

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en
Zootecnia**

DIAGNÓSTICO Y SUPLEMENTACIÓN MINERAL DE GANADO BOVINO EN CONDICIONES TROPICALES

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

P R E S E N T A

EDUARDO MARTÍNEZ CUEVAS



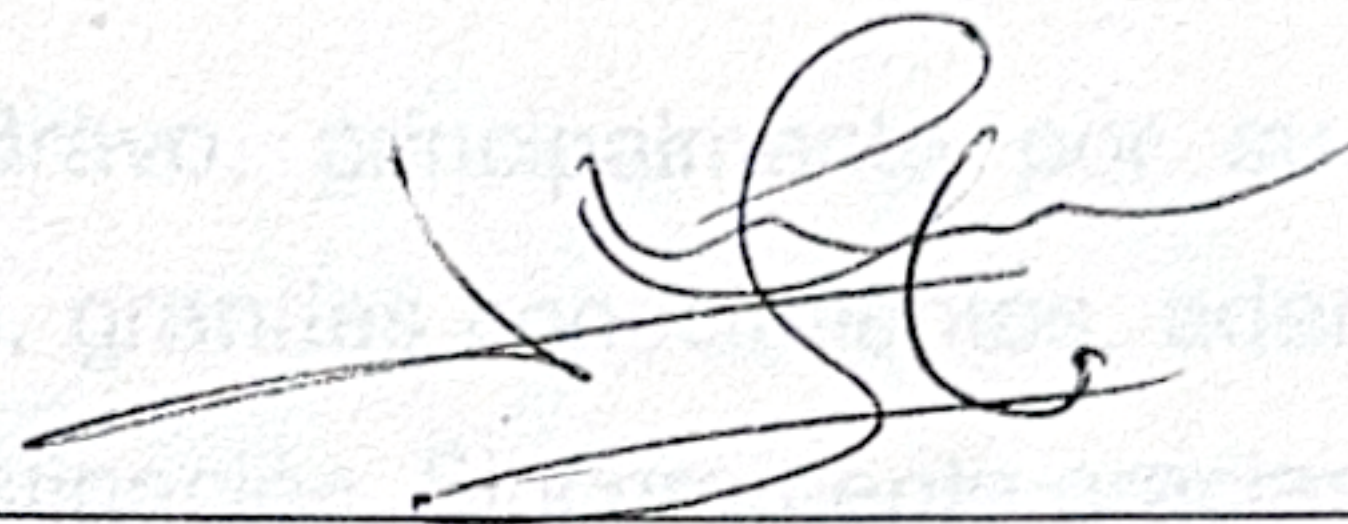
**Febrero de 2006
Chapingo, Estado de México**

DIAGNÓSTICO Y SUPLEMENTACIÓN MINERAL DE GANADO BOVINO EN CONDICIONES TROPICALES

Tesis realizada por Eduardo Martínez Cuevas, bajo la dirección del Comité
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

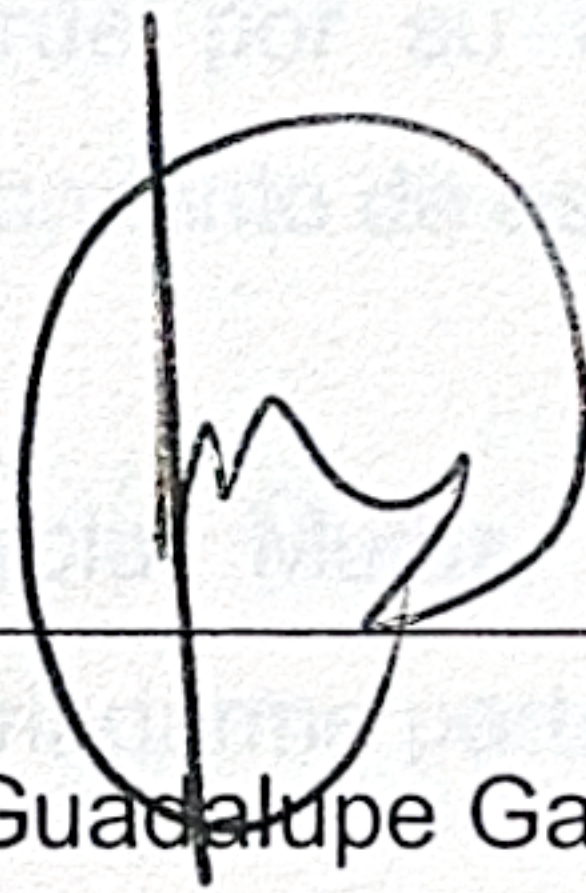
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR: _____



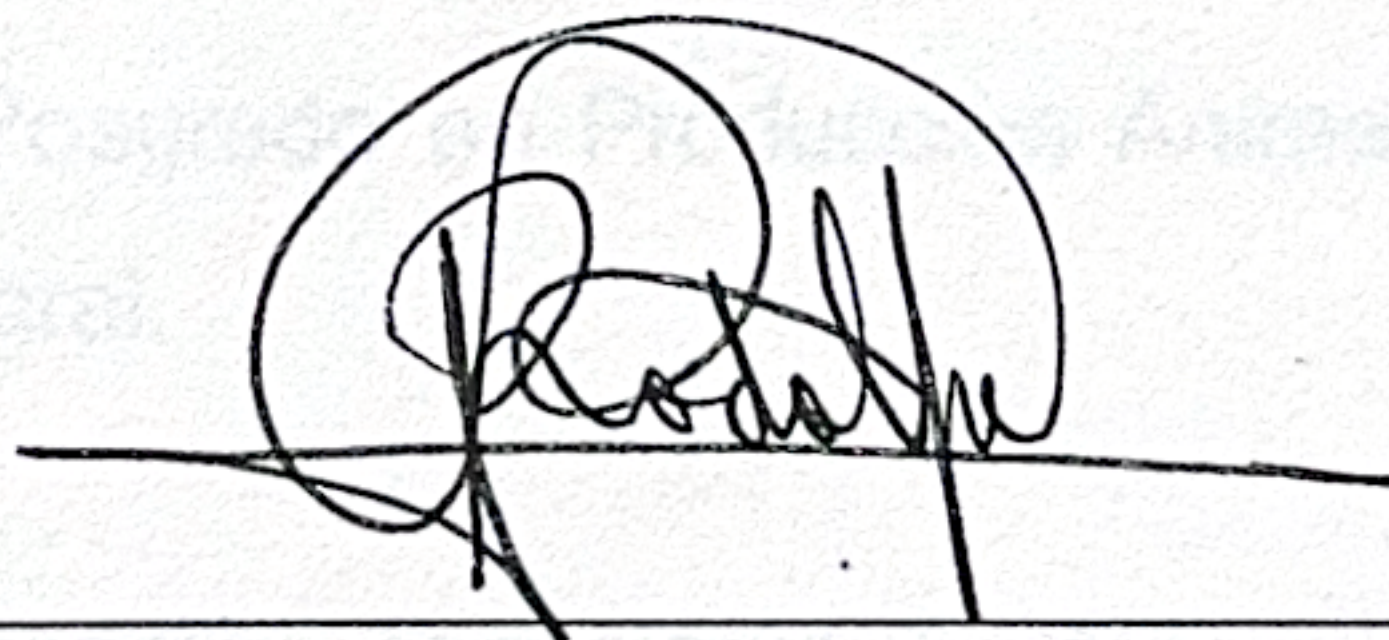
Ph. D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR: _____



Ph. D. José Guadalupe García Muñiz

ASESOR: _____



Ph. D. Rodolfo Ramírez Valverde

A. T. 2436

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 mi *Alma Mater*, la Universidad Autónoma Chapingo, especialmente al Posgrado en Producción Animal por darme la oportunidad y facilidades para alcanzar una meta más en mi vida.

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 Doc.

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

Al Ph. D. José Guadalupe García Muñiz, 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.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento proporcionado para el desarrollo de mis estudios de posgrado.

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

DEDICATORIAS

A Dios por ser la luz que ilumina mi camino.

A mis padres Zenón y María del Socorro, por todo su amor, cariño y por creer siempre en mi, por ser los pilares que mantienen tan fuerte esta familia. Para ustedes.

A mi madre Susana, por ser el más grande regalo que Dios me ha dado, por su infinito amor, cariño y comprensión. Gracias por ser mi madre.

A mis hermanas Norma y Miriam, por estar siempre conmigo y enseñarme grandes cosas en la vida. Gracias por su cariño.

A mi abuelita Higinia y mi tía Yesy, por tener siempre palabras de aliento para mí.

A mis sobrinas Jessica, Evelin, Katy y Yarendi por formar parte importante de mi vida.

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

..... para ustedes.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre	Eduardo Martínez Cuevas
Fecha de nacimiento	13 de octubre de 1981
Lugar de nacimiento	Juan Rodríguez Clara, Veracruz
CURP	MACE811013HVZRVD05
Profesión	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia
Cedula profesional	4095564

Desarrollo académico

1996-1999	Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.
1999-2003	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo.
2004-2005	Maestro en Ciencias en Producción Animal, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIAS.....	iii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
Introducción general.....	1
Revisión de literatura.....	3
1. Importancia de los minerales.....	3
2. Diagnóstico mineral.....	4
2.1. Contenido mineral en agua.....	5
2.2. Contenido mineral en suelo.....	6
2.3. Contenido mineral en forraje y factores que afectan su concentración.....	7
2.3.1. Género, especie o línea genética (variedad).....	7
2.3.2. Tipo de suelo donde la planta crece.....	8
2.3.3. Condiciones climáticas y estacionales durante el crecimiento.....	9
2.3.4. Estado de madurez y parte de la planta.....	9
2.4. Contenido mineral en sangre.....	10
2.4.1. Macrominerales en plasma o suero sanguíneo.....	10

2.4.2. Microminerales en plasma o suero sanguíneo.....	11
3. Selenio.....	14
3.1. Manifestaciones clínicas de la deficiencia de selenio.....	15
3.1.1. Degeneración muscular.....	15
3.1.2. Alteraciones en la reproducción.....	16
3.1.3. Resistencia a enfermedades.....	17
3.2. Suplementación de selenio.....	18
3.2.1. Métodos de suplementación de selenio para rumiantes en pastoreo.....	19
3.2.1.1. Bolos intra-ruminales.....	20
4. Cobre.....	22
4.1. Suplementación oral de cobre de liberación controlada.....	22
4.2. Establecimiento de las partículas de óxido de cobre.....	23
4.3. Forma de liberación del cobre.....	23
4.4. Tamaño de las partículas de óxido de cobre.....	24
4.5. Dosificación.....	24
5. Literatura citada.....	26
Caracterización mineral de ganado bovino en Juan Rodríguez Clara, Veracruz, México.....	38
Resumen.....	39
Abstract.....	40
Introducción.....	41
Materiales y métodos.....	43

Resultados y discusión.....	47
Conclusiones.....	70
Literatura citada.....	71
Deficiencia de selenio en vacas de doble propósito y su corrección con un dispositivo intrarruminal en un ambiente tropical.....	77
Resumen.....	78
Abstract.....	79
Introducción.....	80
Materiales y métodos.....	81
Resultados y discusión.....	84
Conclusiones.....	94
Literatura citada.....	94
Suplementación de vaquillas en pastoreo con cápsulas de alambre de óxido de cobre en condiciones tropicales.....	99
Resumen.....	100
Abstract.....	101
Introducción.....	102
Materiales y métodos.....	104
Resultados y discusión.....	107
Conclusiones.....	119
Literatura citada.....	120

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1. Concentración mineral en agua (medias de cuadrados mínimos) y significancia (probabilidad) de las diferencias entre cinco ranchos de Juan Rodríguez Clara, Veracruz.....	47
2. Concentraciones típicas de minerales en agua y niveles máximos tolerables por el ganado.....	48
3. Concentración mineral en suelos (medias de cuadrados mínimos) y significancia (probabilidad) de las diferencias entre cinco ranchos de Juan Rodríguez Clara, Veracruz.....	49
4. Concentración mineral en forraje (medias de cuadrados mínimos) y nivel de significancia (probabilidad) de las diferencias entre cinco ranchos de Juan Rodríguez Clara, Veracruz.....	54
5. Requerimientos mínimos de concentraciones de minerales y niveles máximos tolerables para bovinos.....	54
6. Nivel de significancia (probabilidad) para las variables rancho y tipo de animal con respecto a la concentración mineral en el plasma sanguíneo.....	60
7. Concentración mineral en plasma sanguíneo de vacas y crías (medias de cuadrados mínimos) de cinco ranchos de Juan Rodríguez Clara, Veracruz.....	60
8. Concentraciones adecuadas de minerales en plasma sanguíneo....	61
9. Concentración mineral (medias de cuadrados mínimos) en plasma de vacas suplementadas y no suplementadas con bolos con selenio en diferente tiempo de muestreo.....	85
10. Concentración mineral (medias de cuadrados mínimos) en plasma de vaquillas suplementadas y no suplementadas con cápsulas de alambre de óxido de cobre en diferente tiempo de muestreo.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Concentración de cobre en plasma sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas y crías en cinco ranchos en Juan Rodríguez Clara, Veracruz.....	61
2. Concentración de hierro en plasma sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas y crías en cinco ranchos en Juan Rodríguez Clara, Veracruz.....	62
3. Concentración de calcio en plasma sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas y crías en cinco ranchos en Juan Rodríguez Clara, Veracruz.....	64
4. Concentración de sodio en plasma sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas y crías en cinco ranchos en Juan Rodríguez Clara, Veracruz.....	66
5. Concentración de potasio en plasma sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas y crías en cinco ranchos en Juan Rodríguez Clara, Veracruz.....	67
6. Concentración de fósforo en plasma sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas y crías en cinco ranchos en Juan Rodríguez Clara, Veracruz.....	69
7. Relación calcio:fósforo en plasma sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas y crías en cinco ranchos en Juan Rodríguez Clara, Veracruz.....	70
8. Concentración de selenio en plasma (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas suplementadas y no suplementadas con bolos con selenio en diferentes tiempos de muestreo.....	87

9. Concentración de cobre en plasma (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas suplementadas y no suplementadas con bolos con selenio en diferentes tiempos de muestreo.....	91
10. Concentración de selenio en plasma (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vaquillas suplementadas y no suplementadas con cápsulas de alambre de óxido de cobre.....	109
11. Concentración de magnesio en plasma (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vaquillas suplementadas y no suplementadas con cápsulas de alambre de óxido de cobre.....	116
12. Concentración de sodio en plasma (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vaquillas suplementadas y no suplementadas con cápsulas de alambre de óxido de cobre.....	117
13. Concentración de potasio en plasma (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vaquillas suplementadas y no suplementadas con cápsulas de alambre de óxido de cobre.....	118

Introducción general

En los países de clima tropical, la industria ganadera basada en el pastoreo es severamente afectada por las deficiencias, los desequilibrios y los excesos nutricionales. Los animales en pastoreo generalmente no reciben suplementación mineral, excepto sal común, y tienen que depender casi exclusivamente de los forrajes para satisfacer sus requerimientos. Sin embargo, raras veces los forrajes pueden satisfacer todos sus requerimientos minerales (McDowell *et al.*, 1988).

Los minerales son requeridos para el funcionamiento normal de básicamente todos los procesos bioquímicos en el cuerpo. Un número de macro y microminerales han demostrado ser esenciales para animales. Proveer cantidades adecuadas de los minerales esenciales para cubrir los requerimientos del animal es crítico para maximizar la productividad y salud del ganado.

Por lo anterior, los desbalances minerales en los animales deben ser considerados como verdaderos problemas nutricionales, que pueden expresarse en trastornos funcionales. Por este motivo es muy importante detectar estos desequilibrios y corregirlos mediante suplementaciones adecuadas. En México, diferentes regiones presentan deficiencias tanto de Se como de Cu (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 los métodos de libre acceso (Kendall *et al.*, 2001).

Por esta razón, se estudian otras alternativas para la suplementación de estos minerales a los animales, tales como los dispositivos intra-ruminales de liberación controlada, los cuales proporcionan la suplementación por un largo período de tiempo, de hasta 200 semanas (Judson *et al.*, 1991). Los bolos con selenio intra-ruminales han demostrado liberar este elemento en formas biológicamente disponibles para rumiantes (Kendall *et al.*, 1999). De la misma manera, las cápsulas rellenas con alambre de óxido de cobre han probado ser un método efectivo para la provisión de Cu suplemental, incrementando el estatus de Cu en el ganado (Richards *et al.*, 1985).

Revisión de literatura

1. Importancia de los minerales

Los elementos minerales existen en las células y tejidos del organismo animal en diversas combinaciones funcionales y químicas y concentraciones características dependientes del elemento y tejido (Underwood y Suttle, 2003). Las concentraciones de los elementos esenciales deben mantenerse dentro de unos 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).

En forma general, se considera que para el caso de los rumiantes por lo menos 15 elementos minerales son, ya sea esenciales desde el punto de vista nutricional o un problema en concentraciones elevadas. Son siete los elementos mayores o macrominerales – Ca, P, K, Na, Cl, Mg y S; y ocho los elementos traza o microminerales – Fe, I, Zn Cu, Mn, Co, Mo, y Se; que se consideran esenciales, y quizás también Cr y F (NRC, 2001).

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, presión osmótica, potencial eléctrico de la membrana y 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).

2. Diagnóstico mineral

La razón más común para determinar el estado mineral de los rumiantes es porque influencia en gran medida su comportamiento (Kincaid, 1999). Por lo tanto, la determinación se hace para comprobar la presencia o prevalencia de 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).

Las afecciones de nutrición mineral varían desde deficiencias agudas o enfermedades tóxicas, caracterizadas por signos clínicos bien marcados y cambios patológicos, a condiciones leves y temporales de difícil diagnóstico que expresan una vaga debilidad o producción y desarrollo no satisfactorio (McDowell *et al.*, 1988).

Para establecer deficiencias y excesos de minerales se han utilizado signos clínicos de deficiencias, exámenes patológicos y bioquímicos, adicionalmente a análisis minerales en suelos, agua, tejidos de plantas y animales y fluidos (incluyendo algunas enzimas y metabolitos), todos con diferente grados de éxito (McDowell *et al.*, 1997). 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 deficientes, no resultan en observaciones patológicas de signos clínicos específicos para un solo mineral. Por lo tanto, para determinar insuficiencias minerales, son necesarios análisis químicos y biológicos (McDowell *et al.*, 1988).

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. El análisis del contenido mineral del suelo y agua tiene también un cierto valor diagnóstico, ya que la concentración mineral del suelo refleja en cierto modo el contenido mineral del forraje. La información obtenida mediante uno solo de estos procedimientos pocas veces es suficiente para obtener pruebas concluyentes de un déficit o intoxicación mineral específica (Underwood y Suttle, 1999).

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, se usa en muchos países, donde se han establecido los niveles minerales de grandes áreas (McDowell *et al.*, 1984).

2.1. Contenido mineral en agua

Todos los minerales esenciales en la nutrición animal se encuentran presentes en el agua (McDowell *et al.*, 1988). La ingestión de agua no suele ser el mayor aporte de minerales para el ganado, aunque existen excepciones (Underwood y

Suttle, 2003). El NRC (2001) indica que dos de los cinco criterios más frecuentemente 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). La concentración de azufre en agua de acuíferos profundos 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 en Nueva Zelanda con ganado vacuno de carne en pastoreo determinó variaciones individuales en la ingestión de agua de hasta cuatro veces (Wright *et al.*, 1978). Por ello, es imposible calcular la ingestión media de minerales procedentes del consumo de agua.

2.2. Contenido mineral en suelo

En algunas ocasiones los animales consumen cantidades apreciables de suelo (McDowell *et al.*, 1997), llegando a constituir del 10 al 15% de la ingestión total de materia seca para ganado ovino y vacuno (Healy *et al.*, 1974). La ingestión de suelo puede ser directa o indirecta. Cuando existe ingestión directa denota deficiencias minerales. La ingestión indirecta sucede cuando la presión de pastoreo es alta o cuando hay escasez de forraje (Huerta, 1997). El suelo ingerido por los animales puede ser una fuente importante de minerales. 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 cinc son activos biológicamente en los suelos (Suttle *et al.*, 1975) y su ingestión con el forraje puede ser un factor etiológico de hipocuposis en vacas. La ingestión de suelo también puede proporcionar una ruta de acumulación de elementos tóxicos en tejidos animales, como plomo y cadmio (Bramley, 1990).

2.3. Contenido mineral en forraje y factores que afectan su concentración

Los animales en pastoreo generalmente no reciben suplementos minerales (McDowell *et al.*, 1988). 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). Así, los factores que afectan el contenido mineral de la planta son de suma importancia. La concentración de minerales en las plantas forrajeras dependen básicamente de cinco factores interdependientes: (i) el género, especie o línea genética (variedad); (ii) el tipo de suelo donde la planta crece; (iii) las condiciones climáticas y estacionales durante el crecimiento; (iv) el estado de maduración de las plantas; y (v) parte de la planta (Underwood y Suttle, 2003).

2.3.1. Género, especie o línea genética (variedad)

Cultivadas en condiciones similares, las leguminosas son por lo general sustancialmente más ricas en macroelementos (Ca, P, Na, K, Mg y Mg) que las gramíneas (Underwood y Suttle, 2003). Los microelementos Fe, Cu, Zn y Co

son también más abundantes en especies leguminosas que en gramíneas (Hopkins *et al.*, 1994). Por otra parte, las gramíneas son más ricas en Mn y Se que las leguminosas cuando los suelos son ricos en estos minerales (Huerta, 1997).

2.3.2. Tipo de suelo donde la planta crece

Los contenidos minerales en plantas, generalmente reflejan las condiciones en que el suelo suministra minerales absorbibles por las raíces vegetales (McDowell, 1988). Las plantas reaccionan ante los aportes inadecuados de minerales del suelo limitando su crecimiento o reduciendo la concentración en sus tejidos de los elementos deficientes o, más comúnmente, por ambos procedimientos a la vez. Los suelos con un contenido anormal de un mineral tienden a producir plantas con un contenido también anormal de dicho mineral (Underwood y Suttle, 2003). El pH del suelo tiene un efecto fundamental sobre la absorción de minerales por las plantas. Cuando el pH es inadecuado para la absorción de un mineral, el contenido del mineral en el suelo puede ser alto y aún así se presentan deficiencias de ese mineral en el forraje (Huerta, 1997). En suelos alcalinos se esperaría que las concentraciones de Ca, P, Mg, S, Mo y Se de los forrajes sean mayores a las encontradas en los cultivados en suelos ácidos; mientras que lo contrario se esperaría para K, Fe, Mn, Cu, Zn y Co (Huerta, 1997; Underwood y Suttle, 2003). En términos geográficos, utilizando técnicas de mapeo, pueden detectarse áreas cuyo ganado probablemente presente algún desequilibrio mineral. Las deficiencias minerales que más ocurren naturalmente en los rumiantes están asociadas a regiones específicas y

están relacionadas directamente a las características del suelo (McDowell *et al.*, 1988).

2.3.3. Condiciones climáticas y estacionales durante el crecimiento

El contenido de fósforo, sodio, potasio, cobre cinc y selenio es mayor durante la época de lluvias. En cambio calcio, magnesio y manganeso siguen la tendencia contraria (McDowell, 1985). En general, se espera que los minerales se encuentren en mayor concentración poco después de la presencia de las lluvias, puesto que ésta permite el rebrote de los pastos, mejorando así su calidad mineral (Huerta, 1997). Kiatoko *et al.* (1982) encontraron un aumento en los contenidos de potasio, fósforo y magnesio del 110, 60 y 75%, respectivamente, durante la estación húmeda respecto a la estación seca. Sin embargo, esta mejor calidad de los pastos permite mayor producción de los animales y mayores demandas de nutrientes, de tal manera que algunas deficiencias en el animal pueden agravarse. En regiones con niveles bajos de cobre, el inicio de la época de lluvias incrementa el contenido de azufre en el forraje (asociado con el incremento de proteína), que ocasiona una interferencia en la absorción del cobre, lo que aunado a mayores demandas del animal ocasiona que la deficiencia de cobre sea más aparente (Huerta, 1997).

2.3.4. Estado de madurez y parte de la planta

Al aumentar el grado de madurez del forraje, la concentración de minerales disminuyen, como reflejo del incremento en la proporción de tallo con respecto a hoja, y también de hojas viejas y jóvenes; ya que la concentración mineral en

tallos y hojas viejas son menores que la de tallos y hojas jóvenes (Minson, 1990). Sin embargo, la concentración de manganeso es mayor en tallo que en hoja (Underwood y Suttle, 2003). La redistribución de los minerales en la planta ya sea hacia la raíz o hacia los órganos reproductores también contribuyen a que al aumentar la madurez del forraje el contenido mineral disminuya (Huerta, 1997).

2.4. Contenido mineral en sangre

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

2.4.1. Macrominerales en plasma o suero sanguíneo

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). Sin embargo, la concentración plasmática de sodio tiene poca utilidad diagnóstica, 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). Por lo que, los coeficientes salivales Na:K son más útiles, pero cambios inmediatos reflejan la activación de mecanismos homeostáticos altamente eficientes y es necesario determinar un rango de concentraciones marginales (Underwood y Suttle, 2003).

2.4.2. Microminerales en plasma o suero sanguíneo

El mejor indicador del estatus de los microminerales en los rumiantes es su concentración en hígado; sin embargo, la sangre es analizada más frecuentemente porque es relativamente más fácil de muestrear (Kincaid, 1999). Además, existen altos coeficientes de correlación entre concentraciones de microminerales en sangre e hígado en animales deficientes debido a que las reservas endógenas están agotadas (Miller, 1975). Debido a que los eritrocitos en el ganado tienen una vida de 160 días, las concentraciones de microminerales en sangre entera cambian más lentamente que en plasma en respuesta a cambios en su consumo (Kincaid, 1999). Para realizar un análisis de la concentración mineral en plasma las muestras de sangre deben ser manejadas con cuidado para evitar la hemólisis de los eritrocitos.

Medidas para estimar el estatus del selenio en el ganado incluyen concentraciones de Se en hígado, suero y sangre entera; donde se determina la

actividad de la glutatión peroxidasa en eritrocitos e hígado (Kincaid 1995). En suero de vacas, el selenio esta asociado con albúmina, glutatión peroxidasa y selenoproteína P (Awadeh *et al.*, 1998). La sangre entera tiene una concentración de selenio aproximadamente tres veces más alta que en suero y frecuentemente es mejor para la determinación de selenio debido a que la hemólisis de los eritrocitos puede contaminar el suero (Maas *et al.*, 1992). Las actividades de la glutatión peroxidasa reportadas entre laboratorios son variables porque es difícil de estandarizar el procedimiento de análisis y la enzima esta sujeta a deterioros por traslados (Stowe y Herdt, 1992). La relación de selenio entre sangre entera y suero reportada por un mismo laboratorio también es considerablemente variable con un rango que va de 1.8:1 hasta 3.3:1 en la misma muestra (Waldner *et al.*, 1998).

El diagnóstico de una deficiencia de cobre en animales en pastoreo depende de tres condiciones: en primer lugar, la presencia de síntomas clínicos o subclínicos de pérdida de producción; en segundo lugar evidencia bioquímica de concentraciones anormales de cobre en tejidos y sangre; y, en tercer lugar la mejoría de aquellos animales tratados con cobre respecto a aquellos no tratados (Underwood y Suttle, 2003). Cuando el consumo de cobre por los animales es menor a las necesidades fisiológicas, la concentración de cobre y la actividad de la ceruloplasmina en plasma no son consistentemente reducidas hasta que el cobre en hígado es menor a 40 mg kg^{-1} (Mills, 1987). Claypool *et al.* (1975) sugirió que valores de cobre en plasma de $0.5 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$ o menos son

indicativos de bajas reservas de cobre en hígado. Además del consumo de cobre, existen otros factores que afectan su concentración en plasma. El cobre en suero fue más alto en vaquillas en estro que en vaquillas a los 21 días después de servidas (Small *et al.*, 1997) y se deprime en vacas en el día del parto (Small, 1997). Xin *et al.* (1993) encontraron que la concentración de cobre en plasma de vacas fue más baja a la semana cinco antes del parto en relación a la semana ocho antes del parto, al parto y a la semana 8 después del parto. Las enfermedades infecciosas incrementan los valores de cobre en suero (Etzet *et al.*, 1982). Finalmente, el metabolismo del cobre en plasma está influenciado por la genética y diferencias significantes existentes entre razas (Woolliams *et al.*, 1985).

La concentración de cinc 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). No obstante, un estudio con vaquillas demostró una reducción en el crecimiento antes que fuera observado cualquier descenso en el cinc plasmático (Engle *et al.*, 1997). Los valores normales suelen oscilar dentro de unos límites comprendidos entre 0.8 y 1.2 mg Zn L⁻¹ de suero, aunque pueden ser de alta variabilidad individual y su conocen muchos factores, distintos al cinc dietético, que influyen sobre sus concentraciones en suero (Underwood y Suttle, 2003). Las concentraciones de Zn en plasma fluctúan con la edad, estrés, infecciones y restricción alimenticia (Kincaid, 1999). Por ejemplo, los valores en

el porcino son superiores (dos veces superiores) en animales no alimentados que en animales alimentados (Wedekind *et al.*, (1994).

El agotamiento del hierro esta normalmente dividido en tres etapas: etapa 1, es el agotamiento de las reservas del hierro en los tejidos, etapa 2, esta caracterizada por la reducción de hierro sérico; y etapa 3, esta caracterizada por anemia (Johnson, 1990). La deficiencia de Fe en la etapa 1 es la más difícil de diagnosticar pero puede ser diagnosticada por la determinación de la concentración de ferritina en suero; en la etapa 2 la deficiencia de Fe puede ser determinada por la reducción en la concentración de Fe en suero que precede al desarrollo de la anemia (Johnson, 1990). Sin embargo, La deficiencia de hierro no ocurre normalmente en rumiantes (Kincaid, 1999).

3. Selenio

El selenio es un componente estructural de las enzimas (selenoproteínas) glutatión peroxidasas, yodotironina deydinasas, tioredoxina reductasas y otras selenoproteínas como las P y W (Underwood y Suttle, 2003). Las glutatión peroxidasas tienen como función proteger a la célula del daño peróxidativo, catalizando la reducción del peróxido de hidrógeno y de los hidroxiperóxidos formados a partir de ácidos grasos y otras sustancias (Underwood y Suttle, 2003). La glutatión peroxidasa convierte el peróxido de hidrógeno a agua y es un componente importante del sistema celular antioxidante (NRC, 2001). Las yodotironina deydinasas son selenoproteínas unidas a la membrana celular que regulan la síntesis y degradación de la hormona tiroidea biológicamente

activa (T_3) (Arthur y Beckett, 1994). Las tioredoxina reductasas son selenoproteínas que también contribuyen a las concentraciones celulares de selenio además de controlar el estado redox intracelular (Behne y Kyriakopoulos, 2001). La selenoproteína P muestra una fuerte tendencia a unirse con metales pesados y ejerce un efecto protector contra la intoxicación de mercurio y plomo (Underwood y Suttle, 2003). La selenoproteína W contiene un gramo de selenio por cada mol de Se-Cys, pero su función sigue sin aclararse (Underwood y Suttle, 2003).

3.1. Manifestaciones clínicas de la deficiencia de selenio

3.1.1. Degeneración muscular

La distrofia muscular de origen nutritivo es una enfermedad degenerativa más que distrofia de los músculos estriados que se presenta, sin intervención neuronal, en diversas especies animales (Underwood y Suttle, 2003). La distrofia muscular (Enfermedad del músculo blanco o miopatía exudativa) afecta principalmente a corderos durante las primeras semanas de vida, debido a la gran demanda de selenio en la etapa de desarrollo muscular tras el nacimiento, momento en el que los procesos de replicación y crecimiento celular son muy intensos y se necesita una elevada actividad antioxidativa, y por otra parte la leche de ovejas es generalmente deficiente en selenio (López *et al.*, 1997). La distrofia muscular también afecta al ganado bovino y sobre todo a terneros durante los primeros meses de vida, siendo los individuos de aptitud cárnica los más predispuestos, ya que, en comparación con los de las razas lecheras, los

primeros presentan un crecimiento más rápido y, consecuentemente, también un mayor desarrollo de las fibras musculares (López *et al.*, 1997).

Las lesiones son provocadas por los radicales libres dañinos que se producen por peroxidación lipídica y que provocan degeneración hialina y calcificación de las fibras musculares, lo cual se manifiesta como un fallo muscular para atender las demandas funcionales, por lo que hay rigidez y dificultad en la locomoción (López *et al.*, 1997). Una característica muy común del músculo dañado es la calcificación debida probablemente a una sobrecarga de calcio mitocondrial por mala captación de calcio por parte de las vesículas del retículo sarcoplasmático (Underwood y Suttle, 2003). Los terneros afectados padecen rigidez muscular, arritmias, taquicardia y respiración abdominal (Hidiroglou *et al.*, 1985). Los corderos enfermos son reacios a moverse y muestran inconsistencia respiratoria; pierden condición corporal, aparecen postrados y generalmente mueren (Underwood y Suttle, 2003).

3.1.2. Alteraciones en la reproducción

La deficiencia de selenio provoca alteraciones en la reproducción como retenciones placentarias, infertilidad, absorciones embrionarias, nacimientos prematuros, crías nacidas débiles o muertas, quistes ováricos, metritis, concepciones retrasadas, estros erráticos o silenciosos y pobres tasas de fertilización (Dargatz y Ross, 1996). Eger *et al.* (1985) mostraron que una única inyección de 2.3 mg de selenio antes del parto reducía la incidencia de retención placentaria de 29 a 10.8%. Harrison *et al.* (1984) observaron

reducciones simultáneas de la incidencia de endometritis y ovarios císticos al suplementar con selenio. Mejoras en las tasas de concepción también han sido observadas (McClure *et al.*, 1986). En contraste, otros estudios no han encontrado mejoras en la función reproductiva al suplementar selenio en la dieta o inyectado en combinación con vitamina E (Kappel *et al.*, 1984; Pualalopes *et al.*, 2003). Alteraciones en la fertilidad masculina y reducciones en la viabilidad del semen en toros deficientes en selenio han sido detectadas (Slatewa *et al.*, 1988).

3.1.3. Resistencia a enfermedades

En numerosas especies estudiadas la deficiencia de selenio aparece asociada a una reducción de la función inmune (López *et al.*, 1997). En vacas con deficiencia de selenio se presenta una reducción de la actividad GSH-Px en las células fagocitarias, y también una disminución de la capacidad bactericida de los neutrófilos frente a distintos agentes etiológicos (Larsen *et al.*, 1988); lo que concuerda con Smith *et al.* (1997) quienes indican que la deficiencia de selenio afecta directamente la actividad destructora de los neutrófilos polimorfonucleares incrementando la acumulación de peróxido de hidrógeno por la disminución de glutatión peroxidasa en estas células fagocitarias.

La evidencia más convincente de que la deficiencia de selenio influye sobre la susceptibilidad a infecciones se relaciona con la mastitis en vacas lecheras, problema que ha sido disminuido con suplementos o inyecciones de selenio acompañado con vitamina E (Smith *et al.*, 1984; Gerloff, 1992). Se han

observado relaciones inversas entre el número de células somáticas en leche y la cantidad de glutatión peroxidasa en sangre (Erskine *et al.*, 1989b), así como una infección experimental de la ubre con *E. coli* produce mayores aumentos en el número de células de vacas jóvenes deficientes en selenio que en sus compañeras suplementadas (Erskine *et al.*, 1989a). Las respuestas debidas a la suplementación conjunta de selenio y vitamina E, como el descenso de la diarrea o mortalidad en terneros jóvenes, no pueden atribuirse únicamente al selenio (Spears *et al.*, 1986). Por otro lado, también hay evidencia de la carencia del efecto del selenio sobre la respuesta inmune en rumiantes para responder a infecciones virales en terneros (Reffett *et al.*, 1989).

3.2. Suplementación de selenio

Hasta antes de 1974, la FDA (Food and Drug Administration) prohibía la adición de suplementos de selenio a los animales. Sin embargo, debido a diversas investigaciones acerca de las funciones metabólicas y de las consecuencias de la deficiencia de selenio, la FDA aprobó en 1974 la suplementación de la dieta de 0.1 ppm de selenio para cerdos y pollos en crecimiento y de 0.2 ppm para pavos (Ullrey, 1992). Desde 1987, la FDA autorizó la suplementación de 0.3 ppm de selenio en la dieta de pollos, pavos, patos, cerdos, ovejas y bovinos (Ullrey, 1992). La regulación para la suplementación mineral en mezclas a libre acceso es de 120 ppm (sin exceder 3 mg/cabeza/día) para bovinos y de 90 ppm (sin exceder 0.70 mg/cabeza/día) para ovejas (FDA, 2005).

Las fuentes de suplementación de selenio actualmente en uso en los Estados Unidos son el selenito de sodio (Na_2SeO_3) y selenato de sodio (Na_2SeO_4), con levadura orgánica aprobada para algunas especies (McDowell *et al.*, 2002). La forma de selenato, la cual es menos usada comúnmente, ha sido considerada preferible por algunos porque la forma de selenito es más fácilmente reducido a selenio elemental menos disponible, el cual puede formar compuestos insolubles con otros metales. Otras fuentes de selenio suplemental incluyen selenito de calcio, óxido de selenio, y selenato de bario (McDowell *et al.*, 2002).

El producto de levadura orgánica tiene el potencial de ser una mejor fuente de selenio suplemental para todas las especies debido a su mayor disponibilidad (McDowell, 1997). En cerdos (Mahan, 2000) y bovinos (Ortman y Pehrson, 1999), el selenio orgánico incrementó el contenido de leche más que el selenio inorgánico. El selenio orgánico incremento el contenido de selenio en sangre, leche e hígado de dos a tres veces más que el selenio inorgánico (Knowles *et al.*, 1999). El selenio de levadura resultó en un incremento del 130% en leche comparada con el control, mientras que el incremento debido a selenito y selenato fue únicamente del 20% (Ortman y Pehrson, 1999). La FDA (2005) permite la adición de levadura de selenio en dietas completas para pollos, pavos, cerdos, y bovinos a un nivel no mayor de 0.3 partes por millón.

3.2.1. Métodos de suplementación de selenio para rumiantes en pastoreo

Los principales métodos para incrementar el consumo de selenio por el ganado en pastoreo incluyen: suplemento mineral de selenio a libre acceso o

adicionado a alimentos concentrados, fertilización con selenio, inyecciones de selenio, selenio en solución oral, selenio en el agua de bebida y selenio en pellets ruminales (McDowell *et al.*, 2002).

Soluciones acuosas de selenio han sido exitosamente usadas en forma de tomas orales periódicas o como inyecciones intramusculares o subcutáneas (McDowell *et al.*, 2002). Inyecciones subcutáneas directas, usualmente como selenito de sodio, o dosificaciones orales con este compuesto en dosis de 10 a 30 mg para bovinos y de 1 a 5 mg para ovejas son medios comunes para prevenir las enfermedades causadas por deficiencia en los animales (Underwood y Suttle, 2003). Las inyecciones de selenato de bario han demostrado tener un efecto de larga duración en rumiantes (Judson *et al.*, 1991). El selenato de bario en bolo o inyectado en forma subcutánea, mantuvo los niveles de selenio en sangre por al menos 200 semanas en ovejas y sus corderos (Judson *et al.*, 1991).

3.2.1.1. Bolos intra-ruminales

Las pequeñas cantidades de selenio que son requeridas por los animales hacen posible su administración mediante bolos. Kuchel y Buckley (1969) desarrollaron un bolo de selenio elemental, relleno de hierro que era lo suficientemente denso para permanecer en el rumen de los animales, donde lentamente dispensada selenio por períodos prolongados de tiempo. El uso de bolos intra-ruminales (similares a los que fueron desarrollados en un principio para proporcionar cobalto) constituidos por un 95% de hierro finamente dividido

y un 5% de selenio elemental, han demostrado liberar suficiente selenio para mantener unos niveles de selenio adecuados en sangre durante varios meses y prevenir la aparición de la enfermedad del músculo blanco (Underwood y Suttle, 2003).

Alternativas a los bolos de hierro fueron desarrollados posteriormente, incluyendo bolos de cristal soluble, los cuales algunas veces contienen otros nutrientes esenciales en adición al selenio (Moeini *et al.*, 1997; Black y French, 2004) y bombas osmóticas que pueden liberar selenio a una tasa de 3 mg por día (Campbell *et al.*, 1990). El uso de bolos de cristal soluble de liberación controlada conteniendo selenio, cinc y cobalto (Kendall *et al.*, 2001) y otros conteniendo selenio, cobre y cobalto (Kendall *et al.*, 1999) han sido exitosos para prevenir deficiencias de selenio.

Los bolos de selenio de liberación constante, controlada osmóticamente, son para uso exclusivo en ganado para carne y ganado lechero que tenga más de tres meses de edad o más de 90 kg (200 libras) de peso vivo. Cada bolo puede contener únicamente 360 mg de selenio como selenito de sodio y liberar 3 mg de selenio por día por 120 días, por lo que, el animal no debe recibir un segundo bolo en un período menor a los 120 días posterior a la última administración (FDA, 2005).

4. Cobre

La deficiencia de Cu resulta en diferentes disfunciones fisiológicas debido a que es un componente de varias enzimas importantes tales como la citocromo oxidasa, necesaria para el transporte de electrones durante la respiración aeróbica; lisil oxidasa, la cual cataliza la formación de desmosina necesaria para huesos fuertes y tejido conectivo; tirosinasa, necesaria para la producción de melanina; dismutasa superoxidasa, la cual protege a las células de efectos tóxicos de los metabolitos del oxígeno; y ceruloplasmina, la cual es esencial para la absorción y transporte de hierro necesario para la síntesis de hemoglobina (NRC, 2001). La susceptibilidad relativa de los diferentes procesos dependientes del cobre, y por lo tanto de sus manifestaciones de deficiencia varían con la especie animal y el grado de desarrollo de estas disfunciones (Underwood y Suttle, 2003). Algunas de las manifestaciones clínicas de la deficiencia del cobre son: anemia, alteraciones óseas, alteraciones del tejido conectivo, ataxia de los recién nacidos, alteraciones cardiovasculares, despigmentación, queratinización deficiente de lana y pelo, diarrea, infertilidad, susceptibilidad a infecciones y retraso en el crecimiento (Underwood y Suttle, 2003).

4.1. Suplementación oral de cobre de liberación controlada

Una alternativa a la suplementación de cobre vía sal en la dieta es la administración intra-ruminal de bolos de óxido de cobre (Arthington, 2005). Cápsulas con alambre de óxido de cobre administradas mediante una pistola dosificadora evitan reacciones tisulares; estas partículas quedan retenidas en el

abomaso donde el cobre va liberándose durante un periodo de varias semanas (Underwood y Suttle, 2003). El establecimiento de las partículas no causa ningún daño al abomaso (Judson *et al.*, 1982).

4.2. Establecimiento de las partículas de óxido de cobre

Langlands *et al.* (1986) demostraron que las partículas de óxido de cobre contenidas a nivel del rumen eran ineficientes, para la liberación de cobre a las 6 semanas de permanencia; por lo que requerían pasar al abomaso para ser absorbidas. Deland *et al.* (1986) encontraron que a tres meses de la suplementación de 50 g de alambre de óxido de cobre a vacas, permanecían un total de 4.02 g del alambre, repartido de la siguiente manera: 0.79 g en el rumen, 1.24 g en el retículo, 0.12 g en el omaso y 1.87 g en el abomaso. Suttle (1981) señala que los bovinos utilizan el cobre del alambre de óxido de cobre más lento que las ovejas; lo que indica que el alambre de óxido de cobre puede ser retenido primeramente en el retículo-rumen de los bovinos hasta 15 días después de la dosificación.

4.3. Forma de liberación del cobre

Al llegar las partículas de óxido de cobre al rumen, se alojan en los pliegues, cubriéndose rápidamente, formando un sulfito cúprico insoluble. Al llegar estas partículas al abomaso, donde el ambiente es ácido, se causa la disolución del óxido cúprico. Esta disolución entra en la circulación sistémica y se almacena en el hígado, formando cobre hepático que posteriormente se encuentra disponible para el gasto metabólico por un periodo de tiempo más largo

(CSIRO, 1978). Se ha demostrado que la tasa de excreción de cobre de las partículas de óxido de cobre es de aproximadamente de 0.2 g día^{-1} , lo cual permite la absorción segura sin originar toxicidad en el animal (CSIRO, 1978).

4.4. Tamaño de las partículas de óxido de cobre

En diferentes trabajos se han usado trozos de alambre de óxido de cobre con longitudes, masa y gravedad específica variables para comprobar la eficacia y seguridad de las partículas de óxido de cobre (Judson *et al.*, 1983; Judson *et al.*, 1984; Suttle, 1987). La longitud variaba de 2.1 a 7 mm porque se pensaba que el tamaño afectaría el tiempo de permanencia de las partículas en el abomaso, lo que causaría variación en términos de almacenamiento de cobre en el hígado. Judson *et al.* (1984) encontraron que la composición física y química de las partículas de óxido de cobre influyen su efectividad para incrementar los almacenes de cobre en hígado en ovejas. Estos autores encontraron que el almacenamiento de cobre en el hígado era mayor en ovejas tratadas con partículas de óxido de cobre menores a 5 mm de longitud por aproximadamente 1 mm de diámetro. Sin embargo, Suttle (1987) reporta que la forma y tamaño de las partículas no afectaron su retención en el tracto digestivo o la acumulación de cobre en el hígado.

4.5. Dosificación

Distintas dosis de alambre de óxido de cobre han sido proporcionadas a ganado bovino como fuente de cobre suplementario. En diferentes trabajos se reportan dosis de alambre de óxido de cobre (80% de cobre) que van desde 5 a 60 g

para animales de diferente sexo, estado fisiológico (becerros, toros, vaquillas, vacas) y peso vivo; estas dosificaciones corresponden a valores que van de 2.3 a 16 g de alambre de óxido de cobre por cada 100 kg de peso vivo del animal, todos con distintos efectos sobre la concentración de cobre en sangre e hígado de los animales (Suttle, 1981; MacPherson, 1984; Whitelaw *et al.*, 1984; Richards *et al.*, 1985; Suttle, 1987; Arthington, 2005).

Whitelaw *et al.* (1984) demostraron que una dosis de 20 g de alambre de óxido de cobre administrada a ganado de 190 kg (10.5 g/100 kg PV) es efectiva para prevenir retrasos en el crecimiento e hipocupremia severa presentados en grupos de animales no tratados. Richards *et al.* (1985) indican que 24 g de alambre de óxido de cobre proporcionados a becerros de 214 kg de peso vivo (11 g/100 kg PV) llevan a concentraciones adecuadas pero no excesivas de cobre en hígado. Suttle (1987) reporta que 40 g de alambre de óxido de cobre incrementan el almacén de cobre en hígado en becerros de 220 kg de peso vivo (18 g/100 kg PV); sin embargo, señala que estos resultados no fueron más efectivos que los que se obtuvieron con una dosis de 20 g (9 g/100 kg PV). MacPherson (1984) encontró que vacas suplementadas con 20 g de alambre de óxido de cobre mantuvieron una concentración adecuada de cobre en plasma por 330 días, las suplementadas con 40 g la mantuvieron por 360 días y las suplementadas con 60 g por 396 días; por lo que hubo únicamente dos meses de ventaja por el incremento en la dosis de 20 a 60 g de alambre de óxido de cobre. Este autor indica que por lo tanto no existe razón para suplementar a las vacas con más de 20 g de alambre de óxido de cobre.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los trabajos anteriores (MacPherson, 1984; Whitelaw *et al.*, 1984; Richards *et al.*, 1985; Suttle, 1987) se puede establecer que 10 g de alambre de óxido de cobre por cada 100 kg de peso vivo del animal son adecuados para mantener niveles adecuados de cobre en plasma sanguíneo e hígado.

Los bolos de óxido de cobre son efectivos para incrementar rápidamente los almacenes de cobre hepático en el ganado (Yost *et al.*, 2002). En contraparte, en un estudio realizado en dos ranchos comerciales de ganado para carne, los becerros tuvieron bajo peso al destete cuando se les administraron bolos de óxido de cobre (Arthington, *et al.*, 1995). En otros estudios, también se ha diagnosticado la toxicidad de cobre en becerros de hatos para carne que recibieron bolos de óxido de cobre (Hamar *et al.*, 1997; Steffen *et al.*, 1997). En el estudio de Hamar *et al.* (1997) los becerros que murieron por toxicidad de cobre tuvieron concentraciones hepáticas de cobre de 474 a 6, 370 ppm, en base seca.

5. Literatura citada

- Arthington, J. D. 2005. Effects of copper oxide bolus administration or high-level copper supplementation on forage utilization and copper status in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 83:2894-2900.
- Arthington, J. D., R. L. Larson, and L. R. Corah. 1995. The effects of slow-release copper boluses on cow reproductive performance and calf growth. *Prof. Anim. Sci.* 11:219-222.

- Arthur, J. R., and G. J. Beckett. 1994. New metabolic roles for selenium. *Proceedings of the Nutrition Society*. 53:615-624.
- 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. *J. Dairy Sci.* 81:1089-1094.
- Behne, D., and A. Kyriakopoulos. 2001. Mammalian selenium-containing proteins. *Annu. Rev. Nutr.* 21:453-473.
- Black, D. H., and N. P. French. 2004. Effects of three types of trace element supplementation on the fertility of three commercial dairy herds. *Vet. Rec.* 154:652-658.
- Bramley, R. G. V. 1990. Cadmium in New Zealand agriculture. *New Zealand J. Agric. Res.* 33:505-519.
- Campbell, D. T., J. Maas, D. W. Weber, O. R. Hedstrom, and B. B. Norman. 1990. Safety and efficacy of two sustained-release intra-reticular selenium supplements and the associated placental and colostrums transfer of selenium in beef cattle. *Am. J. Vet. Res.* 51(5):813-817.
- Claypool, D. W., F.W. Adams, H. W. Pendell, N. A. Hartmann, Jr., and J. F. Bone. 1975. Relationship between the level of copper in the blood plasma and liver of cattle. *J. Anim. Sci.* 41:911-914.
- CSIRO. 1978. Treating Copper Deficiency in Ruminants. Australian PATENT 520,498.
- 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 J. Agric. Res.* 28:167-176.

- Dargatz, D. A., and P. F. Ross. 1996. Blood selenium concentrations in cows and heifers on 253 cow-calf operations in 18 states. J. Anim. Sci. 74:2891-2895.
- Deland, M. P., D. D. Lewis, R. P. Cunningham, and W. D. Dewey. 1986. Use of orally administered oxidized copper wire particles for copper therapy in cattle. Aust. Vet. J. 63:1-3.
- Eger, S., D. Drori, I. Kadoori, K. N. Miller, and H. Schindler. 1985. Effects of selenium and vitamin E on incidence of retained placenta. J. Dairy Sci. 68:2119-2122.
- 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. J. Anim. Sci. 75:3074-3081.
- Erskine, R. J., R. J. Eberhart, and L. J. Hutchinson. 1989b. Blood selenium concentrations and glutathione peroxidase activities in dairy heifers with high and low somatic cell counts. J. Amer. Vet. Med. Assoc. 190:1417-1421.
- Erskine, R. J., R. J. Eberhart, P. J. Grasso, and R. W. Scholz. 1989a. Induction of *Escherichia coli* mastitis in cows fed selenium-deficient or selenium-supplemented diets. Amer. J. Vet. Res. 60:2093-2100.
- Etzel, K. R., M. R. Swerdel, J. N. Swerdel, and R. J. Cousins. 1982. Endotoxin-induced changes in copper and zinc metabolism in the Syrian hamster. J. Nutr. 112:2363-2373.
- FDA. 2005. Food additives permitted in feed and drinking water of animals. Code of Federal Regulations. Title 21, Volume 6. Sec. 573.920 selenium.

- Gerloff, B. J. Effect of selenium supplementation on dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 70:3934-3940.
- 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 J. Agric. Res.* 39: 325-331.
- Hamar, D. W., C. L. Bedwell, J. L. Johnson, P. C. Schultheiss, M. Raisbeck, D. M. Grotelueschen, E. S. Williams, D. O'Toole, R. J. Paumer, M. G. Vickers, and T. J. Graham. 1997. Latrogenic copper toxicosis induced by administering copper oxide boluses to neonatal calves. *J. Vet. Diagn. Invest.* 9:441-443.
- Harrison, J. H., D. D. Hancock, and H. R. Conrad. 1984. Vitamin E and selenium utilization by the non-lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* 67:219-223.
- Healy, W. B., P. C. Rankin, and H. M. Watts. 1974. Effect of soil contamination on the element composition of herbage. *New Zealand J. Agric. Res.* 17:59-61.
- Hidiroglou, M., J. Proulx, and J. Jolette. 1985. Intraruminal selenium for control of nutritional muscular dystrophy in the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 64:57-66.
- Hopkins, A., A. H. Adamson, and P. J. Bowling. 1994. Response of permanent and reseeded grassland to fertilizer nitrogen. 2. Effects on concentrations of Ca, Mg, Na, K, S, P, Mn, Zn, Cu, Co and Mo in herbage at a range of sites. *Grass and Forage Science.* 49:9-20.
- Huerta B., M. 1997. Nutrición mineral de rumiantes en pastoreo. *Memorias del curso "Alternativas de manejo de bovinos para carne en pastoreo"*. Chapingo, México. pp: 19-72.

- Huerta B., M. 1999. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. Memorias II seminario internacional: Estrategias de suplementación a bovinos en pastoreo. Chapingo, México. 28 y 29 de octubre. pp: 153-184.
- Johnson, M. A. 1990. Iron: nutrition monitoring and nutrition status assessment. J. Nutr. 120:1486-1491.
- Judson, G. J., L. C. Trengove, W. M. Langman, and R. Vandergraaff. 1984. Copper supplementation in sheep. Aust. Vet. J. 61: 40-43.
- Judson, G. J., R. Vandergraaff, W. S. Inglis, and D. L. McLaren. 1983. Oxidised copper wire particles as an oral copper supplement for sheep. Agric. Rec. 10:12-14.
- Judson, G. J., T. H. Brwon, D. Gray, D. W. Dewey, J. B. Edwards, and J. D. McFarlane. 1982. Oxidized copper wire particles for copper therapy in sheep. Aust. J. Agric. Res. 33:1073-1083.
- Judson, G. H., N. F. Ellis, B. R. Kempe, and M. Shallow. 1991. Long-acting selenium treatment for sheep. Aust. Vet. J. 68:263-265.
- Kappel, L. C., R. H. Ingraham, E. B. Morgan, J. M. Dixon, L. Zeringue, D. Wilson, and D. K. Babcock. 1984. Selenium concentrations in feeds and effects of treating pregnant Holstein cows with selenium and vitamin E on blood selenium values and reproductive performance. Am. J. Vet. Res. 45:691-694.
- Kendall, N. R., D. W. Jackson, A. M. Mackenzie, D. V. Illingworth, I. M. Gill, and S. B. Telfer. 2001. The effect of a zinc, cobalt and selenium soluble glass

- bolus on the trace element status of extensively grazed sheep over winter. *Anim. Sci.* 73: 163-169
- Kendall, N. R., N. C. Farrar, D. V. Illingworth, D. W. Jackson, and S. B. Telfer. 1999. The use of a soluble glass copper, cobalt and selenium bolus to supply selenium to sheep. *Proceedings of the British Society of Animal Science.* pp: 99.
- Kiatoko, M., L. R. McDowell, J. E. Bertrand, H. C. Chapman, F. M. Pete, F. G. Matirn, 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. *J. Anim. Sci.* 55:28-47.
- Kincaid R. L. 1995. The biological basis for selenium requirements of animals. *Prof. Anim. Sci.* 11:26-29.
- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. *Proceedings of the American Society of Animal Science.* <http://www.asas.org/JAS/symposia/proceedings/0930.pdf> (Consultado el 10 de diciembre de 2005)
- 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. *J. Dairy Sci.* 82:429-437.
- Kuchel, R. E., and R. A. Buckley. 1969. The provision of Se to sheep by means of heavy pellets. *Aust. J. Agric. Res.* 20:1099-1107.
- Langlands, J. P., E. J. Bowles, E. G. Donald, and J. A. Smith. 1986. Trace element nutrition of grazing ruminants. I. Degree of oxidation, frequency

- of dosing and location in the gastro-intestinal tract as factors affecting the ability of oxidized copper wire to promote hepatic copper storage. *Aust. J. Agric. Res.* 37:179-188.
- Larsen, H. J., K. Moksnes, and G. Overnes. 1988. Influence of selenium on antibody production in sheep. *Res. Vet. Sci.* 45:4-10.
- López A., M., M. Miranda, J. Hernández, C. Castillo, and J. L. Benedito. 1997. Glutathión peroxidasa (GSH-Px) en las patologías asociadas a deficiencias de selenio en rumiantes. *Arch. Med. Vet.* 29:171-180.
- Maas, J., D. Galey, J. R. Peauroi, J. T. Case, E. S. Littlefield, C. C. Gay, L. D. Koller, R. O. Crisman, D. W. Weber, D. W. Warner, and M. L. Tracy. 1992. The correlation between serum selenium and blood selenium in cattle. *J. Vet. Diag. Invest.* 4:48-52.
- MacPherson, A. 1984. Long term effectiveness of graded doses of copper oxide needles in suckler cows. *Vet. Rec.* 115:354-355.
- Mahan, D. D. 2000. Effect of organic and inorganic selenium sources and levels on sow colostrum and milk selenium content. *J. Anim. Sci.* 78:100-105.
- McClure, T. J., G. J. Eamens, and P. J. Healy. 1986. Improved fertility in dairy cows after treatment with selenium pellets. *Aust. Vet. J.* 63:144-146.
- 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: 339-357.
- McDowell, L. R. 1997. Trace element supplementation in Latin America and the potential for organic selenium. *Proc. Alltech's 13th Annual Biotechnology in the Feed Industry.* pp: 45 (Abstract).

- McDowell, L. R., J. H. Conrad, and G. L. Ellis. 1984. Mineral deficiencies and imbalances and their diagnosis. Proc. Herbivore nutrition in the sub-tropics and tropics – problems and prospects. Pretoria. South Africa. pp: 67-88.
- 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. Mem. 23 Reunión Anual Asoc. Lat. Prod. Anim. 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, L. R., G. Valle, L. Cristaldi, P. A. Davis, O. Rosendo, and N. S. Wilkinson. 2002. Selenium availability and methods of selenium supplementation for grazing ruminants. Proceedings 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. pp: 86-102.
- Miller, W. J. 1975. New concepts and developments in metabolism and homeostasis of inorganic elements in dairy cattle. A review. J. Dairy Sci. 58:1549-1560.
- Mills, C. F. 1987. Biochemical and physiological indicators of mineral status in animals: copper, cobalt and zinc. J. Anim. Sci. 65:1702-1711.
- Minson, D. J. 1990. Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press, Inc. San Diego, California. 483 p.
- Moeini, M. M., A. M. Mackenzie, and S. B. Telfer. 1997. Effect of Cosecure® on the fertility and trace element status of dairy cattle. Proceedings of the British Society of Animal Science. pp: 192.

- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th revised edition. National Academy Press. Washington, D. C. 381 p.
- Ortman, K., and B. Pehrson. 1999. Effect of selenate as feed supplement to dairy cows in comparison to selenite and selenium yeast. J. Anim. Sci. 77:3365-3370.
- Paula-Lopes, F. F., Y. M. Al-Katanani, A. C. Majewski, L. R. McDowell, and P. J. Hansen. 2003. Manipulation of antioxidant status fails to improve fertility of lactating cows or survival of heat-shocked embryos. J. Dairy Sci. 86:2343-2351.
- Reffett, J. K., J. W. Spears, and T. T. Brown. 1988. Effect of dietary selenium and vitamin E on the primary and secondary immune response in lambs challenged with parainfluenza virus. J. Anim. Sci. 66:1520-1528.
- Richards, D. H., G. R. Hewett, J. M. Parry, and G. H. Yeoman. 1985. Bovine copper deficiency: Use of copper oxide needles. Vet. Rec. 116:618-619.
- 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. J. Anim. Sci. 74:1047-1055.
- Slatewa, R., W. Wasowicz, and T. Laskowska. 1988. Selenium content, glutathione peroxidase activity and lipid peroxide level in fresh bull semen and its relationship to motility of spermatozoa after freezing and thawing. J. Vet. Med., Anim. Phys., Path. And Clin. Vet. Med. 35:455-460.
- Small, J. A. 1997. Serum mineral concentrations in relation to parturition in beef heifers and cows fed conserved forage. Can. J. Anim. Sci. 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. *Can. J. Anim. Sci.* 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. *Can. J. Anim. Sci.* 66:669-680.
- Smith, K. L., J. H. Harrison, and D. D. Hancock. 1984. Effect of vitamin E and selenium supplementation on incidence of clinical mastitis and duration of clinical symptoms. *J. Dairy Sci.* 67:1293-1300.
- Smith, K. L., J. S. Hogan, and W. P. Weiss. 1997. Dietary vitamin E and selenium affect mastitis and milk quality. *J. Anim. Sci.* 75:1659-1665.
- Spears, J. W., R. W. Harvey, and E. C. Segerson. Effects of marginal selenium deficiency and winter protein supplementation on growth, reproduction and selenium status of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 63:586-594.
- Steffen, D. J., M. P. Carlson, and H. H. Casper. 1997. Copper toxicosis in suckling beef calves associated with improper administration of copper oxide boluses. *J. Vet. Diagn. Invest.* 9:443-446.
- Stowe, H. D., and T. H. Herdt. 1992. Clinical assessment of selenium status of livestock. *J. Anim. Sci.* 70:3928-3933.
- Suttle, N. F. 1981. Effectiveness of orally administered cupric oxide needles in alleviating hypocupraemia in sheep and cattle. *Vet. Rec.* 108:417-420.
- Suttle, N. F. 1987. Safety and effectiveness of cupric oxide particles for increasing liver copper stores in cattle. *Res. Vet. Sci.* 42:224-227.

- Suttle, N. F., B. J. Alloway, and I. Thornton. 1975. An effect of soil ingestion on the utilization of dietary copper by sheep. *J. Agric. Sci.* 84:249-254.
- Ullrey, D. E. 1992. Basis for regulation of selenium supplements in animal diets. *J. Anim. Sci.* 70:3922-3927.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*. CABI. Publishing 3rd edition. London, England. pp: 185-212.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 2003. *Los Minerales en la Nutrición del Ganado*. 3^a Ed. Editorial ACRIBIA, S. A. Zaragoza, España. 637 p.
- Waldner, C., J. Campbell, G. K. Jim, P. T. Gulchon, and C. Booker. 1998. Comparison of 3 methods of selenium assessment in cattle. *Can. Vet. J.* 39:225-231.
- 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. *J. Anim. Sci.* 72:2681-2689.
- Whitelaw, A., A. R. Fawcett, and A. J. Macdonald. 1984. Cupric oxide needles in the prevention of bovine hypocuprosis. *Vet. Rec.* 115:357.
- Woolliams, J. A., G. Wiener, C. Woolliams, and N. F. Suttle. 1985. Retention of copper in the liver of sheep genetically selected for high and low concentrations of copper in plasma. *Anim. Prod.* 41:219-226.
- Wright, D. E., N. R. Towers, P. B. Hamilton, and D. P. Sinclair. 1978. Intake of zinc sulphate in drinking water by grazing beef cattle. *New Zealand J. Agric. Res.* 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. *J. Dairy .*

Sci. 76:2711-2716.

Yost, G. P., J. D. Arthington, L. R. McDowell, F. G. Martin, N. S. Wilkinson, and C. K. Swenson. 2002. Effect of copper source and level on the copper status of Holstein heifers receiving high doses of zinc. *Int. J. Anim. Sci.* 17:33–38.

**CARACTERIZACIÓN MINERAL DE GANADO BOVINO EN JUAN
RODRÍGUEZ CLARA, VERACRUZ, MÉXICO¹**

¹ Martínez Cuevas, E., M. Huerta Bravo, J. G. García Muñiz y R. Ramírez Valverde

Resumen

El objetivo de este estudio fue determinar la concentración mineral en forraje, suelo, agua de bebida y plasma sanguíneo de vacas y crías, en cinco explotaciones de ganado bovino de doble propósito en el estado de Veracruz, México. Los minerales determinados en plasma sanguíneo fueron Zn, P, Ca, Mg, Na, K, Cu y Fe. En forraje y suelo se incluyó además la determinación de Mn y para el agua de bebida sólo se determinaron Zn, P, Ca, Mg, Na y K. El contenido mineral en plasma sanguíneo fue analizado con un modelo lineal generalizado que incluyó los efectos fijos de rancho, tipo de animal y su interacción. Para la concentración de minerales en forraje, suelo y agua, el modelo sólo incluyó el efecto de rancho. La concentración mineral en agua de bebida no difirió entre ranchos. Las concentraciones de Cu, Mn, Ca y Mg en suelo y las de Mn, Zn, P y la relación Ca:P en forraje fueron diferentes ($P < 0.05$) entre ranchos. Los contenidos de Cu, Fe, P, Ca, Na, K, y la relación Ca:P en plasma sanguíneo dependieron ($P < 0.05$) de la interacción rancho por tipo de animal. Las concentraciones de Ca y P en forraje fueron adecuadas para el nivel de producción de leche de las vacas del estudio. Las concentraciones de Fe, Mn, Mg y K en forraje y suero sanguíneo fueron adecuadas. Sin embargo, las concentraciones de Cu y Na en suelo, forraje y plasma sanguíneo estuvieron por debajo de los niveles críticos. Además el Zn también fue deficiente en suelo y forraje. Por lo anterior, se recomienda la suplementación de Cu, Na y Zn a los animales de estos ranchos.

Palabras clave: bovinos doble propósito, estatus mineral, pastos tropicales.

**MINERAL CHARACTERIZATION OF CATTLE IN JUAN RODRÍGUEZ
CLARA, VERACRUZ, MEXICO**

Abstract

Objective of this study was to determine the mineral content of pasture, soil, drinking water, and blood plasma samples from cows and calves taken from five farms of dual purpose cattle from the state of Veracruz, México. Minerals determined in blood plasma samples were Zn, P, Ca, Mg, Na, K, Cu, and Fe. The same minerals, plus Mn, were determined for both pasture and soil samples. For drinking water, the concentrations of Zn, P, Ca, Mg, Na, K were determined. The mineral content of plasma blood samples was analyzed with a general linear model including the fixed effects of farm, animal type, and their interaction. A model including only the effect of farm was fit to analyze the mineral content of soil and pasture samples. The mineral content of drinking water did not differ between farms. The concentrations of Cu, Mn, Ca, and Mg in soil samples, and those of Mn, Zn, P, and the ratio Ca:P in pasture samples differed ($P < 0.05$) between farms. Concentrations of Cu, Fe, P, Ca, Na, K, and the ratio Ca:P in blood plasma samples depended ($P < 0.05$) on the farm by animal type interaction. The concentrations of Ca and P in pasture were adequate for the level of milk production of the cows used in this experiment. The concentrations of Fe, Mn, Mg, and K in both pasture and blood plasma samples were adequate. However, the concentrations of Cu, and Na in soil, pasture and blood plasma samples were below critical limits. Additionally, Zn was also deficient in soil and pasture samples. Therefore, it is recommended to supplement Cu, Na, and Zn to cattle from these farms.

Key words: dual purpose cattle, mineral status, tropical pastures.

Introducción

Los sistemas de producción de bovinos de doble propósito existentes en México, se caracterizan por depender básicamente del consumo de forraje en condiciones extensivas para satisfacer sus necesidades alimenticias, y es en estos sistemas donde ocurren más frecuentemente las deficiencias minerales, debido a las limitaciones en el uso de suplementos (Kendall *et al.*, 2001). Las deficiencias de minerales pueden ocurrir como resultado de una deficiencia primaria cuando el consumo del mineral es inadecuado o como una deficiencia secundaria cuando otros factores en la dieta interfieren con su absorción y/o su metabolismo (Olson *et al.*, 1999). Estas deficiencias tienen efectos importantes en la reproducción, salud y producción, conduciendo a tasas pobres de crecimiento e incrementos en la mortalidad (Underwood, 1981).

La nutrición mineral adecuada es fundamental para que el ganado manifieste su potencial productivo, ya que los minerales son necesarios para transformar la proteína y la energía de los alimentos en componentes del organismo o de los productos animales como leche, carne, crías, etc., además de ayudar al organismo a combatir las enfermedades y mantener la salud (Huerta, 1997). De tal manera que se han observado producciones bajas a pesar de la abundancia de alimentos, lo que ha sugerido que los desbalances minerales (deficiencias o excesos) en suelos o forrajes pueden ser responsables de la baja producción y problemas reproductivos de los rumiantes en pastoreo en los trópicos (McDowell *et al.*, 1984).

El estado mineral de los rumiantes depende de las características del suelo, especie forrajera, animal explotado y prácticas de manejo de los forrajes y animales. Huerta (1999) menciona que un diagnóstico apropiado del estado mineral comprende la determinación de la composición mineral de las fuentes que el animal consume o que influyen sobre su composición: suelo, agua y alimentos; además de signos clínicos, contenido mineral o actividad enzimática en tejidos o fluidos del animal, y la suplementación para corregir las deficiencias minerales. Huerta (1997) menciona que la respuesta promedio a la suplementación mineral es de 45% de incremento en la ganancia de peso y de 7 a 37% en la tasa de pariciones, considerando un consumo de suplemento de 75 g/animal/día; lo que evidencia la rentabilidad de la suplementación mineral en las explotaciones pecuarias.

El diseño de un esquema de suplementación, para corregir deficiencias minerales y obtener las mejores respuestas en la productividad y salud de los animales, debe estar basado en un diagnóstico del estado mineral. Deben ser suplementados sólo aquellos minerales que no cubran el requerimiento de los animales, ya que al suplementar aquellos que se encuentren por arriba del requerimiento se podría agravar la deficiencia de los que se encuentren en bajas concentraciones. Debido a lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo determinar la concentración mineral en forraje, suelo, agua de bebida y plasma sanguíneo de vacas y crías, en cinco explotaciones de ganado bovino de doble propósito en el estado de Veracruz, México.

Materiales y métodos

Localización

La investigación se realizó en cinco ranchos de doble propósito, localizados en el municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz, el cual se encuentra a una altitud de 148 m, 18°00' latitud norte y 95°24' longitud oeste. El clima de la región es cálido subhúmedo, intermedio entre el más seco y el más húmedo de los subhúmedos, lluvias en verano y presencia de una ligera canícula, con una temperatura media anual de 26 °C y una precipitación de 1367 mm anuales, caracterizando así un clima tipo Aw de acuerdo al sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1988). Los análisis de laboratorio realizados a las muestras de sangre, forraje, suelo y agua tomadas en dichos ranchos se llevó acabo en el laboratorio de Nutrición de Rumiantes del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

Animales y alimentación

Se utilizaron 100 animales en dos tipos (50 vientres y 50 crías), de la cruce comercial entre las razas Cebú y Suizo, provenientes de cinco explotaciones de doble propósito (10 vientres y 10 crías por rancho). El ganado se manejó en condiciones extensivas de pastoreo y suplementación esporádica con sales minerales comerciales, proporcionándoles agua corriente de arroyo a libre acceso. Los pastos predominantes disponibles en los ranchos fueron *Brachiaria brizantha* (insurgente), *Brachiaria decumbens* (señal), y *Panicum maximum* (pasto privilegio), mismos que recibieron un manejo mínimo para control de malezas y ningún tipo de fertilización.

Metodología experimental y época del diagnóstico mineral

El estudio mineral se realizó en el mes de enero del año 2004. Se realizó un muestreo de sangre en el ganado, además de tomarse muestras de forraje, suelo y agua en las cinco explotaciones.

Las muestras de sangre se obtuvieron de la vena yugular por punción directa, en tubos vacutainer con anticoagulante EDTA, anotando la identificación del animal. Posteriormente se centrifugaron a 2500 rpm para separar el plasma, el cual se conservó en refrigeración en tubos de vidrio esterilizados hasta el momento del análisis.

Se colectaron muestras de las especies forrajeras predominantes en los cinco ranchos, simulándose las partes de la planta que el animal consume; es decir, el forraje que el animal selecciona durante el pastoreo. Las muestras fueron manejadas según los estándares recomendados (Fick *et al.*, 1979). Las muestras secas se molieron en un molino tipo Wiley a través de una criba de acero inoxidable de 2 mm. Además se tomaron muestras de suelo y agua de cada uno de los ranchos. La colecta de suelo se realizó en los mismos lugares donde se obtuvieron las muestras de forraje, colectando cuatro muestras por rancho. Las muestras se tomaron a una profundidad de 0 a 15 cm, con la ayuda de un muestreador de suelo y posteriormente fueron secadas a 55 °C por 48 horas. Las muestras de agua se tomaron directamente del lugar donde el animal tenía acceso a ella.

Análisis de laboratorio

En plasma sanguíneo forraje y agua se determinó fósforo mediante colorimetría utilizando un espectrofotómetro UV/VIS PERLIN ELMER® Lambda 2. En plasma sanguíneo, los elementos calcio, magnesio, sodio, potasio, cinc, cobre y hierro se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica utilizando un aparato PERKIN ELMER® 4000 (Perkin-Elmer, 1976; Fick *et al.*, 1979). Además, se incluyó manganeso en las muestras de forraje, determinado por la misma técnica de espectrofotometría de absorción atómica. En agua se determinaron también las concentraciones de fósforo, calcio, magnesio, sodio, potasio y cinc.

En el suelo se realizaron las mismas determinaciones que para el caso del forraje. El contenido de fósforo se determinó por colorimetría mediante el procedimiento Bray P-1. Los minerales calcio, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro, cinc y manganeso fueron extraídos por medio de una mezcla ácida 0.075 N y cuantificados por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin-Elmer, 1976; Fick *et al.*, 1979).

Variables de respuesta

Las variables de respuesta fueron la concentración mineral de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cinc, cobre y hierro en las muestras de plasma sanguíneo, incluyéndose además manganeso en las muestras de forraje y suelo. Para el caso del agua sólo se determinaron las concentraciones de los primeros seis minerales antes mencionados.

Análisis estadístico

Las concentraciones minerales en plasma sanguíneo, forraje, suelo y agua se analizaron por separado. El análisis estadístico se realizó mediante el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (1999), utilizando un modelo que incluyó los efectos de rancho, tipo de animal y su interacción para el plasma sanguíneo, y sólo el efecto de rancho en el caso del forraje, suelo y agua. Los modelos estadísticos fueron los siguientes:

Para plasma sanguíneo:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + E_j + (R \cdot E)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta, μ = media general, R_i = efecto del i-ésimo rancho ($i = 1, 2, 3, 4, 5$), E_j = efecto del j-ésimo tipo de animal ($j = \text{vacas, crías}$), $(R \cdot E)_{ij}$ = efecto de la ij-ésima interacción rancho por tipo de animal, y $\varepsilon_{ijk} = \text{error aleatorio} \sim \text{NIID}(0, \sigma_e^2)$.

Para forraje, suelo y agua:

$$Y_{ij} = \mu + R_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta, μ = media general, R_i = efecto del i-ésimo rancho ($i = 1, 2, 3, 4, 5$), y $\varepsilon_{ij} = \text{error aleatorio} \sim \text{NIID}(0, \sigma_e^2)$.

Resultados y discusión

Concentración mineral en agua

Las concentraciones de los minerales determinados en el agua de bebida se presentan en el Cuadro 1. Ninguno de los minerales estudiados presentó diferencia ($P>0.05$) a través de los ranchos.

Cuadro 1. Concentración mineral en agua (medias de cuadrados mínimos) y significancia (probabilidad) de las diferencias entre cinco ranchos de Juan Rodríguez Clara, Veracruz

Minerales	Rancho					EEM ¹	Pr > F
	1	2	3	4	5		
	mg L ⁻¹						
Zn	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.006	0.269
Ca	8.7	6.5	5.3	9.8	9.8	1.7	0.310
Mg	8.0	8.4	6.5	9.4	9.6	10.7	0.051
Na	9.0	5.8	8.2	8.9	7.6	1.3	0.448
K	3.2	3.0	3.8	2.9	2.8	0.65	0.855
P	5.4	5.3	1.6	6.0	6.0	2.4	0.679

¹EEM = Error estándar de la media

Todos los minerales esenciales en la nutrición animal se encuentran presentes en el agua. Normalmente la concentración de éstos no cubren los requerimientos diarios (Shirley y Montesinos, 1978). El NRC (2001) menciona que no hay estudios de problemas asociados al 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 del ganado tiene concentraciones elevadas de Mn, Fe, Zn, Na, Cl y Mg en 45, 41, 30, 20, 13 y 8%, respectivamente, de 3651 muestras de aguas evaluadas.

En los cinco ranchos los niveles de Zn, Ca, Mg, Na y K se encuentran por debajo de las concentraciones típicas en agua; sin embargo, el nivel de P no solamente es superior a la concentración típica, sino que además se encuentra por arriba del nivel máximo tolerable para el ganado en todos los ranchos (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 2. Concentraciones típicas de minerales en agua y niveles máximos tolerables por el ganado

Minerales	Concentración típica ¹	Nivel máximo tolerable ²
	 mg L ⁻¹	
Zn	0.05	<5
Ca	57.0	<1000
Mg	14.3	<1000
Na	55.0	<800
K	4.3	<20
P	0.09	<0.7

¹Shirley y Montesinos (1978)

²Puls (1988)

En promedio los ranchos presentan concentraciones de Ca, Mg, Na y K en el agua de bebida 6.1, 0.7, 6.0 y 0.4 veces menos, respectivamente, en relación a la concentración típica en el agua reportada por Shirley y Montesinos (1978), lo que significa que el agua de estos ranchos no representa una fuente importante de minerales para los animales del estudio. Por otro lado, el nivel de P se encuentra en promedio 5.9 veces más elevado que el nivel máximo tolerable en el agua para el ganado (Puls, 1988), aunque el aporte de P por el agua es

mínimo en relación a los requerimientos del animal, y puede verse compensado por deficiencias en el forraje de este mineral.

Concentración mineral en suelo

Las concentraciones minerales de los suelos de los cinco ranchos de Juan Rodríguez Clara, Veracruz, se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Concentración mineral en suelos (medias de cuadrados mínimos) y significancia (probabilidad) de las diferencias entre cinco ranchos de Juan Rodríguez Clara, Veracruz

Minerales	Rancho ¹					EEM ²	Pr > F	Nivel mín. ³
	1	2	3	4	5			
	mg kg ⁻¹							
Cu	2.4 ^{ab}	3.1 ^a	1.9 ^b	2.1 ^{ab}	1.9 ^b	0.28	0.030	3
Mn	16 ^{ab}	7.6 ^b	12 ^{ab}	11 ^{ab}	22 ^a	2.98	0.031	19
Fe	21 ^a	61 ^a	32 ^a	15 ^a	46 ^a	10.67	0.051	4.5
Zn	1.7 ^a	0.68 ^a	0.66 ^a	0.72 ^a	1.1 ^a	0.308	0.113	2.0
Ca	284 ^b	132 ^b	148 ^b	120 ^b	681 ^a	82.4	0.001	70
Mg	75 ^{ab}	36 ^b	58 ^{ab}	41 ^b	167 ^a	25.8	0.017	8.5
Na	23 ^a	14 ^a	64 ^a	21 ^a	16 ^a	14.1	0.121	2500
K	24 ^a	38 ^a	40 ^a	33 ^a	35 ^a	6.6	0.482	195.5
P	37 ^a	51 ^a	43 ^a	39 ^a	51 ^a	4.7	0.146	10

¹ Medias en la misma hilera, dentro de rancho con diferente literal son estadísticamente diferentes (P<0.05; Tukey).

² EEM = Error estándar de la media.

³ Concentraciones sugeridas como mínimas necesarias para el crecimiento de las plantas (McDowell, 1985; Shorrocks y Alloway, S/A; Bowen, 1966; Whitehead, 2000).

Las concentraciones de hierro, cinc, sodio, potasio y fósforo en los suelos de la zona muestreada no fueron afectadas (P = 0.05, P = 0.11, P = 0.12, P = 0.48 y P = 0.15, respectivamente) por el rancho. Sin embargo, las concentraciones de cobre, manganeso, calcio y magnesio si fueron diferentes (P = 0.03, P = 0.03, P = 0.001, P = 0.02 y P = 0.002) entre las explotaciones ganaderas. Los ranchos 3 y 5 mostraron las concentraciones más bajas de cobre, mientras que el

rancho 2 presentó el nivel más bajo de manganeso, comparados con los otros ranchos. Por otro lado, el rancho 5 mostró concentraciones más elevadas de calcio y magnesio.

Las concentraciones de Fe, Ca, Mg y P estuvieron por arriba de la concentración mínima sugerida para el crecimiento adecuado de las plantas en los cinco ranchos; mientras que Cu, Zn, Na y K fueron deficientes en todos los ranchos. Además, manganeso se encontró por debajo del nivel mínimo en cuatro ranchos.

La zona muestreada presentó deficiencias de Cu en el suelo. Wikse *et al.* (1992) mencionan que la deficiencia de Cu es la segunda deficiencia mineral más común del ganado en el mundo, sobrepasada en prevalencia únicamente por la deficiencia de fósforo. Por otro lado, la detección del nivel adecuado de cobre en el suelo depende del método de análisis. Shorrocks y Alloway (S/A) indican que con el método de extracción de minerales del suelo con ácido nítrico el nivel crítico de Cu en el suelo es de 3 a 4 mg kg⁻¹. La deficiencia de Cu puede deberse a deficiencias primarias en suelo o por excesos de Fe, Mo o S (Ward *et al.*, 1997; Chase *et al.*, 2000). Las concentraciones de hierro en los suelos estudiados en los ranchos fueron de 2.3 hasta 12.5 veces más hierro del nivel mínimo para el óptimo crecimiento de las plantas, lo que puede causar una disminución en la absorción del cobre en los animales, debido al antagonismo del Fe y el Cu, ya que los animales en pastoreo pueden llegar a consumir

cantidades importantes de suelo, especialmente cuando el forraje es escaso (McDowell *et al.*, 1988)

Las concentraciones de manganeso encontradas en suelos se ubicaron entre 7.6 y 22 ppm, cumpliendo sólo uno de los ranchos con el nivel mínimo recomendable para los pastos (19 ppm; McDowell, 1985). Resultados similares de deficiencia se han encontrado en otra región tropical de México (Alvear, 2003). Lo que parece no concordar con Minson (1990), quien afirma que el Mn es el segundo mineral más abundante en la corteza terrestre sobrepasado únicamente por la abundancia del hierro. Sin embargo, la deficiencia de Mn encontrada en los suelos de este estudio puede compensarse por la alta disponibilidad de este mineral en suelos con pH ácido, como lo son la mayoría de los suelos en las zonas tropicales (McDowell *et al.*, 1988).

La concentración de Zn encontrada en los suelos de todos los ranchos indican deficiencia de este mineral, debido a que no cumplen con el requerimiento mínimo (2 ppm; McDowell, 1985) de las plantas para su adecuado crecimiento. Huerta (1997) menciona que los problemas de deficiencia se presentan comúnmente en suelos neutros o alcalinos. En relación a lo anterior, Minson (1990) indica que el incremento de pH de 4.9 a 6.8 deprime la concentración de Zn en *Cynodon dactylon* de 37 a 28 mg/kg de materia seca.

Los niveles de calcio encontrados en los suelos de los cinco ranchos van de 120 a 681, por lo que se cumple con el requerimiento mínimo de las plantas en

todos los ranchos (70 ppm; McDowell, 1985). Además, los bajos niveles de K presentes en estos suelos (24 a 40 mg kg⁻¹) benefician la absorción del calcio por las plantas.

El Mg se encontró en concentraciones superiores al nivel mínimo requerido por las plantas en el 100% de los ranchos, lo que aunado al bajo nivel de K, indica que el Mg no representaría ningún problema para el buen desarrollo de los forrajes. Tavera (1985) sugiere una clasificación de la fertilidad del suelo con base en la concentración de Mg, con concentraciones de 26 a 50 ppm como buena, y mayores a 125 ppm como muy buena. Minson (1990) señala que suelos desarrollados de rocas ígneas ácidas son generalmente bajos en Mg, mientras que altos niveles de este mineral se encuentran en suelos derivados de rocas más básicas.

Las concentraciones de sodio en los suelos de la región fueron desde 14 hasta 64 ppm. Estas concentraciones no logran ser suficientes para cubrir el requerimiento mínimo sugerido para los pastos (2500 ppm, Whitehead, 2000), por lo que la mayoría de ellos son deficientes en sodio (Huerta, 1999). En forrajes que acumulan Na, la concentración varía con el nivel de la disponibilidad del Na y K en el suelo (Minson, 1990). Incrementos en el nivel de K en el suelo deprime la concentración de Na en el forraje.

El nivel de K en los suelos de todos los ranchos muestreados no cubre el requerimiento mínimo de la plantas (195.5 ppm; McDowell, 1985). Soder y Stout

(2003) mencionan que los suelos fertilizados con N incrementan sus niveles de K; sin embargo, disminuyen el de Ca, Mg y Na en las plantas.

La concentración de P en suelos de la región muestreada cubre el requerimiento mínimo de 10 ppm (McDowell, 1985). La deficiencia mineral más común en bovinos en el mundo es la falta de P. En la mayoría de las zonas de pastoreo de los países tropicales, se sabe que el suelo tiene bajo contenido de P disponible (McDowell *et al.*, 1988).

Concentración mineral en forraje

La concentración mineral del forraje de cinco ranchos de Juan Rodríguez Clara, Veracruz se presenta en el Cuadro 4. Las concentraciones de cobre, hierro, calcio, magnesio, sodio y potasio fueron similares ($P = 0.49$, $P = 0.13$, $P = 0.13$, $P = 0.13$, $P = 0.71$ y $P = 0.80$, respectivamente) entre ranchos. Por otro lado, los niveles de manganeso, cinc, fósforo y la relación calcio:fósforo fueron diferentes ($P = 0.001$, $P = 0.030$, $P = 0.001$, $P = 0.005$) a través de las explotaciones ganaderas. El rancho 2 mostró la concentración más alta de manganeso, comparada con los ranchos 1, 4 y 5. En el caso del cinc únicamente los ranchos 1 y 2 presentaron diferencias entre sí, encontrándose mayores niveles de Zn en el rancho 1. Los ranchos 3 y 5 presentaron menores niveles de P con respecto al rancho 2. La relación Ca:P fue mayor en el rancho 5 con respecto a las otras explotaciones. El forraje cubrió los requerimientos de los bovinos para algunos de los minerales determinados; sin embargo, en algunos casos presentó deficiencias para cubrir las necesidades de los animales (Cuadros 4 y 5).

Cuadro 4. Concentración mineral en forraje (medias de cuadrados mínimos) y nivel de significancia (probabilidad) de las diferencias entre cinco ranchos de Juan Rodríguez Clara, Veracruz

Mineral	Rancho ¹					EEM ²	Pr > F
	1	2	3	4	5		
Cu, ppm	5.6 ^a	5.5 ^a	6.7 ^a	5.6 ^a	5.8 ^a	0.489	0.485
Mn, ppm	161 ^b	296 ^a	196 ^{ab}	175 ^b	95 ^b	24.700	0.001
Fe, ppm	316 ^a	443 ^a	366 ^a	315 ^a	227 ^a	58.847	0.134
Zn, ppm	27 ^a	15 ^b	23 ^{ab}	17 ^{ab}	20 ^{ab}	2.526	0.030
Ca, %	0.34 ^a	0.41 ^a	0.28 ^a	0.25 ^a	0.44 ^a	0.056	0.129
Mg, %	0.30 ^a	0.36 ^a	0.33 ^a	0.26 ^a	0.33 ^a	0.025	0.128
Na, %	0.05 ^a	0.06 ^a	0.04 ^a	0.06 ^a	0.09 ^a	0.023	0.708
K, %	1.24 ^a	1.22 ^a	1.32 ^a	1.07 ^a	1.16 ^a	0.149	0.802
P, %	0.20 ^{ab}	0.29 ^a	0.15 ^b	0.19 ^{ab}	0.09 ^b	0.027	0.001
Ca:P	2.1 ^b	1.4 ^b	2.0 ^b	1.4 ^b	5.2 ^a	0.653	0.005

¹ Medias en la misma hilera, dentro de rancho con diferente literal son estadísticamente diferentes (P<0.05; Tukey)

² EEM = Error estándar de la media

Cuadro 5. Requerimientos mínimos de concentraciones de minerales y niveles máximos tolerables para bovinos

Mineral	Requisitos*	Máx. tolerable*
Cu, ppm	10	100
Mn, ppm	40	1000
Fe, ppm	50	1000
Zn, ppm	40	500
Ca, %	0.41	2.0
Mg, %	0.2	0.5
Na, %	0.18	1.6
K, %	0.8	3.0
P, %	0.27	1.0
Ca:P	2	

* Huerta (1999)

Las concentraciones de Cu encontradas en el forraje de todos los ranchos no cubre el requerimiento (10 ppm) de los animales, lo que puede deberse a las deficiencias de Cu. Wikse *et al.* (1992) mencionan que el estatus de Cu en el ganado depende no sólo de la concentración de Cu en el forraje, sino también de su disponibilidad, y señalan que la disponibilidad del cobre es más alta en

pasturas maduras y heno, y más baja en pasturas jóvenes de rápido crecimiento; además, indican que también depende de la presencia de antagonistas del Cu como el S, Mo y Fe. En este sentido la deficiencia de cobre puede agravarse por el alto contenido de Fe en los ranchos en los cuales se encontraron de 3 a 8 veces más del requerimiento mínimo de Fe del ganado. Underwood y Suttle (1999) señalan que si existen concentraciones superiores a 800 ppm de hierro en los forrajes, el requerimiento de Cu asciende a 15 ppm en vacas lactantes con producciones de leche menores a los 20 litros. Philippo *et al.* (1987) encontraron que incrementando el hierro en la dieta de bovinos, de 500 a 800 ppm, se reduce drásticamente el contenido de Cu en hígado, de 134 a 16 ppm, en ocho semanas.

El manganeso en los forrajes excede el requerimiento del ganado, donde se encontraron niveles de 1.4 a 6.4 veces el requisito, a pesar de que en el suelo se encontraron deficiencias de este mineral; sin embargo, en suelos con pH ácido como generalmente son en el trópico, la disponibilidad y absorción del Mn se incrementan por parte del forraje (McDowell, 1985). En el presente trabajo no se rebasaron los límites máximos tolerables de Mn. Jenkins e Hidiroglou (1991) mencionan que la toxicidad de Mn en rumiantes es poco probable de ocurrir.

Las concentraciones de Zn en el forraje de todos los ranchos muestran que nos encontramos ante una zona deficiente en este mineral, al no cubrir el requerimiento mínimo del ganado en ninguno de los ranchos. Tales deficiencias pueden deberse a la falta de Zn en el suelo. White *et al.* (1991) mencionan que

se presentan deficiencias de Zn cuando los animales en pastoreo consumen forrajes que contienen concentraciones menores a 20 ppm, caracterizadas por un bajo crecimiento, reducción en la fertilidad y disminución de los niveles de Zn en plasma. En ganado lechero especializado, el requisito de Zn puede llegar a 75 ppm (NRC, 2001).

Las concentraciones apropiadas de Ca en la dieta varían de 0.18 a 0.7 %, en función del nivel de producción y estado fisiológico del animal (NRC, 1996). Con el nivel de producción esperado en trópico, el requisito de calcio es de alrededor de 0.41% (NRC, 1989). Por lo que, en general la zona presentó deficiencias de Ca para cubrir los requerimientos del ganado en sólo uno de los ranchos. Los niveles de Ca se encontraron entre 0.25 y 0.44%, representando un posible problema para vacas con mayor producción de leche. McDowell *et al.* (1988) indican que la deficiencia de Ca se produce más fácilmente en animales jóvenes en crecimiento y en vacas lecheras en lactación que se alimentan de pasturas nativas. Gross y Jung (1981) mencionan que el nivel crítico de Ca depende de otros cationes. Por lo general el Ca no es un mineral que sea deficiente en los trópicos (McDonald, 1968).

El Mg en el forraje cubrió los requisitos del ganado en todos los ranchos, donde se encontraron niveles de 0.26 a 0.36 %. McDowell *et al.* (1997) indicaron que la concentración crítica de magnesio para pastos es de 0.20%. Mayland y Wilkinson (1989) mencionaron que la concentración de Mg en forraje que permitirá el máximo crecimiento se sitúa entre 0.1 y 0.15 %. Los niveles de Mg

encontrados en el forraje de la zona son adecuados para prevenir la hipomagnesemia. En virtud de que la hipomagnesemia está asociada con niveles altos de potasio, se ha sugerido determinar la relación $K/(Ca+Mg)$ expresada en miliequivalentes, la cual es aplicable a pastos. Cuando ésta relación es inferior a 2, los problemas son mínimos (Huerta, 1999).

Los pastos de los ranchos muestreados en este estudio mostraron un promedio de concentración de sodio con rango de 0.04 a 0.09%, lo que representa severas deficiencias para el ganado (Huerta, 1999). Los forrajes tropicales normalmente no contienen cantidades adecuadas de sodio para satisfacer los requerimientos de los animales durante todo el año (McDowell *et al.*, 1988). Minson (1990) señala que la deficiencia ocurre cuando los animales consumen forraje deficiente en Na y no reciben una fuente alternativa de suministro de este mineral. Esta deficiencia es fácilmente superada mediante la práctica de proveer sal común *ad libitum*; sin embargo, la mayoría del ganado en pastoreo en regiones tropicales recibe cantidades insuficientes de sal. Underwood y Suttle (1999) señalan que si la dieta contiene de 0.05 a 0.10% de Na, y las concentraciones en suero sanguíneo se sitúan entre 285 y 310 mg dL⁻¹, se considera que entonces se presenta deficiencia en el ganado.

Underwood y Suttle (1999) señalan que existe deficiencia de potasio si el contenido de la dieta es menor a 0.8%, y exceso si la dieta presenta más de 3%. Sin embargo, la concentración de K en los forrajes de los ranchos muestreados en este estudio se encontró por arriba del nivel crítico, sin llegar a

los niveles máximos tolerables, lo que indica que el ganado de la región muestreada no tiene problemas con este mineral por deficiencias ni excesos, lo que evita el problema de que un alto contenido de K en los forrajes durante épocas críticas del año interfiera con la absorción y/o utilización del Ca y el Mg y pueda provocar tetania de los pastos en los rumiantes (McDowell *et al.*, 1997). Además las altas concentraciones de K en las dietas antes del parto en vacas altas productoras, las predisponen a sufrir fiebre de leche en el parto por la disminución de la resorción del Ca del hueso (Fisher *et al.*, 1994). A pesar de lo anterior, las concentraciones de K encontradas en el suelo se consideran deficientes para el adecuado crecimiento de los forrajes (McDowell, 1985).

Los niveles de fósforo presentes en el forraje estuvieron en un rango de 0.09 a 0.29%, donde sólo uno de los ranchos alcanzó el nivel adecuado. McDowell *et al.* (1988) señalan que la deficiencia mineral más común en el mundo es la de P, encontrándose bajos contenidos de este mineral en suelo y plantas; por lo que generalmente el ganado de las zonas tropicales presenta deficiencias de este mineral (McDowell *et al.*, 1997). La relación Ca:P se encontró en niveles de 1.4 a 5.2. McDowell *et al.* (1988) recomiendan una relación Ca:P de 1:1 a 2:1 y mencionan que la relación más estrecha es la más crítica cuando el consumo de P es marginal o inadecuado.

Concentración mineral en plasma sanguíneo

El nivel de significancia (probabilidad) de los efectos de rancho, tipo de animal y su interacción sobre la concentración mineral en plasma sanguíneo, se

muestran en el Cuadro 6. Las medias de las concentraciones minerales en el plasma se presentan en el Cuadro 7.

El cobre en plasma sanguíneo del ganado no mostró diferencias por efecto de rancho y tipo de animal ($P \geq 0.11$), pero si fue diferente ($P = 0.0002$) por la interacción de ambos factores (Cuadro 6). En la Figura 1 se observa que la interacción rancho por tipo de animal fue importante para la concentración de este mineral. En los ranchos 2 y 4 las crías presentaron mayor ($P=0.01$) nivel de Cu que las vacas; mientras que en el rancho 5 sucedió lo contrario. En los ranchos 1 y 3 no se detectaron diferencias ($P>0.05$) por tipo de animal.

La concentración de Cu plasmático fue deficiente en los animales de todos los ranchos y se encontró en rangos de 0.60 a 0.72 mg L⁻¹ (Cuadros 7 y 8). Resultados similares de deficiencia de Cu en animales se han obtenido en otras regiones tropicales de México (Alvear, 2003; Aguirre y López, 2004). La deficiencia de Cu en el ganado de este estudio es reflejo del bajo nivel de este mineral en el forraje, y puede estar siendo acrecentada por los altos niveles de Fe, ya que dietas con altos niveles de hierro interfieren con la absorción del Cu (Bremner *et al.*, 1987; Gengelbach *et al.*, 1994). Chase *et al.* (2000) indican que dietas con concentraciones de Fe de 500 mg kg⁻¹ deprimen la concentración de Cu en hígado.

Cuadro 6. Nivel de significancia (probabilidad) para las variables rancho y tipo de animal con respecto a la concentración mineral en el plasma sanguíneo

Fuente de variación	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P	Ca:P
Rancho	0.109	<0.0001	0.057	<0.0001	0.080	<0.0001	0.266	<0.0001	0.0002
Tipo de animal	1.000	0.050	0.497	0.784	0.533	<0.0001	0.824	0.0002	0.003
Rancho*Tipo de animal	0.0002	0.006	0.067	<0.0001	0.166	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001

Cuadro 7. Concentración mineral en plasma sanguíneo de vacas y crías (medias de cuadrados mínimos) de cinco ranchos de Juan Rodríguez Clara, Veracruz

Mineral	Rancho ¹					EEM ²	Tipo de animal ¹		EEM ²
	1	2	3	4	5		Vaca	Cría	
Cu, mg L ⁻¹	0.72 ^a	0.63 ^a	0.70 ^a	0.60 ^a	0.60 ^a	0.041	0.65 ^a	0.65 ^a	0.026
Fe, mg L ⁻¹	1.1 ^b	1.7 ^a	1.9 ^a	1.5 ^{ab}	1.9 ^a	0.116	1.5 ^a	1.7 ^a	0.074
Zn, mg L ⁻¹	4.5 ^{a*}	4.8 ^{a*}	4.9 ^{a*}	5.1 ^{a*}	4.7 ^{a*}	0.139	4.8 ^{a*}	4.9 ^{a*}	0.088
Ca, mg L ⁻¹	90.5 ^b	97.2 ^a	89.9 ^b	99.1 ^a	98.3 ^a	1.56	94.8 ^a	95.2 ^a	0.986
Mg, mg L ⁻¹	19.1 ^a	19.9 ^a	18.4 ^a	19.7 ^a	19.4 ^a	0.395	19.2 ^a	19.4 ^a	0.250
Na, mg L ⁻¹	2376.7 ^c	2562.1 ^a	2521.7 ^{ab}	2474.6 ^b	2489.3 ^{ab}	21.78	2575.1 ^a	2394.6 ^b	13.77
K, mg L ⁻¹	1120.7 ^a	1130.7 ^a	1144.5 ^a	1106.5 ^a	1087.4 ^a	19.06	1119.8 ^a	1115.9 ^a	12.05
P, mg L ⁻¹	68.5 ^c	81.8 ^{ab}	88.6 ^a	77.8 ^{bc}	79.8 ^{ab}	2.40	75.1 ^b	83.5 ^a	1.52
Ca:P	1.4 ^a	1.2 ^a	1.1 ^b	1.3 ^a	1.3 ^a	0.05	1.3 ^a	1.2 ^b	0.029

¹ Medias en la misma hilera, dentro de rancho o tipo de animal con diferente literal son estadísticamente diferentes (P<0.05; Tukey)

*Muestras contaminadas con el tubo vacutainer

² EEM = Error estándar de la media

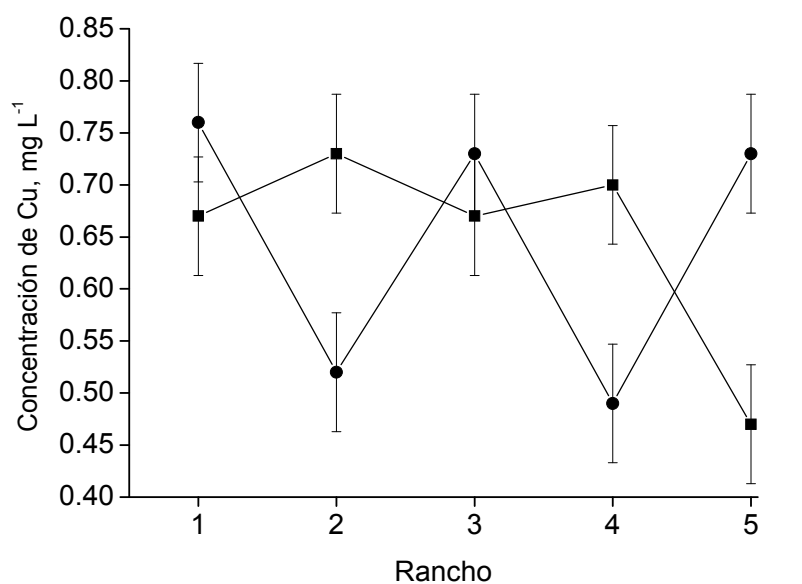


Figura 1. Concentración de cobre en plasma sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas (—●—) y crías (—■—) en cinco ranchos en Juan Rodríguez Clara, Veracruz.

Cuadro 8. Concentraciones adecuadas de minerales en plasma sanguíneo

Mineral, mg L ⁻¹	Rango adecuado*
Cu	0.8-1.5
Fe	1.3-2.5
Zn	0.8-1.4
Ca	80-110
Mg	18-35
Na	3105-3450
K	160-200
P	45-60 ¹ y 60-90 ²

*Puls (1988)

¹En animales adultos, ²En animales jóvenes

Las concentraciones de hierro en plasma sanguíneo fueron afectadas ($P \leq 0.05$) por el rancho, tipo de animal y la interacción rancho por tipo de animal (Cuadro 6). En la Figura 2 se aprecia mejor la importancia que tuvo la interacción rancho por tipo de animal sobre la concentración de hierro. En el rancho 3 las vacas presentaron mayor ($P=0.02$) concentración de Fe que las crías; sin embargo, en el rancho 4 fueron las crías quienes presentaron una mayor concentración de este mineral. En los ranchos 1, 2 y 5 no se detectaron diferencias ($P>0.05$) por tipo de animal.

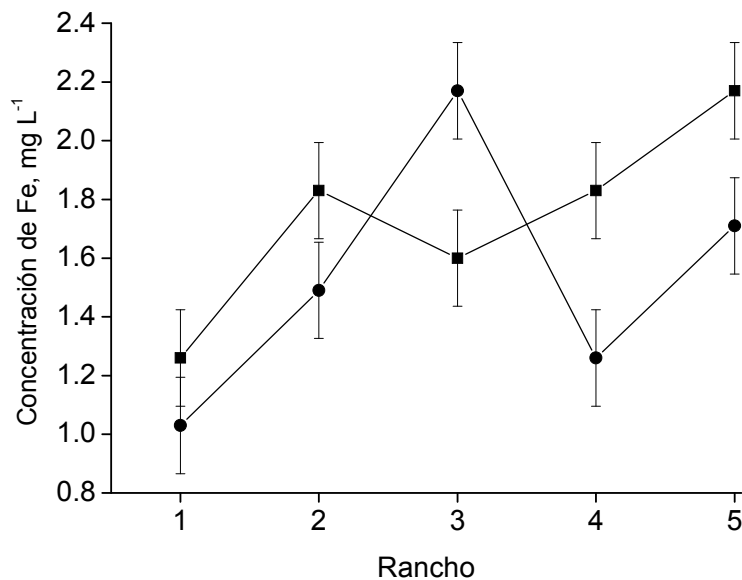


Figura 2. Concentración de hierro en plasma sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas (—●—) y crías (—■—) en cinco ranchos en Juan Rodríguez Clara, Veracruz.

En este estudio las concentraciones de Fe en el forraje se encontraron de 3 a 8 veces más del requerimiento del ganado. Sin embargo, las concentraciones de hierro en plasma se encontraron dentro del rango adecuado, e incluso en el

rancho 1 se encontró deficiente (Cuadros 7 y 8), lo que pudo deberse a que los animales presentan deficiencias de Cu. El Cu es necesario para el funcionamiento de ceruloplasmina, proteína importante en la movilización del hierro del hígado hacia los tejidos que lo requieren, como la médula ósea para la síntesis de hemoglobina (Harris, 1997). Así, con la deficiencia de Cu la movilización del Fe estará limitada, e incluso se puede presentar deficiencia de Fe en los animales aunque los alimentos tengan concentraciones elevadas.

Los efectos de rancho, tipo de animal o la interacción de ambos no afectaron ($P>0.05$) la concentración de Zn en plasma sanguíneo de los animales (Cuadro 6). Sin embargo, las muestras de sangre fueron contaminadas con el Zn presente en los tubos vacutainer en donde se colectaron dichas muestras de los animales, por lo que se obtuvieron valores muy elevados de este mineral. El análisis de laboratorio para la determinación de cinc en plasma arrojó concentraciones excesivamente elevadas, lo que condujo a analizar los tubos vacutainer utilizados para la extracción de la muestra de sangre, de donde se concluye que dichos tubos que contenían EDTA como anticoagulante tenían altas cantidades de Zn, contaminando las muestras de sangre. Sin embargo, por las deficiencias de Zn en el forraje y la sintomatología que presentaban los animales, como laceraciones en la piel y caída de pelo en círculos, puede suponerse que los animales muestreados en la zona presentan deficiencias de cinc.

La concentración de Ca plasmático en los animales fue afectado ($P < 0.0001$) por los efectos de rancho y la interacción de rancho por tipo de animal (Cuadro 6). En la Figura 3 se observa el efecto de la interacción entre los dos efectos principales. En el rancho 2 las vacas presentaron mayor ($P=0.0002$) concentración de Ca que las crías, pero en el rancho 4 la concentración de Ca fue mayor en las crías. En los ranchos 1, 3 y 5 no se detectaron diferencias ($P>0.05$) por tipo de animal.

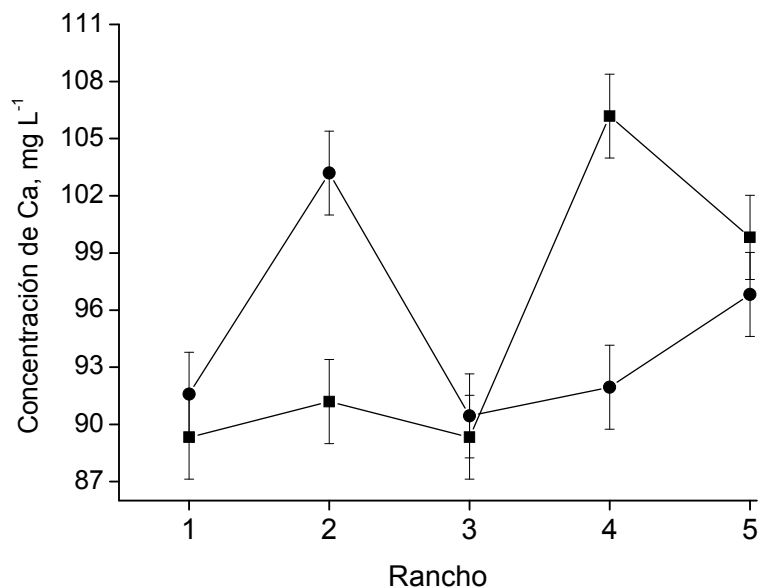


Figura 3. Concentración de calcio en plasma sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas (—●—) y crías (—■—) en cinco ranchos en Juan Rodríguez Clara, Veracruz.

Las concentraciones de Ca plasmático de los animales de todos los ranchos se encuentran dentro del rango adecuado (Cuadros 7 y 8). Minson (1990) menciona que no existen reportes de baja concentración plasmática de calcio asociada con el forraje y que los únicos reportes de bajos niveles de Ca en

plasma fueron asociados con una dieta a base de sustituto de lecha baja en calcio. Por lo general, el calcio no es un mineral que sea deficiente en los trópicos (McDonald, 1968). Sin embargo, Alvear (2003) encontró deficiencias de Ca, tanto en el forraje como en plasma sanguíneo de bovinos, en condiciones tropicales del estado de Guerrero.

El efecto de rancho, tipo de animal y la interacción de rancho por tipo de animal no fueron importantes para la concentración de Mg en el plasma sanguíneo de los animales (Cuadro 6). Los niveles de Mg plasmático se encontraron dentro del rango normal (Cuadros 7 y 8), lo cual es reflejo del adecuado contenido de este mineral en el forraje, además de la nula existencia de niveles excesivos de K, debido a que este último en altas concentraciones puede ser un antagonista de la absorción y utilización del Mg (McDowell *et al.*, 1997), llegando a provocar hipomagnesemia (Huerta 1999). En este estudio, el tipo de animal no tuvo efecto importante en la concentración de Mg. Sin embargo, Chicco *et al.* (1973) señalan que la susceptibilidad a la tetania de los pastos es mayor en rumiantes adultos, debido a la reducción en su habilidad de movilizar Mg del esqueleto a medida que el animal envejece.

La concentración plasmática de Na fue afectada ($P \leq 0.0002$) por los dos efectos principales y su interacción (Cuadro 6). La Figura 4 muestra que la interacción rancho por tipo de animal influyó en la concentración de Na. A excepción del rancho 1, en el resto de los ranchos las vacas presentaron mayor

($P \leq 0.01$) concentración de Na que las crías, siendo estas diferencias mayores para los ranchos 2 y 3 respecto a 4 y 5.

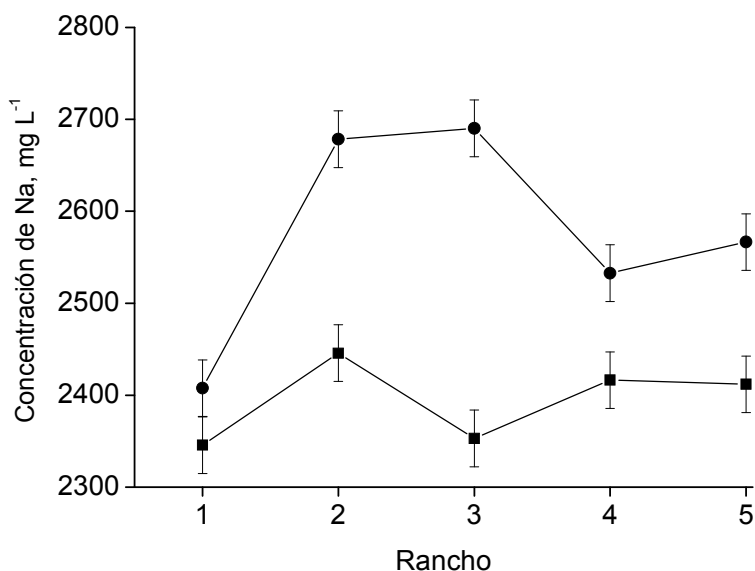


Figura 4. Concentración de sodio en plasma sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas (—●—) y crías (—■—) en cinco ranchos en Juan Rodríguez Clara, Veracruz.

El nivel de Na en plasma muestra deficiencias de este mineral en los animales (Cuadros 7 y 8), lo cual se debe a la baja concentración de este mineral en el forraje. McDowell *et al.* (1988) señalan que los forrajes tropicales normalmente no contienen cantidades adecuadas de Na, pero que el problema es fácilmente superado mediante la práctica de proveer sal común *ad libitum*. A pesar de esto, Minson (1990) menciona que la concentración de Na en sangre es relativamente constante, variando menos que cualquier otro componente mineral. Por su parte, Morris (1980) indica que el análisis de sangre es de poco valor en el diagnóstico de la deficiencia de Na, debido a que los signos clínicos

por su deficiencia aparecen sin presentar un descenso importante en su concentración en plasma.

La concentración de K en plasma sanguíneo no fue afectada ($P \geq 0.27$) por el rancho o tipo de animal, pero si por su interacción ($P < 0.0001$) como se observa en el Cuadro 6. En la Figura 5 se observa que la interacción rancho por tipo de animal fue importante para la concentración de potasio. En el rancho 3 las vacas presentaron mayor ($P=0.0001$) concentración plasmática de K que las crías, ocurriendo lo contrario en el rancho 4. En los ranchos 1, 2 y 5 no se detectaron diferencias ($P>0.05$) por tipo de animal.

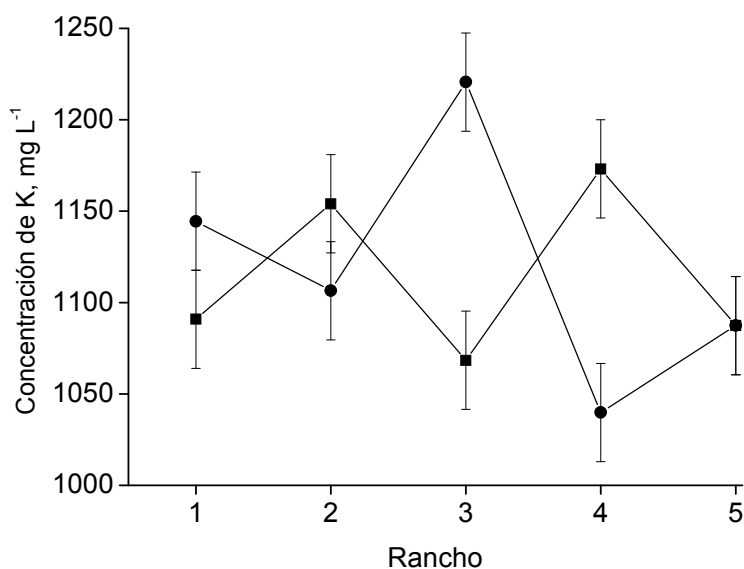


Figura 5. Concentración de potasio en plasma sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas (—●—) y crías (—■—) en cinco ranchos en Juan Rodríguez Clara, Veracruz.

Las concentraciones de K plasmático se encuentran en promedio 12 veces más altas que el rango adecuado (Cuadros 7 y 8), situación que no se debió al contenido de K en el forraje. Esto se puede explicar por la deficiencia de Na en los animales, donde el potasio se incrementa tratando de cubrir dicha deficiencia. Morris y Murphy (1970) indican que en deficiencias severas de Na, ocurren pequeñas depresiones de Na en plasma, acompañadas de un incremento en potasio.

La concentración de fósforo tuvo diferencias importantes ($P \leq 0.0002$) por el efecto de rancho, tipo de animal y la interacción de ambos factores (Cuadro 6). La Figura 6 muestra la interacción de rancho por tipo de animal. En el rancho 2 las vacas presentan mayor ($P < 0.0001$) concentración de P que las crías; sin embargo, lo contrario ocurrió en los ranchos 3, 4 y 5. En el rancho 1 no se detectaron diferencias ($P > 0.05$) por tipo de animal.

El nivel de fósforo presente en plasma se encontró dentro del rango adecuado (Cuadros 7 y 8). Lo que difiere de los resultados presentados por Donato *et al.* (2002) y Ramos (1996) quienes encontraron deficiencias en fósforo sanguíneo en ganado de doble propósito en zonas tropicales de México. Las diferencias en concentraciones de fósforo en plasma sanguíneo encontradas en vacas y crías donde estos últimos animales presentaron mayor concentración concuerdan con Puls (1988) quien indica que las concentraciones adecuadas de P en plasma son mayores en animales jóvenes que en adultos.

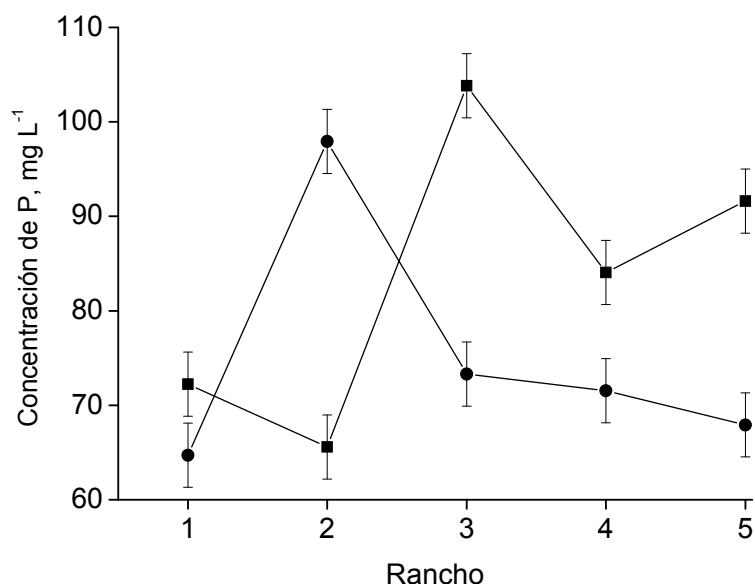


Figura 6. Concentración de fósforo en plasma sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas (—●—) y crías (—■—) en cinco ranchos en Juan Rodríguez Clara, Veracruz.

La relación calcio:fósforo también fue afectada ($P \leq 0.003$) por los efectos principales y su interacción (Cuadro 6). La Figura 7 muestra la interacción entre rancho por tipo de animal para la relación calcio:fósforo. En los ranchos 1, 3 y 5 las vacas presentan una mayor ($P \leq 0.02$) relación Ca:P que las crías, ocurriendo lo contrario en el rancho 2. La relación Ca:P menor en crías que en vacas, es explicada por el mayor contenido de P de las crías; sin embargo, no en todos los ranchos sucedió así.

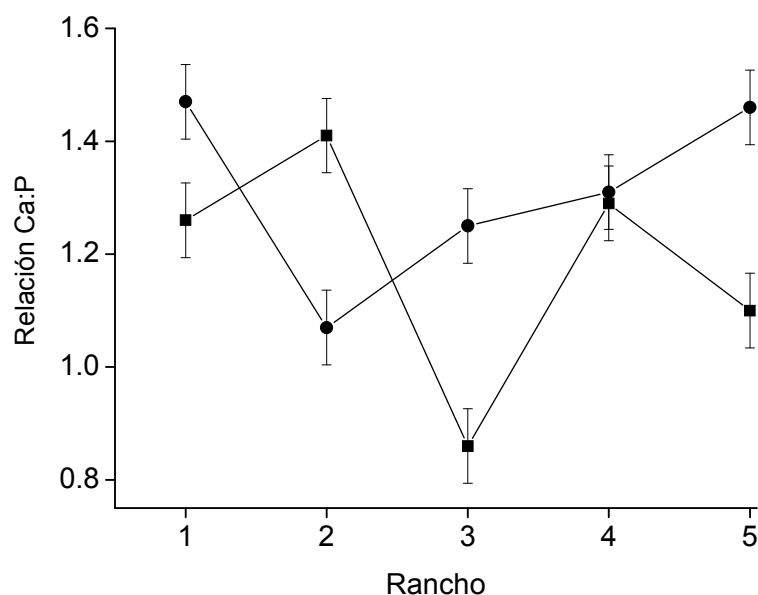


Figura 7. Relación calcio:fósforo en plasma sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas (—●—) y crías (—■—) en cinco ranchos en Juan Rodríguez Clara, Veracruz.

Conclusiones

Las concentraciones de cobre y sodio en suelo, forraje y plasma sanguíneo estuvieron por debajo de los niveles críticos. Además el cinc también fue deficiente en suelo y forraje; por lo que, se considera que la zona muestreada tiene problemas de deficiencia de estos minerales. El cinc y sodio deben ser suplementados para cubrir los requerimientos mínimos de los animales; sin embargo, el cobre debe suplementarse en un 150 a 200 % del requisito, debido a los marcados signos clínicos de deficiencia observados en los animales, y al alto nivel de Fe presente en los forrajes que puede interferir con su absorción.

Las concentraciones de calcio y fósforo en forraje fueron adecuadas para el nivel de producción de leche de las vacas del estudio; sin embargo, vacas con mayores producciones pueden necesitar la suplementación de estos minerales.

Los minerales hierro, manganeso, potasio y magnesio se encuentran en concentraciones superiores a los requerimientos en el forraje y animales, por lo que estos minerales no deben ser suplementados, de lo contrario sólo implicarán mayores problemas.

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. Chapingo, México. 43 p.
- Alvear H., E. 2003. Diagnóstico y suplementación mineral en ganado bovino de Zirándaro, Guerrero. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 124 p.
- Bowen, H. J. M. 1966. Trace Elements in Biochemistry. Academic Press. New York, NY. pp: 118-184.
- Bremner, I., R. W. Humphries, M. Phillip, J. M. Walker, and C. P. Morrice. 1987. Iron-induced copper deficiency in calves: Dose-response relationships and interactions with molybdenum and sulfur. Anim. Prod. 45:403-414.
- 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). J. Dairy Sci. 83:1845-1852.
- Chicco, C. F., C. B. Amuerman, and P. E. Loggins. 1973. Effect of age and dietary magnesium on voluntary feed intake and plasma magnesium in ruminants. J. Dairy Sci. 56:822-824.
- Donato R., J. A., S. López P., L. Pérez D., M. Huerta B., y L. Flores P. 2002. Concentración mineral en suero sanguíneo de bovinos en pastoreo en Pinotepa Nacional, Oaxaca y Cuajinicuilapa, Guerrero. Mem. XXX Reunión Anual Asoc. Mex. Prod. Anim. Guadalajara, Jalisco México. 13 al 15 de octubre.
- Fick, K. R., L. R. McDowell, H. P. Miles, S. N. Wilkinson, D. J. Funk, H. J. Conrad, and R. Valdivia. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Animal Science Department, University of Florida. Florida, USA. 98 p.
- Fisher, L. J., N. Dinn, R. M. Tait, and J. A. Shelford. 1994. Effect of level of dietary potassium on the absorption of calcium and magnesium by lactating dairy cows. Can. J. Anim. Sci. 74: 503-509.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen. México, D. F. 217 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. J. Anim. Sci. 72: 2722-2727.

- Gross, C. F., and A. G. Jung. 1981. Season, temperature, soil pH and Mg fertilizer effects on herbage Ca and P levels and ratios of grasses and legumes. *Agron. J.* 73: 629-634.
- 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.
- Huerta B., M. 1997. Nutrición mineral de rumiantes en pastoreo. *Memorias del curso "Alternativas de manejo de bovinos para carne en pastoreo"*. Chapingo, México. pp: 19-72.
- Huerta B., M. 1999. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. *Memorias II seminario internacional: Estrategias de suplementación a bovinos en pastoreo*. Chapingo, México. 28 y 29 de octubre. pp: 153-184.
- Jenkins, K. J., and M. Hidirolou. 1991. Tolerance of the preruminant calf for excess manganese or zinc in milk replacer. *J. Dairy Sci.* 74: 1047-1053.
- Kendall, N. R., D. W. Jackson, A. M. Mackenzie, D. V. Illingworth, I. M. Gill, and S. B. Telfer. 2001. The effect of a zinc, cobalt and selenium soluble glass bolus on the trace element status of extensively grazed sheep over winter. *Anim. Sci.* 73: 163-169.
- Mayland, H. F., and S. R. Wilkinson. 1989. Soil factors affecting magnesium availability in plant-animal systems. *J. Anim. Sci.* 67: 3437-3444.
- McDonald, I. W. 1968. The nutrition of the grazing ruminant. *Nutr. Abstr. Rev.* 38: 381-395.

- 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: 339-357.
- McDowell, L. R., J. H. Conrad, G. L. Ellis, and J. K. Loosli 1984. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Universidad de Florida y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo internacional. USA.
- McDowell, L. R., J. H. Conrad, G. L. Loosli, and J. E. Espinoza. 1988. Nutrición mineral para rumiantes bajo pastoreo en los trópicos. Mem. XXIII Reunión Anual Asoc. Lat. Prod. Anim. 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.
- Minson, D. J. 1990. Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press, Inc. San Diego, California. 483 p.
- Morris, J. G. 1980. Assessment of sodium requirements of grazing beef cattle: A review. J. Anim. Sci. 50: 145-152.
- Morris, J. G., and G. W. Murphy. 1972. The sodium requirements of beef calves for growth. J. Agric. Sci. 78:105-108.
- NRC. 1989. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Update. 6ª Rev. National Academy Press. Washington, D. C.
- NRC. 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academy Press, Washington, D. C. USA. 242 p.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th revised edition. National Academy Press. Washington, D. C. USA. 381 p.

- Olson, P. A., D. R. Brink, D. T. Hickok, M. P. Carlson, N. R. Schneider, G. H. Deutscher, D. C. Adams, D. J. Colburn, and A. B. Johnson. 1999. Effects of supplementation of organic and inorganic combinations of copper, cobalt, manganese, and zinc above nutrient requirement levels on postpartum two-year-old cows. *J. Anim. Sci.* 77:522-532.
- Perkin-Elmer. 1976. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry. Perkin-Elmer Corp. Connecticut, U.S.A.
- Philippo, M., H. R. Humphries, and P. H. Garthwaite. 1987. The effect of dietary molybdenum and iron on copper status and growth in cattle. *J. Agric. Sci.* 109:315.
- Puls, R. 1988. Minerals Levels in Animal Health. Diagnostic data. Sherpa International. Clearbrook, Canada. 240 p.
- 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. Chapingo, México. 64 p.
- SAS. 1999. SAS/STAT User's guide. Versión 8, volumen 1-5. SAS Publishing, Cary, NC. 3848 p.
- 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.
- Shorrocks, V. M., and B. J. Alloway. S/A. Copper in plant, animal and human nutrition. Ed. Copper Development Association. 84 p.

- Soder, K. J., and W. L. Stout. 2003. Effect of soil type and fertilization level on mineral concentration of pasture: Potential relationships to ruminant performance and health. *J. Anim. Sci.* 81: 1603-1610.
- Tavera G. 1985. Criterios para interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorio para áreas de asistencia técnica. Publicación No. 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Delegación Laguna. 122 p.
- 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. Mem. XXX Reunión Anual Asoc. Mex. Prod. Anim. Guadalajara, Jalisco, México. 13 al 15 de octubre.
- Underwood, E. J. 1981. The Mineral Nutrition of Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux, London.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock. CABI Publishing, 3rd edition. 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. *J. Anim. Sci.* 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. *Austr. J. Exp. Agric.* 31: 183.
- Whitehead, C. D. 2000. Nutrient elements in grassland soil-plant-animal relationships. CABI Publishing. New York (NY) USA.
- Wikse, S. E., D. Herd, R. Field, and P. Holland. 1992. Diagnosis of copper deficiency in cattle. *J. Amer. Vet. Med. Assoc.* 200:1625-1629.

**DEFICIENCIA DE SELENIO EN VACAS DE DOBLE PROPÓSITO
Y SU CORRECCIÓN CON UN DISPOSITIVO INTRARRUMINAL
EN UN AMBIENTE TROPICAL¹**

¹ Martínez Cuevas, E., M. Huerta Bravo, R. López Arellano, J. G. García Muñiz y R. Ramírez Valverde

Resumen

El selenio es un micro mineral esencial, necesario para que los bovinos expresen su potencial de crecimiento, fertilidad y respuesta inmune. Los objetivos de este estudio fueron evaluar la efectividad del suministro de bolos conteniendo selenio para corregir su deficiencia, así como evaluar su efecto en la concentración plasmática de Se, Cu, Zn, Fe, Ca, P, Mg, Na y K. Se utilizaron 20 vacas secas de la craza Cebú-Suizo manejadas en pastoreo extensivo de praderas tropicales. El experimento duró 98 días y al inicio la mitad de las vacas recibió un bolo conteniendo 1.8 g de selenio, y el resto actuó como grupo control. La sangre se colectó los días cero, 49 y 98 del experimento. Las concentraciones de minerales en plasma sanguíneo se analizaron ajustando un modelo mixto que incluyó los efectos fijos de tratamiento, día de muestreo, la interacción tratamiento por día de muestreo y el efecto aleatorio de vaca anidada en tratamiento. Contrastes lineales y cuadráticos se obtuvieron para evaluar el efecto de tiempo de muestreo en la concentración de selenio en plasma. La administración de bolos con selenio incrementó ($P < 0.05$) la concentración plasmática de selenio y redujo ($P < 0.05$) la pérdida diaria de Cu en plasma de las vacas suplementadas. En las concentraciones plasmáticas de Zn, Fe, Ca, P, Mg, Na y K, no hubo respuesta al suministro del bolo conteniendo selenio. El día de muestreo mostró efecto lineal ($P < 0.05$) sobre la concentración plasmática de selenio y Cu, mientras que para las concentraciones de Fe y P el efecto fue cuadrático ($P < 0.05$). El día de muestreo mostró efectos lineal ($P < 0.05$) y cuadrático ($P < 0.05$) sobre las concentraciones de Zn, Ca, Mg, Na y K. Se concluye que los bolos

suministrados conteniendo 1.8 g de selenio corrigieron la deficiencia de este mineral y redujeron la pérdida de cobre en plasma de los animales en este estudio.

Palabras clave: pastoreo, suplementación con selenio, praderas tropicales, vacas de doble propósito.

SELENIUM DEFICIENCY IN DUAL PURPOSE COWS AND ITS CORRECTION WITH AN INTRARUMINAL DEVICE IN A TROPICAL ENVIRONMENT

Abstract

The objectives of this study were to evaluate the effectiveness of supplementing boluses containing 1.8 g of selenium to correct its deficiency, and to evaluate the effect of selenium supplementation on blood plasma concentration of Se, Cu, Zn, Fe, Ca, P, Mg, Na, and K. Twenty dry crossbred Zebu-Brown Swiss cows grazing tropical pastures were used. The experiment lasted 98 days, and on day zero each of ten cows was drenched with a bolus; the remaining cows acted as a control group. Jugular blood samples were collected on days 0, 49, and 98 of the experiment. Mineral concentrations in blood plasma were analyzed fitting a mixed linear model including the fixed effects of treatment, time, their interaction, and the random effect of cow nested within treatment. Linear and quadratic contrasts were obtained to evaluate the effect of time of sampling on selenium blood plasma concentration. Drenching with selenium boluses increased ($P < 0.05$) selenium blood plasma concentration, and reduced ($P < 0.05$) the daily loss of blood plasma Cu on supplemented cows.

Blood plasma concentrations of Zn, Fe, Ca, P, Mg, Na y K, were not affected by selenium supplementation. Time of sampling had a linear effect ($P < 0.05$) on selenium and Cu blood plasma concentrations, whereas for Fe and P the effect was quadratic ($P < 0.05$). Time of sampling had linear ($P < 0.05$) and quadratic ($P < 0.05$) effects on the concentrations of Zn, Ca, Mg, Na, and K. It is concluded that administering boluses containing 1.8 g of selenium corrected selenium deficiency and reduced the loss of plasmatic Cu on the animals utilized in this experiment.

Key Words: grazing, selenium supplementation, tropical pastures, dual purpose cows.

Introducción

El selenio es un micro mineral esencial, necesario para que los bovinos expresen su potencial de crecimiento, fertilidad y respuesta inmune (Underwood y Suttle, 2003). En algunas regiones tropicales de México el forraje ofrecido a vacas en pastoreo es deficiente en selenio (Barradas y Cook, 1981; Rosiles *et al.*, 1993), lo que puede afectar negativamente el balance mineral de las vacas, y con ello limitar la producción y productividad de estos animales (Huerta, 1997). Además, la mayoría de los sistemas de producción de bovinos en las regiones tropicales son del tipo extensivo, lo que implica limitaciones prácticas para proveer a los animales con suplementos minerales (Kendall *et al.*, 2001b).

Suplementos intra-ruminales de liberación controlada, como los bolos con selenio, proporcionan la suplementación de este mineral por un período de

tiempo relativamente largo, hasta de cuatro años (Judson *et al.*, 1991); por lo que, el animal no requiere consumirlo frecuentemente. Estudios previos han demostrado que la suplementación intra-ruminal vía bolos con selenio incrementan la concentración plasmática de selenio en ovinos y bovinos (Kendall *et al.*, 1999; Amador, 2005). Sin embargo, el efecto de la administración de los bolos con selenio no ha sido estudiado en ganado bovino de las regiones tropicales de México. Por lo anterior, los objetivos de este estudio fueron evaluar la efectividad del suministro de bolos conteniendo selenio para corregir su deficiencia, así como evaluar su efecto en la concentración plasmática de Se, Cu, Zn, Fe, Ca, P, Mg, Na y K en vacas en pastoreo.

Materiales métodos

La investigación se realizó en el rancho de doble propósito “El Limón”, ubicado en el municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz, a 18°00’ latitud norte, 95°24’ longitud oeste y a una altitud de 130 m. El clima de la región es cálido subhúmedo, con lluvias en verano y presencia de una ligera canícula, temperatura media anual de 26 °C y precipitación anual de 1367 mm (García, 1988).

La preparación de los bolos se realizó en la FESC-UNAM de acuerdo a lo descrito por Amador (2005), y los análisis de laboratorio realizados a las muestras de sangre de los animales tratados se llevó acabo en el laboratorio de

Nutrición de Rumiantes del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

Se evaluaron dos tratamientos: vacas suplementadas con bolos conteniendo selenio y vacas no suplementadas. Los bolos tuvieron un peso de 31 g, y dimensiones de 5 cm de largo, 1.5 cm de ancho y 1 cm de espesor, con una densidad mínima de 2 g/cm³. El bolo contenía 4 g de selenito de sodio, equivalente a 1.8 g de selenio (Amador, 2005).

Se utilizaron 20 vacas secas, de la cruce comercial entre las razas Cebú y Suizo, con un peso vivo promedio aproximado de 480 kg. Los animales se manejaron en condiciones extensivas de pastoreo, con sal común (NaCl) y agua corriente de arroyo a libre acceso. Los pastos predominantes, *Brachiaria decumbens* (pasto señal) y *Brachiaria brizantha* (pasto insurgente), fueron manejados en pastoreo continuo.

Las vacas se agruparon por tratamientos, en un diseño completamente al azar, utilizándose 10 vacas por tratamiento. Cada vaca fue considerada como una unidad experimental.

La administración de los bolos fue vía bucal mediante un aplicador de bolos, y se efectuó el primer día del experimento. El periodo experimental comprendió del 22 de enero de 2005 al 30 de abril del mismo año (98 días). Durante este

período se realizaron un total de tres muestreos, siendo a los días cero, 49 y 98 días pos-aplicación de los bolos.

Las muestras de sangre se obtuvieron por punción de la vena yugular en tubos vacutainer con heparina sódica como anticoagulante. Posteriormente se centrifugaron a 2500 rpm para separar el plasma, el cual se conservó en refrigeración en tubos de vidrio deionizados hasta el momento de análisis.

Las variables de respuesta fueron las concentraciones de fósforo, selenio, calcio, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro y cinc en plasma sanguíneo. La concentración de fósforo se determinó mediante colorimetría (UV/VIS), utilizando un espectrofotómetro UV/VIS PERKIN ELMER® Lambda 2; la concentración de selenio mediante la técnica de luminiscencia descrita por Geahchan y Chambon (1980), utilizando el espectrofotómetro de luminiscencia PERKIN ELMER® LS30; y los otros minerales por espectrofotometría de absorción atómica en un aparato PERKIN ELMER® 4000 (Perkin-Elmer, 1976; Fick *et al.*, 1979).

Las concentraciones de los minerales determinados en plasma sanguíneo fueron analizadas mediante el siguiente modelo mixto:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + D_j + (T \times D)_{ij} + \delta_k(T)_j + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor de la variable de respuesta (P, Se, Ca, Mg, Na, K, Cu, Fe y Zn) correspondiente al *i*-ésimo tratamiento en el *j*-ésimo día del experimento en la *k*-ésima vaca; μ = media general; T_i = efecto fijo del *i*-ésimo tratamiento (*i* = vacas suplementadas, vacas no suplementadas); D_j = efecto fijo del *j*-ésimo día del experimento (*j* = 0, 49, 98); $(T \cdot D)_{ij}$ = efecto fijo de la interacción entre el *i*-ésimo tratamiento y el *j*-ésimo día del experimento; $\delta_k(T)_i$ = efecto aleatorio de la *k*-ésima vaca anidada en el *i*-ésimo tratamiento, y ε_{ijk} = error experimental.

Los cálculos estadísticos se realizaron con el procedimiento MIXED de SAS (SAS, 1999). Contrastes lineales y cuadráticos se realizaron para determinar el efecto de tiempo de muestreo.

Resultados y discusión

Las concentraciones de minerales en plasma de las vacas en función del tratamiento y tiempo de muestreo se indican en el Cuadro 9. Las concentraciones de selenio y cobre fueron afectadas ($P < 0.0001$ y $P = 0.03$, respectivamente) por la administración del bolo. En contraparte, el tratamiento no afectó las concentraciones de Zn, Fe, Ca, P, Mg, Na y K ($P \geq 0.10$); así como tampoco las relaciones Ca:P y Na:K ($P \geq 0.37$). El tiempo de muestreo tuvo un efecto lineal ($P < 0.0001$) sobre las concentraciones plasmáticas de Se y Cu. En cambio, hubieron efectos lineales y cuadráticos ($P \leq 0.03$) sobre las concentraciones en plasma de Zn, Ca, Mg, Na, K y las relaciones Ca:P y Na:K. El Fe y P fueron afectados ($P < 0.0001$) por el tiempo en forma cuadrática.

Cuadro 9. Concentración mineral (medias de cuadrados mínimos) en plasma de vacas suplementadas y no suplementadas con bolos con selenio en diferente tiempo de muestreo

Mineral	Tratamiento		Pr > F	Tiempo (días)			Pr > F	
	Suplementadas	No suplementadas		0	49	98	Lineal	Cuadrático
Se, ng mL ⁻¹	56	30	<0.0001	34	41	54	<0.0001	0.3623
Cu, mg L ⁻¹	0.605	0.662	0.0345	0.883	0.662	0.356	<0.0001	0.1710
Zn, mg L ⁻¹	0.894	0.852	0.4534	1.111	0.565	0.943	0.0013	<0.0001
Fe, mg L ⁻¹	3.579	3.421	0.3791	2.289	5.631	2.581	0.2492	<0.0001
Ca, mg L ⁻¹	94.833	95.933	0.6972	87.700	99.400	99.050	<0.0001	0.0054
P, mg L ⁻¹	63.400	69.167	0.1044	56.500	84.550	57.800	0.7305	<0.0001
Mg, mg L ⁻¹	24.733	23.300	0.1360	27.200	22.950	21.900	<0.0001	0.0286
Na, mg L ⁻¹	2848.70	2864.27	0.7430	3092.20	2775.55	2701.70	<0.0001	0.0161
K, mg L ⁻¹	265.07	262.77	0.7092	218.90	309.60	263.25	<0.0001	<0.0001
Ca:P	1.589	1.485	0.3679	1.566	1.196	1.846	0.0134	<0.0001
Na:K	11.093	11.316	0.4412	14.289	9.011	10.314	<0.0001	<0.0001

Existió interacción ($P \leq 0.04$) tratamiento por tiempo para la concentración de selenio en forma lineal y cuadrática y para cobre hubo ($P=0.05$) en forma lineal. Debido a la importancia que tiene el efecto de la interacción entre el tratamiento y tiempo, la discusión para Se y Cu estará basada sobre este efecto. Para el resto de los minerales no existió interacción ($P \geq 0.24$).

En la Figura 8 se aprecia la interacción lineal y cuadrática existente entre el tratamiento y el tiempo de muestreo para la concentración de selenio. Vacas suplementadas con bolos con selenio incrementaron significativamente ($P < 0.0001$) la concentración plasmática de selenio en 71% al día 49 con respecto al día cero; sin embargo, no fue suficiente para alcanzar los niveles adecuados (70 ng mL^{-1}) propuestos por Stowe y Herdt (1992) para bovinos mayores de dos años de edad. La tendencia de incremento se mantuvo hasta el día 98, incrementando ($P < 0.0001$) en 117% con respecto al día cero, presentando una concentración de 75 ng mL^{-1} en plasma, alcanzando los niveles adecuados. Por otro lado las concentraciones plasmáticas de selenio al día 49 resultaron significativamente diferentes ($P=0.02$) a las del día 98. El incremento entre estos dos últimos días de muestreo fue del 27%.

Las concentraciones iniciales de selenio en plasma no presentaron diferencias importantes ($P=0.89$) entre vacas suplementadas y no suplementadas; sin embargo, el día 49 las vacas suplementadas presentaron 160% más selenio ($P < 0.0001$) en plasma que vacas no suplementadas. El día 98 se encontró que las vacas suplementadas tenían 129% más selenio ($P < 0.0001$) que vacas no

suplementadas. Por otra parte, en vacas no suplementadas la concentración plasmática de selenio en el día 98 fue similar ($P \geq 0.12$) a las concentraciones en los días cero y 49. Sin embargo, entre los días cero y 49 las concentraciones plasmáticas de Se presentaron diferencias significativas ($P=0.02$), disminuyendo 33% del día cero al día 49.

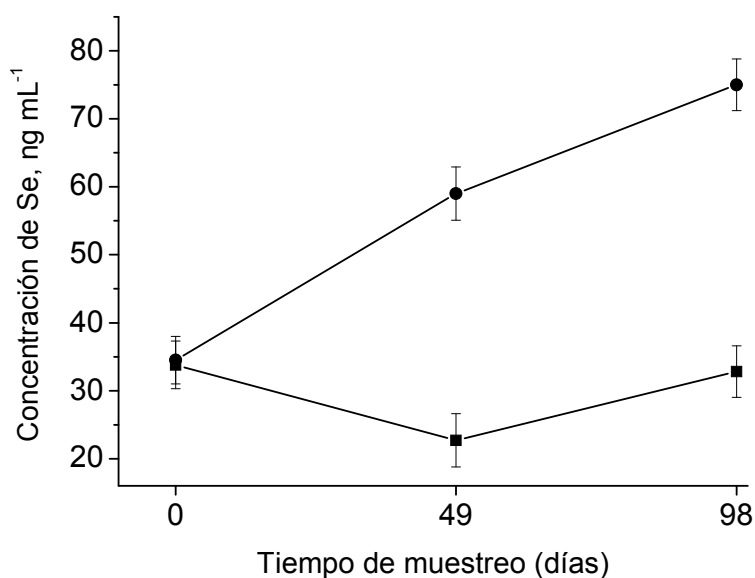


Figura 8. Concentración de selenio en plasma (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas suplementadas (—●—) y no suplementadas (—■—) con bolos con selenio en diferentes tiempos de muestreo.

Los animales que recibieron bolos con selenio incrementaron significativamente la concentración plasmática de selenio hasta el día 98 pos-aplicación; sin embargo, debido a que se presentó un efecto cuadrático, se espera que la concentración en plasma de este mineral llegue a un nivel máximo y posteriormente disminuya. Por lo que hubiese sido de utilidad realizar muestreos posteriores al día 98 para determinar el tiempo de efecto del bolo.

El incremento obtenido en este estudio en la concentración de selenio en plasma, debido a la suplementación con bolos con selenio concuerda con varios autores que han observado tal respuesta al suplementar selenio con bolos en diferentes especies (Moeini *et al.*, 1997; Kendall *et al.*, 2001a; Del Razo, 2002; Black y French, 2004).

Al inicio del experimento, en el mes de enero, las concentraciones de selenio en plasma para vacas suplementadas y no suplementadas fueron de 35 y 34 ng mL⁻¹, respectivamente, comparable a los datos reportados por Abdelrahman y Kincaid (1995) en plasma de vacas Holstein el día del parto, e inferiores a los de el día 60 preparto (31 y 57 ng mL⁻¹, respectivamente). Weiss *et al.* (1990) e Ivancic y Weiss (2001) también reportaron valores superiores (50 y 60 ng mL⁻¹, respectivamente) en vacas Holstein en los Estados Unidos de América.

Al día 49 pos-aplicación del bolo, las vacas suplementadas incrementaron la concentración plasmática de selenio a 59 ng L⁻¹. Amador (2005) reporta incrementos de 50 a 135 ng mL⁻¹, equivalentes a 172% en la concentración plasmática de selenio en vacas a los 45 días de la administración de bolos con selenio. Del Razo (2002) reporta que vacas suplementadas con bolos con selenio alcanzaron un incremento al día 15 pos-aplicación, llegando a ser máximo al día 29. Lo anterior sugiere una respuesta inmediata a dicha suplementación. Ortman y Pehrson (1999) lograron incrementar la concentración de selenio en sangre entera a los 14 días después de la suplementación sin llegar a un máximo, mientras que a la cuarta semana ya

tenían la máxima respuesta en plasma, la cual se mantuvo hasta las 12 semanas.

La concentración plasmática de selenio en el día 98 pos-aplicación del bolo de las vacas suplementadas alcanzó en promedio 75 ng mL^{-1} . Abdelrahman y Kincaid (1995) encontraron diferencias importantes ($P < 0.05$) de 48% entre vacas tratadas y no tratadas con un bolo con selenio al día 60 pos-aplicación. Gerloff (1992) y Stowe y Herdt (1992) concuerdan en que la concentración de selenio aceptable en suero sanguíneo de bovinos es de $70\text{-}100 \text{ ng mL}^{-1}$. La diferencia importante ($P < 0.0001$) de la concentración de selenio entre vacas suplementadas y no suplementadas al día 98 de muestreo sugiere que el bolo tuvo un efecto de mayor dimensión.

Las concentraciones de selenio en plasma de las vacas no suplementadas en los diferentes días de muestreo fueron de $23 \text{ a } 34 \text{ ng mL}^{-1}$ y para vacas suplementadas fueron de $35 \text{ a } 75 \text{ ng mL}^{-1}$. Pehrson *et al.* (1999) señalan que en las condiciones de producción de leche como las de los Estados Unidos de América, animales con concentraciones plasmáticas de selenio con menos de 16 ng mL^{-1} pueden presentar signos clínicos de deficiencia y consideran que una concentración mayor a 33 ng mL^{-1} es adecuada para lograr una capacidad inmune y fertilidad óptimas, aunque para lograr la máxima resistencia a mastitis se recomienda una concentración de 70 ng mL^{-1} . Por otro lado, en condiciones de pastoreo, como las de Nueva Zelandia se ha sugerido que el nivel adecuado de selenio en plasma es mayor a 8 ng mL^{-1} (Ellison, 1992). Lo anterior indica

que los animales en este estudio se encontraban con niveles adecuados de selenio. Sin embargo, utilizando el esquema de Puls (1988) para la clasificación del estado de los animales en función de la concentración plasmática de selenio, los animales en el estudio empezaron con niveles marginales y con la aplicación de bolos con selenio los animales alcanzan niveles adecuados.

En vacas suplementadas con bolos con selenio las concentraciones plasmáticas de cobre iniciales disminuyeron ($P \leq 0.003$) 23 y 55% a los días 49 y 98, respectivamente. La concentración de Cu se redujo ($P < 0.0001$) 42% del día 49 al día 98. De igual manera en las vacas no suplementadas la concentración plasmática de cobre se redujo a través del tiempo ($P \leq 0.0003$) en 27 y 63% a los días 49 y 98, respectivamente. La reducción ($P < 0.0001$) del día 49 al 98 fue del 50%.

Vacas suplementadas y no suplementadas presentaron la misma tendencia lineal ($P < 0.0001$), en la cual el nivel de Cu descendió a través del tiempo (Figura 9); sin embargo, la disminución en la concentración plasmática de Cu fue diferente ($P < 0.05$) en ambos tratamientos, siendo menos drástica en los animales suplementados que en los no suplementados (0.0046 vs 0.0061 mg día⁻¹, respectivamente, $P < 0.05$). Lo anterior puede deberse a que tanto el selenio como el cobre realizan funciones antioxidantes, por lo que el Se puede sustituir parcialmente al Cu en esta función, evitando así gastos mayores de Cu; Puls (1988) señala que el nivel adecuado de Cu en plasma es de 0.80 mg L⁻¹

cuando no se suplementa selenio, y de 0.32 mg L^{-1} cuando existe selenio suplementario.

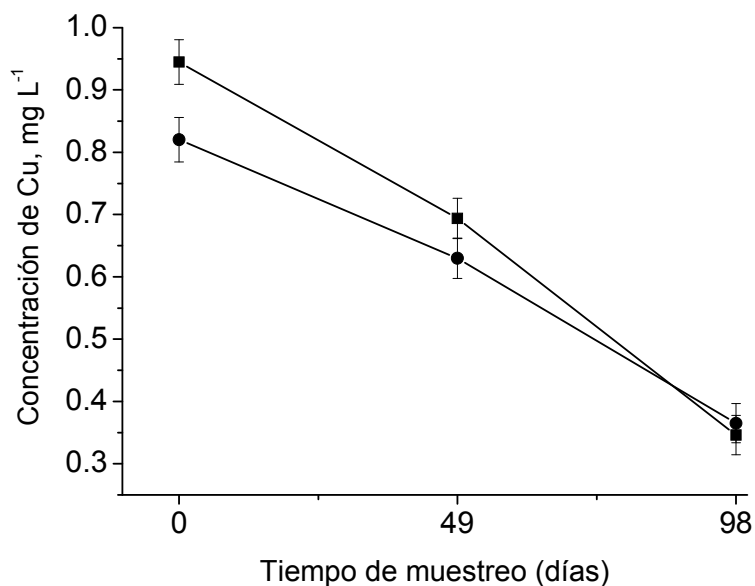


Figura 9. Concentración de cobre en plasma (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas suplementadas (—●—) y no suplementadas (—■—) con bolos con selenio en diferentes tiempos de muestreo.

Las concentraciones plasmáticas de Cu iniciales de los animales se encontraron dentro del rango normal (0.82 y 0.95 mg L^{-1} en vacas suplementadas y no suplementadas, respectivamente) y para los días 49 y 98 fueron marginales de acuerdo a la clasificación de Puls (1988). Sin embargo, los animales suplementados pueden considerarse con concentraciones adecuadas (Puls, 1988) en los días 49 y 98 pos-aplicación del bolo.

Abdelrahman y Kincaid (1995) no encontraron efecto sobre la concentración plasmática del cobre al suplementar a vacas gestantes con bolos

intrarruminales con selenio, diseñados para liberar 3 mg d⁻¹. Por el contrario, Kendall *et al.* (2001b) al suplementar ovejas con un bolo con cinc, cobalto y selenio reportaron incrementos en el status del cobre al incrementar ($P<0.01$) enzimas usadas (ceruloplasmica y superóxido dismutasa séricas) para determinar el estatus del cobre, aunque el cobre plasmático no fue diferente. Estos autores indican que el mecanismo por el cual las ovejas suplementadas incrementan las enzimas indicadoras del estatus del cobre no está comprendido. Sin embargo, mencionan que puede ser debido al componente cinc, cobalto o selenio o a una combinación de estos elementos.

Las concentraciones plasmáticas de Zn, no fueron diferentes ($P=0.45$) entre tratamientos. Lo que concuerda con Abdelrahman y Kincaid (1995), y Kendall *et al.* (2001b) quienes al suplementar un bolo con selenio en vacas y ovejas, respectivamente, no encontraron efecto sobre el nivel de Zn. Sin embargo, en este trabajo, existieron diferencias importantes de Zn entre los días de muestreos. Las concentraciones iniciales de Zn en plasma se encontraron dentro del rango adecuado (0.8 a 1.4 mg L⁻¹) propuesto por Puls (1988); sin embargo, al día 49 las concentraciones de Zn se encontraron en niveles marginales (0.57 mg L⁻¹); recuperando niveles adecuados al día 98 pos-aplicación.

Las concentraciones plasmáticas de Fe el día cero y 98 se encontraron dentro del rango adecuado (1.3 a 2.5 mg L⁻¹) propuesto por Puls (1988); sin embargo, al día 49 se encontraron niveles elevados. Lo que puede ser atribuible a la

deficiencia de cinc, la cual provoca daño oxidativo de la membrana celular (Kincaid, 1999), liberando el hierro del interior de los eritrocitos.

El nivel de Ca en plasma los días 49 y 98 fue 13% más alto que en el día cero. A pesar de ello, en las tres fechas de muestreo las concentraciones plasmáticas de Ca se encontraron dentro del rango adecuado ($80\text{-}110\text{ mg L}^{-1}$) propuesto por Puls (1988).

En este trabajo la concentración de P no fue afectado por el tratamiento. Lo anterior difiere a lo reportado por Abdelrahman y Kincaid (1995) quienes reportan un incremento ($P<0.05$) de 26% de P plasmático de vacas suplementadas con un bolo con selenio, respecto a vacas no suplementadas. Estos autores indican que la explicación para este efecto no es conocida. Los niveles de P en plasma los días 0 y 98 se encontraron dentro del rango adecuado; el día 49 los niveles estuvieron por arriba de lo considerado normal (Puls, 1988).

Las concentraciones de Mg fueron alrededor de 20% más bajas los días 49 y 98, que el día cero. Sin embargo, durante toda la fase experimental los niveles se encontraron dentro del rango adecuado. De igual manera el Na presentó una concentración menor de alrededor de 12% los días 49 y 98 con respecto al día cero. La concentración inicial de Na en plasma presentó niveles marginales, y deficientes los dos siguientes muestreos según la clasificación de Puls (1988).

Los niveles de K encontrados en este trabajo durante todo el periodo experimental se encontraron por arriba del rango adecuado (160 a 200 mg L⁻¹) de acuerdo con Puls (1988). Esto pudo deberse a las deficiencias de Na. Minson (1990) señala que en animales con severas deficiencias de Na se presenta un incremento de potasio en sangre.

Conclusiones

La concentración plasmática de selenio en vacas sujetas a la administración de bolos con selenio presentó incrementos importantes de hasta 117% al día 98 pos-aplicación, corrigiendo la deficiencia de selenio que presentaban las vacas. Además la reducción en la concentración plasmática de cobre se vió atenuada por la suplementación de bolos con selenio.

Las concentraciones plasmáticas de cinc, hierro, calcio, fósforo, magnesio, sodio, y las relaciones calcio:fósforo y sodio:potasio de vacas sujetas a la administración de bolos con selenio no fueron afectadas.

Literatura citada

- Abdelrahman, M. M., and R. L. Kincaid. 1995. Effect of selenium supplementation of cows on maternal transfer of selenium to fetal and newborn calves. J. Dairy Sci. 78:625-630.
- Amador G., E. 2005. Desarrollo de un bolo intra-ruminal para la liberación prolongada de yodo y selenio y su evaluación en ganado bovino. Tesis

- de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuatitlán Izcalli, Estado de México. México. 139 p.
- Barradas L., H. V., y R. M. Cook. 1981. Contenido mineral de suelos, pastos y ganado en ranchos de las regiones central y norte del estado de Veracruz. Mem. XV Reunión anual del INIP. pp: 167-170
- Behne, D., and A. Kyriakopoulos. 2001. Mammalian selenium-containing proteins. *Annu. Rev. Nutr.* 21:453-473.
- Black, D. H., and N. P. French. 2004. Effects of three types of trace element supplementation on the fertility of three commercial dairy herds. *Vet. Rec.* 154:652-658.
- Del Razo R., O. E. 2002. Características productivas y nivel de selenio y hormonas tiroideas en vacas lecheras suplementadas con bolos con selenio, bolos con selenio y yodo o bolos con yodo. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 102 p.
- Ellison, R. S. 1992. A Review of copper and selenium reference ranges in cattle and sheep. *In: Trace elements in ruminant. Proceedings of the 22th Seminary Sheep and Beef Cattle Society. New Zealand Veterinary Association.* pp: 3-26.
- Fick, K. R., L. R. McDowell, H. P. Miles, S. N. Wilkinson, D. J. Funk, H. J. Conrad, y R. Valdivia. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Animal Science Department, University of Florida. Florida, USA. 98 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen. México, D. F. 217 p.

- Geahchan, A., and P. Chambon. 1980. Fluorometry of selenium in urine. Clin. Chem. 26:1272-1274.
- Gerloff, B. J. 1992. Effect of selenium supplementation on dairy cattle. J. Anim. Sci. 70:3934-3940.
- Huerta B., M. 1997. Nutrición mineral de rumiantes en pastoreo. Memorias del curso "Alternativas de Manejo de Bovinos para Carne en Pastoreo". Chapingo, México. pp: 19-72.
- Ivancic, J., and W. P. Weiss. 2001. Effect of dietary sulfur and selenium concentrations on selenium balance of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 84:225-232.
- Judson, G. H., N. F. Ellis, B. R. Kempe, and M. Shallow. 1991. Long-acting selenium treatment for sheep. Aust. Vet. J. 68:263-265.
- Kendall, N. R., A. M. Mackenzie, and S. B. Telfer. 2001a. The effect of a copper, cobalt and selenium soluble glass bolus given to grazing sheep. Livestock Production Science. 68:31-39.
- Kendall, N. R., D. W. Jackson, A. M. Mackenzie, D. V. Illingworth, I. M. Gill, and S. B. Telfer. 2001b. The effect of a zinc, cobalt and selenium soluble glass bolus on the trace element status of extensively grazed sheep over winter. Anim. Sci. 73: 163-169.
- Kendall, N. R., N. C. Farrar, D. V. Illingworth, D. W. Jackson, and S. B. Telfer. 1999. The use of a soluble glass copper, cobalt and selenium bolus to supply selenium to sheep. Proceedings of the British Society of Animal Science. pp: 99.

- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. Proceedings of the American Society of Animal Science. <http://www.asas.org/JAS/symposia/proceedings/0930.pdf> (Consultado el 10 de diciembre de 2005)
- Minson, D. J. 1990. Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press, Inc. San Diego, California. 483 p.
- Moeini, M. M., A. M. Mackenzie, and S. B. Telfer. 1997. Effect of Cosecure® on the fertility and trace element status of dairy cattle. Proceedings of the British Society of Animal Science. pp: 192.
- Ortman, K., and B. Pehrson. 1999. Effect of selenate as a feed supplement to dairy cows in comparison to selenite and selenium Yeast. J. Anim. Sci. 77:3365-3370.
- Pehrson, B. K., Ortman, N. Madjid, and U. Trafikowska. 1999. The influence of dietary selenium as selenium yeast or sodium selenite on the concentration of selenium in the milk of suckler cows and on the selenium status of their calves. J. Anim. Sci. 77:3371–3376
- Perkin-Elmer. 1976. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry. Perkin-Elmer Corp. Connecticut, U.S.A.
- Puls, R. 1988. Minerals Levels in Animal Health. Diagnostic Data. Sherpa International. Clearbrook, Canada. 240 p.
- Rosiles M, R., V. M. González R., R. López L., y J. Peña P. 1993. Niveles comparativos de selenio en pelo de bovinos sanos a nivel del mar, con los de insuficiencia cardiaca del valle de México. Vet. Méx. 24(2):135-137.

- SAS. 1999. SAS/STAT User's guide. Versión 8, volumen 1-5. SAS Publishing, Cary, NC. 3848 p.
- Stowe, H. D., and T. H. Herdt 1992. Clinical assessment of selenium status of livestock. J. Anim. Sci. 70:3928-3933.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 2003. Los Minerales en la Nutrición del Ganado. 3ª Ed. Editorial ACRIBIA, S. A. Zaragoza, España. 637 p.
- Weiss, W. P., D. A. Todhunter, J. S. Hogan, and K. L. Smith. 1990. Effect of duration of supplementation of selenium and vitamin E on periparturient dairy cows. J. Dairy Sci. 73:3187-3194.

**SUPLEMENTACIÓN DE VAQUILLAS EN PASTOREO CON
CÁPSULAS DE ALAMBRE DE ÓXIDO DE COBRE EN
CONDICIONES TROPICALES¹**

¹ Martínez Cuevas, E., M. Huerta Bravo, J. G. García Muñiz y R. Ramírez Valverde

Resumen

El cobre tiene funciones esenciales en numerosos tejidos del cuerpo. Sin embargo, la deficiencia de Cu es la segunda deficiencia mineral más común de bovinos en el mundo. El objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de la suplementación de alambre de óxido de cobre sobre las concentraciones plasmática de Cu, Se, Na, K, Mg, Zn, Fe, Ca y P en vaquillas en pastoreo. Se utilizaron 20 vaquillas de la craza Cebú-Suizo manejadas en pastoreo extensivo de praderas tropicales. El experimento duró 98 días y al inicio, la mitad de las vaquillas recibieron una cápsula conteniendo alambre de óxido de Cu ($10\text{g } 100\text{kg}^{-1}$ de PV), el resto actuó como grupo control. La sangre se colectó los días cero, 49 y 98 del experimento. Las concentraciones de minerales en plasma sanguíneo se analizaron ajustando un modelo mixto que incluyó los efectos fijos de tratamiento, día de muestreo, su interacción y el efecto aleatorio de animal anidado en tratamiento. Se obtuvieron contrastes ortogonales para evaluar el efecto de tiempo de muestreo en la concentración mineral en plasma sanguíneo. El suministro de cápsulas conteniendo alambre de óxido de Cu incrementó ($P < 0.05$) las concentraciones plasmáticas de Se y Na al día 49 y las de Mg al día 98 pos-aplicación. Las concentraciones plasmáticas de Cu, Zn, Fe, K, Ca y P no respondieron al suministro de la capsula conteniendo alambre de óxido de Cu. La concentración plasmática de Cu disminuyó ($P < 0.05$) linealmente con el día de muestreo, mientras que para las concentraciones de Se, P y Na el efecto fue cuadrático ($P < 0.05$). El día de muestreo mostró efectos lineal ($P < 0.05$) y cuadrático ($P < 0.05$) sobre las concentraciones de Zn, Fe, Ca, K y la relación Ca:P. Se concluye que las cápsulas conteniendo $10\text{g } 100\text{kg}^{-1}$

PV de alambre de óxido de Cu no fueron capaces de mantener niveles adecuados de Cu en plasma de los animales en el estudio.

Palabras clave: pastoreo, suplementación con cobre, praderas tropicales, vaquillas de doble propósito.

SUPPLEMENTING GRAZING HEIFERS WITH COPPER OXIDE NEEDLES IN A TROPICAL ENVIRONMENT

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effectiveness of supplementing copper oxide needles on blood plasma concentrations of Cu, Se, Na, K, Mg, Zn, Fe, Ca, and P in grazing heifers. Twenty crossbred Zebu-Brown Swiss heifers grazing tropical pastures were used. The experiment lasted 98 days, and on day zero each of ten heifers was drenched with a capsule containing copper oxide needles ($10\text{g } 100\text{kg}^{-1} \text{ BW}$), with the remaining heifers acting as a control group. Jugular blood samples were collected on days 0, 49, and 98 of the experiment. Mineral concentrations in blood plasma were analyzed fitting a mixed linear model including the fixed effects of treatment, time, their interaction, and the random effect of animal nested within treatment. Orthogonal contrasts were obtained to evaluate the effect of sampling time on mineral blood plasma concentration. Drenching with copper oxide needles increased ($P < 0.05$) blood plasma concentrations of Se and Na on day 49, and of Mg on day 98 of the experiment. Blood plasma concentrations of Cu, Zn, Fe, Ca, and P were not affected by copper supplementation. Blood plasma Cu concentration decreased ($P < 0.05$) linearly after capsule insertion, whereas for Se, P, and Na the effect

was quadratic ($P < 0.05$). Time of sampling had linear ($P < 0.05$) and quadratic ($P < 0.05$) effects on the concentrations of Zn, Fe, Ca, K, and the ratio Ca:P. It is concluded that administering capsules containing $10\text{g } 100\text{kg}^{-1}$ BW of copper oxide needles were not capable of maintaining adequate levels of plasmatic Cu in the experimental animals.

Key words: grazing, copper supplementation, tropical pastures, dual purpose heifers.

Introducción

El cobre tiene funciones esenciales en numerosos tejidos del cuerpo. Por ello, una deficiencia dietética de este elemento podría fácilmente ser implicada como la causa de anemia, alteraciones óseas, alteraciones del tejido conectivo, ataxia de los recién nacidos, alteraciones cardiovasculares, despigmentación, queratinización deficiente de lana y pelo, diarrea, infertilidad, susceptibilidad a infecciones y retraso en el crecimiento (Underwood y Suttle, 2003).

La deficiencia de cobre es la segunda deficiencia más común de bovinos en el mundo, sobrepasada en prevalencia únicamente por la deficiencia de fósforo (Wikse *et al.*, 1992). La deficiencia o toxicidad del Cu en animales en pastoreo depende no únicamente de la concentración total en la dieta sino de otros factores, los cuales influyen la absorción y disponibilidad del Cu. De éstos, la concentración de Mo, S y Fe en la dieta son los más importantes (Gooneratne *et al.*, 1989). En México la deficiencia de cobre es común. Las causas pueden ser por deficiencias naturales de este mineral en el suelo y forraje, exceso de

molibdeno en el suelo y forraje (norte del país), exceso de azufre en el ambiente (región del golfo y zona centro), o exceso de hierro en forrajes o suelos ácidos (Huerta, 1999).

Por esta razón, es de suma importancia suplementar con cobre a animales en pastoreo. En México, la forma común de suplementación es proporcionando una mezcla de sales minerales. Sin embargo, en estos sistemas de explotación, la suplementación con mezclas minerales a libre acceso representan una serie de dificultades que impiden a los animales cubrir sus requerimientos de Cu (Kendall y Telfer, 2000). Por esta razón se requiere estudiar alternativas de suplementación del ganado para este mineral. Una dosis oral al ganado con cápsulas rellenas de alambre de óxido de cobre ha mostrado ser un método efectivo para la provisión de Cu en el ganado (MacPherson, 1984; Richards *et al.*, 1985; Alvear, 2003). La duración del efecto de la suplementación con alambres de óxido de cobre depende de la severidad en la deficiencia de cobre en los animales suplementados (MacFarlane *et al.*, 1991), de la dosis suplementada y de la tasa de aceleración de pérdida de Cu del hígado (MacPherson, 1984).

En México, se han realizado pocos estudios para conocer el efecto de la suplementación cúprica por medio de la aplicación de alambre de óxido de cobre (Alvear, 2003); por lo que, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del suministro de cápsulas de alambre de óxido de cobre sobre la concentración plasmática de Cu, Se, Na, K, Mg, Zn, Fe, Ca y P en vaquillas en pastoreo.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el rancho de doble propósito “El Limón”, ubicado en el municipio de Juan Rodríguez Clara, Veracruz, a 18°00’ latitud norte, 95°24’ longitud oeste y a una altitud de 130 m. El clima de la región es cálido subhúmedo, con lluvias en verano y presencia de una ligera canícula, temperatura media anual de 26 °C y precipitación anual de 1367 mm (García, 1988). La preparación del suplemento y los análisis de laboratorio realizados a las muestras de sangre de los animales tratados se llevó a cabo en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

Se utilizaron 20 vaquillas de la cruce comercial entre las razas Cebú y Suizo, con un peso vivo promedio aproximado de 280 kg. Los animales se manejaron en condiciones extensivas de pastoreo, con sal común (NaCl) y agua corriente de arroyo a libre acceso. Los pastos predominantes, *Brachiaria decumbens* (señal) y *Brachiaria brizantha* (insurgente), fueron manejados en pastoreo continuo.

Se evaluaron dos tratamientos: 10 vaquillas suplementadas con cápsulas de alambre de óxido de cobre y 10 vaquillas no suplementadas. Se utilizó alambre de cobre eléctrico (iónico) de 0.5 mm de diámetro, recortado a 5 mm de longitud en promedio, según lo recomendado por Judson *et al.* (1984). El alambre se oxidó por medio de la exposición a una temperatura mínima de 550 °C y máxima de 580 °C. Una vez realizada la oxidación del alambre de cobre se

prepararon cápsulas con papel delgado biodegradable. La administración de las cápsulas a los animales fue vía bucal con una dosis de 10 g de alambre de óxido de cobre por cada 100 kg de peso vivo del animal, de acuerdo con lo recomendado por Whitelaw *et al.* (1984).

La administración de las cápsulas fue mediante un aplicador de bolos y se efectuó el primer día del experimento. El periodo experimental comprendió del 22 de enero de 2005 al 30 de abril del mismo año (98 días). Durante este período se realizaron un total de tres muestreos, siendo estos los días cero, 49 y 98 días pos-aplicación de las cápsulas.

Las muestras de sangre se obtuvieron por punción de la vena yugular en tubos vacutainer con heparina sódica como anticoagulante. Posteriormente se centrifugaron a 2500 rpm para separar el plasma, que se conservó en refrigeración en tubos de vidrio deionizados hasta el momento de análisis.

Las variables de respuesta fueron las concentraciones de fósforo, selenio, calcio, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro y cinc en plasma sanguíneo. La concentración de fósforo se determinó mediante colorimetría (UV/VIS), utilizando un espectrofotómetro UV/VIS PERKIN ELMER® Lambda 2; la concentración de selenio mediante la técnica de luminiscencia descrita por Geahchan y Chambon (1980), utilizando el espectrofotómetro de luminiscencia PERKIN ELMER® LS30; y los otros minerales por espectrofotometría de

absorción atómica en un aparato PERKIN ELMER® 4000 (Perkin-Elmer, 1976; Fick *et al.*, 1979).

Las concentraciones de los minerales determinados en plasma sanguíneo fueron analizadas mediante el modelo mixto siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + D_j + (T \cdot D)_{ij} + \delta_k(T)_j + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor de la variable de respuesta (P, Se, Ca, Mg, Na, K, Cu, Fe y Zn) correspondiente al *i*-ésimo tratamiento en el *j*-ésimo día del experimento en la *k*-ésima vaquilla; μ = media general; T_i = efecto fijo del *i*-ésimo tratamiento (*i* = vaquillas suplementadas, vaquillas no suplementadas); D_j = efecto fijo del *j*-ésimo día del experimento (*j* = 0, 49, 98); $(T \cdot D)_{ij}$ = efecto fijo de la interacción entre el *i*-ésimo tratamiento y el *j*-ésimo día del experimento; $\delta_k(T)_i$ = efecto aleatorio de la *k*-ésima vaquilla anidada en el *i*-ésimo tratamiento, y ε_{ijk} = error experimental.

Los cálculos estadísticos se realizaron con el procedimiento MIXED de SAS (SAS, 1999). Contrastes lineales y cuadráticos se realizaron para el efecto de tiempo de muestreo.

Resultados y discusión

Las concentraciones de minerales en plasma de las vaquillas en función del tratamiento y tiempo de muestreo se indican en el Cuadro 10. La concentración de magnesio fue afectada ($P=0.002$) por el tratamiento. En contraparte, el tratamiento no afectó las concentraciones de Se, Cu, Zn, Fe, Ca, P, Na y K ($P\geq 0.11$); así como tampoco la relación Ca:P ($P\geq 0.48$).

El tiempo de muestreo tuvo un efecto lineal ($P<0.0001$) sobre la concentración plasmática de Cu. En cambio hubieron efectos lineales y cuadráticos ($P\leq 0.008$) sobre las concentraciones en plasma de Zn, Fe, Ca, K y la relación Ca:P. Por último, el tiempo de muestreo tuvo un efecto cuadrático ($P\leq 0.007$) sobre la concentración plasmática de Se, P y Na.

La interacción tratamiento por tiempo fue importante ($P=0.02$) de forma cuadrática para la concentración de selenio, como se observa en la Figura 10, mientras que para la concentración de Mg y K la interacción sólo fue importante ($P=0.02$) de forma lineal. Por otro lado, existió interacción tratamiento por tiempo lineal y cuadrática ($P\leq 0.05$) para la concentración de Na. Para Cu, Zn, Fe, Ca y P no existió interacción tratamiento por tiempo de muestreo ($P\geq 0.06$).

Las concentraciones de selenio plasmático en vaquillas suplementadas y no suplementadas, en las tres fechas de muestreo fueron menores a 70 ng mL^{-1} , que es el nivel considerado como adecuado por Stowe y Herdt (1992), lo que demuestra deficiencia de selenio en los animales de este estudio.

Cuadro 10. Concentración mineral (medias de cuadrados mínimos) en plasma de vaquillas suplementadas y no suplementadas con cápsulas de alambre de óxido de cobre en diferente tiempo de muestreo

Mineral	Tratamiento		Pr > F	Tiempo (días)			Pr > F	
	Suplementadas	No suplementadas		0	49	98	Lineal	Cuadrático
Se, ng mL ⁻¹	29.9	26.8	0.144	29.6	19.7	35.8	0.0817	<0.0001
Cu, mg L ⁻¹	0.608	0.585	0.337	0.820	0.614	0.356	<0.0001	0.4167
Zn, mg L ⁻¹	0.865	0.876	0.805	1.126	0.556	0.931	<0.0001	<0.0001
Fe, mg L ⁻¹	3.7	3.9	0.316	2.3	6.0	3.3	0.0027	<0.0001
Ca, mg L ⁻¹	103.1	100.3	0.133	90.9	105.0	109.2	<0.0001	0.0013
P, mg L ⁻¹	78.4	78.1	0.919	67.6	94.3	73.1	0.0938	<0.0001
Mg, mg L ⁻¹	25.1	21.9	0.002	23.8	22.8	23.9	0.9124	0.1876
Na, mg L ⁻¹	2948.8	2872.1	0.110	2944.6	2821.9	2964.9	0.7045	0.0065
K, mg L ⁻¹	278.5	282.6	0.524	220.5	329.15	291.95	<0.0001	<0.0001
Ca:P	1.4	1.3	0.476	1.362	1.117	1.551	0.0084	<0.0001

En contraparte, las concentraciones encontradas en este estudio se encuentran por arriba de 8 ng mL^{-1} , nivel considerado como adecuado por Ellison (1992) para animales en pastoreo. En el día 49, las vaquillas suplementadas tuvieron 61% más ($P=0.002$) selenio que las vaquillas no suplementadas. En el día cero y 98 las concentraciones de selenio no fueron diferentes ($P \geq 0.47$) entre ambos grupos de vaquillas.

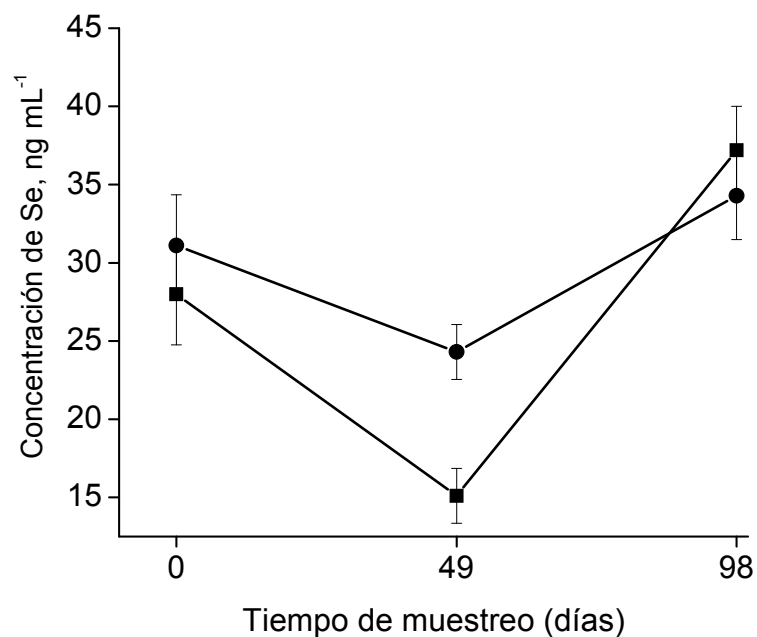


Figura 10. Concentración de selenio en plasma (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vaquillas suplementadas (—●—) y no suplementadas (—■—) con cápsulas de alambre de óxido de cobre.

Las vaquillas suplementadas presentaron un incremento significativo ($P=0.006$) del día 49 al 98, de 42% en la concentración de selenio en plasma. En las vaquillas no suplementadas el incremento entre estos días de muestreo fue de

146%. La concentración plasmática de selenio se redujo ($P=0.002$) en 46% del día cero al 49 en vaquillas no suplementadas.

La diferencia en la concentración de selenio entre vaquillas suplementadas y no suplementadas encontrada el día 49, concuerda con lo reportado por Gleed *et al.* (1983) e Hidioglou (1989), quienes indican que la suplementación de cobre en novillos y vaquillas, respectivamente, incrementa significativamente la concentración de selenio y glutatión peroxidasa en plasma sanguíneo. Por otra parte, Dove y Ewan (1990) y Lauridsen *et al.* (1999) no encontraron efecto ($P>0.05$) de la suplementación de cobre sobre la actividad de la glutatión peroxidasa, enzima utilizada como un indicador del estatus del selenio.

Las concentraciones plasmáticas de cobre no fueron afectadas por el tratamiento ($P=0.34$). Lo anterior concuerda con Boila (1987), quien al suplementar a vacas y becerros con 20 y 4 g de alambre de óxido de cobre, respectivamente, no encontró efecto ($P>0.05$) sobre la concentración de cobre en plasma. De igual manera, Cameron *et al.* (1989) observaron que la suplementación a vacas Hereford con 25 y 50 g, y a sus crías con 20 g de alambre de óxido de cobre no tuvo influencia ($P>0.05$) en la concentración de Cu y la actividad de ceruloplasmina en plasma. Kendall *et al.* (2001) no encontraron efecto en la concentración de cobre en plasma ni en la actividad de la ceruloplasmina en suero de corderos y ovejas, al ser suplementados con un bolo de cristal soluble con cobre. Sin embargo, los tres trabajos anteriores (Boila, 1987; Cameron *et al.*, 1989; Kendall *et al.*, 2001) encontraron diferencias

significativas ($P \leq 0.01$) en la concentración de Cu en hígado entre animales suplementados y no suplementados. Arthington (2005) reporta incrementos ($P < 0.03$) en la acumulación de Cu en hígado de novillos sujetos a la administración de bolos con 12.5 g de alambre de óxido de cobre, en comparación con novillos no suplementados. Underwood y Suttle (2003) señalan que la concentración de cobre en tejido hepático es el mejor indicador de la suficiencia de almacenes de Cu en el cuerpo.

En contraparte, Whitelaw *et al.* (1984) indicaron que 20 g de alambre de óxido de cobre administrados a ganado Angus de aproximadamente 190 kg de peso vivo, son efectivos para prevenir retardos en el crecimiento e hipocupremia severa observados en animales no suplementados. Coffey *et al.* (1992) reportaron influencia importante ($P < 0.01$) de la suplementación a novillos cruzados, con 20 g de alambre de óxido de cobre, en la concentración de cobre y ceruloplasmina en suero, en comparación con los animales no suplementados. MacPherson (1984) encontró que vacas suplementadas con 20, 40 y 60 g de alambre de óxido de cobre incrementaron significativamente ($P < 0.001$) la concentración de cobre en plasma respecto a vacas no suplementadas, manteniendo una tendencia de incremento hasta los ocho meses, y permaneciendo dentro del rango adecuado por más de 11 meses.

Las concentraciones iniciales de Cu se encontraron dentro del rango adecuado (0.8 a 1.5 mg L^{-1}) propuesto por Puls (1988); sin embargo, las concentraciones a los días 49 y 98 fueron marginales, 0.61 y 0.36 mg L^{-1} , respectivamente. La

tendencia lineal de decremento en la concentración de Cu en plasma a través del tiempo, puede deberse al establecimiento cada vez más fuerte de la sequía durante el periodo experimental, lo que ocasionó la falta de forraje disponible para los animales.

Las concentraciones plasmáticas de cinc no fueron afectadas por el tratamiento. Boila (1987) y Coffey *et al.* (1992) tampoco encontraron efecto importante ($P \geq 0.05$) de la suplementación cúprica con alambres de óxido de cobre sobre la concentración sérica de cinc en bovinos. Apgar y Kornegay (1996), y Eckert *et al.* (1999) reportan que la fuente y nivel de cobre suplementario no tuvieron influencia ($P > 0.10$) sobre los niveles de Zn en hígado. De igual manera, en el trabajo de Cameron *et al.* (1989) no se reporta influencia de la suplementación de alambre de óxido de cobre sobre la concentración plasmática de cinc; sin embargo, las crías que tomaron la leche de vacas suplementadas presentaron mayor ($P < 0.01$) concentración plasmática de cinc que las crías de vacas no suplementadas. Por otro lado, Towers *et al.* (1981) y Alvear (2003) observaron incrementos ($p < 0.05$) de cinc en plasma sanguíneo al suplementar glicinato de cobre y cápsulas de alambre de óxido de cobre, respectivamente. Por el contrario, Ledoux *et al.* (1989) reportan que la suplementación de altos niveles de cobre reducen las concentraciones de cinc en plasma. Du *et al.* (1996) observaron que la concentración de cinc en hígado fue más alta ($P < 0.005$) en grupos de ratas suplementados con bajos niveles (5 ppm) de cobre que en grupos suplementados con altos niveles (15 ppm).

Hatfield *et al.* (2001) indican que la suplementación de Zn en presencia de Cu incrementa su absorción y retención, al encontrar que ovejas suplementadas con un complejo de Zn-Cu tendieron ($P=0.13$) a tener mayor concentración de cinc en hígado y más baja ($P=0.18$) concentración de cinc fecal que ovejas suplementadas con un complejo de Zn.

Las concentraciones de cinc plasmático fueron diferentes a través de los días de muestreos. Las concentraciones iniciales se encontraron dentro del rango adecuado (0.8 a 1.4 mg L^{-1}) propuestos por Puls (1988); sin embargo, al día 49 se encontraron en niveles marginales (0.56 mg L^{-1}), recuperando niveles adecuados al día 98.

La concentración plasmática de Fe no fue diferente entre tratamientos, lo que concuerda con Boila (1987) y Cameron *et al.* (1989), quienes al suplementar diferentes dosis de alambre de óxido de cobre a vacas y sus crías no encontraron efecto sobre la concentración de Fe en plasma y tejido hepático. De manera similar en cerdos, Apgar y Kornegay (1996) reportan que la absorción y retención de hierro no fue afectada ($P>0.10$) por la adición de diferentes niveles y fuentes de cobre; sin embargo, indican que los cerdos alimentados con altos niveles de Cu tienden a absorber más Fe que los no suplementados. Estos autores señalan que esto no indica que el cobre interfiera con la absorción del Fe en el tracto gastro-intestinal. Underwood y Suttle (2003) señalan que el cobre juega un papel clave en la utilización del hierro; la ceruloplasmina, proteína más abundante en cobre del plasma sanguíneo puede

funcionar como una ferroxidasa. Por otro lado, Du *et al.* (1996) reportan que ratas alimentadas con un complejo Cu-lisina tuvieron más alta concentración de hierro hepático que ratas alimentadas con sulfato de cobre, sugiriendo que los complejos de cobre y cobre inorgánico son absorbidos por diferentes mecanismos. Muñoz (2005) encontró que cabras suplementadas con 5 g de alambre de óxido de cobre disminuyeron las concentraciones elevadas de Fe que presentaban los animales. En corderos deficientes en cobre se han obtenido signos de estrés oxidativo en forma de cuerpos de Heinz dentro de eritrocitos, lo cual causa hemólisis (Suttle *et al.*, 1987).

Las concentraciones iniciales de Fe en plasma se encontraron dentro del rango adecuado (1.3 a 2.5 mg L⁻¹) propuesto por Puls (1988); sin embargo, al día 49 las concentraciones de Fe fueron elevadas, lo que puede atribuirse a la deficiencia de Zn y niveles más bajos de Se, lo cual provoca daño oxidativo de la membrana celular (Kincaid, 1999), liberando el hierro del interior de los eritrocitos. Aunque el día 98 la concentración de Fe también fue elevada, se encontró más cerca del rango adecuado, lo que puede deberse a la recuperación de niveles óptimos de Zn y mejores niveles de Se.

Los niveles de Ca en plasma los días 49 y 98 fueron 16 y 20% mayores ($P < 0.0001$), respectivamente, con respecto al día cero. El día 98 se encontraron concentraciones de calcio 4% más altas ($P = 0.02$) que en el día 49. A pesar de las diferencias entre las fechas de muestreo, las concentraciones de Ca se encontraron en el rango adecuado (80 a 110 mg L⁻¹) propuesto por Puls (1988).

La concentración plasmática de fósforo no fue afectada por el tratamiento. Lo anterior difiere de lo reportado por Alvear (2003) y Muñoz (2005), quienes observaron que vaquillas y cabras suplementadas, respectivamente, con alambre de óxido de cobre incrementaron la concentración plasmática de fósforo. Este incremento se explica por el efecto nematicida (Bang *et al.*, 1990; Chartier *et al.*, 2000) del alambre de óxido de cobre, que puede afectar a los protozoarios del rumen, con lo que incrementa el flujo de proteína bacteriana a nivel abomasal, mejorando los niveles de P en el torrente sanguíneo.

Las concentraciones plasmáticas de fósforo los días cero y 98 se encontraron dentro del rango adecuado (60 a 90 mg L⁻¹); sin embargo, el día 49 los niveles se encontraron por arriba de lo considerado normal (Puls, 1988). Este incremento en la concentración de fósforo coincide con la deficiencia de cinc en esta fecha de muestreo. Berner (1997) indica que cuando hay una hemólisis, la desintegración de los glóbulos rojos libera fósforo, incrementándose la concentración de este mineral en plasma sanguíneo.

En la Figura 11 se muestra la importancia de la interacción tratamiento por tiempo lineal sobre la concentración de magnesio. Vaquillas suplementadas y no suplementadas presentaron una diferencia significativa ($P=0.0001$) de 28% en la concentración de Mg el día 98. En el día cero y 49 las concentraciones de magnesio no fueron diferentes ($P\geq 0.09$) entre ambos grupos de vaquillas. Las vaquillas suplementadas presentaron un incremento importante ($P=0.03$) en la concentración de magnesio plasmático del 12% del día 49 al día 98. La

concentración de Mg en vaquillas no suplementadas fue similar ($P \geq 0.11$) a través del tiempo.

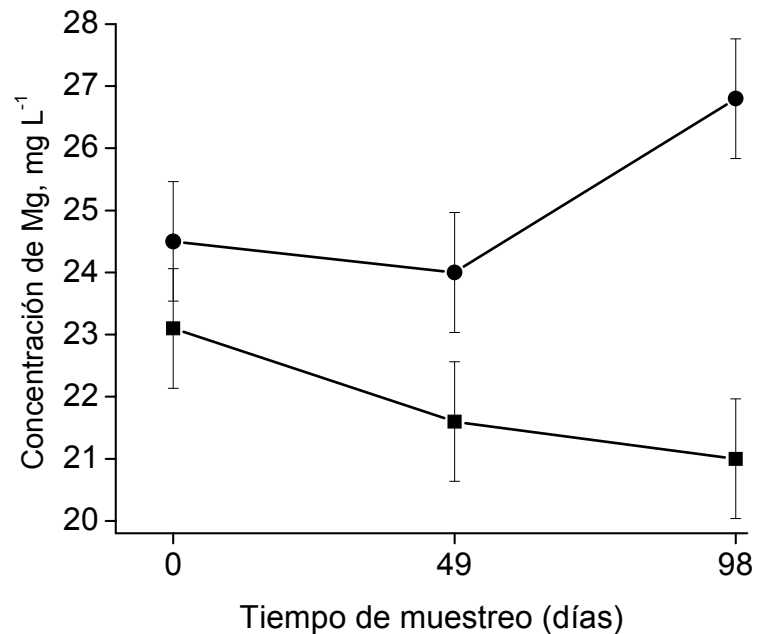


Figura 11. Concentración de magnesio en plasma (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vaquillas suplementadas (—●—) y no suplementadas (—■—) con cápsulas de alambre de óxido de cobre.

Las concentraciones de Mg en plasma de vaquillas suplementadas y no suplementadas durante los tres muestreos se encontraron dentro del rango adecuado (18 a 35 mg L⁻¹) propuesto por Puls (1988). El NRC (2001) menciona que el mantenimiento de la concentración normal de Mg en sangre depende completamente de la absorción del Mg dietético. La absorción del Mg es deprimida por altos niveles de potasio (Minson, 1990).

En la Figura 12 se muestra la importancia de la interacción tratamiento por tiempo lineal y cuadrática sobre la concentración de sodio. Vaquillas suplementadas presentaron 7% más ($P=0.01$) sodio plasmático que vaquillas no suplementadas el día 49; mientras que los días cero y 98 el nivel de Na fue similar ($P \geq 0.10$) entre ambos grupos de vaquillas. Dentro del grupo de vaquillas suplementadas la concentración de Na fue similar ($P \geq 0.08$) a través del tiempo. Las vaquillas no suplementadas sufrieron una reducción importante ($P=0.001$) del 11% en la concentración de Na del día cero al 49. Sin embargo, el día 98 incrementaron ($P=0.02$) 7% con respecto al día 49.

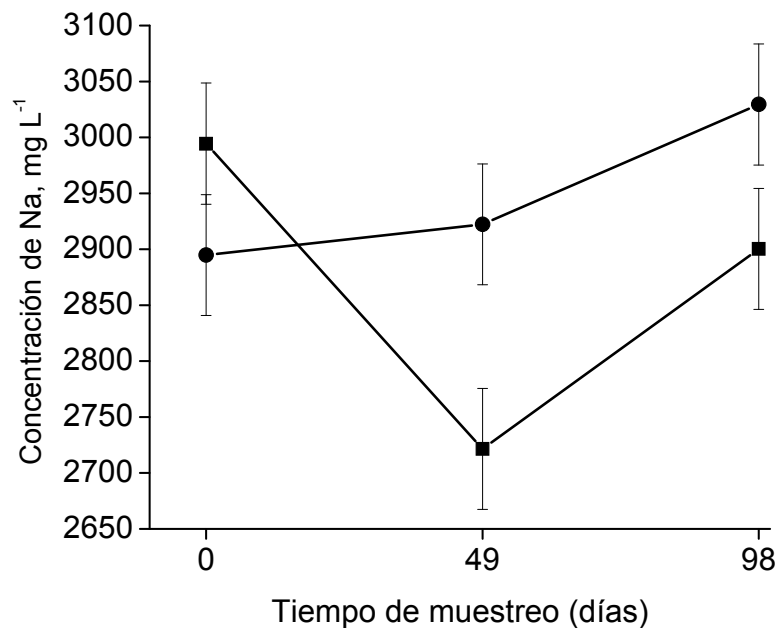


Figura 12. Concentración de sodio en plasma (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vaquillas suplementadas (—●—) y no suplementadas (—■—) con cápsulas de alambre de óxido de cobre.

Las vaquillas suplementadas y no suplementadas presentaron concentraciones de Na en plasma deficientes en las tres fechas de muestreo. Lo que puede deberse a la deficiencia de este mineral en forrajes de la zona (Martínez *et al.* 2004). Kedzierska *et al.* (2005) indican que la concentración de cobre en plasma influye significativamente la actividad de los sistemas de transporte del sodio en las membranas de los eritrocitos.

En la Figura 13 se muestra la importancia de la interacción tratamiento por tiempo lineal sobre la concentración de potasio.

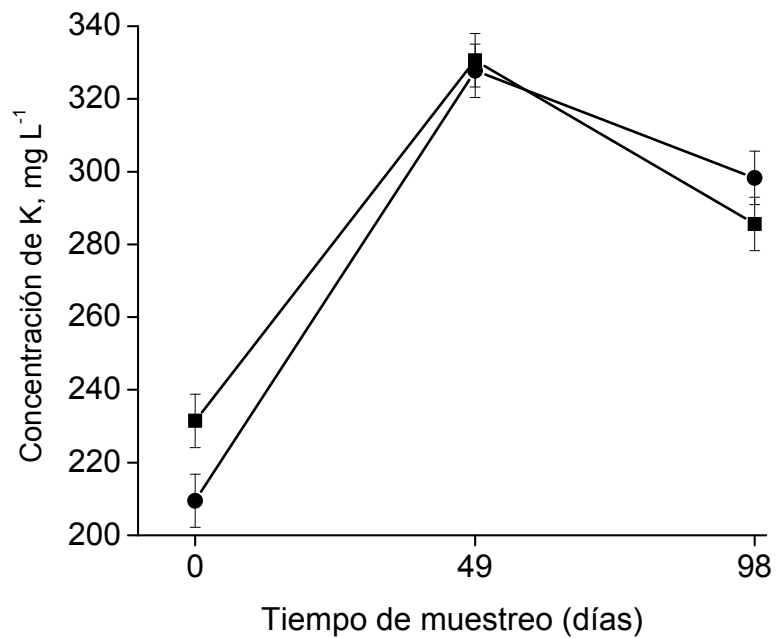


Figura 13. Concentración de potasio en plasma (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vaquillas suplementadas (—●—) y no suplementadas (—■—) con cápsulas de alambre de óxido de cobre.

Las concentraciones plasmáticas de potasio en el día cero fueron mayores ($P=0.04$) en vaquillas no suplementadas que en vaquillas suplementadas. En los días 49 y 98 el nivel de K fue similar ($P\geq 0.23$) entre ambos grupos de vaquillas. En las tres fechas de muestreo las concentraciones de potasio fueron diferentes en vaquillas suplementadas ($P\leq 0.006$) y en no suplementadas ($P\leq 0.0001$). En los tres muestreos, ambos grupos de vaquillas presentaron niveles de K por arriba de lo considerado normal (Puls, 1988), lo que puede atribuirse a las deficiencias de Na. Minson (1990) señala que en animales con severas deficiencias de Na se presenta un incremento de potasio en sangre.

Conclusiones

La administración de cápsulas de alambre de óxido de cobre mejora las concentraciones plasmáticas de selenio y sodio al día 49 pos-aplicación, sin llegar a los niveles considerados como adecuados; sin embargo, para el día 98 las cápsulas pierden su efecto sobre la concentración plasmática de estos minerales. En cambio, las cápsulas no tienen efecto sobre la concentración de magnesio el día 49 y es hasta el día 98 cuando incrementan la concentración de este mineral.

Las concentraciones plasmáticas de cobre, cinc, hierro, calcio, potasio y fósforo de vaquillas sujetas a la administración de cápsulas de alambre de óxido de cobre no fueron afectadas.

Literatura citada

- Alvear H., E. 2003. Diagnóstico y suplementación mineral en ganado bovino de Zirándaro, Guerrero. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 124 pp.
- Apgar, G. A., and E. T. Kornegay. 1996. Mineral balance of finishing pigs fed copper sulfate or a copper-lysine complex at growth-stimulating levels. J. Anim. Sci. 74:1594-1600.
- Arthington, J. D. 2005. Effects of copper oxide bolus administration or high-level copper supplementation on forage utilization and copper status in beef cattle. J. Anim. Sci. 83:2894-2900.
- Bang, K. S., A. S. Familton, and A. R. Sykes. 1990. Effect of copper oxide wire particle treatment on establishment of major gastrointestinal nematodes in lambs. Res. Vet. Sci. 49:132-137.
- Berner, Y. N. 1997. Phosphorus. *In*: Handbook of nutritionally essential mineral elements. Boyd L. O'Dell and Rogers A. Sunde (ed). Marcel Decker, Inc. NewYork. 170 p.
- Boila, R. J. 1987. Cupric oxide needles for grazing cattle-growth and metabolic interrelationships. Can. J. Anim. Sci. 67:577-581.
- Cameron, H. J., R. J. Boila, L.W. McNichol, and N. E. Stanger. 1989. Cupric oxide needles for grazing cattle consuming low-copper, high-molibdenum forage and high-sulfate water. J. Anim. Sci. 67:252-261.
- Chartier, C., E. Etter, H. Hoste, I. Pors, C. Koch, and B. Dellac. 2000. Efficacy of copper oxide needles for the control of nematode parasites in dairy goats. Vet. Res. Comm. 24:389-399.

- Coffey, K. P., J. L. Moyer, L. W. Lomas, J. E. Smith, D. C. La Rue, and F. K. Brazles. 1992. Implant and copper oxide needles for steers grazing *Acremonium coenophialum*-infected tall fescue pastures: effects on grazing and subsequent feedlot performance and serum constituents. *J. Anim. Sci.* 70:3203-3214.
- Dove, C. R., and R. C. Ewan. 1990. Effect of excess dietary copper, iron or zinc on the tocopherol and selenium status of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 68:2407-2413.
- Du, Z., R. W. Hemken, J. A. Jackson, and D. S. Trammel. 1996. Utilization of copper in copper proteinate, copper lysine, and cupric sulfate using the rat as an experimental model. *J. Anim. Sci.* 74:1657-1663.
- Eckert, G. E., L. W. Greene, G. E. Carstens, and W. S. Ramsey. 1999. Copper status of ewes fed increasing amounts of copper from copper sulfate or copper proteinate. *J. Anim. Sci.* 77:244-249.
- Ellison, R. S. 1992. A Review of copper and selenium reference ranges in cattle and sheep. *In: Trace elements in ruminant. Proceedings of the 22th Seminary Sheep and Beef Cattle Society. New Zealand Veterinary Association.* pp: 3-26.
- Fick, K. R., L. R. McDowell, H. P. Miles, S. N. Wilkinson, D. J. Funk, H. J. Conrad, y R. Valdivia. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Animal Science Department, University of Florida. Florida, USA. 98 p.
- Geahchan, A., and P. Chambon. 1980. Fluorometry of selenium in urine. *Clin. Chem.* 26:1272-1274.

- Gleed, P. T., W. M. Allen, C. B. Mallinson, G. J. Rowlands, B. F. Sansom, M. J. Vagg, and R. D. Caswell. 1983. Effects of selenium and copper supplementation on the growth of beef steers. *Vet. Rec.* 113:388-392.
- Gooneratne, S. R., W. T. Buckley, and D. A. Christensen. 1989. Review of copper deficiency and metabolism in ruminants. *Can. J. Anim. Sci.* 69:819-845.
- Hatfield, P. G., C. K. Swenson, R. W. Kott, R. P. Ansotegui, N. J. Roth, and B. L. Robinson. 2001. Zinc and copper status in ewes supplemented with sulfate- and amino acid-complexed forms of zinc and copper. *J. Anim. Sci.* 79:261-266.
- Hidiroglou, H. 1989. Effects of selenium and copper administration on blood selenium and copper profile of cattle. *Ann. Rech. Vet.* 20(2): 129-134.
- Huerta B., M. 1999. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. *Memorias II seminario internacional: Estrategias de suplementación a bovinos en pastoreo.* Chapingo, México. 28 y 29 de octubre. pp: 153-184.
- Judson, G. J., C. L. Tregove, M. W. Langman, and R. Vandergraaff. 1984. Copper supplementation of sheep. *Aust. Vet. J.* 61:40-43.
- Kedzierska, K., J. Bober, K. Ciechanowski, E. Golembiewska, E. Kwitkowska, I. Nocen, B. Dolegowska, G. Dutkiewicz, and D. Chlubek. 2005. Copper modifies the activity of sodium-transporting systems in erythrocyte membrane in patients with essential hypertension. *Biol. Trace Elem. Res.* 107(1):21-32.

- Kendall, N. R., A. M. Mackenzie, and S. B. Telfer. 2001. Effect of a copper, cobalt and selenium soluble glass bolus given to grazing sheep. *Livest. Prod. Sci.* 68:31-39.
- Kendall, N. R., and S. B. Telfer. 2000. Induction of zinc deficiency in sheep and its correction with a bolus of soluble glass containing zinc. *Vet. Rec.* 146: 634-637.
- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. *Proceedings of the American Society of Animal Science.* <http://www.asas.org/JAS/symposia/proceedings/0930.pdf> (Consultado el 10 de diciembre de 2005)
- Lauridsen, C., S. Hojsgaard, and M. T. Sorensen. 1999. Influence of dietary rapeseed oil, vitamin E, and copper on the performance and the antioxidative and oxidative status of pigs. *J. Anim. Sci.* 77:906-916.
- Ledoux, D. R., P. R. Henry, C. B. Ammerman, and R. D. Miles. 1989. Effect of dietary copper on tissue mineral composition as an estimate of copper bioavailability in broiler chicks. *Nutr. Rep. Int.* 39:1117.
- MacFarlane, J. D., G. J. Judson, R. K. Turnbull, and B. R. Kempe. 1991. An evaluation of copper-containing soluble glass pellets, copper oxide particles and injectable copper as supplements for cattle and sheep. *Aust. J. Exp. Agric.* 31:165-174.
- MacPherson, A. 1984. Long term effectiveness of graded doses of copper oxide needles in suckler cows. *Vet. Rec.* 115:354-355.
- Martínez C., E., M. Huerta B., J. G. García M. y R. Ramírez V. 2004. Caracterización mineral de ganado bovino en Juan Rodríguez Clara,

- Veracruz. Mem. XXXII Reunión anual Asoc. Mex. Prod. Anim. Monterrey, Nuevo Leon, México. 28 al 29 de octubre.
- Minson, D. J. 1990. Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press, Inc. San Diego, California. 483 p.
- Muñoz G., J. C. 2005. Estudios en minerales para pequeños rumiantes y su ambiente en el estado de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 119 pp.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th revised edition. National Academy Press. Washington, D. C. 381 p.
- Perkin-Elmer. 1976. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry. Perkin-Elmer Corp. Connecticut, U.S.A.
- Puls, R. 1988. Minerals Levels in Animal Health. Diagnostic Data. Sherpa International. Clearbrook, Canada. 240 p.
- Richards, D. H., G. R. Hewett, J. M. Parry, and G. H. Yeoman. 1985. Bovine copper deficiency: Use of copper oxide needles. Vet. Rec. 116:618-619.
- SAS. 1999. SAS/STAT User's guide. Versión 8, volumen 1-5. SAS Publishing, Cary, NC. 3848 p.
- Stowe, H. D., and T. H. Herdt. 1992. Clinical assessment of selenium status of livestock. J. Anim. Sci. 70:3928-3933.
- Suttle, N. F., D. G. Jones, C. Woolliams, and J. A. Woolliams. (1987). Heinz body anaemia in lambs with deficiencies of copper or selenium. Br. J. Nut. 58: 539-548.
- Towers, N. R., W. P. Young, and E. D. Wrigth. 1981. Effect of zinc supplementation on bovine plasma copper. N. Z. Vet. J. 29:113-114.

- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 2003. Los Minerales en la Nutrición del Ganado. 3ª Ed. Editorial ACRIBIA, S. A. Zaragoza, España. 637 p.
- Whitelaw, A., A. R. Fawcett, and A. J. Macdonald. 1984. Cupric oxide needles in the prevention of bovine hypocuprosis. Vet. Rec. 115:357.
- Wikse, S. E., D. Herd, R. Field, and P. Holland. 1992. Diagnosis of copper deficiency in cattle. J. Amer. Vet. Med. Assoc. 200:1625-1629.