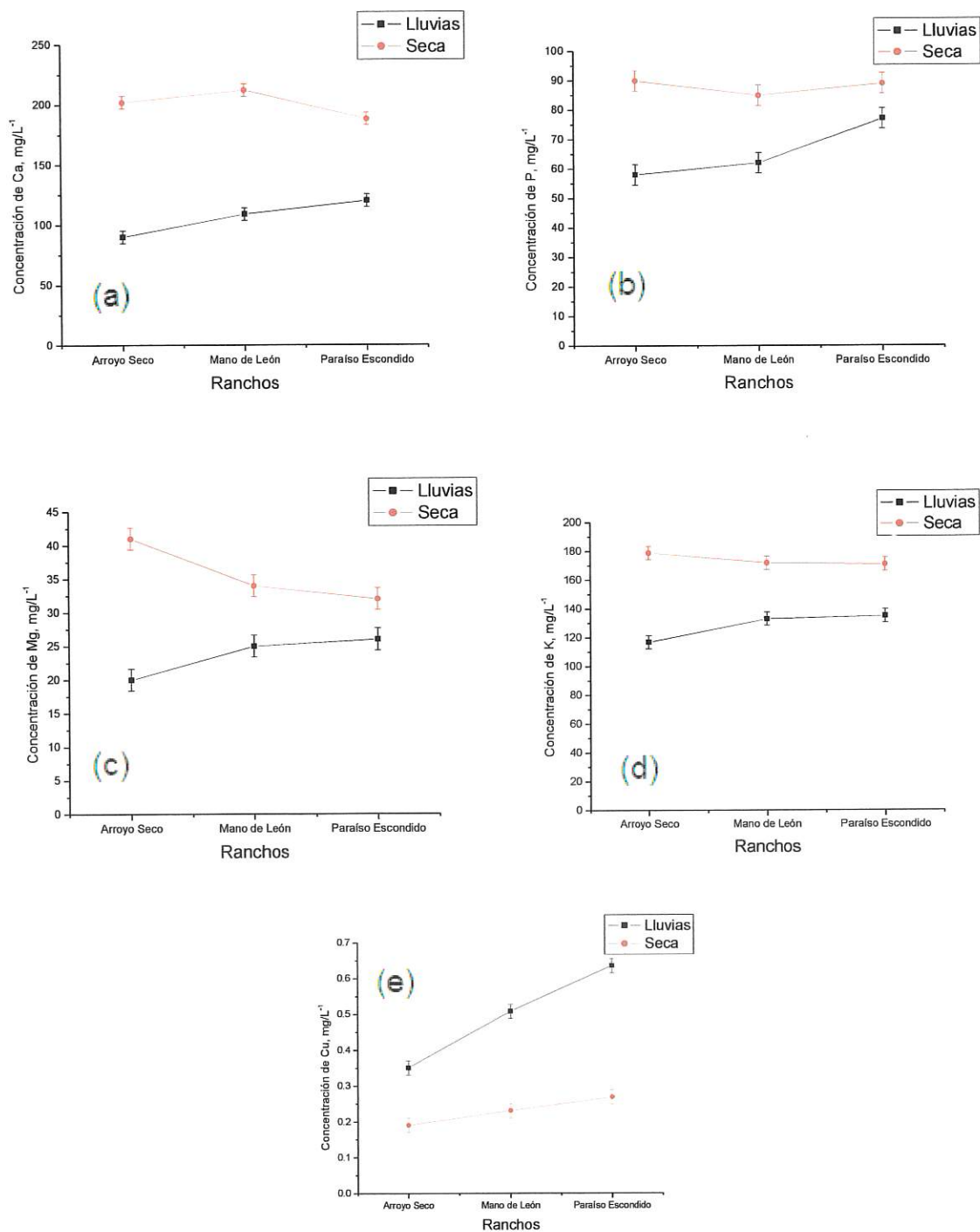


Figura 4. Concentraciones de calcio (a), fósforo (b), magnesio (c), potasio (d), y cobre (e) en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) durante la época de lluvias (—■—) y época seca (—●—) en tres ranchos de San Juan del Río, Choapam, Oaxaca.

La interacción época por tipo animal afectó las concentraciones de fósforo y potasio (Figura 5). Las concentraciones de fósforo en suero sanguíneo fueron diferentes ($p \leq 0.05$) en ambas épocas y por tipo de animal. Las concentraciones fueron entre 35 y 56% más altas ($p > 0.05$) en becerros que vacas, aunque en la época seca este diferencial fue mayor que en la época de lluvias. Las concentraciones de potasio en suero sanguíneo de vacas y becerro fueron similares ($p > 0.05$) en las dos épocas del año pero en la época de lluvias las concentraciones en becerros fueron más altas ($p \leq 0.05$) que las de las vacas. Esta información indica que el exceso de fósforo es mayor en becerros durante la época seca, mientras que la deficiencia de potasio es mayor durante la época de lluvias en vacas.

La interacción rancho por tipo animal afectó las concentraciones de fósforo, calcio, magnesio y cobre (Figura. 6). Las concentraciones de fósforo en suero sanguíneo de becerros fueron entre 45% más altas ($p \leq 0.05$) que las de las vacas en los tres ranchos, siendo mayores las diferencias en el rancho Paraíso Escondido que en ranchos Arroyo Seco y Paraíso Escondido. Las concentraciones de calcio en suero sanguíneo de vacas y becerros fueron similares ($p > 0.05$) en el rancho Mano de León, sin embargo, las de becerros fueron 32% más altas ($p > 0.05$) en los ranchos Paraíso Escondido y Arroyo Seco. Las concentraciones de magnesio en suero sanguíneo de vaca y becerro fueron similares ($p > 0.05$) en los ranchos Mano de León y Paraíso Escondido, sin embargo, en el rancho Arroyo Seco los becerros tuvieron concentraciones 47% más altas ($p > 0.05$) que las vacas. Las concentraciones de cobre en suero sanguíneo de vaca y becerro fueron similares ($p > 0.05$) en el rancho Paraíso Escondido, mientras que en los ranchos Paraíso Escondido y Arroyo Seco los becerros tuvieron 27% mayor concentración que en vacas ($p > 0.05$). Estas interacciones sugieren que las deficiencias de hierro y cobre afectaron en mayor grado a las vacas de los ranchos Arroyo Seco y Mano de León, mientras

que el exceso de fósforo en el rancho Paraíso Escondido fue mayor en los becerros que en las vacas.

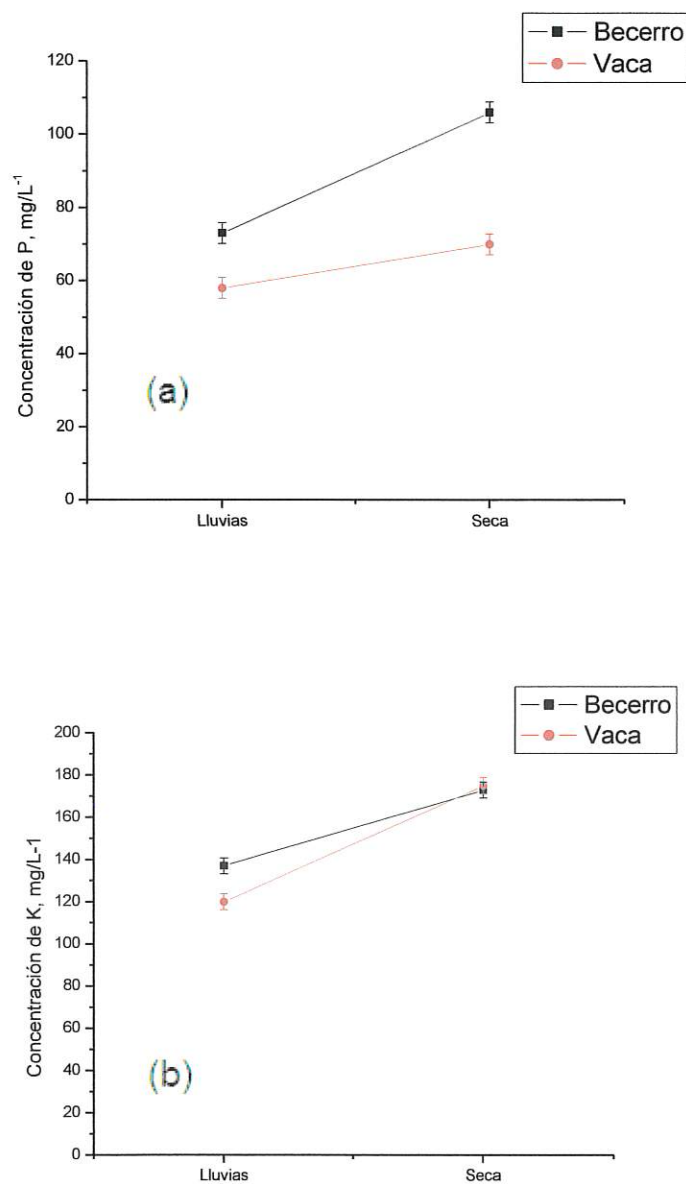


Figura 5. Concentraciones de fósforo (a) y potasio (b) en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de becerros (—■—) y vacas (—●—) en las épocas de lluvias y seca en San Juan del Río, Choapam, Oaxaca.

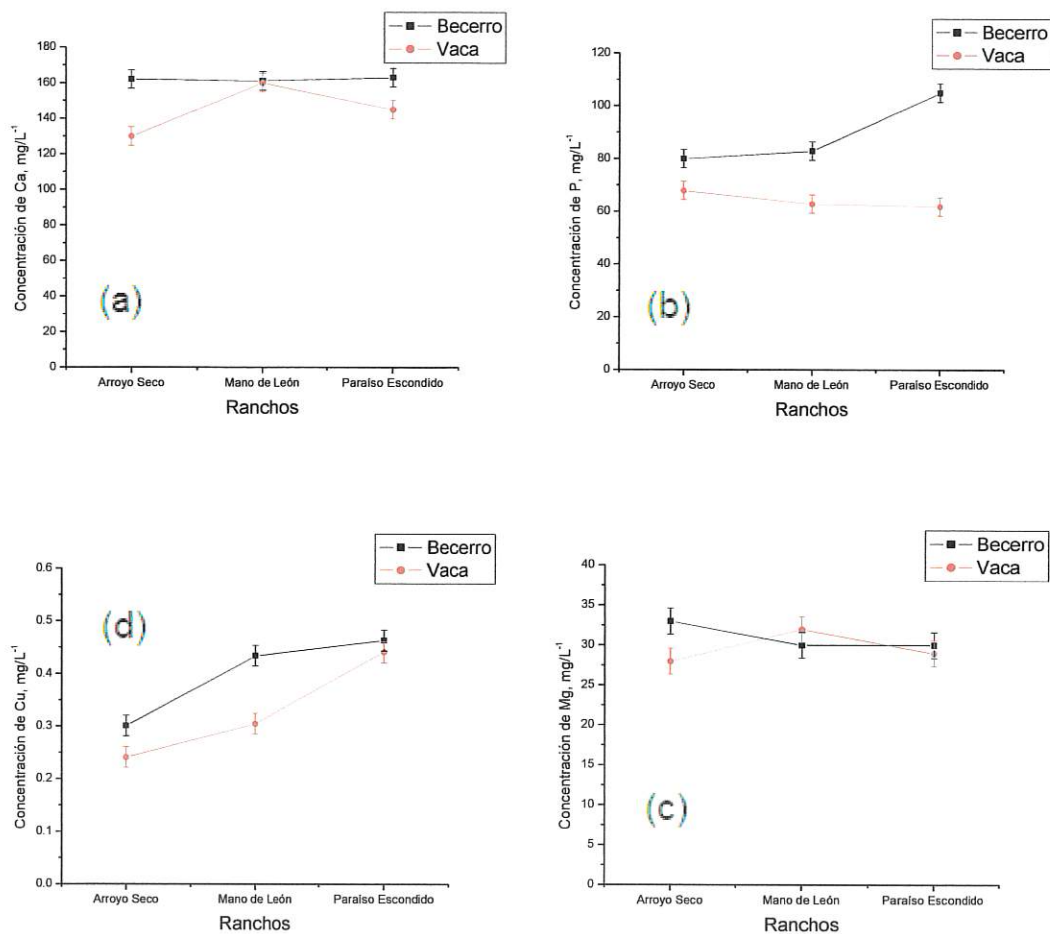


Figura 6. Concentraciones de calcio (a), fósforo (b), magnesio (c) y cobre (d) en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) becerros ($\text{---}\blacksquare\text{---}$) y vacas ($\text{---}\bullet\text{---}$) en tres ranchos de San Juan del Río, Choapam, Oaxaca.

3.6 Conclusiones y recomendaciones

Las concentraciones de los minerales en los tres ranchos estudiados de San Juan del Río, Choapam, Oaxaca se caracterizan por lo siguiente:

Los suelos son ricos en cobre, hierro, zinc, manganeso, magnesio, calcio, sodio, potasio y fósforo.

Las fuentes de agua tienen concentraciones bajas de los minerales estudiados, lo cual implica aportes bajos a la dieta de los animales.

Las concentraciones de hierro, manganeso, magnesio, calcio y potasio de los forrajes se encuentran en concentraciones superiores a los requerimientos de los animales, por lo que se debe evitar su suplementación.

El cobre, zinc, fósforo y sodio son deficientes en los forrajes de los tres ranchos durante las épocas de seca y lluvias.

Las concentraciones de cobre, zinc y sodio en suero sanguíneo de vacas y becerros son deficientes, y deben ser suplementados, especialmente en vacas durante la época seca. La deficiencia de cobre está asociada con deficiencia de hierro en vacas durante la época seca. Durante la época de lluvias, las vacas tienen concentraciones deficientes de potasio en suero, debidas probablemente a un mejoramiento en la concentración del sodio.

La concentración de fósforo en forrajes es deficiente, pero en el suero sanguíneo de los animales es excesivo, probablemente resultado de las otras deficiencias. Por ello, después de corregir las deficiencias de cobre, zinc y sodio deben implementarse estrategias para incrementar el consumo de fósforo por el ganado.

3.7 Literatura citada

- 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, México. 43 p.
- Aladro, J. B. 1996. Diagnóstico del estado mineral de un hato de bovinos de doble propósito en Venustiano Carranza, Puebla. Tesis Profesional, Universidad Autónoma Chapingo, México. 62 p.
- Alvear H., E. 2003. Diagnóstico y suplementación mineral en ganado bovino de Zirándaro, Guerrero. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo, México. 124 p.

- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle B., y A. Aguilar S. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. 2^{da} ed. Colección INCADA. México. 226 p.
- Chase, C. R., D. K. Beede, H. H. Van Horn, J. K. Shearer, C. J. Wilcox, and G. A. Donovan. 2000. Responses of lactating dairy cows to copper source, supplementation rate, and dietary antagonist (iron). *Journal of Dairy Science* 83: 1845-1852.
- Enciclopedia de los Municipios de México, 2008. Gobierno del estado de Oaxaca. <http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/oaxaca/municipios/204060a.htm>. (Consultado el 25 de noviembre de 2009).
- Fick, R. K., R. L. MacDowell, H. P. Miles, S. N. Wilkinson, D. J. Funnk, H.J. Conrad, y R. Valdivia. 1979. Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales. 2^{da} ed. Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA. 358 p.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F. 246 p
- Gengelbach, G. P., J. D. Ward, and J. W. Spears. 1994. Effect of dietary copper, iron, and molybdenum on growth and copper status of beef cows and calves. *Journal of Animal Science* 72: 2722-2727.
- Harris, E. D. 1997. Copper. *In*: B. L. O'Dell y R. A. Sunde (Eds.). *Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements*. Marcel Dekker, Inc. New York. pp: 231-273.
- Hernández, M. G. 1996. Contenido mineral en forraje y plasma sanguíneo de bovinos en pastoreo en dos ranchos en el estado de Puebla. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 76 p.
- Hess, B. W., J. E. Lake, E. Scholljegerdes, R. T. Weston, V. Nayigihugo, D. C. J. Molle, and E. G. Moss. 2005. Nutritional controls of beef cow reproduction. *Journal of Animal Science* 83: E90-E106.
- Huerta, B. M. 1999. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. *In*: Memorias II seminario internacional: Estrategias de Suplementación a Bovinos en Pastoreo. 28 y 29 de octubre. Chapingo, México. pp: 153-184.
- Jenkins, K. J., and M. Hidiroglou. 1991. Tolerance of the preruminant calf for excess manganese or zinc in milk replacer. *Journal of Dairy Science* 74: 1047-1053.
- Martínez C., E. 2006. Diagnóstico y suplementación mineral de ganado bovino en condiciones tropicales. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo, México. 102 p.

- Mayland, H. F., and S. R. Wilkinson. 1989. Soil factors affecting magnesium availability in plant-animal systems. *Journal of Animal Science* 67: 3437-3444.
- McDowell, L. R. 1985. Detection of mineral status of grazing ruminants. *In*: L. R. McDowell (Ed). *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press, Inc. Orlando. pp: 339-458.
- McDowell, L. R., J. H. Conrad, G. L. Loosli, and J. E. Espinoza. 1988. Nutrición mineral para rumiantes bajo pastoreo en los trópicos. *In*: Memoria. XXIII Reunión Anual Asociación Latinoamérica de Producción Animal. 18 al 25 de abril. Cuba pp: 25-42.
- McDowell, L. R., J. Velasquez-Pereira, y G. Valle. 1997. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. 3ª ed. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA. 84 p.
- McDowell, R. L., and J. D. Arthington. 2005. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. 4ª ed. Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA. 94 p.
- Minson, D. J. 1990. *Forage in Ruminant Nutrition*. Academic Press, Inc. San Diego, California. 483 p.
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th Revised Edition. National Academy Press. Washington, D. C. 381 p.
- NRC. 2005. *Mineral Tolerance of Animals*: 2nd Revised Edition. National Academy Press. Washington, D. C. USA. 510 p.
- NRC. 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids*. The National Academy Press. Washington, D. C. USA. 345 p.
- O'Dell, B. L. 1989. Mineral interactions relevant to nutrient requirements. *Journal of Nutrition* 119: 1832-1836.
- Olson, K. C. 2005. Range management for efficient reproduction. *Journal of Animal Science* 83: E107-E116.
- Philippo, M., H. R. Humphries, and P. H. Garthwaite. 1987. The effect of dietary molybdenum and iron on copper status and growth in cattle. *Journal Agriculture Science* 56: 109-315.
- Puls, R. 1994. *Minerals Levels in Animal Health*. Diagnostic Data. Sherpa International. Clearbrook, Canada. 250 p.
- Ramírez O., R., R. G. Ramírez L., H. González R, and G. F. W. Haenlein. 2005. Mineral content of browse species from Baja California Sur, México. *Small Ruminant Research* 57: 1-10.

- Ramos S., M. A. 1996. Diagnóstico mineral del ganado bovino en el oriente de Yucatán. Contenido mineral en suelo, forraje, agua y suplementos. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 64 p.
- Romero T., E. M. 2006. Indicadores del estatus nutricional a través del año en un hato de vacas de doble propósito en el Norte de Veracruz. *In: Memorias, XXIV Reunión anual de la Asociación Mexicana de Producción Animal y X Reunión bienal de Grupo Norte Mexicano de Nutrición Animal*, Revista bimestral científica de la Universidad Autónoma de Sinaloa (ed.). 17 al 20 de octubre. Mazatlán Sinaloa, México. p 77.
- Santiago V., M. A., y D. Gerardo C. 1996. Estado mineral de ganado bovino y zacates estrella y guinea en Tepetzintla, Veracruz. Tesis Profesional, Universidad Autónoma Chapingo, México. p 22.
- SAS. 2004. SAS/STAT User's guide (Release 9.1). Cary, NC, USA. SAS Inst. Inc.
- Secretaría de la Reforma Agraria. 2008. Manual para el manejo de bovinos de doble propósito. Distrito Federal, México. http://www.sra.gob.mx/internet/informacion_general/programas/fondo_tiemras/manuales/Manejo_Bovino_Doble_Prop_sito.pdf. (Consultada el 28 de noviembre de 2009).
- Shirley, R. L., y J. L. Montesinos. 1978. El agua como fuente de minerales. *In: R. L. McDowell y J. H. Conrad (Eds.). Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo*. Universidad de Florida, Gainesville, Florida. pp: 47-54.
- Tomlinson, D. J., M. T. Socha, C. K. Swenson, and B. J. Jonson. 2002. Efectos de minerales inorgánicos en el desempeño del ganado lechero y de engorda. *In: Memoria. XXX Reunión Anual Asociación Mexicana de Producción Animal*. 13 al 15 de octubre. Guadalajara, Jalisco, México.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*. CABI Publishing. 3rd ed. London, England. pp: 185-212.
- Ward, J. D., G. P. Gengelbach, and J. W. Spears. 1997. The effects of copper deficiency with or without high dietary iron or molybdenum on immune function of cattle. *Journal of Animal Science* 75: 1400-1408.
- White, C. L., B. S. Chandler, and D. W. Peter. 1991. Zinc supplementation of lactating ewes and weaned lamb grazing improved mediterranean pastures. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 31: 183-189.
- Wikse, S. E., D. Herd, R. Field, and P. Holland. 1992. Diagnosis of copper deficiency in cattle. *Journal of Dairy Science* 200: 1625-1629.