

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

**DIAGNÓSTICO Y SUPLEMENTACIÓN MINERAL
EN GANADO BOVINO DE ZIRÁNDARO, GUERRERO**

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

ERNESTO ALVEAR HERRERA



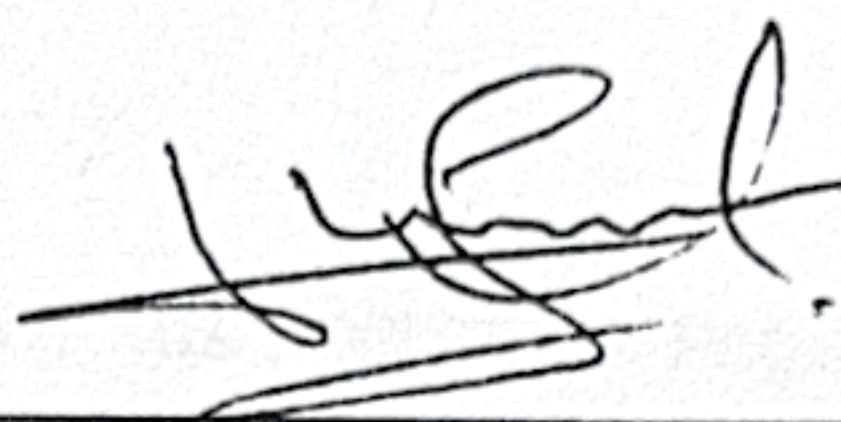
**Junio de 2003
Chapingo, Estado de México**

DIAGNÓSTICO Y SUPLEMENTACIÓN MINERAL EN GANADO BOVINO DE ZIRÁNDARO, GUERRERO

Tesis realizada por Ernesto Alvear Herrera, 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: _____



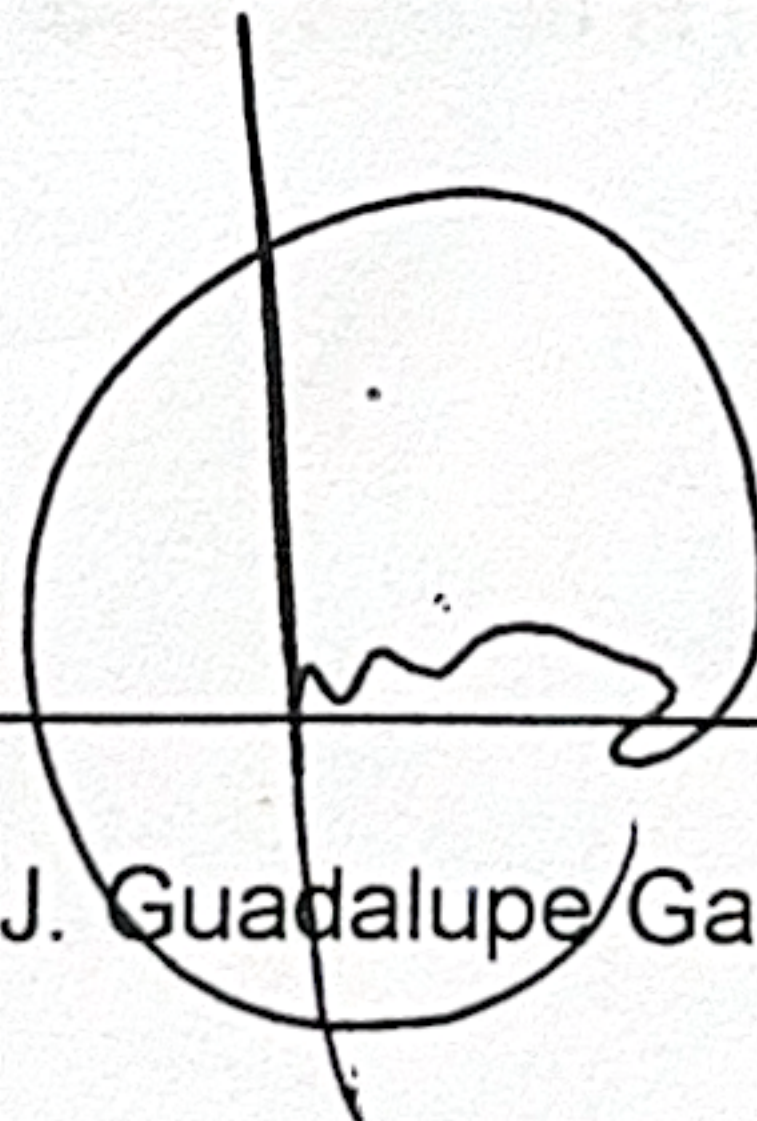
Ph D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR: _____



Ph D. Rodolfo Ramírez Valverde

ASESOR: _____



Ph D. J. Guadalupe García Muñiz

A. 2876

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Producción Animal, por darme la oportunidad de lograr una formación académica integral

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo brindado para la realización de mis estudios

Al Ph D. Maximino Huerta Bravo, por su valiosa participación como director en el desarrollo de esta investigación

Al Ph D. Rodolfo Ramírez Valverde, por sus acertadas sugerencias y apoyo brindado para la culminación de este trabajo

Al Ph D. J. Guadalupe García Muñiz por su por sus acertados comentarios y observaciones para la culminación de este proyecto

Al C.P. Virgilio Bermúdez y a los Sres. Flavio Bermúdez, Alberto Bruno, Francisco Almazán y Gabriel Gómez por el apoyo total en la realización de este proyecto en su propiedad.

DEDICATORIA

A Mary, mi futura esposa, este esfuerzo es de los dos, gracias por tu apoyo y comprensión

A mi familia, por ser lo más valioso de mi vida

A Ofe^t, porque desde donde estés se que nos estas cuidando

A Norlan Caldera, Manuel Castañeda y Alejandro Menassé, por su amistad y apoyo.

Ernesto

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos generales

Nombre: Ernesto Alvear Herrera

Lugar de origen: La Calera, Zirándaro, Guerrero

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia.

Formación académica:

1992-1995. Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo

1995-1999. Licenciatura, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo

2001-2002. Maestría en Ciencias en Producción Animal

Experiencia Laboral

Empresa: *Malta Cleyton*

Lugar: Planta Bajío, Sur de los Altos de Jalisco

Puesto: Asesor Pecuario, Líneas de ganado lechero, ganado para carne y especialidades

Periodo: 2000-2001

Empresa: *Colegio de Ingenieros Agrónomos de México, A. C.*

Lugar: México, D. F.

Puesto: Subdirector de operaciones en la evaluación de programas gubernamentales dirigidos al campo

Periodo: 2002-2003

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINA
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
DATOS BIOGRÁFICOS	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE CUADROS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
CAPÍTULO 1. Introducción	1
CAPÍTULO 2. Revisión de literatura	4
1. Clasificación de los minerales	5
2. Estado mineral de la ganadería tropical en México	5
2.1. Calcio	5
2.2. Fósforo	8
2.3. Magnesio	11
2.4. Potasio	14
2.5. Sodio	15

2.6. Cloro	16
2.7. Cinc	17
<i>..... continuación</i>	
2.8. Cobre	20
2.9. Azufre	22
2.10. Molibdeno	23
2.11. Hierro	23
2.12. Manganeseo	25
3. La suplementación de cobre en rumiantes	26
3.1. La suplementación de cápsulas de alambre de óxido de cobre en rumiantes ...	26
3.1.1. Tiempo de permanencia a nivel ruminal de las partículas de óxido de cobre	27
3.1.2. Forma de liberación del cobre	28
3.1.3. Tamaño de las partículas del óxido de cobre	28
3.1.4. Dosificación	29
4. Ceruloplasmina	31

4.1. Determinación del estado de cobre a través de la actividad de la ceruloplasmina	32
5. Literatura citada	34
CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN MINERAL DEL GANADO BOVINO DE DOBLE PRÓSITO EN ZIRÁNDARO, GUERRERO	
Resumen	44
Abstract	46
Introducción	47
Material y Métodos	48
..... <i>continuación</i>	
Localización	50
Animales y alimentación	50
Diseño experimental	51
Metodología experimental y época del diagnóstico mineral	51
Análisis de laboratorio	52
Variables de respuesta	53
Análisis estadístico	53

Resultados	56
.....	
Concentración mineral en suelo	56
.....	
Concentración mineral en forraje	57
.....	
Concentración mineral en plasma sanguíneo	67
.....	
Discusión	73
Concentración del calcio	73
.....	
Concentración de fósforo	73
Concentración de magnesio	74
Concentración de sodio	75
.....	
Concentración de potasio	75
Concentración de hierro	76
..... <i>continuación</i>	
Concentración de cobre	77

Concentración de cinc	78
Concentración de manganeso	78
Conclusiones	79
Literatura citada	80
CAPÍTULO 4. SUPLEMENTACIÓN CÚPRICA EN VAQUILLAS DE DOBLE PROPÓSITO POR MEDIO DE ALAMBRE DE ÓXIDO DE COBRE	
Resumen	87
Abstract	88
Introducción	89
Material y Métodos	91
Localización	91
Tratamientos	91
Animales y alimentación	92
Diseño experimental	92
Duración del experimento y número de muestreos	93

Obtención, procesamiento de las muestras y registro de datos	93
Análisis químicos y pruebas de laboratorio	93
Variables de respuesta	94
<i>..... continuación</i>	
Análisis estadístico	94
Resultados	96
Estado inicial de minerales y ceruloplasmina en suero sanguíneo	96
Efecto del tratamiento sobre las concentraciones minerales, ceruloplasmina y peso vivo de las vaquillas	96
Efecto del día de muestreo sobre las concentraciones minerales, ceruloplasmina y peso vivo de las vaquillas	97
Efecto de la interacción tratamiento por día de muestreo sobre las concentraciones minerales y ceruloplasmina en suero sanguíneo, así como el peso vivo	102
Relación entre ganancia diaria de peso y concentraciones de minerales y ceruloplasmina en suero sanguíneo.....	102

Discusión	103
Estado inicial de minerales y ceruloplasmina en suero sanguíneo	103
Efecto de los tratamientos sobre el estado mineral en suero sanguíneo	107
Efecto del día de muestreo sobre la concentración de la ceruloplasmina	111
Efecto de los tratamientos sobre la ganancia de peso	112
Conclusiones	113
Literatura citada	114

ÍNDICE DE CUADROS

CONTENIDO	PÁGINA
Cuadro 1. Resumen de trabajos publicados en los cuales se ha suplementado alambre de óxido de cobre en ganado bovino	33
Cuadro 2. Número de animales por rancho en base al tipo fisiológico	51
Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos para las concentraciones de calcio,	56

	magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro, cinc y manganeso en el suelo de tres ranchos en Zirándaro, Guerrero	
Cuadro 4.	Medias de cuadrados mínimos para las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro, cinc y manganeso en tres especies forrajeras (<i>Cynodon dactylon</i> , <i>Ixophorus cuisetus</i> y <i>Paspalum plicatulum</i>) de tres ranchos de Zirándaro, Guerrero	62
Cuadro 5.	Nivel de significancia (probabilidad) para las variables rancho y especie forrajera con respecto a la concentración mineral de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro, cinc y manganeso en tres especies forrajeras (<i>Cynodon dactylon</i> , <i>Ixophorus cuisetus</i> y <i>Paspalum plicatulum</i>)	63
Cuadro 6.	Medias de cuadrados mínimos para las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro y cinc en el suero sanguíneo de vacas y crías de tres ranchos de Zirándaro, Guerrero	70
Cuadro 7.	Nivel de significancia (probabilidad) para las variables rancho y tipo fisiológico con respecto a la concentración mineral de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro y cinc	71
Cuadro 8.	Análisis proximal de los forrajes evaluados	72

..... continuación

Cuadro 9.	Estado mineral inicial (día 1) en suero sanguíneo de vaquillas de Zirándaro, Guerrero	98
Cuadro 10.	Medias de mínimos cuadrados para los tratamientos de las vaquillas	99

suplementadas y no suplementadas en las concentraciones sanguíneas de minerales y ceruloplasmina, así como el peso vivo

Cuadro 11.	Nivel de significancia (probabilidad) para los tratamientos y días del experimento con respecto a la concentración mineral de cobre, cinc, hierro, sodio, potasio, calcio, fósforo, magnesio y ceruloplasmina, así como el peso vivo en vaquillas suplementadas y no suplementadas con alambre de óxido de cobre	100
Cuadro 12.	Medias de mínimos cuadrados para el día de muestreo de las vaquillas suplementadas y no suplementadas en las concentraciones sanguíneas de minerales y ceruloplasmina, además del peso vivo	101

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO

PÁGINA

Figura 1.	Medias de mínimos cuadrados para la concentración de fósforo en los pastos <i>Cynodon dactylon</i> , <i>Ixophorus cuisetus</i> y <i>Paspalum plicatulum</i> de Zirándaro, Guerrero	58
Figura 2.	Medias de mínimos cuadrados para la concentración de magnesio en los pastos <i>Cynodon dactylon</i> , <i>Ixophorus cuisetus</i> y <i>Paspalum plicatulum</i> de Zirándaro, Guerrero	59
Figura 3.	Medias de mínimos cuadrados para la concentración de potasio en los pastos <i>Cynodon dactylon</i> , <i>Ixophorus cuisetus</i> y <i>Paspalum plicatulum</i> de Zirándaro, Guerrero	60
Figura 4.	Medias de mínimos cuadrados para la concentración de cobre en los pastos <i>Cynodon dactylon</i> , <i>Ixophorus cuisetus</i> y <i>Paspalum plicatulum</i> de Zirándaro, Guerrero	64
Figura 5.	Medias de mínimos cuadrados para la concentración de cinc en los pastos <i>Cynodon dactylon</i> , <i>Ixophorus cuisetus</i> y <i>Paspalum plicatulum</i> de Zirándaro, Guerrero	65
Figura 6.	Medias de mínimos cuadrados para la concentración de manganeso en los pastos <i>Cynodon dactylon</i> , <i>Ixophorus cuisetus</i> y <i>Paspalum plicatulum</i> de Zirándaro, Guerrero	66

CAPÍTULO 1

Introducción

Las empresas ganaderas de hoy están viviendo una apremiante realidad económica, confirmada por los estudios que los científicos han venido realizando últimamente. Las carencias en general del suelo y forraje generan pérdidas importantes de dinero en los ganaderos, porque no permiten a los animales desarrollarse plenamente, sino por el contrario, en forma condicionada a la calidad de los alimentos que ingieren. Los problemas del condicionamiento por carencias alimenticias en el crecimiento y el desarrollo del ganado, se observa finalmente en los bajos rendimientos dentro de los balances económicos de las empresas pecuarias.

Algunos trabajos han estudiado los problemas naturales relacionados a sequías e inundaciones que afectan la producción ganadera como son la desmineralización, el lavado de suelos, además de otros factores que afectan a la ganadería al originar deficiencias minerales. Los desbalances minerales observados en el ganado bovino deben ser considerados como verdaderos problemas nutricionales, que pueden expresarse en trastornos funcionales. En muchas regiones del mundo, resulta preocupante la deficiencia condicionada de cobre, la cual ocurre cuando los niveles normales del elemento (6 a 16 ppm) son inadecuados para el ganado, o porque existen concentraciones más altas de las normales de otros minerales en los pastos, tales como el molibdeno y azufre (Underwood, 1981), así como la ingestión de suelo de origen calcáreo que afectan adversamente la disponibilidad de cobre para el rumiante (CAB, 1980), además de otros factores que bloquean la utilización de este mineral por el organismo. El cobre es elemental en bovinos

para la formación de hemoglobina y el transporte del hierro, además de ser esencial en la actividad de la ceruloplasmina sintetizada en el hígado (Larson *et al.*, 1995). Los principales signos de una hipocupremia en bovinos son la decoloración del pelo, lesiones del sistema nervioso, muerte súbita, diarreas, anemia, huesos frágiles, lesiones del corazón y hemoglobulinaria posparto (Huerta, 1999).

La utilización histórica de suplementos minerales de cobre, a través de premezclas, bloques de sal, medicamentos bebibles o inyectables, y de manera indirecta por medio de la fertilización al suelo, ha merecido cuidadoso tratamiento en nuestro campo; sin embargo la abundante proliferación de ellos no ha logrado vencer satisfactoriamente los problemas de deficiencia cúprica a los cuales fueron dirigidos. Por ello, se investigan otras alternativas para la suplementación de este mineral a los animales. Una de estas alternativas es la deposición a nivel ruminal de cápsulas de papel rellenas de alambre de óxido de cobre. El suministro oral de alambre de óxido de cobre en bovinos incrementa las concentraciones de cobre hepático al ser retenido en el tracto digestivo (Dewey, 1977). Esta técnica ha mostrado ser una de las formas de suplementación cúprica más efectivas (Judson *et al.*, 1982; Deland *et al.*, 1986). La duración del efecto de la suplementación depende de la severidad en la deficiencia de cobre en los animales suplementados (McFarlane *et al.*, 1991), pero se ha demostrado que el alambre de óxido de cobre tiene una duración mínima aproximada en el rumen de 12 semanas. La suplementación con cápsulas de alambre de óxido de cobre ya es aplicada en muchas explotaciones ganaderas del mundo, pero en México no se han realizado trabajos para conocer el efecto de la suplementación cúprica por medio de la aplicación de alambre de óxido de cobre en los rumiantes.

CAPÍTULO 2

Revisión de literatura

1. Clasificación de los minerales

De acuerdo con la cantidad requerida por las plantas y animales los minerales se clasifican en dos grupos. El primer grupo es de los macroelementos, el cual incluye a calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), cloro (Cl) y azufre (S). El segundo grupo es el de los microelementos o elementos traza, que incluye a cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), cinc (Zn), cobalto (Co), molibdeno (Mb), iodo (I), selenio (Se), flúor (F), cromo (Cr), níquel (Ni), estaño (Sn), sílice (Si), vanadio (V) y arsénico (As).

2. Estado mineral de la ganadería tropical en México

En esta revisión se incluyen aspectos del estado mineral de la ganadería del trópico mexicano, y específicamente del estado del cobre en el suelo, forraje, agua y suero sanguíneo de las explotaciones ganaderas.

2.1. Calcio

El calcio es deficiente comúnmente en los forrajes del Golfo, Chiapas y Centro del país para rumiantes jóvenes y vacas en lactancia. En cambio, el exceso de este mineral se presenta en las regiones Norte del país y la península de Yucatán (Huerta, 1997).

Las deficiencias de calcio son mucho más marcadas en gramíneas como el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*), pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) y pasto alfombra (*Axonopus compressus*) (Morua y Hurtado, 1991). De manera contraria, existen algunas especies arbustivas tales como el ramón, waxím y jabín que tienen un elevado contenido de calcio, además de proteína (Sábido, 1996).

Alvear *et al.* (2002) indican que alrededor del 5% de los bovinos analizados en tres explotaciones de Zirándaro, Guerrero fueron deficientes en calcio, mientras que las concentraciones de este mineral en los pastos se encontraron dentro del requerimiento para ganado bovino.

Balam (1996), Mena (1996) y Sábido (1996), encontraron en estudios realizados en el centro, sur y costa del estado de Yucatán, respectivamente, que la deficiencia de calcio es virtualmente inexistente en el ganado, dado que las concentraciones de este mineral en el forraje son elevadas. El contenido mineral en el suelo difiere en las tres zonas, lo cual se refleja en el forraje (Sábido, 1996). Asimismo, Puc (1996), en estudios realizados en hígado y hueso de bovinos del oriente de Yucatán menciona que se presentan mínimas deficiencias de calcio (3.92%) en estos órganos. Esto concuerda con Ramos (1996) quien encontró un elevado contenido de calcio en el suelo de ésta misma región, donde 4.58% del aporte de este mineral a la dieta del ganado se da a través del agua (Cigarrero, 1995; Ramos 1996 y Sábido, 1996).

Hernández y Alvarado (1996) indican deficiencias de calcio en el plasma sanguíneo de bovinos estudiados en Zaragoza y San José Acateno, Puebla. Asimismo, existen grandes

desbalances de calcio en hueso de bovinos del estado de Campeche, 64% de los animales muestran una concentración menor a 37% (Fernández y Juárez, 1993), siendo más marcada en los animales adultos. Fue demostrado por Hernández (1992) que las especies forrajeras más comunes en el estado de Campeche presentan un contenido adecuado de calcio (0.35%), mientras que otras especies llegan a presentar valores tan altos como 1.5%, lo cual es un reflejo de la alta proporción de calcio asimilable.

En las regiones costera (Juárez y González, 1993) y central (García y Lazarín, 1993) de Chiapas una alta proporción de bovinos muestreados en hueso presentaron deficiencia de calcio, la cual mostró mayor influencia sobre las hembras de la zona central. De igual manera, Pinto (1995) encontró deficiencias del 97% en bovinos de esta zona. Se ha demostrado (Hernández, 1992) que las especies forrajeras más comunes en el estado de Chiapas presentan un contenido adecuado de calcio, y que solo alrededor del 13% de ellas llegan a presentar valores mayores al 1% de calcio, lo cual es un reflejo de la alta proporción de este mineral presente en el suelo.

En Vaquerías, Hidalgo, se encontraron niveles adecuados de calcio en el suelo, mientras que en el suero sanguíneo de bovinos se observaron niveles deficientes (De Loera e Hipólito, 1996).

2.2. Fósforo

Los niveles de deficiencia considerados para forraje, suero y hueso son de 0.25, 6 mg/10 mL y 17.6%, respectivamente. Las regiones Norte, Golfo y Península son las más

afectadas por esta deficiencia (Huerta, 1997), así como la región semiárida del norte (Huerta, 1999).

Niveles normales de fósforo se encontraron en el suero sanguíneo de bovinos de Zirándaro, Guerrero, (Alvear *et al.*, 2002). Los valores de fósforo detectados en los forrajes de esta región estuvieron dentro de los requerimientos para ganado bovino.

En el estado de Yucatán los bovinos tienen un deficiente nivel de fósforo en el plasma sanguíneo (Balam, 1996 y Mena, 1996) y hueso (Ramos, 1996). Asimismo, se han encontrado niveles bajos de este mineral (0.2%) en forraje, suelo, agua y suplementos del oriente de Yucatán (Ramos, 1996). Este bajo nivel de fósforo en forraje y una elevada concentración de calcio generan una relación Ca:P desfavorable, lo que indica que podría esperarse una intoxicación en el ganado. Ramos (1996) y Sábido (1996) mencionan que ésta deficiencia se relaciona directamente con el pH alcalino del suelo de Yucatán, lo que limita la asimilabilidad del fósforo, cobre, hierro, cinc y manganeso para las plantas. Estos mismos autores encontraron que el aporte de minerales en la dieta a través del agua para el ganado, es menor al requerimiento diario para fósforo, potasio, cobre, hierro, cinc y manganeso.

Hernández y Alvarado (1996) reportan deficiencias de fósforo en el estado de Puebla. De la misma manera, Fernández y Juárez (1993), encontraron que existen graves desbalances de fósforo en el estado de Campeche, 97.88% del ganado muestra deficiencias. La concentración no fue afectada por la época del año, la edad, sexo y la condición corporal del ganado. En concordancia con los resultados obtenidos,

Hernández (1992) reporta que una alta proporción (47.5%) de los forrajes en Campeche presentan una concentración inferior a 0.20% de fósforo. Abreu (1986, datos no publicados) encontró en el municipio de Candelaria, deficiencias de fósforo en el 53% de las vacas Nelore y Brahman muestreadas.

Méndez (1989) encontró que existen deficiencias muy marcadas de fósforo en el estado de Quintana Roo, ya que una alta proporción de bovinos presentaron una concentración por debajo del criterio de deficiencia

Deficiencias graves de fósforo fueron encontradas en el ganado de la zona central de Chiapas (García y Lazarín, 1993), donde se reportan altas proporciones de muestras con concentraciones menores de 0.20% de fósforo. El mismo caso sucede para la zona costera del Estado, donde se encontraron deficiencias del 27 al 45% en bovinos analizados. De manera similar, pero en forraje, Hernández (1992) encontró que el 16% de las muestras recolectadas en esta zona tienen un contenido de fósforo inferior al 0.20%.

Morua y Hurtado (1991) encontraron en gramíneas forrajeras de Tabasco deficiencias de fósforo durante todos los meses del año.

Huerta (1997) indica que el exceso de fósforo (>8 mg/10 mL) en suero, en las regiones del Golfo y Centro del país puede deberse a las relaciones de Ca:P inferiores a 1 (región Centro), suplementación fosforada o hemólisis de la sangre debida a deficiencias nutricionales (cobre y selenio).

En el estado de Hidalgo, De Loera e Hipólito (1996) encontraron niveles normales de fósforo en el suero sanguíneo de toretes en engorda, reemplazos, sementales y forraje, mientras que los vientres mostraron deficiencias.

La deficiencia de fósforo está estrechamente relacionada con la relación Ca:P inadecuada en los forrajes, que también provoca una mala relación en suero (Huerta, 1997). Normalmente se recomienda una relación Ca:P de 1.2:1 con un máximo de 2:1 en la dieta (McDowell *et al.*, 1997). Existen regiones de Chiapas donde el forraje tiene una relación menor a 1, lo cual puede provocar daños renales (Huerta, 1997).

Huerta (1999) menciona que la poca información generada para la región comprendida entre Jalisco y Nayarit muestra que la deficiencia de fósforo en forrajes tiene una magnitud similar a la encontrada en la región Norte.

2.3. Magnesio

Las vacas lecheras de alta producción en sistemas intensivos en pastoreo, son más susceptibles a desarrollar hipomagnesemia, especialmente en las regiones del Golfo, Chiapas y Centro del país, dado que los requerimientos de magnesio son altos y los forrajes son deficientes (Huerta, 1997).

Las concentraciones de magnesio de forrajes de Zirándaro, Guerrero son deficientes en alrededor del 50% de las muestras analizadas (Alvear *et al.*, 2002). Esto se refleja en los

valores de magnesio encontrados en el suero sanguíneo de los bovinos, en el que 5% de los animales muestreados fueron deficientes.

Análisis realizados por García y Lazarín (1993) en la región central de Chiapas demuestran que bovinos muestreados a nivel sanguíneo tenían niveles adecuados de magnesio. Pinto (1995) encontró en análisis realizados en vaquillas de esta misma región que el 1.55% de los animales eran deficientes en magnesio. En forrajes analizados de este lugar, Hernández (1992) encontró que de un total de 91 muestras de forraje colectadas únicamente cuatro de estas presentaron una concentración inferior a 0.10% de magnesio, mientras que los pastos más importantes de la zona, estrella y jaragua, contenían 0.19 y 0.20% de magnesio, respectivamente. Por otro lado, en la región costera de Chiapas, Juárez y González (1993) detectaron que pocos animales presentaron deficiencias de magnesio. Para los forrajes de esta región Hernández (1992) menciona que de 63 muestras analizadas, únicamente dos especies presentaron una concentración menor al 0.10% de magnesio.

Estudios realizados en el estado de Yucatán (Mena, 1996; Puc, 1996 y Sábido, 1996), demuestran que existen pocos casos de deficiencia de magnesio en ganado (0.16%), por lo que la zona costera está totalmente libre de este problema. Ramos (1996) indica que los suelos del oriente de Yucatán presentan un elevado contenido de este mineral (> 0.25%), en donde el 28.82% de lo requerido por el animal diariamente, se cubre a través del agua de bebida, por lo que no es de esperarse deficiencias en el ganado.

Se tiene conocimiento de hipomagnesemia en la región de la Laguna, Huasteca potosina, alrededores de Acayucan, Veracruz y Quintana Roo (Huerta, 1997).

Según estudios realizados por Méndez (1989) en vacas lecheras de Quintana Roo, se observó que la deficiencia de magnesio en suero era de alrededor del 7%. Sugiere que hay una relación negativa entre los niveles séricos de este mineral con la producción de leche, con lo que predice que hay concentraciones deficientes de magnesio cuando la producción de leche supera los 8.7 kg de leche día⁻¹.

Huerta (1997) menciona que algunos forrajes de la región Norte, península de Yucatán y Chiapas tienen concentraciones excesivas de magnesio (> 0.4%). Esto coincide con lo mencionado por Morua y Hurtado (1991), quienes además indican que existe una interrelación negativa entre el contenido mineral de magnesio y potasio; niveles mínimos de magnesio se presentaron en primavera, mientras que los máximos contenidos se observaron en otoño.

De Loera e Hipólito (1996) reportaron niveles abundantes de magnesio en el suelo de Hidalgo; sin embargo, encontraron deficiencias en forraje y en el suero sanguíneo de bovinos, excepto para las vacas lactantes, las cuales mostraron un nivel adecuado.

Fernández y Juárez (1993) mencionan que las deficiencias de magnesio son prácticamente inexistentes en el estado de Campeche. Solamente 0.35% de los animales mostraron niveles por debajo del 0.43% considerado como nivel crítico. Castrillo *et al.* (1983) reportan valores para los forrajes de la región de 0.21 y 0.23% para las épocas de

secas y lluvias, respectivamente, los cuales están muy cercanos al 0.18% de magnesio, valor considerado como el mínimo adecuado para ganado en pastoreo. Así mismo, Hernández (1992) señala que el 7.3% de las muestras (n=41) de forraje de esta región presentan niveles inferiores a 0.1%.

Los forrajes deben contener un mínimo de 0.15% de magnesio para lograr el mayor contenido de proteína, de tal manera que la fertilización con este mineral puede ser una práctica apropiada, especialmente en trópico (Huerta, 1997); sin embargo, se deben considerar algunas otras prácticas de manejo como es la suplementación con fósforo, que tiende a agravar la deficiencia de magnesio, calcio y cobre principalmente (Pinto, 1995).

2.4. Potasio

La gran mayoría de los forrajes son adecuados en potasio para rumiantes en pastoreo (Huerta, 1999). Las deficiencias de este mineral en las regiones Norte y Golfo son bajas (<5%). Estas pueden estar asociadas a factores climáticos combinados con la disponibilidad del agua, o a que el límite crítico superior no está definido claramente. Niveles de potasio por debajo del 1.6% son indicativos de que el suelo es deficiente de este mineral (Huerta, 1997).

Alvear *et al.* (2002) reportan que los bovinos en pastoreo de Zirándaro, Guerrero se encuentran dentro de los niveles adecuados de potasio en el suero sanguíneo. Estos

valores son reflejados por las concentraciones encontradas en los forrajes consumidos por los animales, que muestran valores de 1.6 a 2.4%.

Los suelos del oriente de Yucatán presentan un elevado contenido de potasio (1.4%), por lo que no se esperarían deficiencias significativas en el ganado bovino (Ramos, 1996 y Sábido, 1996).

De Loera e Hipólito (1996) encontraron niveles abundantes de potasio en forrajes de Hidalgo, lo cual concuerda con niveles excesivos de este elemento en el suero sanguíneo de vientres bovinos; sin embargo, los becerros de engorda, reemplazos y sementales mostraron niveles de deficiencia, siendo mayor en la época de lluvias.

Hernández y Alvarado (1996) detectaron en Puebla que el contenido de potasio en las plantas de importancia ganadera sobrepasa el nivel máximo tolerable; en relación a lo anterior, Morua y Hurtado (1991) mencionan que en la mayoría de especies forrajeras evaluadas en Puyacatengo, Tabasco se encontraron niveles adecuados de este mineral (2%). Asimismo indican que los niveles máximos se presentan en primavera y los mínimos en otoño.

Huerta (1993) menciona que la fertilización potásica sería recomendable en por lo menos el 50% de los casos del país. Sin embargo, en el caso de suplementos este mineral podría eliminarse.

2.5. Sodio

La mayoría de los forrajes son deficientes de sodio. Alrededor del 75 a 88% de los forrajes en México tienen concentraciones deficientes de este mineral para rumiantes (Huerta, 1999). Este elevado porcentaje de forrajes deficientes, es muy común en las regiones Norte y Centro, excepto en la región del Golfo; mismo caso se presenta para suero sanguíneo. Esto se puede deber a que el suministro de sal común es una práctica rutinaria en diversas explotaciones (Huerta, 1997).

Las concentraciones de sodio encontradas en forrajes de Zirándaro, Guerrero fueron deficientes en el 100% de las muestras analizadas en tres ranchos. Estos valores encontrados en los pastos se reflejan en la deficiencia de este mineral encontrada en todos los animales muestreados (Alvear *et al.*, 2002).

Mena (1996) indica que en el estado de Yucatán los forrajes tienen una concentración de sodio por debajo de los requerimientos de los bovinos; esto coincide con Ramos (1996) quien afirmó que en el oriente de Yucatán el ganado presenta severas deficiencias de sodio, e indica que el 28.82% del aporte de este mineral se da a través del agua. Solamente en la costa del Estado se presenta una concentración aceptable (Sábido, 1996).

Existen deficiencias importantes de sodio en Zaragoza y San José Acateno, Puebla (Hernández y Alvarado, 1996).

De Loera e Hipólito (1996) encontraron niveles deficientes de sodio en suelo en Hidalgo, lo cual tuvo influencia en la concentración mineral del ganado, siendo ésta mayor durante la época de secas.

En un estudio realizado en gramíneas de Tabasco por Morua y Hurtado (1991), encontraron que los niveles de sodio a través del año fueron abundantes (0.35%).

2.6. Cloro

No se ha fijado un requerimiento específico de cloro para los rumiantes. Se considera que si se aporta sal común para suplir los requisitos de sodio del animal con ello queda cubierto el requerimiento de cloro de los animales (Huerta, 1997). Sin embargo, la aplicación de un suplemento mineral completo favorece en un 13.3% la ganancia diaria de peso más que la sal común (NaCl), ya que se obtienen ganancias de peso 2.3% superiores a los bovinos suplementados solamente con sal común (Pinto, 1995). Huerta (1999) menciona que el nivel adecuado de cloro en suero sanguíneo de rumiantes es de 3368 a 3900 mg L⁻¹.

2.7. Cinc

Los niveles críticos de cinc en forraje son de 30 a 40 ppm. Los requerimientos de este mineral en la dieta de bovinos se han estimado entre 10 y 18 ppm por la mayoría de los investigadores (ARC, 1980).

Huerta (1999) menciona que en México se han encontrado problemas en Chiapas, Oaxaca y la zona semiárida.

En Zirándaro, Guerrero se encontraron concentraciones deficientes de cinc en alrededor del 50% del forraje muestreado. A su vez, el 5% del ganado presentó deficiencias de este mineral (Alvear *et al.*, 2002).

En todas las regiones existe deficiencia de este elemento, siendo más marcadas en la región Centro (Huerta, 1997). Sin embargo, en un estudio realizado por Morua y Hurtado (1991) en forrajes en Puyacatengo, Tabasco se determinó que los niveles de cinc a través del año eran abundantes. Lo anterior no coincide con De Loera e Hipólito (1996) y Puc (1996), quienes indican que hay una mayor concentración de cinc en la época de lluvias.

García y Lazarín (1993) encontraron una deficiencia de cinc del 6.38% en el suero sanguíneo de los bovinos de la región central de Chiapas. En la zona costera de este mismo Estado Juárez y González (1993) encontraron que 90.74% de los animales muestreados presentaron una concentración inferior a 200 ppm de cinc en hueso. Hernández (1992) reportó que en 40 y 42.85% de los forrajes recolectados en la región central y costera, respectivamente tenían una concentración inferior a 30 ppm, lo cual podría explicar la deficiencia moderada encontrada en el suero sanguíneo.

Balam (1996), Mena (1996) y Puc (1996) encontraron que las deficiencias de cinc en el suero de los bovinos del estado de Yucatán son mínimas (3.12%); esto se atribuye a que

una alta proporción de ganaderos de la región suplementan con diferentes alimentos, logrando que los problemas disminuyan. Las concentraciones más altas se encontraron principalmente en el sur del Estado (Mena, 1996).

Hernández y Alvarado (1996) reportaron deficiencias bajas de cinc en forrajes del estado de Puebla.

Méndez (1989) encontró que existen deficiencias de cinc en vacas lecheras del estado de Quintana Roo; la concentración de este mineral en suero de vacas lecheras con producciones de leche menores a 3.5 kg día^{-1} se situaban alrededor de $2 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$, mientras que aquellas que producían entre 4 y 6 kg de leche por día tenían concentraciones de cinc entre 1 y $2 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$. Lo anterior sugiere que existe una relación negativa entre el nivel sérico de cinc con la producción de leche.

En una explotación del trópico húmedo veracruzano se encontraron deficiencias de cinc en forraje, asociada con una deficiencia de cobre y fósforo (Huerta, 1999). Este problema también se ha observado en Nayarit y San Luis Potosí.

Cotera (1996) en un estudio realizado en Veracruz, encontró una asociación positiva entre ganancia de peso y las concentraciones de cinc en plasma, que fluctuaban de 0.65 a $1.61 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$ en animales recibiendo proteína suplementaria, pero no en aquellos animales que servían como testigo.

De Loera e Hipólito (1996), reportaron niveles adecuados de cinc en suelo, suero sanguíneo y forraje en Hidalgo.

La falta de concordancia entre deficiencias encontradas en los forrajes y el animal se pueden deber a (Huerta, 1997): 1) que el calcio interfiere en la absorción del cinc, 2) a los niveles críticos de cinc en plasma ($< 0.7 \mu\text{g mL}^{-1}$) que son inadecuados, 3) a que el animal estudiado no es el más demandante, 4) a los requerimientos de cinc en la dieta que pueden ser inferiores y 5) a que el cinc no se utiliza apropiadamente.

Fernández y Juárez (1993), encontraron deficiencias moderadas solamente en el 1.82% de los animales muestreados, donde el 51% de los bovinos se encuentran cercanos a la deficiencia. Al respecto Castrillo *et al.* (1983) al analizar los forrajes de Camino Real, Campeche en base a su contenido mineral encontraron niveles de 54.5 y 29.6 ppm durante las épocas de secas y lluvias, respectivamente. Resultados similares son los reportados por Hernández (1992), quien señala que al analizar 41 muestras de forraje en la región el 56.09% contenían niveles de cinc menores a 30 ppm para la estación de lluvias.

2.8. Cobre

La deficiencia de cobre en las distintas regiones de México 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).

El requerimiento de cobre en la dieta varía de 8 a 10 ppm (Huerta, 1997) y los niveles tóxicos son de 115 ppm en bovinos (NRC, 1980)

Alvear *et al.* (2002) encontraron que los bovinos de Zirándaro, Guerrero estuvieron por debajo del nivel adecuado de cobre en todos los animales, lo cual se corrobora con los niveles deficientes encontrados en el 100% de los forrajes.

La deficiencia cúprica en los forrajes se presenta en la península de Yucatán, Chiapas y Centro (Huerta, 1997). En cambio, se muestran niveles adecuados (11 ppm) en Puyacatengo, Tabasco, excepto para el mes de septiembre (Morua y Hurtado, 1991).

Las deficiencias de cobre en suero sanguíneo de bovinos de Yucatán no son marcadas (Balam, 1996), esto se justifica notablemente en el sur del Estado debido a que la concentración de cobre es mayor (Mena, 1996). Puc (1996) indica que esta deficiencia oscila en un 14.34%, en la que la época de muestreo influye sobre la proporción de animales deficientes. Además, Ramos (1996) menciona que el pH alcalino del suelo del oriente de Yucatán limita la asimilabilidad para las plantas, encontrándose una severa deficiencia de este mineral en los bovinos de ésta región. El 75.86% de los ranchos del oriente de Yucatán suministra algún tipo de suplemento al ganado, de los más utilizados se encuentra la gallinaza (Ramos, 1996), por lo que en estos casos se recomienda determinar la concentración de cobre (Sánchez, 1985); al mismo tiempo sería más útil si se determinan otros minerales como azufre y molibdeno ya que son antagónicos al cobre.

Se han encontrado moderadas deficiencias de cobre en la región central de Chiapas. El 11.44% de animales muestreados en esta zona contienen menos de 75 ppm de cobre en hígado (García y Lazarín, 1993). Pinto (1995) comprueba la deficiencia de este mineral en vaquillas de esta misma región al detectar que 11.4% de los animales eran deficientes en este mineral. Juárez y González (1993) reportaron deficiencias elevadas en la zona costera de Chiapas, las cuales van desde 32 hasta 75%. Hernández (1992) encontró que el 70.3 y 79.4% de los forrajes en estas dos regiones (central y costera, respectivamente) contienen menos de 8 ppm de cobre, por lo que cabría esperar una deficiencia generalizada de cobre en los animales.

Méndez (1989) encontró deficiencias de cobre del 76%, indicando que vacas que producían menos de 3.5 kg de leche por día en Quintana Roo no tenían problemas con este mineral en suero sanguíneo, mientras que aquellas con producciones mayores eran deficientes. Esto implica que a mayor producción de leche, mayor demanda de cobre.

Fernández y Juárez (1993), reportaron que existen deficiencias moderadas de cobre en el estado de Campeche, donde 18.18% de las muestras óseas presentaron niveles por debajo del criterio de deficiencia (100 ppm, según McDowell, 1985). En adición Castrillo *et al.* (1983), encontraron que los forrajes en esta región presentan concentraciones de cobre de 4.5 ppm durante la estación de sequía y 6.5 ppm durante la temporada de lluvias.

2.9. Azufre

El azufre es un elemento que ha sido poco estudiado en relación a su contenido en los forrajes y tejidos animales. Este elemento es importante cuando los animales reciben forrajes bajos en proteína y cuando la dieta es suplementada con nitrógeno no proteínico (Huerta, 1999).

Cuando se utiliza la urea como fuente de nitrógeno en los rumiantes, los microorganismos ruminales transforman este nitrógeno a proteína microbiana por lo que se recomienda la suplementación con azufre para permitir la síntesis de aminoácidos azufrados. El inconveniente de esta práctica es que se puede ocasionar el incremento o deficiencia de cobre en los animales (Huerta, 1997).

2.10. Molibdeno

El contenido de molibdeno en forrajes, tejidos y fluidos animales ha sido poco estudiado en México. Aunque el molibdeno tiene funciones enzimáticas en la planta y el animal, no se ha mostrado que la deficiencia sea un problema práctico. Por otro lado, el efecto negativo sobre la absorción y el metabolismo del cobre en el animal es bien conocido, de tal manera que el molibdeno debe ser evitado en los suplementos y la dieta de los animales (Huerta, 1999).

En la región Norte del país se han reportado problemas de exceso de molibdeno (Mexicali y San Luis Potosí), mientras que cerca de las grandes ciudades y de las

instalaciones petroquímicas se pueden encontrar niveles altos en el ambiente (Huerta, 1997).

2.11. Hierro

El porcentaje de forrajes deficientes en hierro (< 50 ppm) es bajo en todo el país. Huerta (1999) menciona que es menor al 3%. Esto coincide con los niveles encontrados por Morua y Hurtado (1991) en Puyacatengo, Tabasco, donde indican niveles abundantes durante todo el año (325 ppm). Sin embargo, existe la creencia de que en rumiantes es uno de los microelementos más limitantes (Huerta, 1997). Esto se manifiesta en los suplementos minerales comerciales, cuyos aportes de este elemento son importantes y pueden agravar los excesos que se encuentran en los forrajes de las regiones Norte, Golfo y Centro (Huerta, 1997).

En bovinos de Zirándaro, Guerrero se encontraron niveles excesivos de este mineral en todo el ganado. Situación que se confirma con los niveles encontrados en los pastos de la región que también fueron elevados (Alvear *et al.*, 2002).

García y Lazarín (1993) reportaron moderadas deficiencias de hierro (6.12%) en la zona central de Chiapas, sin embargo, el 30% de los animales tenía concentraciones inferiores a 250 ppm. En la zona costera del Estado Juárez y González (1993), reportan que del 6 al 11% de los animales muestreados en hueso fueron deficientes en hierro. Hernández (1992) encontró que el 93% de las muestras de forraje de estas dos zonas presentaban una concentración mayor a 50 ppm; mientras que las especies forrajeras más importantes

de la zona (pastos estrella y jaragua), contenían un promedio de 125 y 88 ppm de hierro, respectivamente.

En Yucatán, Balam (1996) y Puc (1996) encontraron deficiencias (31.51%) en el contenido de hierro hepático inferior a 180 ppm. Los suelos del oriente del Estado presentan un nivel de hierro elevado, aunque el pH no favorece su absorción por la planta (Ramos, 1996).

En el estado de Campeche, Fernández y Juárez (1993) encontraron deficiencias moderadas de hierro, ya que 24.12% de las muestras de hígado y hueso presentaron niveles inferiores a 180 ppm (considerado como valor crítico). No obstante, el resto de los animales presentaron niveles entre 180 a 300 ppm, considerado como rango normal. Castrillo *et al.*, (1983) al analizar las concentraciones de hierro en suero sanguíneo de vaquillas Holstein cruzadas con Cebú en Campeche, encontraron que la totalidad de los animales presentaban niveles promedio inferiores a $1 \mu\text{g mL}^{-1}$.

2.12. Manganese

La deficiencia de manganeso en los forrajes se presenta en todas las regiones, pero con mayor intensidad en la Península y Chiapas. Los estudios en hígado confirman este problema, aunque en menor magnitud (Huerta, 1997). La razón de esta discrepancia puede estar en que el nivel crítico de deficiencia de menos de 6 ppm no sea el adecuado, dado que la información generada en estos estudios demuestra que cuando el forraje

contiene 40 ppm de manganeso, la concentración en hígado es de alrededor de 10 ppm (Huerta, 1997).

Alvear *et al.* (2002) en forrajes de Zirándaro, Guerrero encontraron que los niveles de manganeso estaban dentro de los niveles recomendables para ganado bovino.

Se reportan concentraciones de manganeso inferiores a 8 ppm en hígado de bovinos de la zona central y costera de Chiapas (García y Lazarín, 1993; Juárez y González, 1993). En concordancia con estos resultados, Hernández (1992) reporta que el 77% de las muestras de forraje colectadas en las dos zonas eran inferiores al requerimiento para este mineral (40 ppm), mientras que el pasto estrella y jaragua contenían en promedio 33.68 y 38.56 ppm, respectivamente.

3. La suplementación de cobre en rumiantes

La necesidad de suplementar cobre en el ganado en pastoreo ha sido identificada por muchos años. En la mayoría de los casos al aplicar una suplementación mineral se realiza una selección libre de los suplementos minerales suministrando una adecuada nutrición de los minerales. El tratamiento de deficiencia cúprica normalmente se corrige con el suministro de cobre suplementario en la dieta o por medios sistémicos. La suplementación de la dieta es a menudo difícil y no es económicamente viable. Sin embargo, la suplementación sistémica ha usado niveles excesivos de cobre que tienen que ser administrados regularmente por medio de inyecciones que normalmente pueden causar daños del tejido.

3.1. La suplementación de cápsulas de alambre de óxido de cobre en rumiantes

Recientemente se han investigado nuevas formas de suplementación cúprica en rumiantes, con el fin de disminuir los costos operativos por el uso de la mano de obra para otorgar el suplemento mineral al ganado en pastoreo. Una de estas formas de suplementación de cobre es el uso de cápsulas que contienen alambre de óxido de cobre en forma de pequeñas partículas, que una vez administradas en forma oral por medio de un “tirabolos”, la cápsula llega a nivel ruminal donde se disuelve a través del tiempo liberando los alambres que a través de los movimientos peristálticos pasan al abomaso, donde se genera la liberación de manera residual y permanente del cobre.

3.1.1. Tiempo de permanencia a nivel ruminal de las partículas de óxido de cobre

Los alambres de óxido de cobre una vez otorgados al rumiante, estos son alojados en el rumen a través del abomaso, donde permanecen en los pliegues del mismo. CSIRO (1978) y Judson *et al.* (1982) demostraron que las partículas permanecían en el abomaso de los rumiantes por lo menos 32 días. Costigan y Ellis (1980) y Suttle (1981) indican que el alambre de óxido de cobre es retenido por más de 100 días en el rumen de los animales. En un trabajo realizado por Deland *et al.* (1986) suplementando 50 g de alambre de óxido de cobre a vacas observaron que a los tres meses permanecía un total de 4.02 g del alambre, repartido de la siguiente manera: 0.79 g en el compartimiento del

rumen, 1.24 g en el retículo, 0.12 g en el omaso y 1.87 g en el abomaso. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Costigan y Ellis (1980) y Suttle (1981).

Langlands *et al.*, (1986^a) demostraron que las partículas de óxido de cobre contenidas a nivel del rumen eran ineficientes, por lo que requerían pasar al abomaso para ser absorbidas. Este mismo autor menciona que a las seis semanas de permanencia en el rumen no había efecto de la liberación del cobre por parte de las partículas de óxido cúpricas.

En el Cuadro 1 se puede mostrar que la duración del efecto observado en la suplementación de alambre de óxido de cobre va desde 10 hasta 56 semanas, teniendo un promedio de 26 semanas en todos los trabajos reportados.

3.1.2. Forma de liberación del cobre

De acuerdo a CSIRO (1978) la forma de liberación del cobre por medio del alambre de óxido de cobre suplementado a rumiantes se desarrolla de la siguiente manera:

Las partículas de óxido de cobre al llegar 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 mas largo de tiempo.

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

3.1.3. Tamaño de las partículas del óxido de cobre

En ensayos iniciales para comprobar la eficacia y seguridad de las partículas de óxido de cobre como suplemento mineral en rumiantes, se usaron trozos de alambre de cobre con longitudes, masa y gravedad específica variables (Judson *et al.*, 1982, Judson *et al.*, 1983, Judson, *et al.*, 1984). La longitud variaba de 2.1 a 7 mm y se pensaba que afectaría el tiempo de permanencia de las partículas en el abomaso con el fin de originar una variación amplia en términos de almacenamiento de cobre en el hígado. Posterior a este experimento se comprobó que el tamaño de partícula ideal era de 3 a 4 mm ($P < 0.001$), comparados con aquellos de longitud variable. La eficacia de varios tamaños de alambre de cobre comparados con otros suplementos fue demostrada por Judson *et al.* (1984) al encontrar que el almacenamiento de cobre en el hígado era más grande en ovejas tratadas con partículas de óxido de cobre menores de 5 mm de longitud por aproximadamente 1 mm de diámetro.

3.1.4. Dosificación

En el Cuadro 1 se muestran los trabajos experimentales en los cuales se han utilizado distintas dosificaciones en la suplementación de alambre de óxido de cobre en ganado bovino.

En general se observa que las dosis utilizadas en los distintos trabajos van desde 4 a 36 g por cada 100 kg de peso vivo en becerros; de 6 a 9 g por cada 100 kg de peso vivo en toretes de engorda; 8 g por cada 100 kg de peso vivo en vaquillas y de 4 a 12 g por cada 100 kg de peso vivo en vacas. Factores como el contenido de cobre, molibdeno, azufre y hierro fueron los causantes de la variación encontrada en estos trabajos.

Dosis orales de 20 a 60 g alambre de cobre oxidado (80% de cobre) cortados a 10 mm de longitud han prevenido la hipocupremia en el ganado que está consumiendo alimento con bajo contenido de cobre y/o alto contenido de molibdeno o azufre (Suttle, 1981; Judson *et al.*, 1982; MacPherson, 1984; Whitelaw *et al.*, 1984; Richards *et al.*, 1985; Langlands *et al.*, 1986b).

MacPherson (1984) sugiere que dosis de alambre de óxido de cobre de 20, 10 y 5 g para ganado adulto, añojo y becerros, respectivamente pueden proteger contra hipocupremia por un periodo de por lo menos 6 meses. Este mismo investigador reportó que una dosis de 20 g de partículas de óxido de cobre suministrado a un grupo de vacas amamantando causó un incremento en los niveles plasmáticos de cobre, manteniendo los niveles adecuados durante por lo menos 11 meses.

Whitelaw *et al.* (1984) demostraron que una dosis de 20 g de alambre de óxido de cobre administrado a ganado de 190 Kg de peso vivo en promedio previno el retraso en el crecimiento y la hipocupremia, comparado con el grupo control de animales no tratados que si mostraron retardo en el desarrollo, además de bajos niveles de cobre en hígado y suero sanguíneo.

Deland *et al.* (1986) mencionan que dosis de más de 300 g pueden resultar en un incremento a nivel hepático o bien acumulación de cobre en el músculo que origina efectos tóxicos sobre el animal.

4. Ceruloplasmina

La ceruloplasmina constituye normalmente cerca del 90% del cobre en plasma sanguíneo (Underwood, 1977). Es sintetizada en el hígado y secretada en el torrente sanguíneo (Frieden, 1971). La vida media de la ceruloplasmina varía de acuerdo a la especie. Esta se encuentra estimada en 70 horas en borregos (Gooneratne *et al.*, 1989), 37 horas en bovinos (Marcilase *et al.*, 1976) y 12 horas en ratas (Marceau y Aspin, 1972). La ceruloplasmina en ratas parece ser la fuente de cobre más importante en los riñones e hígado (Weiss y Linder, 1985). En las vacas lecheras, se ha encontrado que el 24% del cobre en leche es derivado directamente de la dieta y no del cobre ligado a ceruloplasmina (Buckley *et al.*, 1985), indicando que la importancia de la ceruloplasmina como transportador de este mineral varía de acuerdo a la especie.

Una reducción en la actividad de la ceruloplasmina origina anemia causada por una deficiencia de cobre, la cual asemeja a una deficiencia de hierro, que es normalmente atribuida a una falla en la movilización y transporte de este mineral (Evans, 1973). Se ha demostrado que una disminución en la actividad de esta enzima se presenta desde antes de que se origine la anemia desarrollada por una deficiencia de cobre (Prohaska, 1981).

Prohaska (1983) menciona que el cobre es esencial en este proceso, a pesar de que se indica que la actividad de la ceruloplasmina plasmática ha demostrado no ser dependiente de este mineral y que presumiblemente solo se activa durante una deficiencia del mismo. Bingley y Anderson (1982) indican que la actividad de la ceruloplasmina está totalmente correlacionada con la concentración de cobre en el plasma. Se ha observado que cuando las concentraciones de cobre disminuyen hasta 0.3 ppm en la sangre y 40 ppm en el hígado, las concentraciones de ceruloplasmina son significativamente reducidas (Hynes y Woods, 1975; Arthington, 1994). Mills (1987) indica que bajos contenidos de cobre en plasma y baja actividad de la ceruloplasmina son los primeros signos de deficiencia de cobre que ocurren meses antes de que el crecimiento de los animales se vea afectado.

4.1. Determinación del estado del cobre a través de la actividad de la ceruloplasmina

Últimamente se ha determinado la actividad de la ceruloplasmina (ferroxidasa) para evaluar el estado cúprico en los animales, debido a que está muy correlacionada con el contenido de cobre. Esta enzima contiene la mayor parte de este mineral en el suero (Roberts, 1976; Steven *et al.*, 1992), por lo que es un buen indicador del estado del cobre en el ganado (Blakey y Hamilton, 1985; Suttle, 1986; Larson *et al.*, 1995). La determinación de ceruloplasmina para determinar la deficiencia de cobre es más exacta cuando existe exceso de molibdeno en la dieta (Steven *et al.*, 1992). Chidambaram *et al.* (1984) demostraron que la ceruloplasmina era inhibida por el tiomolibdato *in vitro*. En

cambio la actividad de la ceruloplasmina se incrementó en becerros suplementados con sulfato de cobre (CuSO_4) (Kegley y Spears, 1994).

Cuadro 1. Resumen de trabajos publicados en los cuales se ha suplementado alambre de óxido de cobre en ganado bovino

Tipo fisiológico	Dosis aproximada (g/100 kg PV)	Respuesta monitoreada en:	Duración del efecto (semanas)	Referencia
Becerras	36	Sangre	21	Deland <i>et al.</i> (1979)
Becerras	29	Sangre	35-41	Judson <i>et al.</i> (1981)
Becerras destetados	16	Hígado	36	Murphy <i>et al.</i> (1981)
Becerras destetados	5 y 10	Sangre	22-41	Judson <i>et al.</i> (1981)
Becerras destetados	16	Sangre e hígado (postmortem)	Sacrificados a seis semanas después de la dosificación; incrementó el cobre hepático por 330 mg/kg MS	Suttle (1981)
Becerras	5.7	Sangre	18	MacPherson (1983)
Becerras	10	Sangre	10	Whitelaw <i>et al.</i> (1984)
Becerras destetados	11	Sangre e hígado (postmortem)	19-28	Richards <i>et al.</i> (1985)
Becerras destetados	4	Sangre e hígado	32	Judson <i>et al.</i> (1985)
Becerras	4	Sangre e hígado	12	Boila (1987)
Becerras	10.5	Hígado	33	Rogers y Poole (1988)
Becerras añejos	13	Hígado	31	Rogers y Poole (1988)
Becerras	17	Plasma e hígado	13	Cameron <i>et al.</i> (1989)
Becerras recién nacidos	17	Hígado y riñón	A estos niveles se originó intoxicación en becerras suplementados a las 48 h de nacidos. Suplemento Copasure ®	Dwayne <i>et al.</i> (1997)
Becerras	4	Hígado	22	Arthington (2001)
Toretas	9	Hígado	34	Suttle (1987)
Toretas	8	Sangre e hígado	15	Wittenberg y Boila (1988)
Toretas	6	Sangre	17	Coffey <i>et al.</i> (1992)
Vaquillas	8	Sangre e hígado	24	McFarlane (1991)
Vacas	5 y 10	Sangre	33	Judson <i>et al.</i> (1981)
Vacas	4	Sangre	21	MacPherson (1983)
Vacas	4 y 12	Sangre	47-56	MacPherson (1984)
Vacas	10	Sangre	30	Gallagher y Cottrill (1985)
Vacas	4	Sangre e hígado	12	Boila (1987)
Vacas	4 y 8	Plasma e hígado	13	Cameron <i>et al.</i> (1989)
Vacas	10	Hígado	15	Arthington (2001)

5. Literatura citada

Alvear H., E. M. Huerta B., R. Ramírez V. y J. G. García M. 2002. Caracterización mineral en el ganado bovino de doble propósito en Zirándaro, Guerrero. *In: Mem. XXX Reunión Anual Asoc. Mex. Prod. Anim. Guadalajara, Jalisco, México.*

ARC. 1980. The Nutrient Requirements of Ruminants, Commonwealth Agricultural Bueraux. Farnham Royal.

Arthington J., D. 1994. Composition of four copper-status indicators in cattle challenged with bovine respiratory disease virus. *J. Anim. Sci. (Suppl. 1): 131.*

Arhington D., J. 2001. Copper oxide boluses for grazing cattle. Disponible en URL: <http://edis.ifas.ufl.edu>. (Revisado el 15 de noviembre de 2002)

Balam T., C. A. 1996. Diagnóstico mineral del ganado bovino en el centro, costa y sur de Yucatán. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chiapas. México. 1996.

Bingley J., B., and N. Anderson. 1982. Clinically silent hipocuprosis and effect of molybdenum loading on beef calves in Gippsland Victoria. *Aut. J. Agric. Res.* 23: 885.

Blakey B., R., and L. Hamilton D. 1985. Ceruloplasmin as an indicator of copper status in cattle and sheep. *Can. J. Comp. Med.* 49: 405.

Boila R., J. 1987. Cupric oxide needles for grazing cattle-Growth and metabolic interrelationships. *Can. J. Anim. Sci.* 67:577.

Buckley W., T., N. Huckin S. and K. Eigendrof G. 1985. Stable isotope tracer methods for determining absorption of dietary copper in dairy cattle. *In*: CF Mills, I. Bremner and JK Chesters, eds. Proc. 5th Symp. Trace elements in man and animals (TEMA-5). Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK. 1985.

CAB. 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux (CAB). The Gresham Press, England.

Cameron H., J., J. Boila R., W. McNichol L. and E. Stanger N. 1989. Cupric oxide needles for grazing cattle consuming low-copper, high molybdenum forage and high-sulfate water. *J. Anim. Sci.* 67: 252.

Castrillo P., H., P. Monroy A. y A. Castellanos R. 1983. Composición mineral de tres gramíneas, concentración de los mismos elementos en suero de bovinos y respuesta a la suplementación mineral en la zona de Camino Real, Campeche. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. México. p 785.

Chidambaram M., V., V. Barnes G. and E. Frieden. 1984. Inhibition of ceruloplasmin and other copper oxidases by thiomolybdate. *J. Inorg. Biochem.* 22: 231-239.

Cigarrero C., J., L. 1995. Suplementación mineral a vaquillas en Chiapas. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chiapas. México.

Coffey K., P., L. Moyer J., W. Lomas L., E. Smith J., C. La Rue D. and K. Brazle F. 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.

Costigan P. and J. Ellis K. 1980. Proc. Aust. Soc. Anim. Prod. 13:451.

Cotera R., J. 1996. Suplementación proteínica y mineral a toretes pastoreando estrella de áfrica (*Cynodon plectostachyus*, K. Schum). Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

CSIRO. 1978. Treating Copper Deficiency In Ruminants., Australian Patent 520,498.

Deland M., B. Cunningham P., P. Milne M. and W. Dewey D. 1979. Aust. Vet. J. 55: 493.

Deland M., P., D., D. Lewis, R. Cunningham P. and W. Dewey D. 1986. Use of orally administered oxidized copper wire particles for copper therapy in cattle. Australian Veterinary Journal. 63, 1-3.

De Loera R., J. y F. Hipólito Y. 1996. Diagnóstico mineral en Ganadería "Vaquerías" Hidalgo. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chiapas. México.

Dewey D., W., 1977. An effective method for the administration of trace amounts of copper to ruminants. Search. 8: 326-7.

Evans G., W. 1973. Copper homeostasis in the mammalian system. Physiol. Rev. 53: 535-570.

Fernández D., F. y E. Juárez H. 1993. Nutrición mineral de bovinos en el estado de Campeche. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chiapas. México.

Frieden E. 1971. Caeruloplasmin, a link between copper and iron metabolism. *Advances in Chemistry Series*. 100: 292-321.

Gallagher J. and R. Cottrill B. 1985. Methods of copper supplementation to cattle. *Veterinary Record*. 117: 468.

García P., J., T., R. y V. Lazarín S. 1993. Nutrición mineral de bovinos en la región central del estado de Chiapas. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chiapas. México.

Gooneratne S., R., T. Buckley W. and A. Christensen D. 1989. Review of copper deficiency and metabolism in ruminants. *Can. J. Anim. Sci.* 69: 819-845.

Hernández A., G. 1992. La concentración mineral de algunas especies forrajeras pastoreadas en Chiapas y Campeche. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chiapas. México.

Hernández M., G. y Z. Alvarado. 1996. Diagnóstico mineral del ganado bovino en Zaragoza y San José Acateno, Puebla. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chiapas. México.

Huerta B., M. 1993. Suplementación mineral de rumiantes en pastoreo. *In: Mem. Curso Internacional Avanzado de Nutrición De Rumiantes*. Colegio de Posgraduados. Montecillos, México.

Huerta B., M. 1997. Nutrición mineral de rumiantes en pastoreo. *In*: Memorias del curso “Alternativas de Manejo de Bovinos para Carne en Pastoreo”. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Huerta B., M. 1999. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. *In*: Memorias II seminario internacional Estrategias de Suplementación a Bovinos en Pastoreo. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Hynes M. and M. Woods. 1975. Some studies on the metabolism of labelled molybdenum compounds in cattle. *J. Inorganic Biochem.* 24: 279-288.

Juárez O., F. y R. González O. 1993. Nutrición mineral de bovinos en la costa de Chiapas. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chiapas. México.

Judson G., J., W. Dewey D., D. McFarlane J. and J. Riley M. 1981. Trace elements metabolism in man and animals. 4 Ed. J. M. Gawthorne, J. Mc C. Howell, C. L. White. New York, Springer-Verlag.

Judson G., J., H. Brown T., D. Gray, W. Dewey D., B. Edwards J. and D. McFarlane J. 1982. Oxidised Copper for Oral Copper Therapy in Sheep. *Aust. J. Agric. Res.* 33: 1073

Judson G., J., R. Vandergraaff, W. Inglis S. and D. McLaren L. 1983. Oxidised copper wire particles as an oral copper supplement for sheep. *Agricultural Rec.* 10: 12-14.

Judson G., J., L. Trengove C., W. Langman M. and R. Vandergraaff. 1984. Copper Supplementation in Sheep. *Aust. Vet. Journal*, 61: 40-43.

Judson G., J., K. Tee-Siaw, D. McFarlane J., K. Turnbull R. and R. Kemp B. 1985. Trace elements metabolism in man and animals. 5 CF Mills, I. Bremer, JK Chester, Slough, Commonwealth Agricultural Bureaux.

Kegley E., B. and W. Spears J. 1994. Bioavailability of free-grade copper sources (oxide, sulfate, or lysine) in growing cattle. J. Anim. Sci. 72: 2728-2734.

Langlands J., P., E. Bowles J., E. Donald G. and J. Smith A. 1986a. 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 Oxidised Copper Wire to Promote Hepatic Copper Storage. Aust, J. Agric Res. 37: 179-188

Langlands J., P., E. Bowles J., E. Donald G. and J. Smith A. 1986b. Trace Element Nutrition of Grazing Ruminants. I. Hepatic Copper storage in Young Sheep and Adult Sheep and Cattle Given Varying Quantities of Oxidised Copper Particles and Other Copper Supplements. Aust, J. Agric Res. 37: 189-200.

Larson B., L., J. Arthington and R. Corah L. 1995. Recognizing and treating copper imbalances in cattle. Vet. Medicine. 90: 6.

McFarlane D., J., G. Judson J., R. Turnbull K. and B. Kempe R. 1991. An evaluation of copper-containing solubles glass pellets, copper oxide particles and injectable copper as supplements for cattle and sheep. Aust Journal of Experimental Agriculture. 31:165-174.

MacPherson A. 1983. Trace elements in animal Production and Veterinary Practice. Ed. N. F. Suttle, R. G. Gunn, W. M. Allen, K. A. Linklater, G. Weiner. Edinburgh, British Society of Animal Production, Occasional Publication. No 7.

MacPherson A. 1984. Long term Effectiveness of graded doses of copper oxide needles to suckler cows. Vet. Rec. 115: 354-355.

Marceau N. and N. Aspin. 1972. Distribution of ceruloplasmin-bound ⁶⁷Cu in the rat. Am. J. Physiol. 222: 106-110.

Marcilase N., A., D. Figueiras H. and M. Valsecchi R. 1976. Studies with copper-64 in conditioned copper deficient ruminants. *In: Proc. Int. Symp. On Nuclear techniques in animal production and health.* International Atomic Agency. Vienna, Austria.

McDowell L., R. 1985. Detection of mineral status of grazing ruminants. *In: LR McDowell (Ed). Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates.* Academic Press, Inc. Orlando. p. 339-357.

McDowell L., R., J. Velásquez-Pereira y G. Valle. 1997. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA.

Mena E., E. 1996. Diagnóstico mineral del ganado bovino en Yucatán. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Méndez E., L., G. 1989. Estado mineral y reproducción estacional de vacas lecheras en Quintana Roo, México. Tesis de Maestría en Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Mills C., F. 1987. Biochemical and physiological indicators of mineral status in animals: copper, cobalt and zinc. J. Anim. Sci. 65: 1702-1711.

Morua B., M., A. 1991. Hurtado RG. Contenido mineral de gramíneas forrajeras tropicales en Puyacantengo, Tabasco. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Murphy G., M., K. Dimmock C., P. Kennedy T., S. O'Bryan M., W. Plaesto A., E. Powell E., O. Twist J., S. Wright G. and W. Gartner R., J. 1981. Trace elements metabolism in man and animals 4 Ed. JM, Gawthorne, J, Mc. C. Howell, C. L. White, Springer-Verlag, New York.

NRC. 1980. Mineral Tolerante of Domestic Animals. National Academy Press, Washington, D. C.

Pinto R., R. 1995. Suplementación mineral a vaquillas bajo pastoreo en la zona central de Chiapas. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Prohaska J., R. 1981. Comparison between dietary and genetic copper deficiency in mice: copper-dependent anemia. Nutr. Res. 1: 159-167.

Prohaska J., R. 1983. Changes in tissue growth, concentrations of copper, iron cytochrome oxidase and superoxide dismutase subsequent to dietary or genetic copper deficiency in mice. J. Nutr. 113: 2148-2158.

Puc D., J., A. 1996. Diagnóstico mineral del ganado bovino en el oriente de Yucatán II. Contenido mineral en hígado y hueso. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Ramos S., M., A. 1996. Diagnóstico mineral del ganado bovino en el oriente de Yucatán I. Contenido mineral en suelo, forraje, agua y suplementos. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Richards D., H., R. Hewett G., M. Parry J. and H. Yeoman G. 1985. Bovine copper deficiency: Use of copper oxide needles. Vet. Rec. 116: 618-619.

Roberts H., E. 1976. Bovine hipocuprosis. Vet. Rec. 99: 496-498.

Rogers P., A., M. and R. Poole D., B. 1988. Copper oxide needles for cattle: A comparison with parenteral treatment. Veterinary Record. 123: 147-151

Sábido L., L., A. 1996. Diagnóstico mineral del ganado bovino en el centro, sur y costa de Yucatán I. Contenido mineral en el suelo, forraje, agua y suplementos. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Sánchez D., A. 1985. Determinación de la concentración de cobre en hígado y suero sanguíneo de bovinos alimentados con altos niveles de gallinaza. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Steven E., W., D. Herd, R. Field, P. Holland. 1992. Diagnosis of copper deficiency in cattle. JAVMA. Vol. 200. 11:1625-1629.

Suttle N., F. 1981. Effectiveness of orally administered cupric oxide needles in alleviating hypocupraemia in sheep and cattle. Vet. Rec. 108:417

Suttle N., F. 1986. Copper deficiency in ruminants; recent developments. Vet. Rec. 119: 519-522.

Suttle N., F., G. Jones D., C. Woolliams and A. Woolliams J. 1987. Heinz body anaemia in lambs with deficiencies of copper or selenium. Br. J. Nut. 58:539-548.

Underwood E., J. 1977. Trace elements in human and animal nutrition. 4th ed. Academic Press, New York, N. Y. 545 pp. 1977.

Underwood E., J. 1981. Copper *In*: Mineral Nutrition of Livestock Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Slough, UK.

Whitelaw A., R. Fawcett A. and J. Macdonald A. 1984. Cupric oxide needles in the prevention of bovine hypocuprosis. Vet Rec. 115: 357

Whittemberg K., M. and J. Boila R. 1988. Supplementary copper for growing cattle consuming diets high in molybdenum or molybdenum plus sulfur. Can. J. Anim. Sci. 68: 1143-1154.

Weiss K., C. and C. Linder M. 1985. Copper transport in rats involving a new plasma protein. Am. J. Physiol. 249 (Endocrinol. Metab. 12): E77-E88.

CAPÍTULO 3

Caracterización Mineral del Ganado Bovino de Doble Propósito en Zirándaro, Guerrero*

Ernesto Alvear Herrera**

Maximino Huerta Bravo**

Rodolfo Ramírez Valverde**

José-Guadalupe García Muñiz**

* Para ser sometido a la revista Veterinaria México.

** Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, 56230, Chapingo, Estado de México, México.

Autor por correspondencia: Maximino Huerta Bravo, Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. E-mail: maxbravo@correo.chapingo.mx, Tel. (595) 952 1621, Fax: (595) 954 8884.

Resumen

El objetivo del presente estudio fue determinar la concentración mineral en suero sanguíneo de animales, forraje y suelo en tres ranchos con ganado bovino de doble propósito, en condiciones de trópico seco del estado de Guerrero, México. Los análisis del contenido mineral se efectuaron en 6, 24 y 70 muestras de suelo, forraje y sangre (vacas y crías), respectivamente. Los minerales determinados fueron calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro y cinc en suero sanguíneo, suelo y forraje, y adicionalmente manganeso en estos dos últimos. El modelo estadístico para la concentración mineral en suelo consideró sólo el efecto de rancho, para forraje se ajustaron los efectos de rancho, especie forrajera y la interacción, y para suero sanguíneo se ajustaron los efectos de rancho, grupo de edad (vacas o crías) y la interacción. Los contenidos minerales en suelo mostraron diferencias ($P < 0.05$) por efecto de rancho sólo para los minerales sodio y potasio. Los contenidos de fósforo, magnesio, potasio, cobre, cinc y manganeso en forraje dependieron de la interacción rancho por especie forrajera. Las concentraciones de los minerales potasio, hierro, cobre y manganeso en forraje presentaron diferencias ($P < 0.05$) debido al efecto de rancho. Las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio y cobre en el suero sanguíneo de los animales fueron diferentes ($P < 0.05$) en los ranchos estudiados. La concentración de hierro en el suero sanguíneo mostró valores excesivos tanto en ganado adulto como en crías, así como en los pastos. Las concentraciones de fósforo y potasio en el suero sanguíneo estuvieron dentro de los niveles adecuados; sin embargo, para el caso de calcio, magnesio y cinc, alrededor de un 5% de los animales presentó concentraciones deficientes para estos minerales. Los minerales sodio y cobre estuvieron por debajo del nivel adecuado en todos los animales, lo cual se corrobora con los niveles deficientes encontrados en los forrajes. En conclusión, el ganado bovino estudiado en esta región del trópico seco de Guerrero, presenta deficiencias marcadas de sodio y cobre, asociadas con deficiencias de éstos elementos en el forraje. El magnesio y cinc se encuentran en concentraciones marginales tanto en forraje como en el ganado.

Palabras clave: bovinos, minerales, sodio, cobre, trópico

Mineral Characterization of Dual Purpose Cattle in Zirándaro, Guerrero, México

Abstract

The objective of the study was to determine the mineral content in cattle's blood serum, soil and pasture samples collected in three ranches of the state of Guerrero, México. Six, 24 and 70 samples of soil, pasture and blood serum were analyzed for calcium, phosphorus, magnesium, sodium, potassium, copper, iron and zinc. Additionally, pasture and soil samples were also analyzed for manganese. The statistical model fitted for soil samples included only the effect of ranch; for pasture samples the effects included were ranch, pasture species and their interaction; and for blood serum samples the model included the effects of ranch, age group (cows or calves) and their interaction. Ranches differed ($P < 0.05$) in soil mineral content only for sodium and potassium. Pasture mineral content of phosphorus, magnesium, potassium, copper, zinc, and manganese depended of the interaction ranch by pasture species. Blood serum concentration of calcium, phosphorus, magnesium, sodium, and copper were different ($P < 0.05$) across ranches. Both blood serum and pasture iron concentration were excessively high. Phosphorus and potassium blood serum concentration were adequate. However, about 5% of animals were deficient for calcium, magnesium, and zinc. In accordance with pasture's low sodium and copper content, all animals were deficient for these minerals. It is concluded that cattle from this region of the state of Guerrero, México, presents marked copper and sodium deficiencies due to the low concentration of these minerals in pasture. Additionally, cattle and pasture presented marginal concentrations of magnesium and zinc.

Words key: bovine, minerals, sodium, copper, tropic

Introducción

La nutrición mineral del ganado bovino cobró importancia a partir de 1924 en descubrimientos de Theiler y colaboradores al demostrar que la producción de leche y el porcentaje de pariciones se reducían por la falta de fósforo. De esta manera, los desbalances minerales 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), mediante la disminución del ritmo de producción, la producción láctea, la fertilidad, y el incremento de la incidencia y severidad de las enfermedades (Minson, 1990).

En México, la investigación nutricional en este aspecto se ha centrado en determinar el nivel de algunos minerales en el ganado y en los forrajes. En el caso del ganado partiendo del análisis del suero sanguíneo, algunos órganos (hígado, riñón y hueso). En el caso de forraje se utiliza el material vegetativo como fuente de análisis.

No existe ningún alimento que aporte las cantidades de todos los nutrientes requeridos por el ganado (energía, proteína, vitaminas y minerales). Por lo tanto, estos deberán suplementarse en la dieta de los animales en las proporciones adecuadas, según se requiera. La suplementación mineral es una alternativa por medio de la cual se puede otorgar al ganado las cantidades y proporciones adecuadas de minerales, considerando el aporte de otros alimentos y el requerimiento del animal. Huerta (1997) menciona que la respuesta promedio a la suplementación mineral puede ser de un 45% de incremento en

la ganancia diaria de peso y de 7 a 37% en la tasa de pariciones, lo cual puede ser rentable en algunas explotaciones pecuarias (Huerta, 1993).

Por otro lado, una de las principales actividades económicas de la región de Tierra Caliente del estado de Guerrero es la ganadería, conformada principalmente de ganado bovino de doble propósito. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el estado mineral de tres explotaciones de ganado bovino de doble propósito en Zirándaro, Guerrero.

Material y métodos

Localización

La presente investigación se realizó en el poblado de La Calera, ubicado a siete kilómetros en la parte sur del municipio de Zirándaro, Guerrero, a una altura sobre el nivel del mar de 193 metros. La cabecera municipal se localiza entre los 18° 29' de latitud norte y los 100° 59' de longitud oeste; y está situado en la zona este de la región de Tierra Caliente, colindando al norte con el Estado de Michoacán divididos por el Río Balsas, al sur con el municipio de La Unión, al este con el municipio de Coahuayutla de Guerrero y al oeste con el de Coyuca de Catalán. El clima de la región es Awo (w) (i') g que corresponde a un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, siendo el más seco de los subhúmedos, con poca oscilación térmica y con marcha anual de la temperatura tipo Ganges (García, 1981). Los análisis de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

Animales y alimentación

Se utilizaron 62 animales con dos tipos fisiológicos (28 crías y 34 vientres) de doble propósito (Cebú X Suizo), provenientes de tres ranchos (Cuadro 2). El ganado se manejó en condiciones extensivas de pastoreo y sin ningún tipo de suplementación alimenticia, proporcionándoseles agua de río a libre acceso. Los pastos disponibles en los tres

ranchos fueron *Cynodon dactylon*, *Ixophorus cuisetus* y *Paspalum plicatulum*, mismos que recibieron un manejo mínimo para el control de malezas.

Cuadro 2. Número de animales por rancho en base al tipo fisiológico

Rancho	Tipo fisiológico		Total
	Vaca	Cría	
1	11	11	22
2	10	7	17
3	13	10	23
	Total		62

Diseño experimental

Los 62 animales entre los tres ranchos y las tres especies forrajeras de cada uno de ellos fueron muestreados en un diseño completo al azar, determinándose ocho minerales en el suero sanguíneo y nueve minerales en las muestras de forraje y suelo. Los minerales en suero fueron analizados con un arreglo factorial 3 X 2 (rancho por estado fisiológico), mientras que en los minerales del forraje se utilizó un arreglo factorial 3 X 3 (rancho por especie forrajera) y las muestras de suelo se analizaron con un diseño completamente al azar.

Metodología experimental y época del diagnóstico mineral

El estudio mineral se realizó en el mes de julio (época de lluvias) del año 2001. Se hizo un muestreo de sangre en el ganado, además de tomarse muestras de forraje y suelo en las tres explotaciones de doble propósito.

Las muestras de sangre se obtuvieron de la vena yugular por punción directa, en tubos de plástico estériles 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 hasta el momento del análisis. En cada muestreo se registró la identificación individual de los animales.

Se colectaron muestras de las especies forrajeras predominantes en los tres ranchos. Se obtuvieron las partes de la planta que el animal consumía, es decir, el forraje seleccionado 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 4 mm. Posteriormente, se molieron nuevamente con una criba de 1 mm. Además, se tomaron dos muestras de suelo de los potreros de cada uno de los ranchos.

Análisis de laboratorio

En plasma sanguíneo se determinó fósforo mediante colorimetría y calcio, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro y cinc por espectrofotometría de absorción atómica (Perkin-Elmer, 1976; Fick *et al.*, 1979).

Para las muestras de forraje se efectuaron las mismas determinaciones que para plasma sanguíneo, además de manganeso por espectrofotometría de absorción atómica. Adicionalmente también se determinaron los contenidos de materia seca, proteína

cruda, cenizas y fibra por medio del método de Goering y Van Soest (1970) y A.O.A.C. (1991).

La colecta de suelo se realizó en los mismos lugares donde se obtuvieron las muestras de forraje, colectando dos muestras por rancho. Las muestras fueron tomadas a una profundidad de 0 a 15 cm con la ayuda de una barrena inoxidable y posteriormente fueron secadas a 55°C por 48 horas y molidas en mortero de porcelana. El contenido de fósforo en el suelo 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 determinados 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, cobre, hierro y cinc en las muestras de suero sanguíneo, forraje y suelo, además de manganeso en estos dos últimos.

Análisis estadístico

Las concentraciones minerales en suero sanguíneo, forraje y suelo se analizaron por separado. Los datos fueron analizados con el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS (2001), utilizando los efectos de rancho, especie forrajera y tipo de animal. Los modelos estadísticos fueron los siguientes:

Para plasma sanguíneo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + R_j + (T*R)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta,

μ = media general,

T_i = efecto del i-ésimo estado fisiológico (i = vacas, crías),

R_j = efecto del j-ésimo rancho (j = 1, 2, 3),

$(T*R)_{ij}$ = efecto de la ij-ésima interacción estado fisiológico por rancho, y

e_{ijk} = error aleatorio $\sim$ NIID $(0, \sigma_c^2)$.

Para forraje:

$$Y_{ijk} = \mu + F_i + R_j + (F*R)_{ij} + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable de respuesta,

μ = media general,

F_i = efecto de la i-ésima especie forrajera (i = *Cynodon dactylon*, *Paspalum plicatulum*,

Ixophorus cuisetus),

R_j = efecto del j-ésimo rancho ($j = 1, 2, 3$),

$(F \times R)_{ij}$ = efecto de la ij-ésima interacción especie forrajera por rancho, y

e_{ijk} = error aleatorio $\sim$ NIID $(0, \sigma_c^2)$.

Para suelo:

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

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta,

μ = media general,

R_i = efecto del i-ésimo rancho ($i = 1, 2, 3$), y

e_{ij} = error aleatorio $\sim$ NIID $(0, \sigma_c^2)$.

Resultados

Concentración mineral en suelo

Las concentraciones minerales en los suelos de tres ranchos de Zirándaro, Guerrero se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Medias de cuadrados mínimos para las concentraciones de calcio, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro, cinc y manganeso en el suelo de tres ranchos en Zirándaro, Guerrero

Minerales, mg kg ⁻¹	Rancho			EEM	Pr > F
	1	2	3		
Calcio	5880.0 ^a	5640.0 ^a	7318.0 ^a	791.56	0.389
Magnesio	278.0 ^a	190.0 ^a	369.0 ^a	49.00	0.173
Sodio	323.0 ^a	67.0 ^b	425.0 ^a	29.88	0.007
Potasio	117.0 ^b	230.0 ^a	135.0 ^b	10.81	0.010
Hierro	6.0 ^a	6.0 ^a	6.0 ^a	0.28	0.438
Cobre	1.4 ^a	1.4 ^a	1.5 ^a	0.07	0.438
Cinc	5.4 ^a	3.5 ^a	6.7 ^a	0.67	0.092
Manganeso	16.0 ^a	11.0 ^a	32.0 ^a	8.19	0.298
pH	8.2	8.2	8.1	----	-----

^{a, b} Medias en la misma hilera, dentro de rancho con diferente literal son estadísticamente diferentes (P < 0.05)

EEM = Error estándar de la media

Las concentraciones de calcio, magnesio, hierro, cobre, cinc y manganeso en los suelos de la zona muestreada no fueron afectadas (P = 0.4, P = 0.17, P = 0.44, P = 0.44, P = 0.09 y P = 0.3, respectivamente) por el rancho. Los minerales sodio y potasio si fueron

diferentes ($P = 0.007$ y $P = 0.01$, respectivamente) entre las explotaciones ganaderas. El rancho 2 mostró la concentración más baja de sodio, comparada con los otros ranchos. En el caso de potasio, los ranchos 1 y 3 fueron los más bajos en la concentración de este mineral.

Concentración mineral en forraje

Las concentraciones minerales en los forrajes de tres ranchos de Zirándaro, Guerrero se presentan en el Cuadro 4.

Las concentraciones de calcio en los forrajes no fueron afectadas por el rancho ($P = 0.25$), especie forrajera ($P = 0.54$) o la interacción de ambos ($P = 0.21$; Cuadro 5).

El rancho no influyó ($P = 0.11$) sobre la concentración de fósforo en el forraje. Sin embargo, la especie forrajera y la interacción rancho por especie forrajera si afectaron ($P = 0.003$ y $P = 0.01$, respectivamente) la concentración de este elemento (Cuadro 5). En la Figura 1 se observa que la interacción rancho por especie forrajera fue importante para la concentración de fósforo. La especie *Cynodon dactylon* fue la única que presentó diferencias en el rancho 2 con respecto a los otros dos pastos, teniendo el nivel de calcio más bajo. Las diferencias entre especies forrajeras en los ranchos 1 y 3 fueron mínimas.

Las concentraciones de magnesio en los forrajes no cambiaron ($P = 0.23$) por efecto de rancho, pero si fueron diferentes ($P = 0.004$) para especie forrajera y para la interacción rancho por especie forrajera ($P = 0.03$; Cuadro 5). En la Figura 2 se observa que la

interacción rancho por especie forrajera fue importante para la concentración de este mineral. El rancho 3 presentó variación entre los tres pastos, observándose que *Cynodon dactylon* tuvo el nivel más bajo. En el rancho 2 *Cynodon dactylon* fue diferente a las otras dos especies mostrando el nivel más bajo de magnesio. Las concentraciones de magnesio en el rancho 1 fueron similares entre especies forrajeras.

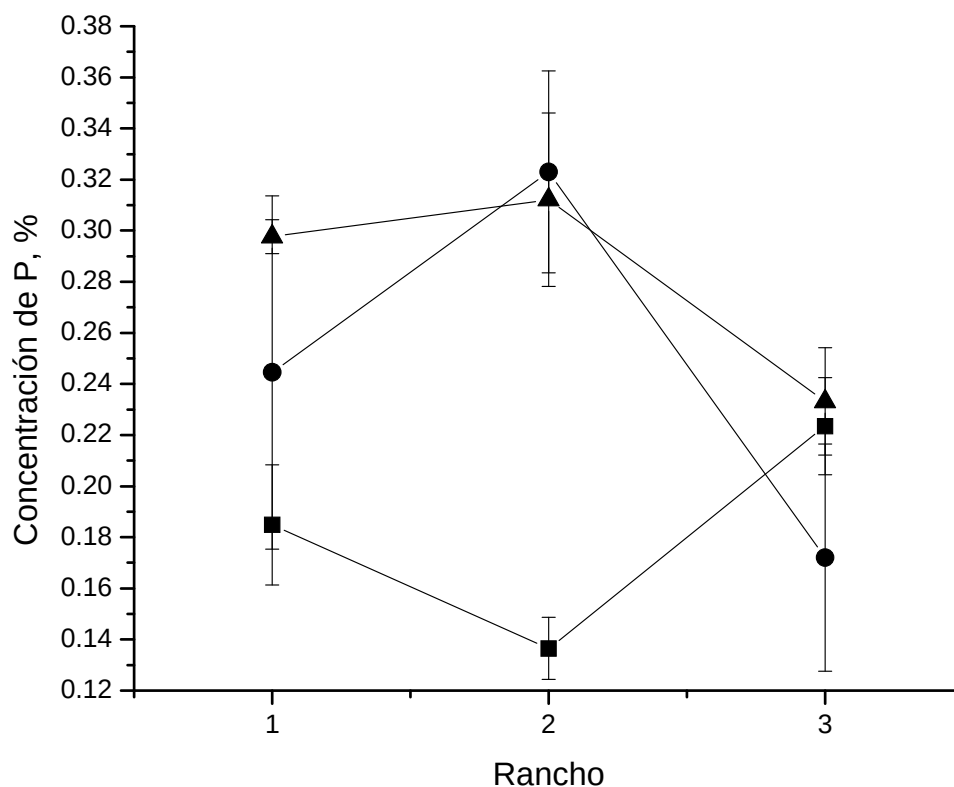


Figura 1. Medias de mínimos cuadrados ($\pm$ error estándar) para la concentración de fósforo en los pastos *Cynodon dactylon* (—■—), *Ixophorus cuisetus* (—●—) y *Paspalum plicatulum* (—▲—) de Zirándaro, Guerrero

Las concentraciones de sodio en los forrajes fueron afectados por la especie forrajera ($P = 0.004$), mientras que rancho y la interacción rancho por especie forrajera no tuvieron influencia ($P = 0.34$ y $P = 0.052$, respectivamente; Cuadro 5). En el Cuadro 4 se muestra que el pasto *Paspalum plicatulum* presentó la menor concentración de sodio comparado con las otras dos especies forrajeras.

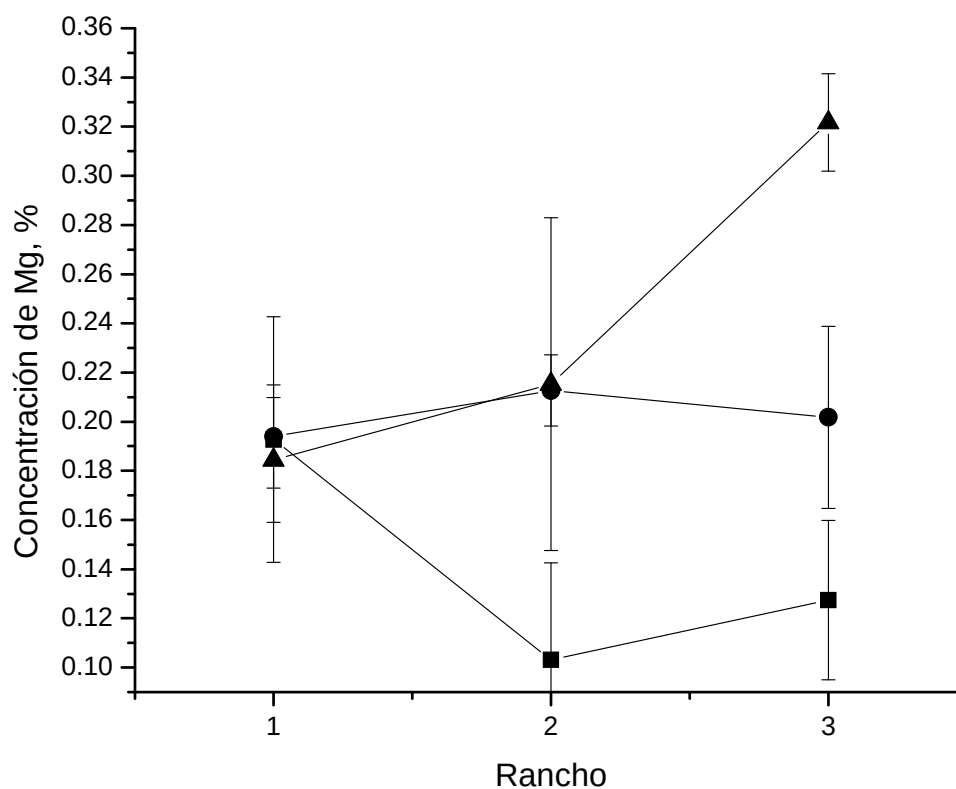


Figura 2. Medias de mínimos cuadrados ($\pm$ error estándar) para la concentración de magnesio en los pastos *Cynodon dactylon* (—■—), *Ixophorus cuisetus* (—●—) y *Paspalum plicatulum* (—▲—) de Zirándaro, Guerrero

Los efectos de rancho, especie forrajera y la interacción de ambos factores modificaron ($P = 0.002$, $P < 0.0001$ y $P = 0.04$, respectivamente; Cuadro 5) la concentración de potasio del forraje. En la Figura 3 se observa que la interacción rancho por especie forrajera fue importante en la concentración de este mineral.

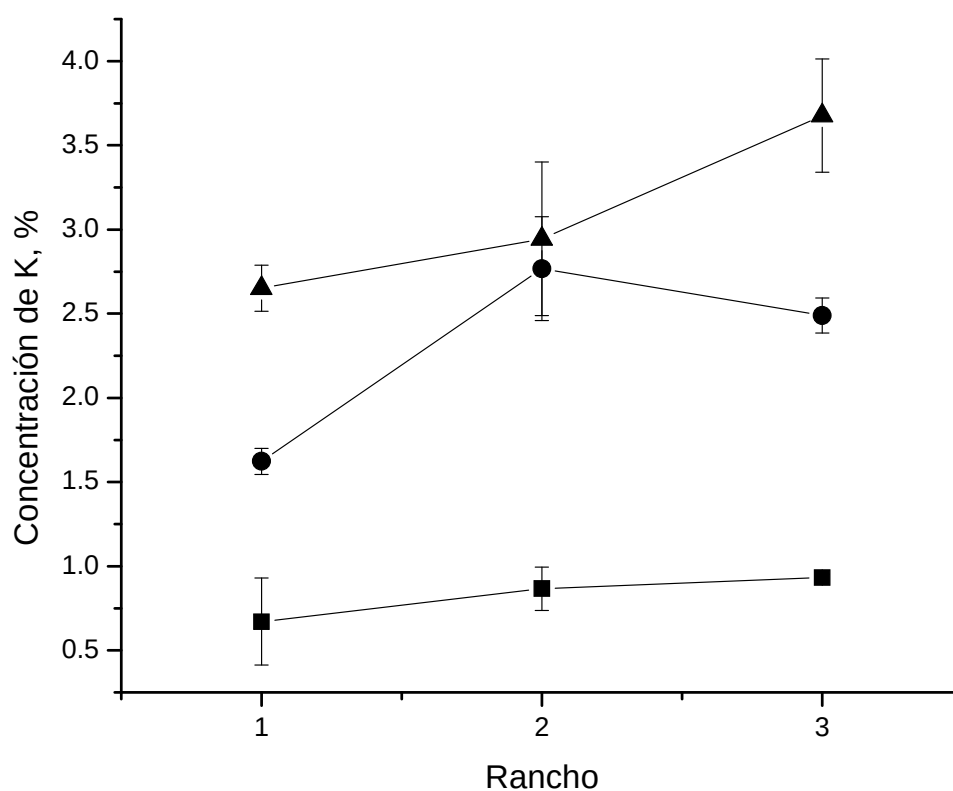


Figura 3. Medias de mínimos cuadrados ($\pm$ error estándar) para la concentración de potasio en los pastos *Cynodon dactylon* (—■—), *Ixophorus cuisetus* (—●—) y *Paspalum plicatulum* (—▲—) de Zirándaro, Guerrero

En los ranchos 1 y 3 se presentó variación en los tres pastos, mientras que en el rancho 2 solo hubo diferencias entre *Cynodon dactylon* con respecto a las otras dos especies forrajeras. En las tres explotaciones, *Paspalum plicatulum* fue el zacate que mostró el nivel más alto de potasio, mientras que *Cynodon dactylon* presentó el nivel más bajo.

Las concentraciones de hierro en los forrajes fueron afectadas por rancho y especie forrajera ($P = 0.001$ y $P = 0.0009$, respectivamente; Cuadro 5). La interacción rancho por especie forrajera no influyó ($P = 0.07$) en las concentraciones de hierro de los pastos. En el Cuadro 4 se observa que el rancho 1 y el pasto *Cynodon dactylon* mostraron la concentración más alta en hierro en comparación con los otros ranchos y pastos.

En las concentraciones de cobre de los forrajes se detectaron efectos de rancho, especie forrajera y de la interacción rancho por especie forrajera ($P = 0.015$, $P = 0.002$ y $P = 0.0005$, respectivamente; Cuadro 5). La Figura 4 muestra que la interacción rancho por especie forrajera influyó en la concentración cúprica. En el rancho 1 se observan diferencias muy grandes de *Cynodon dactylon* comparado con las otras dos especies forrajeras, teniendo el nivel más alto de cobre. Las diferencias entre especies forrajeras en los ranchos 2 y 3 fueron mínimas.

Cuadro 4. Medias de cuadrados mínimos para las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro, cinc y manganeso en tres especies forrajeras (*Cynodon dactylon*, *Ixophorus cuisetus* y *Paspalum plicatulum*) de tres ranchos de Zirándaro, Guerrero

Mineral	Rancho			EEM	Especie forrajera			EEM
	1	2	3		Cynodon dactylon	Ixophorus cuisetus	Paspalum plicatulum	
Calcio, %	0.36^a	0.44^a	0.41^a	0.030	0.42^a	0.41^a	0.38^a	0.030
Fósforo, %	0.24^a	0.26^a	0.21^a	0.014	0.18^b	0.25^a	0.28^a	0.014
Magnesio, %	0.19^a	0.18^a	0.22^a	0.015	0.14^b	0.20^a	0.24^a	0.015
Sodio, %	0.03^a	0.03^a	0.04^a	0.006	0.04^a	0.05^a	0.02^b	0.006
Potasio, %	1.60^b	2.20^a	2.40^a	0.100	0.80^c	2.30^b	3.10^a	0.100
Hierro, ppm	2230.00^a	669.00^b	639.00^b	231.537	2274.00^a	714.00^b	550.00^b	231.537
Cobre, ppm	4.00^a	2.80^b	2.60^b	0.285	4.30^a	2.60^b	2.40^b	0.285
Cinc, ppm	29.70^a	29.50^a	28.60^a	1.435	28.50^a	28.10^a	31.30^a	1.435
Manganeso, ppm	176.00^a	197.00^a	70.00^b	10.828	140.00^b	79.00^c	224.00^a	10.828

^{a, b, c} Medias en la misma hilera, dentro de rancho o especie forrajera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P < 0.05)

EEM = Error estándar de la media

Cuadro 5. Nivel de significancia (probabilidad) para las variables rancho y especie forrajera con respecto a la concentración mineral de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro, cinc y manganeso en tres especies forrajeras (*Cynodon dactylon*, *Ixophorus cuisetus* y *Paspalum plicatulum*)

Fuente de variación	Calcio	Fósforo	Magnesio	Sodio	Potasio	Hierro	Cobre	Cinc	Manganeso
Rancho	0.252	0.106	0.228	0.340	0.002	0.001	0.015	0.850	<.0001
Especie forrajera	0.539	0.003	0.004	0.004	<.0001	0.0009	0.002	0.280	<.0001
Rancho*Especie forrajera	0.205	0.011	0.031	0.052	0.041	0.077	0.0005	0.050	<.0001

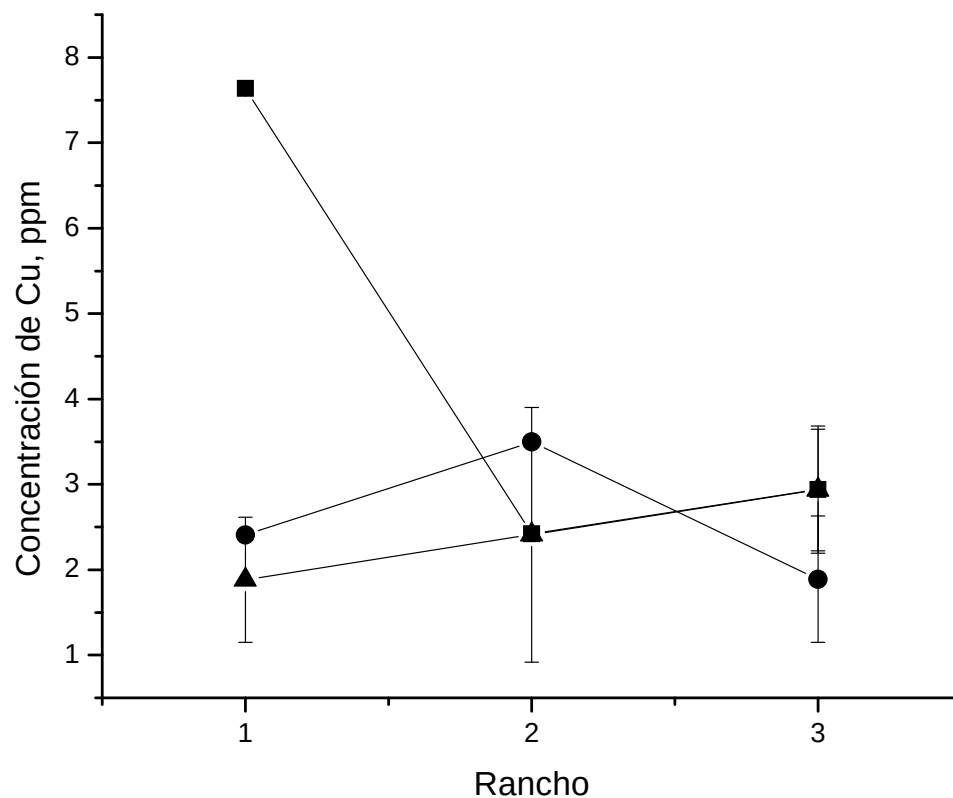


Figura 4. Medias de mínimos cuadrados ($\pm$ error estándar) para la concentración de cobre en los pastos *Cynodon dactylon* (—■—), *Ixophorus cuisetus* (—●—) y *Paspalum plicatulum* (—▲—) de Zirándaro, Guerrero

No se encontraron diferencias para efecto de rancho ($P = 0.9$) y especie forrajera ($P = 0.3$) en la concentración de cinc del forraje (Cuadro 5). De manera contraria, la interacción rancho por especie forrajera fue importante ($P = 0.05$). Se muestra en la Figura 5 que la interacción rancho por especie forrajera fue significativa en la concentración de este mineral. En el rancho 3, los tres pastos fueron similares en su contenido de cinc. Los ranchos 1 y 2 mostraron diferencias en uno de los pastos

(*Ixophorus cuisetus* y *Cynodon dactylon*, respectivamente) con respecto a las otras especies forrajeras. Ambos pastos fueron los más bajos en los niveles de cinc de cada explotación.

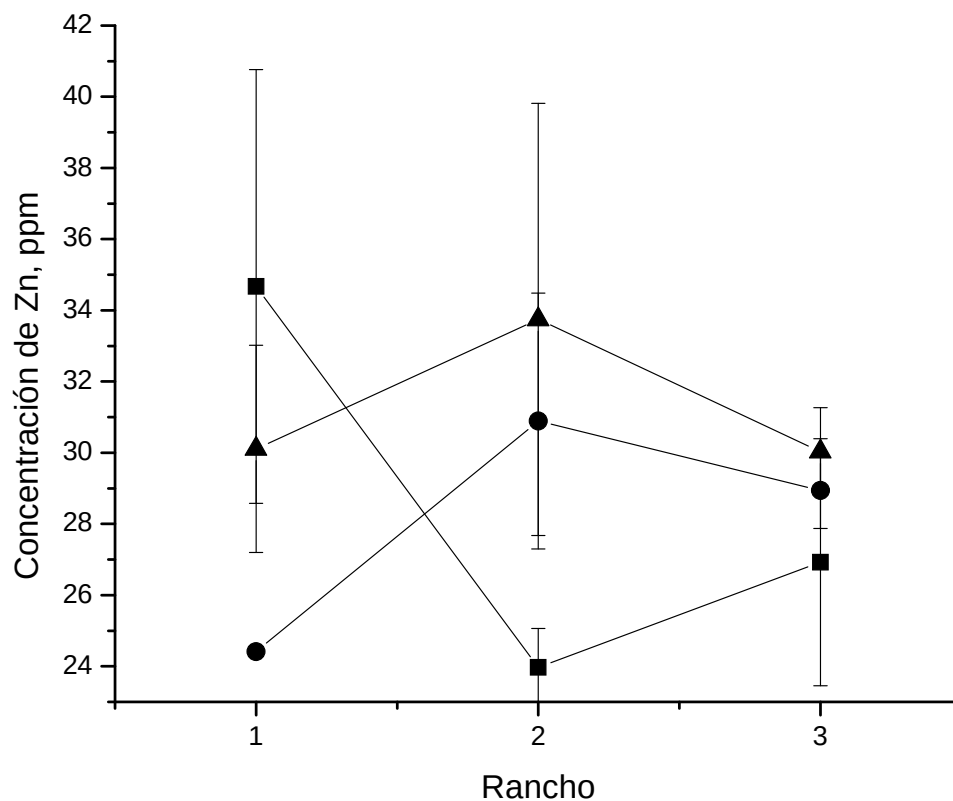


Figura 5. Medias de mínimos cuadrados ($\pm$ error estándar) para la concentración de cinc en los pastos *Cynodon dactylon* (—■—), *Ixophorus cuisetus* (—●—) y *Paspalum plicatulum* (—▲—) de Zirándaro, Guerrero

Las concentraciones de manganeso de los forrajes fueron modificadas ($P < 0.0001$; Cuadro 4) por los efectos principales (rancho y especie forrajera) y la interacción de los mismos. Esta interacción se observa de manera gráfica en la Figura 6. En los ranchos 1 y 2 se muestran diferencias entre los tres pastos (*Ixophorus cuisetus*, *Cynodon dactylon* y *Paspalum plicatulum*), pero destaca el nivel mas alto encontrado en *Paspalum plicatulum* del rancho 2 comparado con las otras especies forrajeras. Los niveles de manganeso encontrados en las tres especies del rancho 3 fueron muy similares.

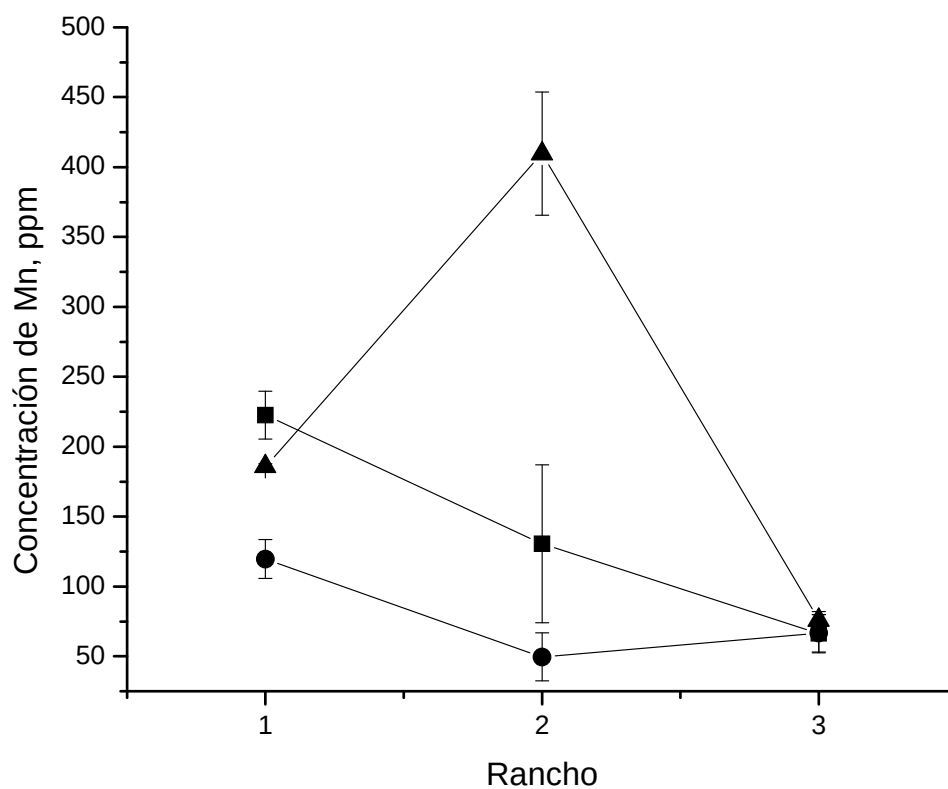


Figura 6. Medias de mínimos cuadrados ($\pm$ error estándar) para la concentración de manganeso en los pastos *Cynodon dactylon* (—■—), *Ixophorus cuisetus* (—●—) y *Paspalum plicatulum* (—▲—) de Zirándaro, Guerrero

Concentración mineral en plasma sanguíneo

Las concentraciones minerales en el plasma sanguíneo de los bovinos de tres ranchos de Zirándaro, Guerrero se presentan en el Cuadro 6.

Las concentraciones de calcio en el plasma sanguíneo de los animales fueron afectadas por rancho y tipo fisiológico ($P < 0.0001$ y $P = 0.005$, respectivamente; Cuadro 7). La interacción rancho por tipo fisiológico no influyó ($P = 0.8$) en la concentración de este mineral. En el Cuadro 6 se muestra que el ganado del rancho 2 presentó una concentración más alta de calcio en plasma sanguíneo que los animales de los otros ranchos. Por otro lado, las vacas tuvieron un nivel más bajo de calcio en plasma sanguíneo que las crías.

Los efectos de rancho y tipo fisiológico influyeron ($P < 0.003$; Cuadro 7) en la concentración fosfórica sanguínea del ganado. La interacción de ambos efectos no fue importante ($P = 0.29$). El ganado del rancho 3 mostró el nivel de fósforo sanguíneo más bajo comparado con las otras dos explotaciones y en el caso del tipo fisiológico las vacas presentaron los niveles más bajos de fósforo comparadas con las crías (Cuadro 6).

No se encontraron diferencias en la concentración de magnesio sanguíneo del ganado por efecto de tipo fisiológico ($P = 0.4$) o por la interacción rancho por tipo fisiológico ($P = 0.8$). De manera contraria, el efecto de rancho si fue importante ($P = 0.009$; Cuadro 7). En el Cuadro 6 se muestra que el rancho 2 no difirió de los ranchos 1 y 3 en la

concentración de magnesio sanguíneo del ganado, sin embargo, el rancho 3 presentó una concentración de magnesio en el suero sanguíneo del ganado más baja que el rancho 1.

La concentración de sodio en suero sanguíneo del ganado tuvo influencia en los efectos de rancho ($P = 0.011$; Cuadro 7) y tipo fisiológico ($P = 0.05$), no así la interacción de ambos ($P = 0.62$). El ganado del rancho 1 presentó la concentración más baja, comparada con las del ganado de las otras dos explotaciones (Cuadro 6). El ganado del rancho 3 fue similar en la concentración de sodio sanguíneo que los ranchos 1 y 2, pero estos dos últimos fueron diferentes en su concentración sanguínea de sodio, siendo el ganado del rancho 1 el que presentó el nivel más bajo.

El potasio en suero sanguíneo del ganado no mostró diferencias por efecto de rancho y de la interacción rancho por tipo fisiológico ($P = 0.3$ y $P = 0.7$, respectivamente), solo por efecto del tipo fisiológico ($P = 0.002$; Cuadro 7). En el Cuadro 6 se muestra que las vacas presentaron la menor concentración de potasio comparadas con las crías.

Las concentraciones de hierro sanguíneo de los animales no fueron afectadas por rancho, tipo fisiológico o la interacción de ambos factores ($P = 0.09$, $P = 0.5$ y $P = 0.7$, respectivamente; Cuadro 7).

Se encontraron diferencias importantes ($P < 0.005$) en la concentración de cobre en el suero sanguíneo del ganado para los efectos de rancho y tipo fisiológico (Cuadro 7). La interacción rancho por tipo fisiológico no afectó esta variable ($P > 0.09$). La concentración de cobre sanguíneo del ganado del rancho 1 fue similar a las del ganado

de los ranchos 2 y 3, sin embargo, estos dos últimos difirieron en las concentraciones cúpricas de los animales, siendo más baja la concentración de cobre del ganado en el rancho 3 (Cuadro 6).

Las concentraciones de cinc en el suero sanguíneo del ganado no cambiaron ($P > 0.1$) por efecto de rancho e interacción rancho por tipo fisiológico, sólo por tipo fisiológico ($P = 0.03$; Cuadro 7). En el Cuadro 6 se muestra que en el tipo fisiológico las vacas fueron más bajas en el nivel de cinc que las crías.

Cuadro 6. Medias de cuadrados mínimos para las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro y cinc en el suero sanguíneo de vacas y crías de tres ranchos de Zirándaro, Guerrero

Mineral	Rancho			EEM	Tipo fisiológico		EEM
	1	2	3		Vaca	Cría	
Calcio, mg dL ⁻¹	7.90 ^b	11.30 ^a	8.60 ^b	0.395	8.60 ^b	9.70 ^a	0.320
Fósforo, mg dL ⁻¹	7.70 ^a	7.70 ^a	6.20 ^b	0.340	6.00 ^b	8.50 ^a	0.275
Magnesio, mg dL ⁻¹	2.10 ^a	2.00 ^{ab}	1.70 ^b	0.083	2.00 ^a	1.90 ^a	0.068
Sodio, mg dL ⁻¹	261.00 ^b	289.00 ^a	277.00 ^{ab}	60.851	269.00 ^a	281.00 ^a	49.479
Potasio, mg dL ⁻¹	26.00 ^a	27.00 ^a	25.00 ^a	9.578	24.00 ^b	28.00 ^a	7.788
Hierro, mg L ⁻¹	5.10 ^a	4.10 ^a	6.10 ^a	0.640	5.00 ^a	5.50 ^a	0.520
Cobre, mg L ⁻¹	0.28 ^{ab}	0.37 ^a	0.23 ^b	0.028	0.25 ^b	0.34 ^a	0.023
Cinc, mg L ⁻¹	0.82 ^a	0.75 ^a	0.83 ^a	0.030	0.77 ^b	0.85 ^a	0.024

^{a, b} Medias en la misma hilera, dentro de rancho o tipo fisiológico con diferente literal son estadísticamente diferentes (P < 0.05)

EEM = Error estándar de la media

Cuadro 7. Nivel de significancia (probabilidad) para las variables rancho y tipo fisiológico con respecto a la concentración mineral de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro y cinc

Fuente de variación	Calcio	Fósforo	Magnesio	Sodio	Potasio	Hierro	Cobre	Cinc
Rancho	<.0001	0.002	0.009	0.011	0.295	0.090	0.005	0.124
Tipo fisiológico	0.0053	<.0001	0.373	0.050	0.002	0.479	0.004	0.029
Rancho X Tipo fisiológico	0.795	0.293	0.761	0.615	0.735	0.665	0.095	0.177

Cuadro 8. Análisis proximal de los forrajes evaluados en Zirándaro, Guerrero

Nutrimento	Pasto		
	Cynodon dactylon	Paspalum plicatulum	Ixophorus cuisetus
Materia seca, %	91.0	91.0	91.0
Proteína cruda, %	8.1	12.5	10.7
Extracto etéreo, %	1.4	1.5	1.8
Extracto Libre de N, %	57.0	53.0	52.0
Fibra cruda, %	31.0	31.0	33.0
Cenizas, %	2.3	2.6	2.5

Discusión

Concentración de calcio

Las concentraciones de calcio en suelo muestreado se ubicaron entre 5640 a 7318 ppm. El nivel indicativo de deficiencia es de 70 ppm (McDowell, 1985). Estas concentraciones encontradas son elevadas y la atribución principal es que en los suelos de esta localidad anteriormente se expropiaban para la extracción de cal, de ahí el nombre de La Calera. De Witt *et al.* (1963) y Mc Naught (1970) señalan que el nivel crítico de calcio en gramíneas es de 0.1 a 0.3%; sin embargo, esto depende también del pH y la concentración de otros cationes en el suelo (Gross y Jung, 1981). Los pastos presentaron concentraciones de calcio de 0.38 a 0.42%, lo cual cubre el requerimiento de una vaca en pastoreo produciendo 9 kg de leche. En este estudio podría existir deficiencia en uno de los ranchos muestreados, ya que las concentraciones de calcio en los forrajes están por debajo de este valor, aunado a que se encontró deficiencia de calcio en el suero sanguíneo del ganado. Por lo general calcio no es un mineral que sea deficiente en los trópicos (McDonald, 1968).

Concentración de fósforo

Generalmente el ganado en las zonas tropicales presenta deficiencias en fósforo (McDowell *et al.*, 1997). Los forrajes de los tres ranchos presentaron un contenido de fósforo entre 0.21 y 0.26%; por su parte las concentraciones en suero sanguíneo fueron de 6.0 mg dL⁻¹ en vacas y 8.5 mg dL⁻¹ en crías. Huerta (1999) señala que el nivel crítico

en forraje y suero sanguíneo es de 0.25% y 6 mg dL⁻¹ respectivamente, por lo que las concentraciones minerales de los forrajes encontradas en este estudio sugieren que existe deficiencia de este mineral. Donato *et al.* (2002), Ramos (1996) y Sábido (1996); encontraron deficiencias de fósforo sanguíneo en ganado de doble propósito de zonas tropicales del país. Las diferencias en concentraciones de fósforo en suero sanguíneo encontradas en vacas y crías pueden atribuirse a la edad de los animales. Harbison y Germen (1990) señalan que en humanos las concentraciones de fósforo en suero sanguíneo en individuos jóvenes pueden ser de 30 a 50% superiores que en adultos. Asimismo, Puls (1988) sugiere que las concentraciones normales de fósforo en suero sanguíneo varían de 3.9 a 5.5 mg dL⁻¹ en animales adultos y de 6 a 9 mg dL⁻¹ en animales jóvenes.

Concentración de magnesio

Las concentraciones de magnesio en suelo de la región estudiada se ubicaron entre 190 a 369 ppm, las cuales cumplen con el requerimiento para el buen desarrollo de las plantas (8.5 ppm; McDowell, 1985). Las concentraciones de este mineral en las especies forrajeras analizadas mostraron niveles entre 0.14 y 0.24%. McDowell *et al.* (1997) indican que la concentración crítica de magnesio para pastos es de 0.20%, por lo que los niveles encontrados en este estudio no cumplen en su totalidad con los requerimientos de la planta. Esta deficiencia en el forraje no se ve reflejada en las concentraciones detectadas en el suero sanguíneo de los animales muestreados, ya que los valores obtenidos estuvieron dentro del rango recomendado por Puls (1988), que va de 1.8 a 3.5

mg dL⁻¹ (a excepción de un rancho que presentó una concentración promedio de suero sanguíneo de 1.7 mg dL⁻¹).

Concentración de sodio

Las concentraciones de sodio encontradas en los suelos de la región van desde 67 hasta 425 ppm. Estas concentraciones no logran ser suficientes para cubrir el requerimiento mínimo sugerido para los pastos que es de 2500 ppm (Whitehead, 2000) por lo que la mayoría de ellos son deficientes en sodio (Huerta, 1999). El valor crítico en forraje se ubica en 0.18% (Huerta, 1999). Los pastos muestreados en este estudio mostraron un rango de 0.02 a 0.04%; esta deficiencia en los forrajes se manifiesta también en las concentraciones de suero sanguíneo de los animales en estudio que van desde 269 mg dL⁻¹ en las vacas hasta 281 mg dL⁻¹ en las crías. Underwood y Suttle (1999) señalan que si la dieta contiene de 0.05 a 0.1% 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. Estas deficiencias se pueden atribuir a que los suelos contienen niveles bajos de sodio.

Concentración de potasio

Las concentraciones de potasio en los suelos analizados fueron entre 117 y 230 ppm. Parte de estos valores cubren el requerimiento mínimo para las plantas que es de 195.5 ppm (McDowell, 1985). Underwood y Suttle (1999) señalan que existe deficiencia de potasio si el contenido de la dieta en bovinos es menor a 0.8% y si el contenido de este mineral en suero sanguíneo se encuentra por debajo de 9.7 mg dL⁻¹, por el contrario existen excesos si la dieta presenta más de 3% de potasio y el suero sanguíneo más de

23.5 mg dL⁻¹. En el estudio se encontraron niveles de potasio en los pastos que van desde 0.8 hasta 3.1% y concentraciones en suero sanguíneo desde 24 mg dL⁻¹ en vacas hasta 28 mg dL⁻¹ en crías, por lo que podría considerarse que no existe deficiencia ni exceso de este mineral en el ganado. Sin embargo, cabe aclarar que la especie *Paspalum plicatulum* presentó una concentración elevada de potasio (3.1%) y por lo contrario *Cynodon dactylon* se ubicó cerca del valor crítico de deficiencia (0.8%).

Concentración de hierro

Las concentraciones de hierro analizadas en el suelo de los tres ranchos tuvieron un promedio de 6 ppm, por lo que no cumplen con el nivel adecuado para los pastos (< 50 ppm; Mayland y Wilkinson, 1996). Las concentraciones de hierro en los forrajes fueron elevadas en general y se encontraron entre 550 y 2274 ppm. Cabe señalar que uno de los ranchos presentó concentraciones muy por arriba de los demás ranchos (rancho 1 con 2230 ppm). Así mismo, la especie *Cynodon dactylon* también estuvo por encima de los otros pastos muestreados (2774 vs 714 y 550 ppm, respectivamente). Los altos niveles encontrados en suero sanguíneo (4.1 y 6.1 mg L⁻¹) son un reflejo de las excesivas concentraciones de hierro en los pastos. Una de las atribuciones a los niveles encontrados de hierro en suero sanguíneo es que al haber un mal manejo de las muestras de sangre provoca que el eritrocito libere hierro incrementando las concentraciones de este mineral en suero sanguíneo. Esta hemólisis también puede atribuirse a que al haber una alta deficiencia de cobre en los animales se origina estrés por oxidación en los eritrocitos, atribuyéndolo a una baja actividad de la enzima superóxido dismutasa (Suttle *et al.*, 1987). Los niveles encontrados en los forrajes pudieran intervenir con la

absorción de otros minerales como son cobre y cinc, o inclusive ser tóxicos para el animal (NRC, 2001). Concentraciones de hierro de 250 a 500 ppm han sido relacionadas con deficiencia de cobre en el ganado (Bremner *et al.*, 1987; Phillippo *et al.*, 1987). Standish *et al.* (1969) reportan que niveles de 1600 ppm de hierro en la dieta disminuyen de manera significativa la ganancia de peso y el consumo de toretes. Koong *et al.* (1970) observaron pobre crecimiento en becerros que consumían 500 ppm de hierro en forma de citrato de hierro.

Concentración de cobre

Las concentraciones encontradas en el suelo analizado se ubicaron entre 1.4 y 1.5 ppm, siendo adecuadas para el requerimiento mínimo en las plantas (> 0.60 ppm; McDowell, 1985). Huerta (1999) indica un requerimiento de 8 a 10 ppm de cobre en la dieta de bovinos; sin embargo, Underwood y Suttle (1999) señalan que cuando las concentraciones de hierro en los forrajes superan las 800 ppm, el requerimiento asciende a 15 ppm de cobre en vacas lactantes con producciones de leche menores a los 20 litros. Los forrajes muestreados no cubren los requerimientos de este mineral y su rango va de 2.4 a 4.3 ppm de cobre. Por otro lado, los niveles de este mineral en suero sanguíneo también fueron deficientes y se encontraron entre 0.23 y 0.37 mg L⁻¹. La deficiencia de cobre encontrada en los animales es por sí misma un reflejo de los bajos niveles que presentan los forrajes; sin embargo, esta deficiencia puede estar siendo acrecentada por las concentraciones excesivas de hierro. Otra de las explicaciones de esta deficiencia cúprica se puede atribuir a que el ganado consume suelo de origen calcáreo (pH de 8.1 a 8.2; Cuadro 3) que afecta adversamente la disponibilidad de cobre para el rumiante

(CAB, 1980). Las concentraciones en suero permiten predecir una respuesta de 80 a 180 gramos de incremento en la ganancia diaria de peso si la deficiencia de cobre fuera corregida (Ellison, 1992).

Concentración de cinc

Las concentraciones de cinc encontradas en los suelos de la región cumplen con el mínimo requerido para las plantas (2 ppm; McDowell, 1985). El contenido crítico de cinc para los forrajes se encuentra entre 30 y 40 ppm, y en suero sanguíneo los menores a 0.7 mg L⁻¹ (Huerta, 1999). En este estudio se encontraron concentraciones que van desde 28.1 a 31.3 ppm en los pastos muestreados y de 0.75 a 0.85 mg L⁻¹ de cinc en el suero sanguíneo del ganado. El hecho de que los niveles de cinc en suero sanguíneo se encuentren muy cerca del nivel crítico, así como que la mayoría de los forrajes estén por debajo del nivel marginal, aunado a que se encontró que la mayoría de las vacas muestreadas presentaron sintomatología de deficiencia de cinc como son lesiones en piel y salivación excesiva, hace suponer que existe deficiencia de este mineral en la zona.

Concentración de manganeso

Las concentraciones de manganeso encontradas en suelo se ubicaron entre 11 y 32 ppm, cumpliendo solo uno de los ranchos con el nivel mínimo recomendable para los pastos (19 a 20 ppm; McDowell, 1985; Mayland y Wilkinson, 1996). Puls (1988) indica que los valores adecuados de manganeso en la dieta de bovinos son de 40 a 200 ppm. Los niveles de manganeso encontrados en el forraje se ubican dentro los recomendados que van desde 70 a 224 ppm.

Conclusiones

Las concentraciones de cobre y sodio en el suelo, el forraje y el suero sanguíneo de las vacas y crías son bajas, por lo cual se recomienda la suplementación de estos minerales para corregir su deficiencia.

Las concentraciones de magnesio y cinc en el forraje y el suero sanguíneo de las vacas y becerros mostraron niveles críticos en uno de los ranchos, por lo que se recomienda el análisis de ambos antes de su suplementación.

La concentración de minerales en el suero sanguíneo es afectada por el estado fisiológico. Las vacas son las que presentan una menor concentración de cobre y sodio en comparación con las crías.

Literatura citada

A.O.A.C. 1991. Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists. 11th ed. USA.

Bremner I., R. Humphries W., M. Phillip, J. Walker M. and C. Morrice P. 1987. Iron-induced copper deficiency in calves: Dose-response relationships and interactions with molybdenum and sulfur. *Anim. Prod.* 45:403-414.

CAB. 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux (CAB). The Gresham Press, England.

De Witt C., T., W. Dijkshoorn. and C. Noggle J. 1963. Ionic balance and growth of plants. *Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen*. 69 (15), 69

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. *In: Mem. XXX Reunión Anual Asoc. Mex. Prod. Anim.* 2002. Guadalajara, Jalisco México.

Ellison R., S., A. 1992. Review of copper and selenium reference ranges in cattle and sheep. *In: Trace elements in ruminant. Proceedings of the 22nd seminar sheep and beef cattle society New Zealand Veterinary Association.* 22.

Fick K., R., R. McDowell L., H. Miles P., S. Wilkinson N., D. Funk J., H. Conrad J., R. Valdivia. 1979. Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales. Animal Science Department, University of Florida. Florida, USA.

García E., 1981. Modificaciones al sistema climático de Köppen. 3ª edición. Instituto de Geografía de la UNAM. México, D.F.

Goering H., K. and J. Van Soest P. 1970. Forage fiber analyses (Apparatus, reagents, procedures, and some applications). *In: Agriculture Handbook*, 379. Agriculture Research Service, United States Department of Agriculture.

Gross C., F. and A. Jung G. 1981. Season, temperature, soil pH and Mg fertilizer effects on herbage Ca and P levels and ratios of grasses and legumes. *Agronomy Journal*. 73, 629-634

Harbison M., D. and M. Gemen J. 1990. Permissive action of growth hormona on the renal response to dietary phosphorus deprivation. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 70(4): 1035-1040.

Huerta B., M. 1993. Suplementación mineral de rumiantes en pastoreo. *In: Mem. Curso Internacional Avanzado de Nutrición De Rumiantes*. Colegio de Posgraduados. Montecillos, México.

Huerta B., M. 1997. Nutrición mineral de rumiantes en pastoreo. *In: Memorias del curso "Alternativas de Manejo de Bovinos para Carne en Pastoreo"*. Chapingo, México

Huerta B., M. 1999. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. *In: Memorias II seminario internacional Estrategias de Suplementación a Bovinos en Pastoreo*. Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Koong L., J., B. Wise M. and L. Barrick. 1970. Effect of elevated dietary levels of iron on the performance and blood constituents of calves. *J. Anim.* 31:422.

Mayland H., F. and R. Wilkinson S. 1996. Mineral nutrition. *In: Mosier LE; Buxton DR and Casler MD (eds) Cool Season Forage Grasses*. American Society of Agronomy, Madison.

McDonald I., W. 1968. The nutrition of the grazing ruminant. *Nutrition abstracts and reviews*. 38, 381-395.

McDowell L., R., H. Conrad J., L. Ellis G. and K. Loosli J. 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. 1985. Detection of mineral status of grazing ruminants. *In: LR McDowell (Ed). Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press, Inc. Orlando. p. 339-357.

McDowell L., R., J. Velásquez P. and J. Valle G. 1997. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA.

McNaught K., J. 1970. Diagnosis of mineral deficiencies in grass-legume pastures by plant analysis. In: Proceedings, 11th International Grassland Congress Surfers' Paradise, Queensland, University of Queensland Press, St. Lucia. 333-338

Minson D., J. 1990. Forage in ruminant nutrition. Academic Press, Inc. San Diego, California.

NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academy Press. Washington, DC. USA.

Perkin-Elmer. 1976. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry. Perkin-Elmer Corp. Connecticut, USA.

Phillippo M., R. Humphries W. and H. Garthwaite P. 1987. The effect of dietary molybdenum and iron on copper status and growth in cattle. J. Ag. Sci. Camb. 109:315-320.

Puls R. 1988. Minerals levels in animal health. Diagnostic data. Sherpa International. British Columbia, Canada.

Ramos S., M., A. 1996. Diagnóstico mineral del ganado bovino en el oriente de Yucatán I. Contenido mineral en suelo, forraje, agua y suplementos. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Sábido L., L., A. 1996. Diagnóstico mineral del ganado bovino del centro, sur y costa de Yucatán I. Contenido mineral en suelo, forraje, agua y suplementos. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México.

SAS. 2001. SAS/STAT User's guide. (Release 8.2) Cary (NC): SAS Institute Inc.

Standish J., F., F. Ammerman C., B. Simpson C., C. Neal F. and Z. Palmer A. 1969. Influence of graded levels of dietary iron, as ferrous sulfate, on performance and tissue mineral composition of steers. J. Anim. Sci. 29:496.

Suttle N., F., G. Jones D., C. Woolliams and A. Woolliams J. 1987. Heinz body anaemia in lambs with deficiencies of copper or selenium. Br. J. Nut. 58:539-548.

Underwood E., J. and F. Suttle N. 1999. The mineral nutrition of livestock. CABI. Publishing 3rd edition. New York, USA.

Whitehead C., D. 2000. Nutrient elements in grassland soil-plant-animal relationships. CABI Publishing. New York (NY) USA.

CAPÍTULO 4

Suplementación cúprica en vaquillas con cápsulas de alambre de óxido de cobre

Ernesto Alvear Herrera^{**}

Maximino Huerta Bravo^{**}

Rodolfo Ramírez Valverde^{**}

José-Guadalupe García Muñiz^{**}

^{**} Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, 56230, Chapingo, Estado de México, México.

Autor por correspondencia: Maximino Huerta Bravo, Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. E-mail: maxbravo@correo.chapingo.mx, Tel. (595) 952 1621, Fax: (595) 954 8884.

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la suplementación de alambre de óxido de cobre (10 g/100 kg PV) en 8 vaquillas de doble propósito en pastoreo (Cebú X Suizo; 312 kg de PV promedio) que se compararon contra el mismo número de animales no suplementados. La primer etapa del experimento consistió de un diagnóstico inicial (E1) del estado mineral de cobre, hierro, zinc, sodio, potasio, calcio, fósforo, magnesio y ceruloplasmina (Cp) en suero sanguíneo de los animales, además del peso vivo (PV). La ganancia diaria de peso (GDP), el estado mineral y la ceruloplasmina en suero sanguíneo fueron evaluados y analizados en la segunda etapa del trabajo (E2) por medio de un diseño completamente al azar con medidas repetidas a través del tiempo (días 30 y 61) utilizando la concentración mineral, Cp y PV inicial como covariables. Se relacionaron los metabolitos sanguíneos (días 30 y 61) que mejor explicaran ($P < 0.05$) las ganancias de peso en los periodos 0-30 y 31-61 de los días del experimento con la finalidad de encontrar la interacción entre GDP y el contenido mineral y de Cp en las vaquillas. En la E1, las concentraciones de cobre, calcio, fósforo y magnesio estuvieron dentro del nivel adecuado en el suero sanguíneo de todos los animales, mientras que cinc fue deficiente. En la E2, la suplementación con alambre de óxido de cobre incrementó ($P < 0.05$) las concentraciones de cobre, cinc, fósforo y ceruloplasmina, en comparación con los animales no suplementados. La ceruloplasmina aumentó ($P < 0.01$) a través de los días en experimentación, no así ($P > 0.05$) los demás metabolitos y el PV del ganado. Las concentraciones de calcio y ceruloplasmina afectaron negativamente ($P < 0.05$) la GDP de las vaquillas, mientras que fósforo en suero sanguíneo mostró un efecto positivo ($P < 0.05$) en la GDP.

Palabras clave: bovinos, óxido de cobre, minerales, ceruloplasmina

Cupric Supplementation in heifers with capsules of copper oxide needles

Abstract

A study was conducted to evaluate the copper oxide needles supplementation (10 g/100 kg LW) in 16 heifers of dual purpose in grazing (Cebu X Swiss; 312 kg of LW average) that were compared against the same number of animals non supplemented. The first phase of the experiment consisted of a diagnose initial (E1) of the mineral status of copper, iron, zinc, sodium, potassium, calcium, phosphorus, magnesium and ceruloplasmin (Cp) in blood serum of the animals, plus live weight (LW). The daily gain of weight (DGW), the mineral state and the ceruloplasmin in blood serum were evaluated and analyzed in the second stage of the work (E2) by means of a design totally at random with repeated measures through the time (days 30 and 61) using the mineral concentration, Cp and LW initial as covariables. They were related the blood metabolites (days 30 and 61) that better they explained ($P < 0.05$) the earnings of weight in the periods 0-30 and 31-61 of the days of the experiment with the purpose of finding the interaction between DGW and the mineral content and of Cp in the heifers. In E1, the copper concentrations, calcium, phosphorus and magnesium were inside the level adapted in the blood serum of all the animals, while zinc was deficient. In E2, the supplementation with copper oxide needles increased ($P < 0.05$) the copper concentrations, zinc, phosphorus and ceruloplasmin, in comparison with the animals non supplemented. The ceruloplasmin increased ($P < 0.01$) through the days in experimentation, but not ($P > 0.05$) the other metabolitos and the LW of the cattle. The concentrations of calcium and ceruloplasmina affected negatively ($P < 0.05$) the DGW of the heifers, while match in blood serum showed a positive effect ($P < 0.05$) in the DGW.

Words key: bovine, copper oxide needles, minerals, ceruloplasmin

Introducción

El ganado bovino manejado en sistemas extensivos de trópico depende casi en forma exclusiva del pastoreo para satisfacer sus necesidades alimenticias. Dada la estacionalidad climática que condiciona a su vez la disponibilidad y calidad de los pastos, aunado a otros factores como calidad y manejo del suelo, es de esperarse que en estas regiones se presenten deficiencias nutricionales. En el caso específico de la nutrición mineral se presentan desbalances (deficiencias o excesos) en los suelos y/o forrajes, los cuales pueden ser responsables de la baja producción y problemas reproductivos de los rumiantes en pastoreo en los trópicos (McDowell *et al.*, 1984). En muchas de estas regiones, numerosas deficiencias, imbalances y toxicidad de minerales limitan severamente la industria ganadera, ya que con excepción de la sal común, el ganado en pastoreo frecuentemente no recibe la suplementación mineral necesaria y depende grandemente de los forrajes para suplir sus requerimientos.

Por otro lado, la región del pacífico mexicano es una región de importancia ganadera, pero con escasa información científica que permita conocer y aplicar técnicas para mejorar la producción animal. En el caso específico de la región de Tierra Caliente del Estado de Guerrero los problemas de escasez de alimento durante la época de estiaje se agravan con las deficiencias o excesos de nutrimentos. La nutrición mineral de bovinos se ha estudiado en esta región (Alvear *et al.*, 2002), demostrándose deficiencias severas en cobre y sodio, lo cual puede provocar problemas productivos y reproductivos, además de incrementar la incidencia de enfermedades y muerte de los animales. Una manera de

aliviar estas deficiencias es proporcionando los minerales directamente al animal, y en el caso específico de la suplementación de cobre suministrándolo a los rumiantes en forma de sales minerales, y de manera indirecta por medio de la fertilización al suelo para el desarrollo de las plantas (McFarlane *et al.*, 1991). Sin embargo, se investigan otras alternativas para la suplementación de este mineral a los animales, tales como la aplicación inyectable de compuestos de cobre y la deposición a nivel ruminal de cápsulas rellenas de alambre de óxido de cobre. El suministro oral de alambre de óxido de cobre a bovinos incrementa las concentraciones de cobre hepático al ser retenido en el tracto digestivo (Dewey, 1977). Esta última, ha mostrado ser una de las formas de suplementación cúprica más efectiva (Judson *et al.*, 1982; Deland *et al.*, 1986). La duración del efecto de la suplementación depende de la severidad en la deficiencia de cobre en los animales suplementados (McFarlane *et al.*, 1991), pero se ha demostrado que el alambre de óxido de cobre tiene una duración aproximada en el rumen de más de 12 semanas.

Esta técnica ya es aplicada en muchas explotaciones ganaderas de varios países, pero en México no se han realizado trabajos para conocer el efecto de la suplementación cúprica por medio de la aplicación de alambre de óxido de cobre, por lo cual este estudio tiene como objetivo conocer la repuesta en la concentración de cobre y ceruloplasmina a nivel sanguíneo y su respuesta en la ganancia diaria de peso en vaquillas de doble propósito de Zirándaro, Guerrero, cuando se suplementan con cápsulas de alambre de óxido de cobre.

Material y métodos

Localización

El municipio de Zirándaro, Guerrero se localiza entre los 18° 29' de latitud norte y los 100° 59' de longitud oeste; se encuentra ubicado en la zona este de la región de Tierra Caliente, colindando al norte con el Estado de Michoacán divididos por el Río Balsas, al sur con el municipio de La Unión, al este con el municipio de Coahuayutla de Guerrero y al oeste con el de Coyuca de Catalán. El clima de la región es Awo (w) (i') g que corresponde a un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, siendo el más seco de los subhúmedos, con poca oscilación térmica y con marcha anual de la temperatura tipo Ganges (García, 1981). Los análisis de laboratorio y la preparación del suplemento mineral se realizaron en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes del Departamento de Zootecnia de la misma Universidad.

Tratamientos

Se evaluaron dos tratamientos: vaquillas suplementadas con cobre (óxido de cobre en forma de alambre) y vaquillas no suplementadas. El alambre de óxido de cobre se preparó en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes del Departamento de Zootecnia de la misma universidad. Se utilizó alambre de cobre eléctrico (iónico) de 0.5 mm de diámetro y recortado a 5 mm de longitud en promedio (Judson *et al.*, 1984). El alambre se oxidó por medio de la exposición a una temperatura mínima de 550 °C y máxima de 850 °C. Una vez realizada la oxidación del alambre de cobre, se rellenaron cápsulas de

papel delgado con un peso aproximado de 20 g con dimensiones aproximadas de 10 cm de largo por 2 cm de diámetro. La administración de las cápsulas a los animales fue vía oral con una dosis de 10 g de alambre de óxido de cobre por cada 100 kg de peso vivo por animal, de acuerdo con lo recomendado por Whitelaw *et al.* (1984). La aplicación de las cápsulas se realizó mediante un aplicador “tirabolos”.

Animales y alimentación

Se utilizaron 16 vaquillas de doble propósito (Cebú x Suizo) con una edad y peso vivo promedio de dos años y 312 kg, respectivamente. El ganado fue manejado en condiciones extensivas de pastoreo y sin ningún tipo de suplementación nutricional, a excepción de la sal común (NaCl), teniendo agua de río a libre acceso. Los pastos de la explotación fueron los nativos de la región, en los que predominaba principalmente *Cynodon dactylon* y algunas especies de *Bouteloua spp.* los cuales no recibieron ningún tipo de manejo.

Diseño experimental

Los animales se agruparon por tratamientos, que consistieron en dos tipos; vaquillas suplementadas y vaquillas no suplementados con alambre de óxido de cobre, en un diseño completamente al azar. Se utilizaron 8 animales por tratamiento. Cada vaquilla fue considerada como una unidad experimental. Para la mayoría de las variables se procedió al registro de medidas repetidas a través del tiempo.

Duración del experimento y número de muestreos

El periodo experimental comprendió del 10 de noviembre de 2002 al 10 de enero de 2003 (61 días). Durante este periodo se realizaron un total de tres muestreos, siendo a los días 1, 30 y 61.

Obtención, procesamiento de las muestras y registro de datos

Las muestras de sangre se obtuvieron de la vena yugular por punción directa en tubos de ensayo estériles, anotando la identificación del animal. Posteriormente se centrifugaron a 2500 rpm para separar el suero, el cual se conservó en refrigeración en tubos de vidrio hasta el momento del análisis. En cada muestreo se registró el peso vivo de cada una de las vaquillas.

Análisis químicos y pruebas de laboratorio

En suero se determinó la concentración de fósforo mediante colorimetría, y calcio, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro y cinc por medio de la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (Perkin-Elmer, 1976; Fick *et al.*, 1979). También se analizó la concentración de ceruloplasmina en plasma por reacción colorimétrica del ácido fosfomolibdico a través de la metodología de la Universidad Estatal de Washington.

Variables de respuesta

Las variables de respuesta fueron, las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro, cinc y la concentración de ceruloplasmina en suero sanguíneo, además de la ganancia diaria de peso.

Análisis estadístico

Las concentraciones en suero sanguíneo de cobre, zinc, hierro, calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio y ceruloplasmina, así como el peso vivo y el número de días de experimentación (30 y 61) se analizaron usando el procedimiento MIXED de SAS (SAS, 2001), en los cuales se utilizaron las concentraciones iniciales (día 1) de estos minerales como covariables. La instrucción LSMEANS se usó para obtener las medias por cuadrados mínimos para los efectos principales y las interacciones. El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + D_j + V_k (T * D)_{ij} + (T * D)_{ij} + b_1(CIV - \mu_{CIV}) + e_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Valor de la variable de respuesta (Ca, P, Mg, Na, K, Cu, Fe, Zn y Cp) correspondiente al *i*-ésimo tratamiento en el *j*-ésimo día del experimento en la *k*-ésima vaquilla,

μ = media general,

T_i = efecto del i -ésimo tratamiento (i = suplementadas, no suplementadas),

D_j = efecto del j -ésimo día del experimento (j = 1, 30, 61),

$V_k (T * D)_{ij}$ = efecto aleatorio de la k -ésima vaquilla anidada en el i -ésimo tratamiento y el j -ésimo día del experimento, distribuido NIID $(0, \sigma_c^2)$,

$(T * D)_{ij}$ = efecto fijo de la interacción entre el i -ésimo tratamiento y el j -ésimo día del experimento,

CIV = concentración inicial de los minerales, ceruloplasmina, y peso vivo inicial de las vaquillas,

b_1 = coeficiente de regresión lineal asociado con la concentración inicial de los minerales, y ceruloplasmina, y peso vivo inicial de las vaquillas,

μ_{CIV} = media estimada de la covariable concentración inicial de los minerales y ceruloplasmina, así como el peso vivo inicial de las vaquillas, y

e_{ijkl} = error experimental distribuido NIID $(0, \sigma_c^2)$.

Con la finalidad de determinar la interacción entre ganancia de peso, contenido mineral y de ceruloplasmina en el suero sanguíneo de las vaquillas, se relacionaron los metabolitos sanguíneos (día 30 y 61 del experimento) que mejor explicaron ($P < 0.05$) las ganancias de peso de los periodos 0-30 y 31-61 días mediante el procedimiento Stepwise (SAS, 2001).

Resultados

Estado inicial de minerales y ceruloplasmina en suero sanguíneo

Las concentraciones iniciales (día 1) de minerales y ceruloplasmina en suero sanguíneo de vaquillas en pastoreo de Zirándaro, Guerrero se muestran en el Cuadro 9.

Las concentraciones medias de cobre, calcio, fósforo y magnesio se encuentran dentro del rango adecuado sugerido por Puls (1988), mientras que hierro, sodio, potasio y ceruloplasmina se ubican por arriba del rango adecuado (Puls, 1988; Steven *et al.*, 1992). De manera contraria, la concentración media de cinc en el 100% las vaquillas está por debajo de los valores sugeridos como adecuados (Puls, 1988). Puede observarse que el 56, 100, 31 y el 75% de las vaquillas tuvieron concentraciones excesivas de hierro, potasio, calcio y ceruloplasmina, respectivamente.

Efecto del tratamiento sobre las concentraciones minerales, ceruloplasmina y peso vivo de las vaquillas

El Cuadro 10 muestra las concentraciones medias y el error estándar de las concentraciones minerales y ceruloplasmina en el suero sanguíneo, así como el peso vivo de vaquillas para el efecto de tratamiento.

El tratamiento no afectó las concentraciones de hierro, sodio, potasio, calcio y magnesio ($P = 0.4$, $P = 0.9$, $P = 0.09$, $P = 0.5$ y $P = 0.4$, respectivamente; Cuadro 11) en el suero

sanguíneo de las vaquillas. Sin embargo, si tuvo efecto sobre las concentraciones de cobre, cinc, fósforo y ceruloplasmina ($P < 0.05$). Los niveles de cobre, cinc, fósforo y ceruloplasmina en suero sanguíneo fueron más elevados en las vaquillas que recibieron la suplementación con cápsulas de alambre de óxido de cobre en comparación con las que no fueron suplementadas (Cuadro 10). Estos incrementos fueron de 18% para cobre, 16% para cinc, 11% para fósforo y 15% para ceruloplasmina. Por otro lado, el peso vivo de las vaquillas no fue afectado ($P = 0.08$; Cuadro 11) por el tratamiento.

Efecto del día de muestreo sobre las concentraciones minerales, ceruloplasmina y peso vivo de las vaquillas

En el Cuadro 12 se muestran las concentraciones medias y el error estándar de las concentraciones minerales y ceruloplasmina en el suero sanguíneo, así como el peso vivo de las vaquillas para la variable día de muestreo.

El día de muestreo no afectó las concentraciones de cobre, cinc, hierro, sodio, potasio, calcio, fósforo y magnesio ($P = 0.2$, $P = 0.6$, $P = 0.07$, $P = 0.5$, $P = 0.7$, $P = 0.5$, $P = 0.2$ y $P = 0.9$, respectivamente; Cuadro 11) en el suero sanguíneo de las vaquillas; pero si tuvo efecto sobre la concentración de ceruloplasmina ($P = 0.005$). El incremento que se dio durante los dos meses del experimento fue del 27% (Cuadro 12). Por otro lado, el peso vivo de las vaquillas no fue afectado ($P = 0.1$) por el día de muestreo.

Cuadro 9. Estado mineral inicial (día 1) en suero sanguíneo de vaquillas de Zirándaro, Guerrero

Variable	Media $\pm$ DE	Rango	Adecuado *	DEF	EXC
Cobre, mg L⁻¹	1.10 $\pm$ 0.13	0.94 – 1.24	0.8 - 1.5	0	0
Cinc, mg L⁻¹	0.58 $\pm$ 0.11	0.37 – 0.80	0.8 - 1.4	100	0
Hierro, mg L⁻¹	4.40 $\pm$ 2.14	2.5 - 10.0	1.3 - 2.5	0	56.25
Sodio, mEq L⁻¹	161.00 $\pm$ 13.50	135 – 176	135 - 150	0	0
Potasio, mEq L⁻¹	7.90 $\pm$ 0.35	3.8 – 11.9	4.1 – 5.1	0	100
Calcio, mg dl⁻¹	11.00 $\pm$ 1.30	9.2 – 13.6	8 - 11	0	31.3
Fósforo, mg dl⁻¹	6.00 $\pm$ 0.90	4.3 – 7.5	6 - 9	50	0
Magnesio, mg dl⁻¹	2.80 $\pm$ 0.50	1.5 – 3.5	1.8 - 3.5	6.3	0
Ceruloplasmina, mg L⁻¹	301.00 $\pm$ 76.20	204 - 458	100 - 200**	0	75

n= 16 animales

* Puls, 1988

** Steven *et al.*, 1992

DE= Desviación estándar, **DEF**= % de animales deficientes, **EXC**= % de animales con excesos

Cuadro 10. Medias de mínimos cuadrados para los tratamientos de las vaquillas suplementadas y no suplementadas en las concentraciones sanguíneas de minerales y ceruloplasmina, así como el peso vivo

Variable	Vaquillas suplementadas	Vaquillas no suplementadas	EEM
Cobre, mg L⁻¹	1.05 ^a	0.89 ^b	0.054
Cinc, mg L⁻¹	0.73 ^a	0.63 ^b	0.041
Hierro, mg L⁻¹	6.74	5.80	0.334
Sodio, mEq L⁻¹	156.00	156.00	0.352
Potasio, mEq L⁻¹	14.00	12.00	0.329
Calcio, mg dl⁻¹	10.80	11.00	0.233
Fósforo, mg dl⁻¹	6.79 ^a	6.10 ^b	0.231
Magnesio, mg dl⁻¹	2.63	2.69	0.068
Ceruloplasmina, mg L⁻¹	399.00 ^a	346.00 ^b	0.354
Peso vivo, Kg	332.00	327.00	0.349

^{a, b} Medias en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P < 0.05)

EEM = Error estándar de la media

Cuadro 11. Nivel de significancia (probabilidad) para los tratamientos y días del experimento con respecto a la concentración mineral de cobre, cinc, hierro, sodio, potasio, calcio, fósforo, magnesio y ceruloplasmina, así como el peso vivo en vaquillas suplementadas y no suplementadas con alambre de óxido de cobre

Variable	Tratamiento	Día	Tratamiento X Día	Covariable
Cobre	0.008	0.233	0.129	
Cinc	0.036	0.596	0.596	
Hierro	0.392	0.073	0.964	
Sodio	0.910	0.460	0.392	0.034
Potasio	0.091	0.733	0.570	
Calcio	0.454	0.537	0.537	
Fósforo	0.036	0.202	0.180	0.028
Magnesio	0.379	0.895	0.693	0.001
Ceruloplasmina	0.043	0.005	0.886	
Peso vivo	0.076	0.104	0.724	<0.0001

Cuadro 12. Medias de mínimos cuadrados para el día de muestreo de las vaquillas suplementadas y no suplementadas en las concentraciones sanguíneas de minerales y ceruloplasmina, además del peso vivo

Variable	Día 30	Día 61	EEM
Cobre, mg L⁻¹	0.94	1.00	0.038
Cinc, mg L⁻¹	0.69	0.67	0.029
Hierro, mg L⁻¹	5.31	7.23	0.236
Sodio, mEq L⁻¹	154.00	157.00	0.249
Potasio, mEq L⁻¹	13.00	13.00	0.232
Calcio, mg dL⁻¹	10.80	11.00	0.165
Fósforo, mg dL⁻¹	6.65	6.25	0.163
Magnesio, mg dL⁻¹	2.65	2.66	0.048
Ceruloplasmina, mg L⁻¹	328.00 ^a	418.00 ^b	0.250
Peso vivo, Kg	327.00	332.00	0.247

^{a, b} Medias en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P < 0.05)

Efecto de la interacción tratamiento por día de muestreo sobre las concentraciones minerales y ceruloplasmina en suero sanguíneo, así como el peso vivo

En las vaquillas la interacción entre el tratamiento y el día del experimento no afectó las concentraciones de cobre, cinc, hierro, sodio, potasio, calcio, fósforo, magnesio y la ceruloplasmina en el suero sanguíneo de los animales ($P = 0.1$, $P = 0.6$, $P = 1.0$, $P = 0.4$, $P = 0.6$, $P = 0.5$, $P = 0.2$, $P = 0.7$ y $P = 0.9$, respectivamente; Cuadro 11). El peso vivo tampoco fue afectado ($P = 0.7$) por la interacción entre el tratamiento y el día de muestreo.

Relación entre ganancia diaria de peso y concentraciones de minerales y ceruloplasmina en suero

Cuando las concentraciones de calcio y ceruloplasmina aumentaron las vaquillas ganaron menos peso ($P < 0.05$), mientras que cuando el fósforo en suero incrementó las ganancias de peso también lo hicieron. La ecuación que explica este comportamiento tiene una $R^2 = 0.35$, siendo la siguiente:

$$\text{GDP} = 1753.5 - 146.6 (\text{Ca}) + 98.4 (\text{P}) - 1.24 (\text{Cp})$$

Donde:

GDP = Ganancia diaria de peso, g día⁻¹

Ca = Concentración de calcio, mg dL⁻¹

P = Concentración de fósforo, mg dL⁻¹

Cp = Concentración de ceruloplasmina, mg L⁻¹

Discusión

Estado inicial de minerales y ceruloplasmina en suero sanguíneo

Las concentraciones individuales de cobre en el suero sanguíneo de las vaquillas no reflejan deficiencia de este mineral; sin embargo, de acuerdo a un estudio realizado por Alvear *et al.* (2002) en esta misma región pudo observarse que todos los animales muestreados en tres ranchos presentaron hipocuprosis. Una de las explicaciones podría atribuirse a que probablemente se encuentran niveles excesivos de molibdeno en el forraje que al ser consumido por los animales libera el cobre almacenado en hígado, incrementando los niveles de este mineral en el torrente sanguíneo, por lo que al momento del muestreo se detectan niveles adecuados (Smith y Wright, 1975; Mason *et al.*, 1980; Steven *et al.*, 1992). En la región de estudio no se han analizado las concentraciones de molibdeno en el forraje, pero si el pH del suelo que se encuentra en un promedio de 8.2 (Alvear *et al.*, 2002) y de acuerdo a Larson *et al.* (1995) y Gay *et al.* (1988) mencionan que los suelos alcalinos y calcáreos normalmente están asociados con altas concentraciones de molibdeno.

Las concentraciones de cinc en el suero sanguíneo de todas las vaquillas se encontraron por debajo de los niveles recomendados (0.8 mg L^{-1} ; Puls, 1988). Esta deficiencia puede ser atribuida a que las concentraciones de cinc en suero sanguíneo tienden a disminuir en individuos que sufren de estrés (Chandra y Newberne, 1977), que en este caso puede ser originado por el manejo excesivo, deficiencias alimenticias y las altas temperaturas.

En un diagnóstico realizado en una localidad cercana al municipio de Zirándaro, Guerrero, Alvear *et al.* (2002) observaron problemas clínicos de hiperqueratosis en vacas y crías de uno de los ranchos muestreados, así como deficiencias marginales de cinc en los forrajes y en los animales. Kroneman *et al.* (1975) y McDowell *et al.* (1997) han relacionado los desórdenes de la piel (resequedad y escamosidad) como un signo clínico de deficiencia de cinc.

Las concentraciones del hierro en el suero sanguíneo de todas las vaquillas se encontraron por arriba de los niveles recomendados. Una de las atribuciones a estos niveles elevados de hierro podría deberse a que al existir una probable deficiencia de cobre (ocasionada por la hemólisis causada en el estrés que incrementa los niveles de cobre sanguíneo y a la concentración excesiva de molibdeno en los forrajes atribuida a los suelos alcalinos de la región de estudio que provoca la liberación al torrente sanguíneo del cobre almacenado en hígado), origina que los eritrocitos al sufrir hemólisis liberen hierro, incrementando las concentraciones de este mineral en el suero extraído. Thomas y Oates (2003) demostraron que una deficiencia de cobre incrementa la absorción de hierro en ratas. Suttle *et al.* (1987) encontraron que una deficiencia de cobre puede inducir la formación de cuerpos de Heinz en ovinos, lo cual origina hemólisis ocasionada en el estrés por oxidación, que se atribuye a una baja actividad de la enzima superóxido dismutasa incrementada debido al corto tiempo de sobrevivencia de los eritrocitos dañados por los aniones superóxido (Gallagher, 1979). Otros estudios (Jonson y Kramer, 1987) sugieren que una deficiencia de cobre altera las propiedades

mecánicas del eritrocito, como es la modificación del citoesqueleto, lo cual disminuye la sobrevivencia del mismo, terminando en una hemólisis agravada.

Underwood y Suttle (1999) señalan que si las concentraciones de sodio se encuentran entre 124 y 135 mEq L⁻¹ y el contenido en la dieta se encuentra entre 0.05 y 0.1 mg kg⁻¹, es muy probable que exista deficiencia de este mineral en bovinos. En el presente estudio se encontró que las concentraciones de sodio en suero sanguíneo de las vaquillas se encuentran entre 135 y 175 mEq L⁻¹ y el contenido de sodio en los forrajes de Zirándaro según Alvear *et al.* (2002) se encuentran entre 0.03 a 0.04 mg kg⁻¹. Puede existir deficiencia de sodio; sin embargo, no se observó deficiencia de este mineral en el 100% de las vaquillas. Esto podría ser atribuido a que dentro de las prácticas de manejo alimenticio del hato analizado se realiza la suplementación de sal común (NaCl) durante todo el año, por lo que se cubren los requerimientos de sodio en las vaquillas.

Underwood y Suttle (1999) proponen que si las concentraciones de potasio en suero sanguíneo son menores a 2.5 mEq L⁻¹ y la dieta contiene menos de 0.8 mg kg⁻¹, existe deficiencia de potasio en bovinos. De manera contraria existen excesos si las concentraciones de potasio en suero sanguíneo oscilan entre 6 a 10 mEq L⁻¹, y la dieta contiene de 3 a 4 mg kg⁻¹. En este estudio, las concentraciones de potasio en el suero sanguíneo de las vaquillas fueron desde 3.8 hasta 11.9 mEq L⁻¹, y la concentración promedio en los forrajes de la región es de 2.1 mg kg⁻¹ (Alvear *et al.*, 2002). Dado lo anterior, no se podrían esperar deficiencias de potasio en los animales muestreados ya que los niveles encontrados en el forraje son suficientes para cubrir los requerimientos de este mineral. Una de las atribuciones que explicarían las concentraciones excesivas

encontradas en la mayoría de las vaquillas es que estos altos niveles de potasio pudieran ser un reflejo de la hemólisis originada durante el manejo de las muestras, lo que origina que el eritrocito se dañe y libere potasio al torrente sanguíneo (NRC, 2001).

Las concentraciones de calcio en el suero sanguíneo fueron elevadas en el 31.3% de las vaquillas, encontrándose en un rango de 9.2 a 13.6 mg dL⁻¹. Estos niveles en el ganado pueden ser atribuidos a la concentración promedio de calcio encontrada en los forrajes de la zona de estudio que es de 0.40 mg kg⁻¹ (Alvear *et al.*, 2002), lo cual cumple con el requisito de este mineral para ganado bovino.

El nivel adecuado de fósforo en suero sanguíneo de ganado joven es de 6 a 9 mg dL⁻¹ (Puls, 1988). En este trabajo se encontraron niveles deficientes de fósforo en el suero sanguíneo del 50% de las vaquillas. McDowell *et al.* (1997) mencionan que la deficiencia de fósforo es la más común en ganado en pastoreo, ya que el suelo y las plantas son deficientes en este mineral.

Las concentraciones de magnesio fueron adecuadas en la mayoría de los animales, presentándose solamente una vaquilla con niveles marginales. Puls (1988) sugiere que el nivel adecuado de magnesio en el suero sanguíneo del ganado bovino es de 1.8 a 3.5 mg dL⁻¹. Esta nula deficiencia de magnesio en las vaquillas pueden entenderse por el hecho de que los forrajes de Zirándaro, Guerrero, presentan concentraciones del 0.19% en este mineral en promedio (Alvear *et al.*, 2002), estando por arriba de las necesidad mínima para ganado en crecimiento que es de 0.10% de magnesio (McDowell *et al.*, 1997).

Las concentraciones normales, deficientes y severamente deficientes de ceruloplasmina en el suero sanguíneo de bovinos son de 100 a 200 mg L⁻¹, 50 a 100 mg L⁻¹ y < 50 mg L⁻¹, respectivamente (Steven *et al.*, 1992). Por su parte, Puls (1988) maneja como niveles adecuados de 130 a 250 mg L⁻¹. Las concentraciones encontradas en las vaquillas fueron desde 204 hasta 458 mg L⁻¹, siendo elevadas en el total de los animales. De acuerdo a la posible deficiencia de cobre y a los niveles excesivos de hierro, fósforo y potasio encontrados en el suero sanguíneo se esperaría que las concentraciones séricas de esta enzima fueran bajas. Thomas y Oates (2003) indican que una deficiencia de cobre reduce la actividad de la ceruloplasmina. Una de las razones de los niveles excesivos de ceruloplasmina podría deberse a que situaciones de estrés (en este caso por el manejo excesivo del ganado, deficiencias alimenticias y altas temperaturas) o enfermedades, las concentraciones de cobre tienden a incrementarse y este aumento es mayor en el cobre ligado a ceruloplasmina, promoviéndose la síntesis y liberación de esta enzima (Chandra y Newberne, 1977). Sin embargo, Prohaska (1981) indica que la ceruloplasmina no es dependiente del cobre, ya que la actividad de esta enzima no se ve afectada con una deficiencia de cobre.

Efecto de los tratamientos sobre el estado mineral en el suero sanguíneo

La respuesta obtenida del incremento de cobre a nivel sanguíneo, como resultado de la suplementación con alambre de óxido de cobre en vaquillas en pastoreo (Cuadro 10) coincide con lo reportado en otros trabajos (Whitelaw *et al.*, 1984; Richards *et al.*, 1985; Rogers y Poole, 1988). Algunos autores han observado tal influencia, al suplementar distintas fuentes y concentraciones de cobre en ganado bovino. Suttle (1981) demostró

que la suplementación con alambre de óxido de cobre en vaquillas influyó positivamente en las concentraciones de cobre en suero e hígado de bovinos. De igual manera, MacPherson (1984) encontró que en vacas adultas, vaquillas y terneros suplementados con alambre de óxido de cobre se mantenían los niveles adecuados de cobre por un periodo de por lo menos 6 meses.

En el muestreo inicial del cinc en el suero sanguíneo de las vaquillas se comprobó que había deficiencias de este mineral (Cuadro 9). Sin embargo, la suplementación con cobre mejoró el estado del cinc en los animales. Hempe y Cousins (1992) indican que en una deficiencia de cinc en ratas incrementó la cantidad de cinc absorbido y así mismo aumentó sustancialmente este mineral en el plasma sanguíneo. En un trabajo de Towers *et al.* (1981) suplementando glicinato de cobre en vacas y becerros se observó que los niveles sanguíneos de cobre y cinc incrementaron hasta el día 80 del experimento. En otros experimentos con suplementación cúprica a través de alambre de óxido de cobre se ha encontrado que la respuesta de cinc es distinta a la obtenida en este trabajo. Ledoux *et al.* (1989) reportaron que al suplementar altos niveles de cobre se reducían las concentraciones de cinc en plasma. Algunos trabajos han reportado que al incrementarse los niveles de cobre en la alimentación de ratas, las concentraciones de cinc a nivel hepático y sanguíneo no fueron afectados (Frimpong y Magee, 1989). Coffey *et al.* (1992) no encontraron incrementos en los niveles de cinc al suplementar 20 g de alambre de óxido de cobre en bovinos de engorda.

De igual manera que para cobre y cinc, la suplementación con alambre de óxido de cobre mejoró la concentración de fósforo en las vaquillas. Inicialmente estos resultados

en fósforo pudieran ser un reflejo de hemólisis originada durante el manejo de las muestras. Berner (1997) sugiere que cuando hay una hemólisis la desintegración de los glóbulos rojos liberan fósforo, incrementándose la concentración de este mineral en el plasma sanguíneo; sin embargo, no se podría dejar a un lado la hemólisis causada por el estrés en los animales proveniente de una deficiencia de cobre; ambos factores originan la desintegración de los glóbulos rojos liberando fósforo al torrente sanguíneo. Observando las concentraciones de fósforo en el día 30 y 61 de la experimentación se pudo observar que los niveles de este mineral fueron disminuyendo paulatinamente en las vaquillas suplementadas en un 12.85%, a diferencia de las vaquillas no suplementadas que incrementaron su concentración de cobre en un 0.33%. Esta diferencia puede explicar que la suplementación con cobre disminuye el estrés causado por una hipocupremia, lo cual reduce la hemólisis y por ende la liberación excesiva de fósforo en el torrente sanguíneo. Otra de las atribuciones del incremento de fósforo a nivel sanguíneo en las vaquillas se puede explicar por el efecto antiparasitario del alambre de óxido de cobre (Bang *et al.*, 1990a; Bang *et al.*, 1990b; Chartier *et al.*, 2000), que puede afectar a los protozoarios del rumen. Este efecto antiparasitario del cobre pudo provocar que el incremento del fósforo se lograra a través de la disminución de la población de protozoarios, con lo que se incrementa el flujo de proteína bacteriana a nivel abomasal que puede mejorar los niveles de fósforo en el torrente sanguíneo.

Los niveles de ceruloplasmina encontrados en este trabajo se incrementaron con la suplementación de alambre de óxido de cobre en el suero sanguíneo de las vaquillas. Bingley y Anderson (1972) indican que la relación entre la actividad de la

ceruloplasmina y los niveles de cobre tiene un comportamiento lineal. No se puede descartar la posibilidad de que al haber una deficiencia de cobre en las vaquillas hubo una respuesta en el incremento de la actividad de la ceruloplasmina. Se ha observado que durante una anemia causada por una deficiencia de cobre la ceruloplasmina incrementa su actividad (Prohaska, 1983). En un trabajo realizado con humanos se encontró que la actividad de la ceruloplasmina incrementó para reducir el estrés oxidativo de la retina (Chen *et al.*, 2003). Las concentraciones medias detectadas en las vaquillas durante el periodo de experimentación (Cuadro 10) muestran que las vaquillas suplementadas con alambre de óxido de cobre estuvieron 53 mg L^{-1} por arriba de las vaquillas no suplementadas. Se sabe que la ceruloplasmina es el mayor reservorio de cobre en el plasma (60-95% de cobre), y que esta enzima se encarga de distribuir el cobre a los tejidos desde la circulación portal (Underwood, 1977; O'dell, 1997; Rabiansky, 1999). En trabajos similares con suplementación de alambre de óxido de cobre se han encontrado respuestas similares a este trabajo. Cameron *et al.*, (1989) encontraron que en vacas suplementadas se incrementó la concentración de ceruloplasmina. Steven *et al.* (1992) detectaron incrementos en los niveles de ceruloplasmina de becerros suplementados con alambre de óxido de cobre que consumían altas cantidades de molibdeno en la dieta. Coffey *et al.* (1992) encontraron que las concentraciones de cobre y ceruloplasmina aumentaron a través del tiempo en toretes que recibieron alambre de óxido de cobre, mientras que las concentraciones de este mineral y la enzima disminuyeron en los animales que no recibieron el suplemento. En otros trabajos con este mismo tipo de suplementación se encontraron resultados distintos. Kengley y Spears (1994) y Cameron *et al.* (1989) encontraron que no hubo

influencia en el incremento de los niveles de cobre plasmático y en la actividad de la ceruloplasmina en vacas y becerros.

Efecto del día de muestreo sobre la concentración de ceruloplasmina

Los niveles de ceruloplasmina encontrados en el suero sanguíneo de todas las vaquillas se elevaron del día 1 al día 61, siendo mayor en las vaquillas suplementadas. Este incremento a través del tiempo tiene relación con la suplementación de óxido de cobre que aumentó las concentraciones de cobre a nivel sanguíneo en los animales suplementados, demostrando que la relación entre la actividad de la ceruloplasmina y los niveles de cobre en suero sanguíneo tienen un comportamiento lineal (Anderson, 1972). En las vaquillas no suplementadas los incrementos de la ceruloplasmina pueden ser atribuibles a los bajo niveles de cobre que originan una anemia e inducen la mayor actividad de la ceruloplasmina (Prohaska, 1983). En trabajos realizados con este mismo tipo de suplementación Coffey *et al.* (1992) encontraron que al suplementar alambre de óxido de cobre en toretes se incrementaron los niveles de cobre y ceruloplasmina durante 5 meses. Algo similar observó Cameron *et al.* (1989) al suplementar becerros deficientes en cobre, en los que el nivel de ceruloplasmina aumentaron durante 21 días de experimentación, mientras que los niveles de cobre incrementaron para posteriormente mantener el nivel inicial. Kegley y Spears (1994) detectaron en becerros suplementados con esta forma de suplementación que el contenido de ceruloplasmina incrementaba a lo largo de 92 días, pero que los niveles de cobre disminuían sin llegar a ser deficientes.

Efecto de los tratamientos sobre la ganancia de peso

Aún cuando la ganancia diaria de peso tendió a ser mayor ($P = 0.07$; Cuadro 11) en las vaquillas suplementadas en comparación con las no suplementadas, se considera que esta indefinición se debe a que una de las variables de respuesta mejoradas por el tratamiento, ceruloplasmina, está relacionada negativamente con la ganancia de peso. Considerando que los niveles de ceruloplasmina estaban elevados inicialmente y que al suplementarse con alambre de óxido de cobre se incrementan aún más, se esperaría esta relación negativa. El efecto principal de la ceruloplasmina es movilizar el hierro del hígado hacia la circulación (Underwood y Suttle, 1999). Cuando existe deficiencia de cobre se presenta anemia, la cual indudablemente estimula la síntesis de ceruloplasmina (Evans, 1973). Por ello, la corrección de la deficiencia de cobre implica aumentar la concentración de ceruloplasmina hasta reparar la anemia. Sin embargo, la renovación de los eritrocitos lleva aproximadamente 125 a 150 días (Swenson, 1999) por lo que este efecto es lento.

En este trabajo se encontró una correlación positiva entre la ceruloplasmina y el hierro ($R^2 = 0.71$; $P = 0.0001$). Este efecto se puede atribuir a que la actividad de la ceruloplasmina interviene directamente con el hierro (Frieden, 1971), facilitando la formación de este mineral a través de la transferrina, además de promover la incorporación del hierro en proteína de almacenamiento (ferritina) (Saenko *et al.*, 1994).

Conclusiones

Las concentraciones iniciales de zinc y fósforo en el suero sanguíneo de las vaquillas en pastoreo fueron deficientes en el 50 y 100% de los animales, respectivamente. El estado inicial del cobre en las vaquillas no indicó una deficiencia; sin embargo, estos niveles encontrados se atribuyen al probable exceso de molibdeno en los pastos que incrementa los niveles de cobre en sangre.

La suplementación con cápsulas de alambre de óxido de cobre a vaquillas en pastoreo incrementó en 18, 16, 11 y 15% las concentraciones sanguíneas de cobre, cinc, fósforo y ceruloplasmina, respectivamente.

La ganancia diaria de peso durante el experimento fue de 80 g superior en el grupo de vaquillas suplementadas con cápsulas de alambre de óxido de cobre, en comparación al grupo de vaquillas no suplementadas.

Literatura citada

Alvear H., E., M. Huerta B., R. Ramírez V. y J., G., García M. 2002. Caracterización mineral en el ganado bovino de doble propósito en Zirándaro, Guerrero. *In: Mem. XXX Reunión Anual Asoc. Mex. Prod. Anim. Guadalajara, Jalisco, México.*

Bang K., S., S. Familton A. and R. Sykes A. 1990a. Effects of copper oxide wire particle treatment on establishment of major gastrointestinal nematodes in lambs. *Research in Veterinary Science.* 49: 132-137.

Bang K., S., S. Familton A. and R. Sykes A. 1990b. Effects of ostertagiasis on copper status in sheep study involving use of copper oxide wire particles. *Research in Veterinary Science.* 49: 306-314.

Berner Y., N. 1997. Phosphorus. *In: Handbook of nutritionally essential mineral elements.* Boyd L. O'Dell and Rogers A. Sunde (ed). Marcel Dekker, Inc. New York.

Bingley J. and B. Anderson. 1972. Chemically silent hypocuprosis and the effect of molybdenum loading on beef calves in Gippsland, Victoria. *Aust. J. Agric. Res.* 23:885-904.

Cameron H., J. J. Boila R., W. McNichol L. and E. Stanger N. 1989. Cupric oxide needles for grazing cattle consuming low-copper, high molybdenum forage and high-sulfate water. *J. Anim. Sci.* 67: 252.

Chandra R., K. and M. Newberne P. 1977. Nutrition, immunity, and infection. Plenum Press. New York. 246 pp.

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. *Veterinary Research Communications*. 24(6), 389-399.

Chen L, T. Dentchev, R. Wong, P. Hahn, R. Wen, J. Bennett and L. Dunaief J. 2003. Increased expression of ceruloplasmin in the retina following photic injury. *Mol Vis*. Apr 30; 9:151-8.

Coffey K., P., L. Moyer J., W. Lomas L., E. Smith J., C. La Rue D. and K. Brazle F. 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.

Dewey D., W. 1977. An effective method for the administration of trace amounts of copper to ruminants. *Search*. 8: 326-7.

Deland M., P., D. Lewis D., R. Cunningham, P. and W. Dewey D. 1986. *Australian Veterinary Journal*. 63: 1-3.

Evans G., W. 1973. Copper homeostasis in the mammalian system. *Physiol. Rev*. 53: 535-570

Fick K., R., R. McDowell L., P. Miles H., N. Wilkinson S., J. Funk D., J. Conrad H. y R. Valdivia. 1979. *Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales*. Anim. Sci. Department University of Florida, U.S.A.

Frieden E. 1971. Caeruloplasmin, a link between copper an iron metabolism. *Advances in Chemistry Series*. 100: 292-321.

Frimpong N., A. and C. Magee A. 1989. Effects of dietary copper and zinc on growth and trace mineral status of young male rats. *Nutr. Rep. Int.* 40:695.

Gallagher C., H. 1979. Biochemical and pathological effects of copper deficiency. Pages 57-69 *In*: J. O. Nriaga, ed. Copper in the environment Part II: Health effect. John Wiley & Sons, New York, USA.

García E. 1981. Modificaciones al sistema climático de Köppen. 3ª edición. Instituto de Geografía de la UNAM. México, D.F.

Gay C., C. 1988. Printchett LC, Madosn W. Copper deficiency in ruminants, in *Proceedings*. 20th Ann. Meet. Am. Assoc. Bovine Pract. 134-138.

Hempe J., M. and J. Cousins R. 1992. Cysteine-rich intestinal protein and intestinal metallothionein: an inverse relationship as a conceptual model for zinc absorption in rats. *J. Nutr.* 122: 89-95.

Johnson W., T. and R. Kramer T. 1987. Effect of copper deficiency on erythrocyte membrana proteins of rats. *J. Nutr.* 117: 1085-1090

Judson G., J., H. Brown T., D. Gray, W. Dewey, D., B. Edwards, J. and D. McFarlane, J. 1982. *Australian Journal of Agricultural Research*. 33, 1073-83

Judson G., J., L. Trengove C., W. Langman M. and R. Vandergraaff. 1984. Copper Supplementation in Sheep. *Aust. Vet. Journal*. 61: 40-43.

Kegley E., B. and W. Spears J. 1994. Bioavailability of feed-grade copper sources (oxide, sulfate, or lysine) in growing cattle. *J. Anim. Sci.* 72:2728-2734.

Kroneman J., W. J. Mey G. and A. Helder. 1975. Hereditary zinc deficiency in Dutch Friesian cattle. *Zbl. Vet. Med.* 22:201-208

Larson B., L., J. Arthington and R. Corah L. 1995. Recognizing and treating copper imbalances in cattle. *Vet. Medicine.* 90: 6.

Ledoux D., R., R. Henry P., B. Ammerman C. and D. Miles R. 1989. Effect of dietary copper on tissue mineral composition as an estimate of copper bioavailability in broiler chicks. *Nutr. Rep. Int.* 39:1117

MacPherson A. 1984. Long term effectiveness of graded doses of copper oxide needles in suckler cows. *Veterinary Record.* 115: 354-355.

Mason J., M. Lamand and A. Kelleher C. 1980. The fate of ⁹⁹Mo-labelled sodium tetrathiomolybdate after duodenal administration in sheep: the effect on caeruloplasmin (EC 1. 16. 3. 1) diamine oxidase activity and plasma copper. *Br. J. Nutr.* 43: 515-523.

McDowell L., R., H. Conrad J., L. L. Ellis G. and K. Loosli J. 1984. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. *Boletín. Universidad de Florida.* Gainesville, Florida. USA.

McDowell L., R., J. Velásquez P. y G. Valle. 1997. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. *Universidad de Florida.* Gainesville, Florida. USA.

McFarlane D., J., G. Judson J., R. Turnbull K. and B. Kempe R. 1991. An evaluation of copper-containing soluble glass pellets, copper oxide particles and injectable copper as supplements for cattle and sheep. *Aust Journal of Experimental Agriculture.* 31:165-174

NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Washington. D.C.

O'Dell B., L. and A. Sunde R. (eds). 1997. Handbook nutritionally essential mineral elements. University of Missouri. Marcel Dekker, Inc.

Perkin-Elmer. 1976. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry. Perkin-Elmer Corp. Connecticut, U.S.A.

Prohaska J., R. 1981. Comparison between dietary and genetic copper deficiency in mice: copper dependent anemia. Nutr. Res. 1: 159-167.

Prohaska J., R. 1983. Changes in tissue growth, concentrations of copper, iron, cytochrome oxidase and superoxide dismutase subsequent to dietary or genetic copper deficiency in mice. J. Nutr. 113: 2148-2158.

Puls R. 1988. Minerals levels in animal health. Diagnostic data. Sherpa International. British Columbia, Canada.

Rabiansky P., A., R. McDowell L., J. Velasquez P., S. Wilkinson N., S. Percival S., G. Martin F., B. Bates D., B. Johnson A., R. Batra T. and E. Salgado M. 1999. Evaluating Copper Lysine And Copper Sulfate Sources For Heifers J. Dairy Sci. 82:2642-2650

Richards D., H., R. Hewett G., M. Parry J. and H. Yeoman G. 1985. Bovine copper deficiency: Use of copper oxide needles. Vet. Rec. 116: 618-619.

Rogers P., A., M. and R., B. Poole D. 1988. Copper oxide needles for cattle: A comparison with parenteral treatment. Veterinary Record. 123: 147-151

Saenko E., L., I. Yaparov A. and D. Harris E. 1994. Biological functions of caeruloplasmin expressed through copper-binding sites. *Journal of Trace Elements. In: Experimental Medicine*. 7: 69-88.

SAS. 2001. SAS/STAT User's guide. (Release 8.2) Cary (NC): SAS Institute Inc.

Smith B., S. and W. Wright H. 1975. Effect of dietary Mo and Cu metabolism. Evidence for the involvement of Mo in abnormal binding of Cu to plasma proteins. *Clin. Chim. Acta*. 62: 55-63.

Steven E., W., D. Herd and R. Field and P. 1992. Holland. Diagnosis of copper deficiency in cattle. *JAVMA*. Vol. 200. 11:1625-1629.

Suttle N., F. 1981. *Vet. Rec.* Effectiveness of orally administered cupric oxide needles in alleviating hypocupraemia in sheep and cattle. 108:417

Suttle N., F., G. Jones D., C. Woolliams and A. Woolliams J. 1987. Heinz body anaemia in lambs with deficiencies of copper or selenium. *Br. J. Nut.* 58:539-548.

Swenson M., J. 1999. Características Funcionales y Componentes Celulares y Químicos de la Sangre. *In: Fisiología de los Animales Domésticos de Dukes*. Swenson MJ y Reece WO. (ed.). Limusa. México.

Thomas C. and S. Oates P. 2003. Copper deficiency increases iron absorption in the rat. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*. May 21 [Epub ahead of print].

Towers N., R., W. Young P. and E. Wrigth D. 1981. Effect of zinc supplementation on bovine plasma copper. *N. Z. Vet. J.* 29:113-114.

Underwood E., J. 1977. Trace elements in human and animal nutrition. Academic Press, London.

Underwood E., J. and F. Suttle N. 1999. The mineral nutrition of livestock. CABI. Publishing 3rd edition. New York, USA.

Whitelaw A., R. Fawcett A. and J. Macdonald A. 1984. Cupric oxide needles in the prevention of bovine hypocuprosis. Vet Rec. 115: 357