

"Enseñar la Explotación de la
Tierra No la del Hombre"

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

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

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO MINERAL DE BOVINOS PARA CARNE PASTOREANDO EN LA REGIÓN HUASTECA ALTA

TESIS

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

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

PRESENTA:

Pedro Ramos Mondragón

Bajo la supervisión de : Maximino Huerta Bravo



**DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
FACULTAD DE EXAMENES PROFESIONALES**

Noviembre de 2009

Chapingo, Estado de México

**DIAGNÓSTICO DEL ESTADO MINERAL DE BOVINOS PARA CARNE
PASTOREANDO EN LA REGIÓN HUASTECA ALTA**

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

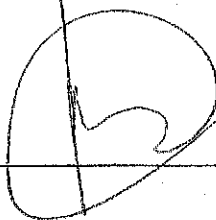
MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR: _____



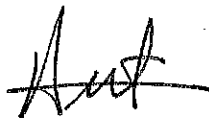
Ph.D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR: _____



Ph.D. José Guadalupe García Muñiz

ASESOR: _____



Ph.D. Pedro Arturo Martínez Hernández

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la confianza y el apoyo recibido durante mis estudios de posgrado.

Al Ph. D. Maximino Huerta Bravo, por la dirección y razonamiento científico con los cuales enriqueció mi estancia e investigación en el Posgrado en Producción Animal, así mismo agradezco la calidez humana y confianza del Doctor Maximino y la Sra. Ana María su distinguida esposa por los consejos y apoyo que tuvieron a bien confiarme; por permitirme vincularme con la calidez de su familia.

A los Ph. D. Pedro Arturo Martínez Hernández y José Guadalupe García Muñiz, por el apoyo brindado al trabajo de investigación, recomendaciones y lineamientos a mi desempeño en el transcurso de mis estudios.

A la Coordinación de Posgrado en Producción Animal, al Ph. D. Rafael Núñez Domínguez; y por supuesto al personal administrativo por su amistad y apoyo que durante la estancia en el posgrado fueron un bastión para el desarrollo de mis actividades, gracias.

Al profesorado del Posgrado en Producción Animal, a los amigos a todos y cada uno de los compañeros, fraternalmente gracias.

DATOS BIOGRÁFICOS

DATOS PERSONALES:

NOMBRE: Pedro Ramos Mondragón

FECHA DE NACIMIENTO: 17 de octubre de 1981

LUGAR DE NACIMIENTO: H. Cárdenas, Tabasco

CURP: RAMP811017HTCMND05

PROFESIÓN: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

CÉDULA PROFESIONAL: 5509652

DESARROLLO ACADÉMICO:

BACHILLERATO: Colegio de Bachilleres de Tabasco No. 5 (1997-1999)

LICENCIATURA: Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo
(1999-2005)

MAESTRIA: Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia,
Universidad Autónoma de Chapingo (2007-2008).



CONTENIDO

DEDICATORIAS.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DATOS BIOGRÁFICOS	V
CONTENIDO	VI
LISTA DE CUADROS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	X
RESUMEN GENERAL	XI
GENERAL ABSTRACT	XII
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Importancia de los minerales.....	3
2.1.1 Minerales en la nutrición de rumiantes.....	4
2.1.2 Requerimientos minerales en bovinos para carne	6
2.1.3 Rangos óptimos de minerales para bovinos	7
2.2 Clasificación de los minerales	9
2.2.1 Funciones generales de los minerales en el organismo.....	10
2.2.2 Trastornos causados por deficiencias minerales	12
2.3 Diagnóstico mineral.....	14
2.3.1 Limitantes en la efectividad del diagnóstico mineral.....	16
2.3.2 Determinación de la concentración mineral	17
2.3.3 Concentración mineral en agua	31
2.3.4 Concentración mineral en forraje	32
2.3.5 Concentración mineral en suelo.....	35
2.3.6 Concentración mineral en suero sanguíneo.....	36
2.4 Métodos para la suplementación mineral.....	36
2.4.1 Métodos directos	36
2.4.2 Métodos indirectos	37
2.4.3 Suplementación mineral a voluntad	38
2.5 Recomendaciones en la suplementación mineral	39
2.6 Literatura citada.....	42
3 DIAGNÓSTICO DEL ESTADO MINERAL DE BOVINOS PASTOREANDO EN LA REGIÓN HUASTECA – JULIO 2007.....	47
3.1 Resumen	47
3.2 Abstract	48

3.3	Introducción.....	49
3.4	Materiales y Métodos	50
3.4.1	Protocolo de muestreo	50
3.4.2	Concentraciones de minerales	51
3.4.3	Análisis estadístico.....	52
3.5	Resultados y Discusión	53
3.5.1	Concentración mineral en el agua de bebida	53
3.5.2	Concentración mineral en suelo.....	54
3.5.3	Concentración mineral en forraje	56
3.5.4	Concentración mineral en suero sanguíneo	59
3.6	Conclusiones.....	64
3.7	Literatura citada.....	65
4	DIAGNÓSTICO DEL ESTADO MINERAL DE BOVINOS PASTOREANDO EN LA REGIÓN HUASTECA- SEPTIEMBRE 2007.....	68
4.1	Resumen	68
4.2	Abstract	69
4.3	Introducción.....	70
4.4	Materiales y Métodos	71
4.4.1	Protocolo de muestreo	71
4.4.2	Concentraciones minerales	72
4.4.3	Análisis estadístico.....	73
4.5	Resultados y Discusión	74
4.5.1	Concentración mineral en el agua de bebida	74
4.5.2	Concentración mineral en suelo.....	76
4.5.3	Concentración mineral en forraje	79
4.5.4	Concentración mineral en suero sanguíneo	82
4.6	Conclusiones.....	89
4.7	Literatura citada.....	90

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Requerimientos minerales y concentraciones máximas tolerables para ganado de carne.	7
Cuadro 2. Niveles máximos tolerables de minerales en la dieta de bovinos.	9
Cuadro 3: Signos clínicos de las deficiencias de minerales en rumiantes.....	12
Cuadro 4. Métodos de conservación, empaque y cantidad de muestra requerida para análisis de laboratorio.....	22
Cuadro 5. Concentración mineral en agua de bebida para el ganado (medias de cuadrados mínimos) y significancia de las diferencias de cinco ranchos de la región Huasteca Alta.	54
Cuadro 6. Concentración mineral y pH en suelo (medias de cuadrados mínimos) y significancia de las diferencias de cinco ranchos de la región Huasteca Alta.	55
Cuadro 7. Concentración mineral en forraje (medias de cuadrados mínimos) y significancia de las diferencias de cinco ranchos de la región Huasteca Alta. ...	58
Cuadro 8. Concentración mineral en suero sanguíneo de bovinos (medias de cuadrados mínimos) y nivel de significancia de las diferencias en cinco ranchos de la región Huasteca Alta.....	60
Cuadro 9. Concentración mineral en suero sanguíneo de vacas lactantes y sus crías (medias de cuadrados mínimos) y nivel de significancia de las diferencias.	61
Cuadro 10. Concentración mineral en agua de bebida para el ganado (medias de cuadrados mínimos) y significancia de las diferencias de cinco ranchos de la región Huasteca Alta.	75

Cuadro 11. Concentración mineral y pH en suelo (medias de cuadrados mínimos) y significancia de las diferencias de cinco ranchos de la región Huasteca Alta.	77
Cuadro 12. Concentración mineral en forraje (medias de cuadrados mínimos) y significancia de las diferencias de cinco ranchos de la región Huasteca Alta. ...	81
Cuadro 13. Concentración mineral en suero sanguíneo de bovinos (medias de cuadrados mínimos) y nivel de significancia de las diferencias en cinco ranchos de la región Huasteca Alta.....	84
Cuadro 14. Concentración mineral en suero sanguíneo de vacas lactantes y sus crías (medias de cuadrados mínimos) y nivel de significancia de las diferencias.	86

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Concentración de calcio, fósforo, cobre, hierro, potasio y selenio en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas (—■—) y becerros (—●—) en la región Huasteca Alta. 63
- Figura 2. Relaciones de Na:K y Ca:P en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas (—■—) y becerros (—●—) en la región Huasteca Alta. 64
- Figura 3. Concentraciones minerales de cobre, sodio, potasio y magnesio en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas (—■—) y becerros (—●—) en la región Huasteca Alta. 87
- Figura 4. Relación Ca:P en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas (—■—) y becerros (—●—) en la zona norte del estado de Veracruz y sur de Tamaulipas. 89

RESUMEN GENERAL

DIAGNÓSTICO DEL ESTADO MINERAL DE BOVINOS PARA CARNE PASTOREANDO EN LA REGIÓN HUASTECA ALTA

El estudio se realizó para determinar el estado mineral de vacas lactantes y sus crías, en cinco ranchos de bovinos para carne de la zona norte del estado de Veracruz y sur de Tamaulipas. En cada rancho se muestreó agua, suelo, forraje y suero sanguíneo. En las muestras de suero sanguíneo, agua, suelo y forraje se determinaron los contenidos de calcio, fósforo, potasio, sodio, magnesio, cobre, zinc, hierro y selenio; en las muestras de agua, suelo y forraje se determinó adicionalmente la concentración de manganeso. El contenido mineral en suero sanguíneo fue analizado con un modelo que incluyó los efectos fijos de rancho, tipo de animal y su interacción. Para la concentración de minerales en suero, agua y suelo, el modelo sólo incluyó el efecto fijo de rancho. La productividad del hato ganadero de la región Huasteca Alta puede estar limitada por deficiencias en la ingesta de minerales como cobre y zinc, debido a que los forrajes con los que se alimenta el ganado muestran baja concentración de estos elementos y muy alta de hierro. El zinc y el cobre deben ser suplementados para cubrir los requerimientos mínimos de los animales; ambos elementos deben ser suplementados por arriba del requisito, debido al alto nivel de hierro en el forraje que puede intervenir en la absorción de los mismos. Los minerales calcio, hierro y potasio de los forrajes se encuentran en concentraciones superiores a los requerimientos de los animales y debe evitarse la suplementación con los mismos para evitar problemas relacionados a las altas concentraciones en el animal. El selenio mostró niveles adecuados en el animal, aun cuando el suelo y el forraje no son ricos en este elemento, situación que evidencia la importancia del agua en el aporte de este elemento en la región de la Huasteca Alta.

Palabras clave: diagnóstico mineral, pastos tropicales, bovinos para carne.

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Pedro Ramos Mondragón
Director de Tesis: Ph.D. Maximino Huerta Bravo

GENERAL ABSTRACT

MINERAL STATUS OF GRAZING BEEF CATTLE IN THE HUASTECA ALTA REGION

The study was conducted to determine the mineral status of cows and their calves in five beef cattle farms in the northern area of Veracruz and south of Tamaulipas states. Samples of water, soil, pasture, and blood serum of cows and calves were taken in each farm. Determinations of calcium, phosphorus, potassium, sodium, magnesium, copper, zinc, iron, and selenium were performed in all samples. Additionally, manganese was measured in water, soil, and pasture samples. The mineral content in blood serum was analyzed with a model that included the fixed effects of ranch, animal type, and their interaction. For the concentration of minerals in serum, water, and soil, the model only included the fixed effect of ranch. The cattle herd productivity in the region Huasteca Alta may be limited by deficiencies in the minerals intake such as copper and zinc that because the forage that the cattle are fed show low concentration of these elements and very high in iron. The zinc and copper should be supplemented to meet the minimum requirements of animals, both elements must be supplemented above the requirement due to high levels of iron in the forage that can intervene in absorbing them. The minerals calcium, iron and potassium in forages are in concentrations exceeding the needs of animals and supplementation should be avoided so as to avoid problems related to high concentrations in the animal. Selenium showed the appropriate levels in cattle even when the soil and forage are not rich in this element, which shows the importance of water in the contribution of this element in the Huasteca Alta region.

Key Words: mineral status, tropical pasture, beef cattle

Master in Science Thesis, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Pedro Ramos Mondragón
Advisor: Ph.D. Maximino Huerta Bravo

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La desnutrición es comúnmente aceptada como una de las limitaciones más importantes a la producción de animales en condiciones de pastoreo en países tropicales. La insuficiencia de energía y proteína es a menudo responsable de la producción animal subóptima. Sin embargo, muchos investigadores han observado que el ganado se deteriora a pesar de tener abundancia de alimentos (McDowell, 2005).

A pesar de la gran variabilidad de los recursos forrajeros, la ganadería de los trópicos latinoamericanos enfrenta agudos problemas relacionados con la cantidad, calidad y productividad de las pasturas, en particular durante los periodos secos (Romero, 2006). McDowell *et al.* (1982) indican que en varios estudios realizados en países tropicales en muestras de forraje encontraron minerales deficientes, estos minerales y el porcentaje de muestras de forraje deficientes fueron: Co, 43%; Cu, 47%; Mg, 35%; P, 73%; Na, 60% y Zn, 75%. Este es un problema que obedece primordialmente a que una gran parte de los forrajes disponibles está conformada por pasturas nativas, adaptadas pero de baja productividad, y por especies introducidas de altos rendimientos pero con praderas altamente degradadas (Romero, 2006). La industria ganadera basada en el pastoreo es severamente afectada por las deficiencias, los desequilibrios y los excesos nutricionales. Los animales en pastoreo generalmente no reciben suplementación mineral, excepto sal común, y tienen que depender casi exclusivamente de los forrajes para satisfacer sus requerimientos. Sin embargo, raras veces los forrajes pueden satisfacer todos sus requerimientos minerales (McDowell *et al.*, 1984). Greene (2000) coincide con McDowell *et al.* (1984) al indicar que la dieta exclusivamente de forraje no solventa las necesidades nutricionales del ganado e indica que la suplementación mineral en estos

sistemas es una necesidad, ya que se requiere de la suplementación mineral de vacas en pastoreo para una óptima reproducción, inmunidad, lactación y crecimiento. Los desbalances minerales, sean éstos por deficiencias o excesos en los suelos o forrajes, pueden ser causantes de la baja producción y problemas reproductivos de los rumiantes en las regiones tropicales (Rosero, 1990).

En México se han detectado problemas relacionados con deficiencias de minerales en bovinos alimentados en pastoreo, que pueden limitar la producción animal (Santiago y Gerardo, 1996). Debido a esta problemática, McDowell (2005) menciona que una nutrición adecuada de los bovinos depende de los nutrimentos en forraje, agua, suelo y suplementos; por lo que es necesario conocer el estado mineral del ganado que permita implementar medidas para la corrección de las deficiencias minerales en condiciones específicas, ya que las deficiencias y toxicidades minerales en los animales en pastoreo pueden ser predichas por medio de una técnica de estudio sistemático de mapeo o por el reconocimiento regional.

La situación actual de producción de carne de bovino para abasto en el país es crítica, ya que no se cubre la demanda de la población y se recurre a las importaciones. Para mejorar esta situación se requiere incrementar la producción de carne bovina a fin de abastecer la mayor proporción de ésta para el mercado nacional y así tratar de reducir las importaciones masivas (SIAP-SAGARPA, 2008).

Las regiones tropicales del país, especialmente las del estado de Veracruz, cuentan con gran potencial de producción, exportación y venta de becerros con un peso alto al destete o bien desarrollarlos hasta la “media ceba”, a fin de abastecer la demanda de los engordadores nacionales en los sistemas de confinamiento (Livas, 2007).

En las regiones tropicales del país, los becerros provienen principalmente de los sistemas de doble propósito o también denominados de “vaca-becerro”, caracterizados porque los animales son destetados a una edad tardía (6 a 8 meses de edad) con un peso bajo entre los 150-160 kg, lo cual es consecuencia de una nutrición deficiente, especialmente por el bajo consumo de leche en las primeras etapas de vida de los lactantes (Livas, 2007). Conociendo esta problemática, que es muy propia de los productores en el trópico, es importante que el ganadero busque y mejore sus ingresos económicos a través del uso de tecnologías congruentes y adecuadas, para aumentar la producción de leche y el peso al destete de becerros.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de los minerales

Los sistemas de producción de ganado bovino están cambiando continuamente por la necesidad de mantener un sistema sustentable (Hess *et al.* 2005). La importancia de proporcionar una buena alimentación ha sido reconocida por los investigadores y la industria animal, relacionando la nutrición con respuestas positivas en el sistema productivo (Olson, 2005).

Antes del siglo XX había poco interés en la nutrición mineral de los animales domésticos, y ésta era considerada de poca utilidad (McDowell, 2005); aún cuando se había demostrado a principios del siglo XIX que la concentración de minerales en las plantas variaba de acuerdo al tipo de suelo y estado de madurez de las mismas. Esto fue considerado de mucha importancia en la nutrición animal (McDowell, 2005).

Cuando en el laboratorio se inventaron métodos para analizar los minerales en los tejidos de animales y en los alimentos, y cuando se determinó la respuesta de los animales al suministro de minerales puros, fue posible reemplazar las suposiciones con hechos acerca de la esencialidad de estos nutrientes (McDowell, 2005). A partir de estas investigaciones se conoce que los

elementos minerales existen en las células y tejidos del organismo animal, en diversas combinaciones funcionales y químicas con diferentes concentraciones (Underwood y Suttle, 1999), que son indispensables para el mantenimiento y crecimiento de los animales y que además de manera indirecta tienen efectos sobre aspectos reproductivos, como lo son el manganeso, zinc, molibdeno y el precursor de la vitamina A (beta caroteno) que están involucrados en la síntesis de hormonas esteroidales y, por lo tanto, tienen un efecto potencial en el área de la reproducción, pudiendo, en caso de deficiencias, retrasar la aparición de la pubertad (Belmar y Sandoval, 2003). Muchos de los minerales considerados esenciales se encuentran en suficiente concentración en las dietas, pero otros frecuentemente son deficientes (NRC, 2000).

Los desbalances de minerales en suelos y forrajes pueden ser responsables de la baja producción y los problemas reproductivos en algunas explotaciones ganaderas (McDowell, 2005). Las enfermedades de extenuación, pérdida de pelo, desórdenes de la piel, aborto no infeccioso, diarrea, anemia, pérdida de apetito, anormalidades óseas, tetania, baja fertilidad y pica son signos clínicos que sugieren deficiencias minerales (McDowell, 2005); éstos signos son difíciles de diagnosticar si sólo presentan manifestaciones subclínicas, por lo que es necesario efectuar el análisis de los pastos, alimentos y suelos para detectar con precisión posibles desbalances de algún mineral en particular (Belmar y Sandoval, 2003).

En las regiones tropicales los desbalances minerales (deficiencias o excesos) en suelo y forrajes, se consideran los responsables de la baja producción y los problemas reproductivos en rumiantes, reflejados en sistemas productivos ineficientes (McDowell, 2005).

2.1.1 Minerales en la nutrición de rumiantes

La producción de ganado bovino se encuentra en continuo cambio por la necesidad de mantener producciones sustentables, lo que resalta la importancia de mantener una nutrición adecuada; situación reconocida por los industriales y

los científicos dedicados a la ciencia animal. Se han publicado varios artículos científicos demostrando la relación entre la producción, reproducción y sanidad con la nutrición del ganado (Hess *et al.*, 2005).

El ganado bovino en pastoreo debe recibir todos los nutrientes esenciales en cantidades óptimas para mantener la salud, crecimiento y reproducción, en niveles adecuados a la especie, por lo que es de vital importancia considerar el valor de la suplementación mineral (Ammerman *et al.*, 1977), particularmente en rumiantes que se alimentan de forrajes tropicales. La suplementación permitirá mejorar la eficiencia en la producción mediante la corrección de deficiencias nutricionales, proporcionar aditivos a la alimentación, puede tener un efecto sustitutivo que permitirá aumentar la carga animal en el agostadero y mejorar la digestión de los bovinos (Fieser *et al.*, 2007).

La predicción de los requerimientos minerales específicos es muy difícil en sistemas de pastoreo, debido a muchos factores, pero dentro de los principales factores que dictan el requisito o nivel mineral a incluir en la dieta se encuentran la utilización de minerales procedentes de los forrajes, las interacciones minerales que hacen más complejo el manejo nutricional (por ejemplo, Belmar y Sandoval (2003), mencionan que excesos de calcio implica problemas con la disponibilidad del fósforo) y la etapa y nivel de producción (Greene, 2000).

Los elementos minerales esenciales para los animales influyen en la eficiencia de producción de ganado. Aproximadamente 5% del peso de un animal consiste de minerales (McDowell, 2005). La inclusión de varias prácticas de manejo en sistemas de pastoreo puede tener efectos positivos o negativos en la nutrición y reflejarse en la reproducción como un indicador. Una suplementación mineral correcta y un manejo eficiente de praderas pueden contribuir a eficientizar la reproducción (Olson, 2005).

2.1.2 Requerimientos minerales en bovinos para carne

En la mayoría de las investigaciones sobre el papel de los minerales en la nutrición del ganado se han empleado dietas puras carentes de un determinado mineral, observándose síntomas de deficiencia y recuperación del cuadro clínico con el suministro de la suplementación específica. El problema es que los requerimientos de algunos minerales son tan insignificantes que comúnmente resulta difícil su eliminación total de la ración para poder definir su esencialidad.

Álvarez (2004) indica que para poder establecer la esencialidad de un mineral se deben cumplir con las siguientes condiciones:

1. Estar presente en los organismos vivos, inclusive en los neonatos.
2. Las concentraciones orgánicas deben ser constantes y similares de un individuo a otro.
3. Debe desempeñar un papel bioquímico.
4. Su ausencia debe traducirse en algún tipo de alteración fisiológica en el animal.
5. Su administración, después de un estado carencial, debe aliviar o recuperar la anomalía o alteración fisiológica.

Muchos factores afectan los requerimientos minerales, entre ellos el tipo y nivel de producción, edad, el nivel y forma química de los elementos en los ingredientes alimenticios, el consumo suplementario del mineral, la raza y la adaptación del animal (McDowell, 2005). Los requerimientos nutricionales y los niveles máximos tolerables de minerales sugeridos para la especie por el NRC 2000, se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Requerimientos minerales y concentraciones máximas tolerables para ganado de carne.

Mineral	Requerimientos			Concentración máxima tolerable ^z
	Crecimiento y finalización	Vacas		
		Gestantes	Lactación temprana	
Cr, ppm	-	-	-	1,000
Co, ppm	0.10	0.10	0.10	10
Cu, ppm	10	10	10	100
I, ppm	0.50	0.50	0.50	50
Fe, ppm	50	50	50	1,000
Mn, ppm	20	40	40	1,000
Mo, ppm	-	-	-	5
Ni, ppm	-	-	-	50
Se, ppm	0.10	0.10	0.10	2
Mg, %	0.10	0.12	0.20	0.40
K, %	0.60	0.60	0.70	3
Na, %	0.06-0.08	0.06-0.08	0.01	-
Ca, %	0.19-0.71	0.22-0.38	0.53-0.67	-
P, %	0.12-0.34	0.16-0.24	0.32-0.44	-

^z NRC (2000)

2.1.3 Rangos óptimos de minerales para bovinos

Los elementos minerales se han reconocido por muchos años como nutrientes esenciales en las dietas para animales. La necesidad de suplementar minerales mediante ingredientes en la dieta para mejorar la producción se ha demostrado en diversos estudios prácticos como la suplementación de microminerales como manganeso, cobre, iodo, hierro, cobalto, zinc y selenio (Ammerman, 1987).

Para definir los niveles óptimos y tóxicos el NRC (2005) indica que la relación entre las concentraciones de minerales, la dieta y la salud del animal, son diferentes entre elementos esenciales y no esenciales. En los minerales esenciales el aumento de la cantidad de un mineral en la dieta es benéfico hasta cierto punto (requerimiento), por arriba de este requisito el NRC (1980) definió el "nivel máximo tolerable" como el nivel de minerales en la dieta que suministrada en un periodo limitado de tiempo no afecta el rendimiento de los animales y no debería producir residuos derivados de los animales en la alimentación humana. El uso de los niveles máximos tolerables de minerales en las dietas debe siempre estar regulado y debe tenerse en cuenta las buenas prácticas de nutrición que exigen se mantengan siempre por debajo del nivel máximo tolerable. Juniper *et al.* (2008) indican que una buena referencia para mantener estas buenas prácticas de nutrición es el manual de procedimientos científicos del Reino Unido de 1986. El NRC (2005) indica que por arriba del nivel máximo tolerable las concentraciones minerales son perjudiciales a la salud del animal y pueden ocasionar afectaciones a la salud humana (toxicidad). Así mismo en el caso de minerales no esenciales, bajos niveles de minerales son tolerados sin efectos perjudiciales en la salud del animal. Al igual que los elementos esenciales, las concentraciones pueden llegar a un punto en donde las altas concentraciones de estos minerales tienen efectos detrimentales en la salud del animal. Rosero (1990) indica que muchos de los minerales considerados esenciales pueden tener efectos tóxicos cuando se suministran en grandes cantidades, como por ejemplo: cobre, cobalto, iodo, manganeso, molibdeno, selenio y zinc. De igual manera, algunos elementos como el aluminio, arsénico, cadmio, plomo y mercurio son considerados tóxicos. Ammerman *et al.* (1977) indican que muchas veces los elementos no se presentan en forma pura y algunos pueden llegar a estar en combinación con elementos contaminantes que pueden llevar a tener un potencial tóxico, como lo son el plomo y el arsénico, y otros como lo mencionan Bailey *et al.* (2001) pueden actuar como antagonistas como lo son el hierro, azufre, y molibdeno, que pueden contribuir a la deficiencia de cobre, ya que pueden inducir

hipocuprosis, ya que disminuyen la disponibilidad de este elemento en el tracto digestivo, torrente sanguíneo y tejido de los rumiantes.

En el Cuadro 2 se indican los rangos máximos tolerables de minerales en la nutrición del ganado, donde se establecen recomendaciones específicas para la alimentación. Estos valores son diferentes a los sugeridos por el NRC (2000), para algunos elementos, dado que fueron tomados de una edición previa (NRC, 1980).

Cuadro 2. Niveles máximos tolerables de minerales en la dieta de bovinos.

Elemento	Concentración en la dieta
Aluminio, mg kg ⁻¹	1000
Arsénico, mg kg ⁻¹	30
Boro, mg kg ⁻¹	150
Bromo, mg kg ⁻¹	200
Cadmio, mg kg ⁻¹	10
Zinc, mg kg ⁻¹	500
Cobalto, mg kg ⁻¹	25
Cobre, mg kg ⁻¹	40
Flúor, mg kg ⁻¹	40
Yodo, mg kg ⁻¹	50
Fierro, mg kg ⁻¹	500
Litio, mg kg ⁻¹	25
Magnesio, mg kg ⁻¹	0.6
Manganeso, mg kg ⁻¹	2000
Mercurio, mg kg ⁻¹	2
Molibdeno, mg kg ⁻¹	5
Níquel, mg kg ⁻¹	100
Selenio, mg kg ⁻¹	5
Potasio, %	2
Silicio, %	0.2
Cloruro de sodio, %	4.5 en engorda y 3.0 en becerros
Azufre, %	0.30 dietas altas en concentrados 0.50 dietas altas en forrajes
Calcio, %	1.5
Fósforo, %	0.7

NRC, 2005.

2.2 Clasificación de los minerales

Existen 30 elementos reconocidos como requeridos por alguna (por lo menos una) especie animal y la denominación de alguno de los elementos como

esenciales es difícil y a veces tentativo, y se determinan según los experimentos con una o más especies (McDowell, 2005). Para el caso de rumiantes se manejaban 22 elementos considerados como esenciales pero de éstos, el arsénico, níquel, flúor, vanadio, estaño y aluminio, únicamente se habían comprobado sus efectos en trabajos de laboratorio en condiciones específicas (Underwood y Suttle, 1999). Actualmente en forma general los minerales considerados como esenciales se clasifican como macrominerales y microminerales; los macrominerales se encuentran en altas concentraciones dentro del organismo y dentro de estos están el calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg), sodio (Na), cloro (Cl), potasio (K) y azufre (S); y dentro de los microminerales se clasifican los que encuentran en bajas concentraciones en el organismo, y estos son: hierro (Fe), Zinc (Zn), cobre (Cu), cobalto (Co), molibdeno (Mb), manganeso (Mn), yodo (I), selenio (Se) y cromo (Cr).

2.2.1 Funciones generales de los minerales en el organismo

Los minerales tienen una gran importancia en el metabolismo del animal. De ellos, 22 son considerados como elementos esenciales para la vida; siete los podemos catalogar como macroelementos, ya que sus concentraciones en los tejidos oscilan en un rango de 0.09 al 9% del peso vivo de los animales; ocho como microelementos (de 100 a 1,000 ppm) y siete como elementos traza, puesto que sus concentraciones están en el orden de ± 1 ppm (Álvarez, 2004).

Las funciones de los minerales se pueden clasificar en cuatro tipos generales: estructurales, fisiológicas, catalítica y regulatoria. Estas funciones no son exclusivas de todos los minerales y varían de acuerdo al tipo de mineral y animal (Underwood y Suttle, 1999). Algunos minerales forman parte de estructuras orgánicas, otros tienen una amplia y decisiva participación en complejos sistemas enzimáticos y la mayoría está presente en todas las células de los organismos vivos, desempeñando funciones importantes en el metabolismo celular (Álvarez, 2004). En general, la mayor parte de los elementos trazas funcionan como constituyentes o como activadores de

enzimas, y son indispensables en cantidades mínimas para mantener diferentes funciones metabólicas en el organismo del animal (Shelton *et al.*, 2004).

Los minerales pueden formar parte estructural de los componentes del cuerpo, órganos y tejidos, como el calcio, fósforo, magnesio, flúor y silicio en huesos y dientes, así como fósforo y azufre en proteínas musculares (Underwood y Suttle, 1999). Se ha demostrado que el hierro, cobre, cobalto, manganeso, zinc, iodo, molibdeno y selenio son indispensables; de igual manera el flúor y el cromo se encuentran en investigación para determinar correctamente sus funciones metabólicas. Algunos minerales traza se encuentran en los alimentos y las raciones en cantidades suficientes para cubrir las necesidades de los animales. En cambio hay otros que deben añadirse a los ingredientes alimenticios usuales (Belmar y Sandoval, 2003).

Minerales tales como zinc y fósforo pueden también contribuir a la estabilidad estructural de las moléculas y las membranas. Fisiológicamente los minerales están en los fluidos y tejidos del cuerpo como electrolitos, manteniendo la presión osmótica, el balance ácido-base, la permeabilidad de la membrana celular y la irritabilidad de los tejidos. Los elementos sodio, potasio, cloro, calcio y magnesio en sangre, fluido cerebroespinal y jugos gástricos son ejemplos de estas funciones. Los minerales también pueden funcionar como catalizadores de enzimas y hormonas del sistema, como componentes integrales y específicos de la estructura de metaloenzimas o como activadores específicos en estos sistemas. En años recientes se reportó que los minerales regulan la multiplicación y diferenciación celular. Por ejemplo, el calcio influye en las señales de transducción y zinc en la transcripción (Underwood y Suttle, 1999).

Dentro de las principales funciones minerales traza se puede mencionar el efecto de éstos en la edad a la pubertad, que de acuerdo a lo indicado por Grings *et al.* (1998), es un factor significativo en la vida productiva de las vacas del sistema de producción de carne. La nutrición es un factor importante en el desarrollo de las novillas y una variedad de nutrientes están involucrados en el crecimiento y la maduración reproductiva (Patterson *et al.*, 1992). Aunque se

han realizado trabajos en los cuales han evaluado la respuesta a la suplementación de minerales traza en el mejoramiento de las tasas de concepción, muchos autores mencionan que existen divergencias en los resultados de la suplementación. Saxena *et al.* (1991) encontraron una correlación directa entre la concentración de cobre y zinc en suero y la edad a la pubertad de vaquillas. Sin embargo, Small *et al.* (1997) en experimentos con condiciones similares encontraron que las concentraciones de cobre, zinc y manganeso no estuvieron relacionadas con la edad al primer servicio de las vaquillas.

2.2.2 Trastornos causados por deficiencias minerales

Los desajustes minerales nutricionales varían desde deficiencias minerales agudas o enfermedades de toxicidad, caracterizadas por signos clínicos y cambios patológicos marcados, hasta condiciones leves de transición, difíciles de diagnosticar, expresadas como extenuación o crecimiento y reproducción no satisfactoria (McDowell, 2005). De manera general, los signos clínicos ante una deficiencia pueden ser muy variables y dependen del mineral o minerales en cuestión (Cuadro 3).

Cuadro 3. Signos clínicos de las deficiencias de minerales en rumiantes.

Deformaciones óseas	Anemia	Reproductivos	Piel y pelo	Pica	Nerviosos
Calcio	Hierro	Fósforo	Cobre	Fósforo	Magnesio
Fósforo	Zinc	Zinc	Zinc	Cobalto	Potasio
Manganeso	Cobre	Manganeso	Cobalto	Sodio	Calcio
Magnesio	Cobalto	Cobre	Fósforo	Cobre	Cobre
Cobre		Yodo	Potasio		Manganeso
		Selenio	Sodio		
		Cobalto	Yodo		

Huerta, 1999.

Un problema común en los sistemas de producción son las diarreas no infecciosas y esto se encuentra relacionado a un desbalance en la concentración de cobre (McDowell, 2005).

Dentro de los principales elementos que afectan en mayor grado la industria del ganado de carne, se encuentran el calcio y fósforo, cuyo requerimiento depende de la etapa fisiológica y nivel de producción de los mismos (NRC, 1980). Durante la transición de la gestación a la lactancia existen cambios muy importantes en las concentraciones de calcio y fósforo. Aunque los requisitos de calcio aumentan al parto, la hipocalcemia no es un problema tan importante en el ganado para carne, así mismo tampoco representa un problema en becerros lactantes.

El fósforo es el mineral más deficiente en los sistemas de pastoreo a nivel mundial (McDowell, 2005). El fósforo desempeña un papel muy importante en el metabolismo energético, causando una deficiencia de energía en animales deficientes de fósforo, y en consecuencia a esta deficiencia se presentan problemas por la reducción de la producción y reproducción. A diferencia del calcio, el fósforo puede ser deficiente cuando se pastorean praderas no fertilizadas con fertilizantes fosforados y praderas con pastos nativos. Cuando existe una correcta fertilización el fósforo es usualmente adecuado (Greene, 2000).

El efecto de la deficiencia de minerales traza se ha encontrado relacionado en el desarrollo esquelético (Asquith y Ott, 1989). La deficiencia de manganeso en experimentos de ambiente controlado, ha mostrado evidencias de una reducción en el balance y locomoción de corderos, ya que con dietas bajas en manganeso se presenta una reducción de la longitud y resistencia de la tibia en terneros de vacas alimentadas con dietas bajas en manganeso. Rojas *et al.* (1965) encontraron que la deficiencia de manganeso provocó en todos los terneros deformaciones óseas y fragilidad ósea. Una de las características más notables es la reducción del tamaño del húmero y una reducción de la fosfatasa alcalina. El cobre es necesario para la enzima lisil oxidasa, ya que es esencial

para el mantenimiento y síntesis de colágeno y puede causar degeneración vascular (Mills, 1987). Otro mineral cuya importancia en el desarrollo esquelético es importante es el zinc, la deficiencia de este mineral provoca reducción en el crecimiento de becerros y de fosfatasa alcalina en suero y tejidos (Harrington *et al.*, 1973).

Las deficiencias y desbalances de los minerales traza afectan la productividad de rumiantes. Una mejora en el consumo de alimento puede ocurrir en respuesta a la suplementación de zinc o cobalto, respuestas en productividad por la suplementación de cobre o selenio pueden ser más lentas y no tan evidentemente rápidas como con los minerales anteriores, pero se observan mejoras en la salud de los recién nacidos, mayor resistencia a la mastitis o el aumento del peso al destete de los becerros. En general, los problemas por deficiencias minerales pueden ser evidentes y una correcta evaluación del estado mineral puede determinar si la administración de suplementos minerales en el ganado es adecuada (Kincaid, 2000).

2.3 Diagnóstico mineral

Los desordenes de nutrición mineral van desde deficiencias minerales agudas o toxicidades caracterizadas por signos clínicos y cambios patológicos bien marcados, hasta una mala condición general o un crecimiento y una producción inferior. Estas últimas condiciones tienen gran importancia porque afectan grandes áreas y un gran número de animales, además que pueden confundirse con deficiencias de energía, proteína y varios tipos de parasitismo (Underwood y Suttle, 1999).

Huerta (1999) menciona que el diagnóstico apropiado del estado mineral del ganado en explotaciones bovinas requiere de la cooperación total del productor, del uso de la capacidad de observación, y de las técnicas y conocimientos relativos a los minerales.

La realización de un correcto diagnóstico mineral ayuda a dirigir situaciones específicas que puede resultar en ahorro de recursos y mayor efectividad para resolver problemas tanto biológica como económicamente. Sin embargo, McDowell *et al.* 1984) mencionan que tales estudios son costosos en cuanto a tiempo y recursos si son realizados adecuadamente. La mayoría de los desequilibrios minerales, especialmente en condiciones marginales no presentan condiciones patológicas de falta o exceso de algún mineral específico, por lo que muchas veces es necesario realizar análisis químicos y ensayos biológicos para identificarlos.

El diagnóstico mineral comprende la determinación de la composición de minerales de las fuentes que el animal consume o que influyen sobre su composición: suelo, agua y alimentos; también los signos clínicos, contenido mineral o actividad enzimática en tejidos o fluidos del animal y suplementación para corregir los desbalances minerales (Huerta, 1999).

En sistemas con condiciones de clima tropical, Church (1980) indica que las deficiencias minerales que se presentan pueden ser cobalto, fósforo, cobre, yodo y sodio; de igual manera en algunas áreas se pueden encontrar concentraciones tóxicas de flúor, selenio y en concentraciones no tan altas pero cercanas al nivel máximo tolerable: cobre, manganeso y molibdeno. Lo anterior coincide con lo referido por McDowell (2005) donde menciona que en los rumiantes, los elementos minerales que tienen más probabilidad de faltar en condiciones tropicales son el calcio, fósforo, sodio, cobalto, cobre, yodo, selenio y zinc. En algunas regiones, bajo condiciones específicas, el magnesio, potasio, hierro, y manganeso pueden ser deficientes y los excesos de flúor, molibdeno y selenio son extremadamente perjudiciales.

En México, trabajos realizados en condiciones tropicales mencionan que concentraciones de cobre y sodio en suelo, forraje y plasma sanguíneo se encuentran por debajo de los niveles críticos. Además el zinc también se presenta deficiente en suelo y forraje; así mismo se presentaron altos niveles de

hierro en forrajes, lo que puede interferir con la absorción de cobre (Martínez, 2006).

2.3.1 Limitantes en la efectividad del diagnóstico mineral

Las alteraciones de la nutrición mineral van desde deficiencias minerales agudas o cuadros tóxicos, caracterizadas por signos clínicos bien definidos y cambios patológicos, hasta una mala condición corporal o una producción disminuida. Estas últimas tienen gran importancia, porque se desarrollan en áreas extensas y afectan un gran número de animales, y, por lo general, manifiestan síntomas similares a deficiencia energética, proteínica o parasitismo (Álvarez, 2004).

Los signos clínicos (Cuadro 3) de deficiencias minerales, exámenes bioquímicos y patológicos, junto con análisis mineral de suelo, el agua, la planta y los tejidos, han sido utilizados con diverso grado de éxito para establecer las deficiencias y excesos de minerales. El método más confiable para confirmar las deficiencias minerales es la respuesta obtenida a través de la suplementación de minerales específicos (McDowell, 2005). Sin embargo, existen algunas limitantes para que el diagnóstico mineral sea efectivo, como lo es la dificultad para tomar muestras representativas de lo que el animal consume, la incertidumbre en los requerimientos minerales en el ganado, interrelaciones minerales, signos clínicos inespecíficos, indicadores inapropiados del estado mineral en el ganado y que posiblemente la suplementación no funcione (Huerta, 1999). Álvarez (2004) define que el diagnóstico puede enfocarse por diferentes vías. Los análisis de minerales en los forrajes tienen algunas desventajas: la posibilidad de que las muestras tomadas no sean representativas del consumo que verdaderamente hacen los animales, las dificultades inherentes a los métodos de estimación de consumo y la posibilidad de contaminación de las muestras. Adicional al análisis de forraje, es de suma importancia determinar minerales específicos que puedan ser un problema, debido a que en el sistema de producción en pastoreo existen otros factores que determinan el consumo total de minerales, como lo es el consumo

de agua y en algunos casos de suelo, entonces el análisis mineral de estos dos factores del sistema es crítico para determinar el consumo real de minerales y la fuente de aportación (Greene, 2000), para permitir interpretar y correlacionar los resultados de los análisis minerales de tejidos corporales y fluidos orgánicos, que de acuerdo con Álvarez (2004) son los que mejor evidencian la contribución que hacen los aportes dietéticos para satisfacer los requerimientos minerales del ganado.

2.3.2 Determinación de la concentración mineral

Métodos de muestreo

El punto de partida para las investigaciones en los campos de la ciencia animal en el laboratorio es la toma de muestras. Las muestras pueden tomarse directamente de los animales o de su entorno, con diferentes fines, tales como el diagnóstico de enfermedades, vigilancia de enfermedades, certificado sanitario, estado nutricional, aporte nutricional, niveles minerales o seguimiento de la respuesta a un tratamiento o a la suplementación (OIE, 2007). La Canadian Food Inspection Agency (2002) indica que para proporcionar resultados estadísticos válidos, las muestras recogidas deberán ser idóneas para el fin que se persigue y adecuadas en cuanto al número y cantidad. Fick *et al.* (1979) indican que el procedimiento de muestreo para determinaciones minerales debe ser específico, ya que, aunque el análisis sea exacto, los valores obtenidos no pueden ser mejores que la muestra recolectada.

Muestreo de suelo

En prospección de suelos, el término “muestra” se refiere a las pequeñas porciones de suelo tomadas para representar un horizonte u otra parte del perfil. Este significado no debe confundirse con el uso paralelo de “muestra” para designar un sitio o unidad de suelo seleccionado estadísticamente o con otro criterio (Hodgson, 1987). El análisis del suelo es una herramienta muy importante para la elaboración de una recomendación de fertilización y

proyección de niveles en plantas, ya que nos permite cuantificar la oferta de nutrientes del suelo. La diferencia entre esta oferta y la demanda del cultivo, a partir de la definición de un rendimiento objetivo, indica la cantidad de nutrientes que deberá agregarse por fertilización (Care *et al.*, 1989).

El muestreo es el primer paso de un análisis químico de suelo, y el más crítico, ya que se constituye en la fuente de error más común (Gelderman *et al.*, 1988). En determinaciones prácticas, Care *et al.* (1989) expresaron que el límite de exactitud está dado por el muestreo y no por el análisis. Esto sucede porque a través de poca cantidad de muestra (generalmente no más de 1 kg de suelo) se pretende representar la disponibilidad de nutrientes de miles de toneladas de suelo. Como ejemplo 1 kg de suelo significa el 0.0000005 % del peso medio de 1 ha (0-20 cm). Adicionalmente, tomando en cuenta que dentro de la superficie que se pretende representar existe una gran variabilidad, la dificultad para realizar un buen muestreo es aún mayor. La variabilidad se ve incrementada cuando un campo ingresa en un sistema de siembra directa continua, por la acción residual de las líneas de fertilización, la acumulación de residuos, aplicación de fertilizantes en la superficie del suelo y el reciclado de nutrientes hacia estratos superiores del suelo (Hodgson, 1987). De acuerdo con Gelderman (1988), la calidad de un muestreo se caracteriza a través de la precisión y la exactitud, en donde la precisión la describe como la reproducibilidad de los resultados y la exactitud la indica cuán cercano está el valor del análisis respecto del lote original de muestreo.

Toma de muestra

Existen diferentes maneras de recorrer una zona con el objetivo de obtener una muestra representativa. Hodgson (1987) describe los métodos de muestreo de acuerdo con la factibilidad técnica o económica. Indica tres formas de muestreo, en donde la primera forma de muestreo es en un lote al azar, recolectando submuestras que luego son mezcladas para formar una muestra compuesta que es enviada al laboratorio. Otra manera o plan de muestro consiste en

dividir el campo en subunidades homogéneas, dentro de las cuales se toman muestras compuestas, evitando cabeceras y cualquier desuniformidad que pueda aparecer en el lote como sectores engramonados o escarpados. Este tipo de muestreo es conocido como muestreo al azar estratificado. Una variante es el muestreo en áreas de referencia, que consiste en muestrear intensamente un sector homogéneo del lote, que se asume representativo del lote completo. Por último está el muestreo en rejillas el cual es el tipo más intensivo de muestreo; en él las muestras son tomadas a intervalos regulares en todas las direcciones, analizándose por separado. El método es muy preciso y refleja la variabilidad del lote, pero no siempre el retorno económico derivado de una mejor fertilización alcanza para justificar el costo de este tipo de muestreo.

Gelderman *et al.* (1988) indican que el número de muestras puede variar de cinco a 20 tomas en un rango de 50 has y a partir de este número de hectáreas se pueden realizar subdivisiones, esto debido a que al realizar la curva a partir de 20 datos ésta se vuelve asintótica ya que se comienzan a observar muy pequeños incrementos en la precisión.

Muestreo de agua

El muestreo ambiental de agua puede definirse como el proceso de separar una pequeña porción del total, de tal manera que la muestra colectada represente las características y calidad de la masa de la cual se tomó. Para el análisis mineral, es suficiente obtener una porción lo suficientemente pequeña en volumen para poder ser transportada convenientemente y manejado en el laboratorio, y que siga representando con la misma precisión el material muestreado (Ramos *et al.*, 2003).

Toma de muestra

Para que una toma de agua sea satisfactoria debe llenar requisitos básicos: a) representar con precisión la masa muestreada grande o pequeña; y, b) volumen

adecuado para su examen subsecuente en el laboratorio. De acuerdo con Ramos *et al.* (2003) existen dos tipos de muestras que pueden tomarse:

1.- Muestra simple o instantánea: consiste en tomar una sola muestra, por lo que únicamente representará la concentración de los constituyentes en el agua en el momento en el que se tomó la muestra. Este tipo de muestra nos da las características del agua en el momento que la muestra fue tomada.

Para que este tipo de muestra pueda considerarse representativa de una gran masa de agua, deben tomarse en cuenta factores como homogeneidad del cuerpo de agua, número de lugares muestreados, tamaño de la muestra y el método de recolección. Este tipo de muestreo se utiliza cuando el caudal y la composición son constantes, por lo que el volumen de muestra puede variar en uno o dos litros.

2.- Muestreo en tomas: se instalan tomas en conductos a presión o en conductos que permitan el fácil acceso; los materiales por utilizar deben ser los más similares al conducto muestreado. Antes de coleccionar la muestra es importante limpiar las líneas de las tuberías para que la muestra sea representativa de la fuente, teniendo en cuenta el diámetro, profundidad, longitud de la tubería y velocidad del flujo. Se recomienda dejar fluir un volumen aproximado de 10 veces el volumen de la muestra por tomar.

Muestreo de forraje

Forraje es un término de uso común, tanto a nivel ganadero como a nivel técnico y científico, que encierra una amplia variabilidad conceptual según quien lo use. De hecho no existe una definición ampliamente aceptada y existe una gran variación en la amplitud de alimentos que pueden ser considerados dentro de este término (Wilkins, 2000).

Para el análisis de laboratorio, la muestra escogida debe ser representativa del conjunto que se quiere caracterizar. Para ello, se debe procurar realizar el muestreo dentro de ciclo en una planta, de una misma partida, lote de compra

o ensilado, para disminuir la variabilidad en los análisis que puede afectar la exactitud de las estimaciones realizadas (Shelton *et al.*, 1991).

Phipps *et al.* (1995) indican que el muestreo de forraje debe presentar características específicas según se trate de un forraje verde, de un heno, de un ensilado o de una mezcla o ración mixta. En cualquier caso es siempre necesario describir al máximo el origen, estado vegetativo, la fecha y las condiciones de recolección de la muestra que debe analizarse (Shelton *et al.*, 1991).

Forraje fresco

La forma correcta de obtener las muestras de un potrero, es coleccionar pequeñas cantidades de diferentes zonas del terreno en forma radial partiendo del centro, también es importante tener ciertas consideraciones:

- Tomar la muestra sin seleccionar la planta
- Cortar la planta a la altura de la cosechadora en forraje de corte, o la parte que es consumida por los animales, cuando el forraje es para pastoreo.
- Evitar tomar muestras de las orillas o por donde haya tránsito de animales o personas.

Antes de tomar las muestras de forraje se debe observar cuidadosamente a los animales en pastoreo y recolectar en las áreas donde estos comen. Para realizar con mayor exactitud la colecta de forrajes en animales en pastoreo se recomienda seguir al animal en el potrero y coleccionar la muestra con la mano para representar lo que el animal consume (Fick *et al.*, 1979).

Forraje ensilado

El muestreo de forraje ensilado requiere de tener un cuidado especial, ya que obtener muestras de las partes profundas del silo es complicado y requiere de

aditamentos. Lo adecuado es tomar las muestras lo más profundo que se pueda; la parte superior del silo no debe muestrearse y se debe cubrir el hueco producido al momento de tomar la muestra con el material sobrante para evitar que el aire provoque la descomposición del ensilado (Wilkins, 2000).

Shelton *et al.* (1991) señalan que inmediatamente después de colectada la muestra debe ser introducida dentro de un frasco y compactarse lo más posible para conservar las condiciones de anaerobiosis y congelarse antes de ser enviados para su análisis.

Forrajes henificados

Si se encuentra hacinado en trojes, se deben de tomar las muestras de diferentes puntos del almiar a diferentes profundidades. La recolección debe hacerse en forma cuidadosa para evitar que las hojas se desprendan de los tallos al ser manipuladas (Wilkins, 2000).

La forma adecuada de conservar las muestras, así como el recipiente utilizado y la cantidad requerida por el laboratorio para realizar las determinaciones pertinentes se muestran a continuación:

Cuadro 4. Métodos de conservación, empaque y cantidad de muestra requerida para análisis de laboratorio.

Muestra	Método de conservación	Tipo de empaque	Cantidad
Seco	Temperatura ambiente	Bolsa de plástico	250-500 g
Líquido	Temperatura ambiente	Frasco de plástico	1000 ml
Forraje fresco	Deshidratación	Bolsa de papel	1000 g
Forraje ensilado	Congelación	Frasco de plástico	500-1000 g
Forraje seco	Temperatura ambiente	Bolsa de plástico	250-500 g

Wilkins, 2000.

Fick *et al.* (1979) indican que en general, las muestra de forraje se deben tomar dos veces por año por rancho; como referencia se deben hacer al final de la estación seca y el periodo final de la estación lluviosa.

Muestreo de sangre

Las muestras de sangre pueden tomarse para análisis hematológico, para cultivos y/o para el examen directo de bacterias, virus o protozoos, en cuyo caso es normal el uso de anticoagulantes, como el etilén diamino tetra-acético (EDTA) o heparina. También se pueden tomar para pruebas serológicas y determinaciones minerales, en cuyo caso se necesita una muestra coagulada. Las muestras de sangre se toman mediante venepuntura, de la forma más limpia posible. En la mayoría de los grandes mamíferos, se utiliza la vena yugular o una vena caudal, pero también se pueden utilizar venas braquiales y mamarias. En los cerdos también se utilizan derivaciones de la vena cava. En las aves, generalmente se utiliza una vena del ala (vena braquial). En los animales pequeños de laboratorio, la vena auricular o retro-orbital pueden ser útiles para obtener muestras de sangre, pudiéndose obtener ésta también por punzamiento del corazón. La sangre se puede extraer con una jeringa y aguja o con una aguja y un tubo de vacío (no es fácil con venas delicadas, pero es cómodo con venas gruesas). Se pueden obtener cómodamente pequeñas cantidades de sangre mediante punción con una aguja triangular de punta sólida. Lo ideal sería rasurar (o desplumar) la piel del lugar de la punción, frotarla con alcohol etílico al 70% y dejarla secar (OIE, 2007). Fick *et al.* (1979) mencionan que para la obtención de muestras de sangre en bovinos, se puede obtener convenientemente por punción yugular, o punción en la cola, así mismo recomiendan que para prevenir la hemólisis se debe realizar la punción con agujas de tamaño 18 y obtener de 10 a 50 mililitros de sangre por cada animal.

Al momento de muestreo de suero se debe evitar la mezcla de los mismos de acuerdo a lo establecido por la OIE (2007), pues, aunque reduce la cantidad de documentación y el espacio de almacenamiento, también reduce enormemente la utilidad del material. La obtención de muestras de sangre debe hacerse de la

forma más aséptica posible, y la esterilidad debe mantenerse durante la separación del suero y otras manipulaciones (Fick *et al.*, 1979). El catálogo de las muestras de suero debe organizarse y mantenerse en una base de datos computarizada, con una adecuada copia de seguridad (OIE, 2007)

Los sueros se pueden almacenar para un uso periódico o se pueden mantener almacenados a largo plazo para objetivos históricos, estas dos funciones deberán mantenerse separadas. Las condiciones de almacenamiento de los sueros deberán minimizar la pérdida de propiedades inmunológicas y de otras propiedades bioquímicas (National Veterinary Services Laboratories, 2006).

Existen tres métodos de almacenamiento: ultra-congelación, almacenamiento en seco sobre discos de papel a temperatura ambiente, que es una técnica en la cual el suero es absorbido en papel filtro especial, secado en 24 horas a una temperatura de 15 a 20 grados centígrados con una humedad de 55% y almacenado a temperatura ambiente; el almacenamiento puede durar de 5 meses hasta 5 años (Marinkelle *et al.*, 1978) y liofilización (congelación-dsecación). Las muestras deben mantenerse a una temperatura central por debajo de -60°C para el almacenamiento de sueros a largo plazo mediante ultracongelación (OIE, 2007). Cuanto más baja sea la temperatura mejor, pero resulta en un mayor costo económico. El nitrógeno en fase líquida se encuentra a -196°C , el nitrógeno en fase de gas se encuentra a -100°C y un congelador de temperatura ultra-baja se mantendrá a -90°C . Algunos bancos de suero se han mantenido a -20°C , pero el suero puede deteriorarse y no ser apropiado para la detección de algunas propiedades, especialmente, si se almacena durante largos períodos de tiempo a esta temperatura. Los ultra-congeladores deberían tener un sistema de aviso si la temperatura sube, debido a avería mecánica o a un fallo de energía. Es imprescindible un generador de emergencia junto con un espacio alternativo para el almacenamiento en frío por si hay que transferir los contenidos del congelador. El almacenamiento en disco de papel es un método simple y barato, pero sólo permite almacenar una pequeña cantidad de suero, y el suero eluido sólo es apropiado para un número

limitado de pruebas. Los discos deberán mantenerse en un lugar fresco y seco. Puede que proporcionen resultados satisfactorios durante 5 años. En general, se considera la liofilización como el mejor método para almacenamiento de sueros a largo plazo (National Veterinary Services Laboratories, 2006).

Preparación de muestras

El objetivo de la preparación de muestras es convertir la muestra primaria en una forma estable, uniforme, y que facilite la obtención de muestras representativas para el análisis. En general, las muestras pueden sufrir cambios en su composición como resultado de diferentes factores: a) pérdida selectiva de alguno de sus componentes, b) contaminación y c) reacciones químicas o físicas. Por lo tanto, la preparación de la muestra para análisis es tan importante como el muestreo (Pichard *et al.*, 1990).

La determinación cuantitativa del contenido de un mineral específico requiere de un buen procedimiento de muestreo, una adecuada identificación y preparación de la muestra, y la aplicación de técnicas analíticas apropiadas. Aunque el análisis sea exacto, los valores obtenidos no pueden ser mejores que la muestra recolectada. Entre los factores importantes en la recolección de muestras se incluyen el obtener una muestra representativa, evitar la contaminación e identificar la muestra en forma adecuada. Cada muestra debe relacionarse a un área específica, rancho o animal. Los problemas por contaminación siempre causan problemas y pueden ocurrir en cada paso, hasta que se ha completado el análisis. Recipientes sucios, instrumentos que no son de acero inoxidable y la exposición al aire son las principales fuentes de contaminación en muestras de tejido animal, mientras que la más importantes fuentes de contaminación en forrajes son el suelo, polvo atmosférico y el procedimiento de recolección y molienda (Álvarez, 2004).

Preparación de muestras de sangre

La recolección de suero es apropiada en aquellas áreas donde no se puede centrifugar y refrigerar la muestra dentro de las 24 horas después de su colección. En el caso de que las muestras se tomen con aguja, se recomienda el uso de agujas de tamaño 15 a 18 y tubos con capacidad de 20 ml. Los tubos al vacío (vacutainers), no se recomiendan para el análisis de zinc, pues los tapones de hule son fuente de contaminación, por lo cual el manejo de las muestras si se realiza en este tipo de tubos, deben manejarse cuidadosamente.

Se recolectan de 10 a 15 ml de sangre de cada animal, luego de obtenida la muestra, se permite que coagule, y tan pronto se forme suficiente suero, lo que generalmente toma de 8 a 10 horas, se transfiere el suero a otro tubo de ensaye. El suero se puede transferir utilizando pipetas tipo Pasteur con bulbo de goteo de 1 ml de volumen. Se debe tener cuidado al introducir la pipeta en el tubo de tal manera que no se aspire el coágulo o se dañe la membrana de células rojas. Para el análisis de macroelementos, se debe desproteinizar 1 ml de suero de acuerdo con la metodología descrita por Fick *et al.* (1979), tan pronto se disponga del material necesario.

Las muestras de suero que se toman en el campo deben conservarse frías en hielo o refrigeradas hasta que se lleven al laboratorio. Al realizar la colecta suero con color rosado indica hemólisis y no es adecuado para el análisis de minerales, pues los valores de magnesio y potasio pueden presentarse muy altos (Rósero, 1990).

La determinación de macro-minerales como se mencionó anteriormente se realiza con el suero desproteinizado. Mathews y Van Holde (1990) mencionan que el procedimiento para realizar la desproteinización es:

- a) Verter 9 ml de ácido tricloroacético (ATA) al 10% en un tubo de ensayo.
- b) Agitar la muestra y mediante el pipeteo añadir a los 9 ml de ATA 1 ml de suero o plasma.

- c) Mezclar por un minuto con agitador vortex. Dejar en reposo por lo menos 10 minutos y centrifugar por 10 minutos a 2500 rpm. Decantar el sobrenadante si se desea guardar por un periodo de tiempo prolongado.

El sobrenadante representa una dilución de 1:10 de la muestra original. Así mismo los estándares se deben diluir con ATA en la misma manera.

Fick *et al.* (1979) indican que una vez que el suero es desproteinizado se tienen que hacer preparaciones específicas para poder realizar la determinación de minerales:

Para determinar Ca y Mg se debe utilizar: 1 ml suero desproteinizado + 4 ml de cloruro de lantano al 1% (LaCl_3) = dilución 50

Para K utilizar: 1 ml de suero desproteinizado + 9 ml de agua destilada = dilución 100

Para Na utilizar: 1 ml de la dilución 100 + 9 ml de agua destilada = dilución 1000

Para Cu utilizar: 0.5 ml de suero puro + 0.5 ml agua destilada = dilución 2

Para Zn y Fe utilizar: 0.5 ml de suero puro + 2 ml agua destilada = dilución 5

Para la determinación de P en Suero, Alimento, Agua y Suelo:

- Colocar 1 ml de la primera dilución de cada muestra y agregar 7 ml de agua destilada + 7 ml de agua destilada + 1 ml de ácido molibdico + 1ml de reactivo ELON
- Una vez preparada la muestra se realiza la curva patrón y se realiza la lectura en el colorímetro

Para la determinación de microminerales Fick *et al.* (1979) indica que se pueden realizar lecturas directamente del suero, se pueden realizar diluciones cuando la concentración de microminerales es elevada o por la viscosidad del suero que puede obstruir el capilar del espectrofotómetro de absorción atómica.

Preparación de muestras de forraje y suelo

En general, las muestras de forraje y suelo deben tomarse dos veces al año (Fick *et al.*, 1979). El procedimiento de muestreo es de suma importancia para poder obtener muestras de gran valor representativo por lo que se sugiere observar cuidadosamente a los animales en pastoreo y coleccionar las muestras en los lugares donde ellos comen, simulando la forma de aprehensión del forraje con la mano, obteniendo partes de la planta que el animal consume durante el pastoreo (Morales *et al.* 2007). Al método descrito anteriormente se le conoce comúnmente como "Hand Plucking" (Wayne, 1964). Las muestras de suelo deben ser coleccionadas en el sitio de muestreo de forraje ya que la concentración de un elemento está relacionado con la cantidad en que ese nutriente se encuentre en el suelo (Care *et al.*, 1989).

El procedimiento de muestreo se refiere a seleccionar de cinco a diez sitios para colecta de muestras. Luego de realizar la colecta se combinan las muestras tomadas de diferentes sitios en una sola muestra (aproximadamente 500 g). Cuando existen diferencias específicas entre sitios de muestreo se deben realizar muestreos individuales para establecer el porcentaje de cada una de las especies principales.

El secado del forraje y suelo se recomienda hacerlo en un horno de aire forzado a una temperatura entre 45 y 60 grados centígrados. Se recomienda utilizar bolsas de tela en lugar de bolsas de papel. Una vez que las muestras se secan, se permite que lleguen a un equilibrio con la humedad ambiental por un periodo de 48 horas.

El siguiente paso en la preparación de las muestras para análisis es la molienda y el submuestreo, al moler la muestra de forraje se puede contaminar con ciertos minerales traza (cobre, manganeso, selenio y zinc). Las mejores formas de moler muestras de acuerdo con Rosero (1990) es con el uso de un molino limpio con cribas de acero inoxidable, la utilización de mortero y mango y el cortado fino del forraje con cuchillo o tijeras de acero inoxidable. Las muestras

secas se deben moler por primera vez a través de una criba de 4 mm (Rosero, 1990). Posterior a la primera molienda, Morales *et al.* (2007) indican que se debe realizar una segunda molienda, en la cual se utilizará una criba de 1 mm. Las muestras de suelo se tamizan con criba de 2 mm y posteriormente se pulverizan con un mortero de porcelana para obtener la forma requerida (Care *et al.*, 1989).

Existen diversos métodos para determinación de minerales en forraje y suelo, el más usado es la determinación utilizando el espectrofotómetro de absorción atómica y el método descrito por Fick *et al.* (1979).

Las muestras de forraje y suelo procesadas de acuerdo a la metodología descrita anteriormente (Fick *et al.*, 1979; Care *et al.*, 1989; Rosero, 1990; Morales *et al.*, 2007), son pesadas para la determinación de cenizas y quema de material orgánico. De acuerdo con Fick *et al.* (1979), se deben pesar cinco gramos de muestra en crisoles de porcelana y llevar a mufla para la obtención de ceniza. Posterior a este tratamiento se debe realizar el siguiente protocolo de preparación para la determinación de minerales:

- a) Se adicionan 20 ml de HCl al 50% (ácido clorhídrico) en vasos de precipitado que contengan las cenizas obtenidas en mufla.
- b) Los vasos deben ser colocados en campana de extracción y realizar un calentamiento de la mezcla por 10 minutos.
- c) Enfriar y filtrar para realizar diluciones.

Diluciones

El contenido de los vasos se debe aforar a 50 ml con agua destilada. A partir de este aforo se realizan diluciones para cada uno de los minerales, la dilución que se utiliza está en función de la concentración y del rango lineal al que llega la curva de calibración. Ejemplificando este procedimiento se toma de la dilución 50 un mililitro y se le adicionan nueve mililitros de agua destilada para obtener la dilución 500, de la dilución 500 se toma un mililitro y se adicionan

nueve mililitros de agua destilada para obtener la dilución 5000 y así sucesivamente hasta que se encuentre la concentración de los minerales de las muestras dentro del rango lineal de la curva de cada mineral. Estas diluciones son utilizadas para determinar la concentración de Cu, Fe, Mn, K y Na. Para las determinaciones de Ca y Mg se utiliza un mililitro de la dilución 500 y se le adicionan nueve mililitros de cloruro de lantano.

Preparación de muestras de agua

El procedimiento para la preparación de muestras de agua es uno de los procesos más sencillos ya que se únicamente se necesita filtrar el agua y a partir del agua filtrada se se realizan diluciones de acuerdo con la metodología indicada por Fick *et al.* (1979):

- Diluir 2 ml de agua filtrada. + 8 ml agua destilada (dilución 5)
- Posteriormente 1 ml de la solución anterior + 9 ml de agua destilada para Fe, Zn, Cu, Mn, Na y K
- Y para Ca y Mg diluir 1 ml de la dilución 5 + 9 ml de cloruro de lantano al 1% a dilución 50

Métodos para la determinación de minerales

Existen numerosos procedimientos y técnicas apropiadas para analizar minerales en diferentes tejidos vegetales y animales. El método de espectrofotometría de absorción atómica es el más utilizado en la determinación de la mayoría de los macrominerales y microminerales, y el procedimiento colorimétrico para el análisis de fósforo. Adicionalmente, se pueden utilizar métodos basados en el uso de la absorción atómica sin flama (horno de grafito), particularmente cuando se quieren analizar bajas concentraciones (ppb) (Fick *et al.*, 1979).

Los análisis en hueso, suero sanguíneo (o plasma) y preparaciones de biopsia de hígado, son más frecuentes en la determinación de deficiencias y

toxicidades minerales. Para una descripción detallada de las diferentes metodologías analíticas Rosero (1990) recomienda el manual "Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales" (Fick *et al.*, 1979).

2.3.3 Concentración mineral en agua

Los animales se ven afectados por el calor y la humedad prolongados, aumentando el consumo de agua y disminuyendo el consumo de alimento para poder regular su temperatura corporal, lo que lleva a efectos en cambios fisiológicos (Beatty *et al.*, 2006).

A pesar de que el agua normalmente no es una fuente importante de minerales, todos los elementos minerales esenciales, se encuentran en el agua hasta cierto nivel, donde pueden encontrarse cantidades significantes de sal (NaCl), y en menor grado calcio, azufre y magnesio. No obstante, en ocasiones el agua contiene elementos en concentraciones tóxicas (McDowell, 2005).

La concentración mineral en agua también influye en el comportamiento productivo del animal, existen máximos en las concentraciones minerales del agua ofrecida al ganado. En agua de pozos o acuíferos profundos se presentan problemas relacionados a las concentraciones de sulfato de sodio y sulfato de magnesio. Las altas concentraciones de azufre en forma de SO_4 tienen implicaciones en la utilización de la energía, interfieren en el estatus mineral del ganado y pueden ocasionar el desarrollo de poliencefalomalacia. Las guías a seguir para los límites máximos aceptables de SO_4 en el agua ofrecida al ganado están basadas exclusivamente sobre trabajos con NaSO_4 . Sin embargo, muchas fuentes de agua contienen grandes concentraciones de magnesio y de sodio. Los rumiantes tienen un reconocido apetito por el consumo de sodio y lo consumen en gran medida comparado con las sales disueltas de magnesio en donde hay mayor rechazo (Grout *et al.*, 2006). Dado que la variación en la concentración mineral en el agua ofrecida al ganado puede afectar la producción, es importante conocer la concentración mineral de las fuentes de agua para efficientizar la producción.

2.3.4 Concentración mineral en forraje

Primero tenemos un par de simples definiciones que pueden causar confusión, en el orden entre planta y forraje, ya que una planta está definida como el total del material vegetativo al que el animal tiene acceso y forraje esta definido como la vegetación que puede ser consumida por el animal (Church, 1980).

En muchas circunstancias, los animales obtienen una alta proporción de los minerales que necesitan de las semillas y los forrajes que ellos consumen. Por esta razón, los factores para determinar el contenido mineral en las partes vegetativas de las plantas y sus semillas, están básicamente determinando el consumo mineral de los animales (Underwood y Suttle, 1999). Soder y Stout (2003) coinciden con lo mencionado por Underwood y Suttle (1999), ya que al evaluar el aporte mineral del forraje al animal, concluyeron que el forraje consumido y la suplementación son la mejor estrategia para proporcionar los minerales a los animales en pastoreo.

La concentración de todos los minerales en semillas y forrajes depende básicamente de cuatro factores interdependientes: los genes o la variedad, el tipo de suelo sobre el crecimiento de la planta, el clima o las condiciones de la estación del año durante el crecimiento y el estado de madurez de la planta. Los factores anteriormente mencionados pueden afectar a la planta hasta cierto punto en la concentración de minerales, pero también pueden ser alterados por tratamientos impuestos por el ser humano para incrementar el rendimiento en semilla y forraje. Los tratamientos son el uso de fertilizantes, composición de suelo y agua para irrigación, e incluye la selección y cultivo de plantaciones con altos rendimientos, en los cuales puede haber diferencias en las concentraciones minerales debido a variedades de plantas y tipo de suelo. Compuestos inorgánicos de origen geológico o industrial son usados libremente y utilizados para suplir las deficiencias minerales en semillas y forrajes, especialmente en granjas modernas de alta productividad genética. Los suplementos alimenticios de origen animal como las harinas de carne y hueso y pescado, principalmente de industrias procesadoras tienen como función

principal suplir proteína, pero pueden ser fuentes adicionales de minerales. Sin embargo, los factores que gobiernan la composición mineral de las plantas, deben ser considerados en primer lugar (Underwood y Suttle, 1999).

Factores que afectan la absorción

La composición mineral del forraje depende de muchos factores, incluyendo las características del suelo (Brady, 1974), la fase del crecimiento de las plantas (Greene *et al.*, 1987), las condiciones climáticas, y prácticas de fertilización (Mayland *et al.*, 1990). Los suelos son diferentes con respecto a los minerales que se encuentran en la matriz de los mismos.

Los suelos arenosos permiten que los minerales se filtren con mayor facilidad que en suelos de arcilla pesada. La acidez del suelo también afecta la disponibilidad de minerales para la absorción por las raíces y la posterior translocación a los tejidos de las plantas. Dentro de los factores que pueden alterar la composición mineral del forraje, la fertilización es la práctica más importante. Sin embargo, desde el punto de vista económico, los forrajes deben ser fertilizados para satisfacer las características de crecimiento de la planta y posteriormente, cuando los minerales son deficientes, la administración de suplementos a los animales debe ser practicada.

Cualquier factor del medio ambiente (por ejemplo, las precipitaciones o la temperatura) puede afectar el crecimiento de las plantas, ya que se altera la capacidad de la planta para trasladar los minerales del suelo a los tejidos y, por consiguiente, se altera la composición mineral. Las concentraciones de microminerales en los forrajes a través de las estaciones del año, generalmente son menos variables que las concentraciones de macrominerales (Greene, 2000).

Estrategias para corregir concentraciones minerales en forrajes

El uso de los análisis de los forrajes se basa en la premisa de que la concentración de un elemento en la planta está directamente relacionada con la

cantidad en que ese nutriente se encuentra en el suelo. Pero a menudo, los análisis de forraje no son suficientes por si solos de suministrar toda la información y necesitan apoyos de otros diagnósticos. Aunque la composición de la planta está influida por la composición del suelo, la correcta interpretación del análisis de la planta proporciona información de los requerimientos de la planta y no del suelo, y viceversa. El análisis de forraje apoya a la información derivada del análisis del suelo y puede aumentar la lista de nutrientes que haya que estudiar de una manera más simple. Los análisis de suelo y de la planta suministran información diferente y debe complementarse para explicar y solucionar los problemas de la nutrición y de la fertilidad de los suelos (Álvarez, 2004).

La composición mineral de las plantas depende de muchos factores: de la planta o especie de que se trate, la edad y parte de la planta analizada, del clima y estación del año en que se realice el muestreo y de suministro de nutrientes del suelo. Además, la concentración de un elemento determinado está muy influida por el balance de los nutrientes: una cantidad muy abundante o muy pequeña de un determinado elemento puede influir en la concentración de otro nutriente. Esta variabilidad de la composición mineral, representa la mayor dificultad de interpretación de los análisis de forrajes. Sin embargo, el conocimiento de la composición mineral de la planta tiene diferentes y variadas aplicaciones. Entre ellas podemos destacar las siguientes:

- 1) Aplicaciones de diagnóstico: el objetivo es identificar las deficiencias, toxicidades o desequilibrios de los nutrientes.
- 2) Control de cultivos: los muestreos sistemáticos son necesarios para revisar el estado nutricional de los cultivos. Un muestreo local, por ejemplo, puede indicar el efecto que han tenido los programas de fertilización sobre la composición de las plantas, o permite detectar posibles deficiencias o tendencias subclínicas que no muestran sintomatología.

- 3) Predicción de los requerimientos de fertilizantes. El uso indiscriminado del análisis foliar con objeto de conocer el nivel de nutrientes aporta muy poca información. Sólo cuando los análisis de planta se desarrollan en conexión con tratamientos calibrados en ensayos de campo o laboratorio, se puede convertir en una herramienta útil.
- 4) Salud animal. Los análisis de planta ayudan a identificar deficiencias o excesos en la nutrición animal.

2.3.5 Concentración mineral en suelo

En regiones tropicales existe una lixiviación marcada y un desgaste en suelo bajo condiciones de alta temperatura y precipitación pluvial, haciéndolo deficiente en minerales para la planta. Muchas veces las condiciones de mal drenaje incrementan los elementos extraíbles (por ejemplo plomo, manganeso y cobalto), resultando en un incremento correspondiente en la absorción de la planta. A medida que el pH del suelo aumenta, la disponibilidad y la absorción del hierro, manganeso, zinc, cobre y cobalto por el forraje disminuye, mientras que las concentraciones de molibdeno y selenio en forraje aumentan (McDowell, 2005).

Soder y Stout (2003) encontraron resultados variables asociados con el tipo de suelo, la fertilidad y la concentración mineral en la plantas. En animales en pastoreo se puede presentar ingestión de suelo ya sea directamente o por contaminación de los forrajes, especialmente cuando la intensidad de pastoreo es alta o la disponibilidad de forraje es baja (Underwood y Suttle, 1999).

Con elementos como cobalto, flúor, yodo y selenio en suelo, resulta benéfica la ingestión de suelo, cuando la planta no puede aportarlo. En contraste, las concentraciones de hierro, molibdeno y zinc en suelo funcionan como antagonistas del cobre, por tanto la ingestión de suelo puede ser perjudicial (Underwood y Suttle, 1999).

2.3.6 Concentración mineral en suero sanguíneo

La deficiencia o exceso de un mineral en la ración, se refleja tarde o temprano, en concentraciones más bajas o más altas en algunos de los tejidos y fluidos del animal (Underwood y Suttle, 1999).

Cuando no existen observaciones clínicas y patológicas, es difícil establecer si existen desbalances minerales, por lo cual es apropiado realizar análisis bioquímicos de tejidos y fluidos del animal para hacer una detección temprana y poder hacer un diagnóstico diferencial para prevenir problemas futuros (Underwood y Suttle, 1999); El conocimiento del estado mineral de los animales puede prevenir dificultades relacionadas a los desbalances minerales, lo que se reflejaría en sistemas con una mayor eficiencia productiva y económica.

2.4 Métodos para la suplementación mineral

La viabilidad económica de alternativas tecnológicas de suplementación dependerá de la magnitud de la respuesta biológica en productividad y de las condiciones coyunturales de relaciones entre productos e insumos (Améndola *et al.*, 1999). Los costos de alimentación constituyen por lo regular el 60% de los costos de producción. Por esta razón, el aumento de la rentabilidad de las unidades de producción depende en gran medida de alternativas que permitan reducir los costos de alimentación; ésta realidad nos lleva a pensar que la baja eficiencia biológica del proceso de cría, obliga a un análisis cuidadoso de la viabilidad económica de opciones de mejoramiento nutricional (Améndola, 2006).

2.4.1 Métodos directos

El suministro directo de los minerales se puede realizar en el agua, en bloques minerales, mezclas e inyecciones.

- Agua: su uso es limitado debido a que se necesita que los animales tengan una sola fuente de agua para evitar la variación en las concentraciones minerales.
- Inyecciones: asegura que todos los animales reciban cantidades conocidas de minerales, pero esta limitado por el costo y solo es posible para algunos minerales (cobre, iodo, selenio).
- Suplementación mineral a voluntad: es el método más común y económico de suplementación mineral directa para el ganado en pastoreo.

Aún cuando los animales en pastoreo no satisfacen completamente sus necesidades minerales perfectamente al consumir una mezcla a voluntad, este tipo de suplementación es una de las más prácticas para satisfacer las necesidades minerales de los animales.

Investigaciones realizadas en regiones tropicales han señalado que la suplementación mineral puede resultar en aumento de 20 al 100% en tasas de natalidad, además de una reducción significativa de la mortalidad. Por otra parte el uso indiscriminado de las mezclas minerales frecuentemente conduce a un aumento en los costos de producción o causa interferencias en el uso de otros elementos provocando deficiencias en los animales (McDowell, 2005).

2.4.2 Métodos indirectos

Reyes y Ara (1999) indican que los métodos indirectos consisten en el suministro de minerales al ganado en pastoreo mediante el uso de fertilizantes que contengan minerales deseables o que alteren el pH del suelo de forma que ayude al crecimiento del forraje. Sin embargo, este método tiene problemas debido a que se presentan problemas complejos como la interrelación suelo-planta-mineral. Por ejemplo, la fertilización con fósforo y selenio en suelos

altamente acidificados tienen un valor marginal debido a la baja absorción de estos minerales por la planta.

- Encalado: consiste en el uso de productos que aportan calcio para contrarrestar la acidez del suelo. Las ventajas de este procedimiento es que eleva la absorción de minerales como el fósforo y otros que son retenidos en suelos ácidos; mejora el agregado de las partículas de suelo existiendo así mejor aereación y se intensifica la actividad microbiana.
- Fertilización: Un fertilizante es un compuesto químico que contiene diferentes elementos que sirven para mejorar la fertilidad del suelo y que son necesarios para la adecuada nutrición de la planta. Los suelos de las zonas tropicales se caracterizan por ser suelos ácidos, deficientes en fósforo y nitrógeno, de manera que los pastos pueden ser deficientes en estos compuestos. Existen diversos tipos de fertilizantes según la especie o asociación del forraje a cultivarse en base a los análisis previos del suelo.

Reyes y Ara (1999) evaluaron la tasa óptima de siembra y nivel de fertilización de *Centrocema macrocarpum*. Los resultados indicaron que niveles de 40 kg/ha de fósforo y tasas de siembra de 10 kg/ha de semilla permiten obtener los más altos rendimientos de biomasa. Underwood y Suttle (1999) demostraron que la fertilización con superfosfato no solo incrementa el fósforo del forraje, si no que también mejora la palatabilidad y la digestibilidad. Sin embargo, la dosis de fertilización asegurará un adecuado crecimiento de la planta, lo que significa que el forraje llegue a cubrir los requerimientos del animal.

2.4.3 Suplementación mineral a voluntad

La formulación de estrategias de suplementación mineral a voluntad puede ser compleja debido a las diferencias en la disponibilidad de minerales en el forraje, las interacciones entre los minerales, y la dificultad en la evaluación de los niveles minerales en los animales. Idealmente, la suplementación mineral a libre acceso debe mostrar cambios en la producción animal, pero esto no es práctico

de un punto de vista de gestión forrajera. La forma más fácil de suplementación a libre acceso de minerales es la oferta del mismo suplemento durante todo el año en todas las etapas de ganado en pastoreo, pero esta suplementación no es efectiva cuando se trata de satisfacer las necesidades minerales del ganado en pastoreo en etapas de producción concretas.

Los proveedores comerciales de suplementos se han enfocado a formular suplementos minerales para satisfacer los requisitos del hato para áreas geográficas específicas para cumplir con el 100% de los requisitos, lamentablemente muchas veces los requisitos minerales se encuentran por abajo o por encima de la media. Debido a que muchas ocasiones los suplementos minerales no funcionan para otras áreas geográficas, las casas comerciales proporcionan el servicio a los cliente modificando su paquete base de minerales para adaptarlas a las necesidades específicas del hato. Greene (2000) indica que, debido a lo anterior, los productores deben de contar con la asesoría de un nutricionista para la formulación de suplementos que satisfagan las necesidades de producción en diferentes épocas del año y por etapa fisiológica del animal.

2.5 Recomendaciones en la suplementación mineral

Belmar y Sandoval (2003) definieron que la condición corporal y el estado productivo permiten establecer cuando y a quien suplementar, por lo que definieron las siguientes estrategias de manejo para suplementación para animales en pastoreo:

- Manejar y establecer épocas de empadre para hacer coincidir los periodos de mayor demanda con aquellos de disponibilidad de alimentos.
- No manejar las vacas como un solo grupo, por lo que, deberán formarse lotes por estado reproductivo y por condición corporal.
- Proporcionar suplementos, especialmente durante la época de secas, a aquellos animales que se encuentren en la menor condición corporal

(suplementación estratégica), dando prioridad a los animales en el último tercio de gestación y recién paridos.

- Proporcionar minerales a libre acceso para evitar deficiencias.
- Las cantidades de suplementos deberán de ajustarse de acuerdo con la severidad de cada caso.

Aunque no existe una receta que indique cuándo, cuánto y con qué suplementar, muchas veces el ganadero reconoce la necesidad de realizar suplementación mineral y se recurre a la suplementación sin conocer en realidad cuales son las necesidades de su sistema de producción (McDowell *et al.*, 1982). Cada sistema de producción presenta características que lo hacen único, como son: tipo de animales, disponibilidad de alimentos, instalaciones, manejo del hato, mano de obra. Todos y cada uno de ellos influirán en la toma de decisiones sobre la forma correcta de suplementar. Adicionalmente, el suplementar a un animal puede tener varios objetivos:

- Cubrir las demandas de nutrimentos cuando éstos no se encuentran disponibles para el animal (sequía o altas cargas animales).
- Proporcionar al animal aquellos nutrimentos que no se encuentran presentes en la dieta en las concentraciones deseadas (deficiencias). Por ejemplo, minerales y proteína en forrajes maduros o la energía de los forrajes que no alcanza a cubrir las necesidades que necesita una vaca lactante.
- Corregir problemas debidos a desbalances en la concentración de elementos en la ración (excesos de algún elemento). Por ejemplo excesos de calcio limitan el uso de fósforo, por lo que deberá de ser adicionado.
- Satisfacer las necesidades del animal para que exprese su potencial de crecimiento.

Es importante mencionar que en el caso que la dieta base no se encuentre en cantidades suficientes para llenar el rumen, el suplemento siempre tendrá un efecto sustitutivo de reemplazo (Belmar y Sandoval, 2003). Al sustituir un alimento de bajo costo (forraje de pastoreo) por uno de mayor costo (concentrado), el costo de alimentación se incrementa, no obstante, aumenta el ingreso, la magnitud del efecto dependerá de la naturaleza de la dieta base y del suplemento. Los concentrados serán consumidos con preferencia sobre los alimentos fibrosos de la dieta base (pasto). A mayor cantidad de suplemento, menor consumo de la dieta base; debido al efecto sustitutivo en muchos sistemas se considera que la respuesta a la suplementación es baja a nivel individual, pero si se le considera por unidad de área resulta atractiva (Améndola, 2006). Si el forraje no es suficiente para todos los animales existentes, ésta es una manera de controlar el consumo del mismo. Sin embargo, bajo condiciones normales, el reemplazo de una elevada proporción de forraje por alimentos concentrados significa aumentos en los costos de alimentación.

Pequeñas cantidades de suplementos (menos de 1 kg) generalmente tienen un efecto de sustitución, pero repercuten favorablemente en el consumo de dietas fibrosas. Este efecto se logra gracias a que el concentrado ayuda a establecer mejores condiciones ruminales que favorecen el crecimiento y actividad microbiana, lo que a su vez aumenta la tasa de digestión del componente de la dieta basal, facilitando así un mayor consumo. Ejemplo de este efecto es el uso de bloques de melaza-urea, o pequeñas cantidades de urea-melaza o pollinaza-melaza en la época seca (Belmar y Sandoval, 2003).

2.6 Literatura citada

- Álvarez C., J. L. 2004. Bioquímica Nutricional y Metabólica del Bovino en el Trópico. Editorial Universidad de Antioquía. Medellín, Colombia. 189 p.
- Améndola M., R., y C. Sánchez del R. 1999. Suplementación en sistemas intensivos. *In*: Memorias II seminario internacional; Estrategias de suplementación de bovinos en pastoreo. Departamento de Zootecnia (ed.). Chapingo, México. 28 y 29 de octubre. pp: 108-134.
- Améndola M., R. 2006. Pastoreo de ovinos en praderas templadas de México. La Revista del Borrego. Año 7 No. 39 Marzo-Abril de 2006. p 14.
- Ammerman, C. B., S. M. Miller, K. R. Fick, and S. L. Hansard. 1977. Contaminating elements in mineral supplements and their potential toxicity: a review. *Journal of Animal Science*. 44: 485-508.
- Ammerman, C. B. 1987. Assessment of mineral status in domestic animals: introductory remarks. *Journal of Animal Science*. 65: 1700-1701.
- Asquith, R. L., and E. A. Ott. 1989. The influence of mineral supplementation on growth and skeletal development of yearling horses. *Journal of Animal Science* 67: 2831-2840.
- Bailey, J. D., R. P. Ansotegui, J. A. Paterson, C. K. Swenson, and A. B. Johnson. 2001. Effects of supplementing combinations of inorganic and complexed copper on performance and liver mineral status of beef heifers consuming antagonists. *Journal of Animal Science* 79: 2926-2934.
- Beatty, D. T., A. Barnes, E. Taylor, D. Pethick, M. McCarthy, and K. S. Maloney. 2006. Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *Journal of Animal Science* 84: 972-985.
- Belmar C., R., y A. Sandoval C. 2003. Principios para la Alimentación de Rumiantes. Publicado por Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán, México. 78 p.
- Brady, N. C. 1974. The nature and properties of soils. 8th ed. McMillan Publishing Co. New York, USA. Technical Bulletin No. 856. pp: 29-31.
- Canadian Food Inspection Agency. 2002. Veterinay Biologics Memorandum. Canada. <http://www.inspection.gc.ca/english/anima/vetbio/memavi/vb200201e.shtml>. Consultada el 15 de febrero de 2009.
- Care, F. J., J. Bole, and T. Entz. 1989. Relative efficiency of fertilizer N and soil nitrate at various depths for the production of soft wheat. *Canadian Journal of Soil Science* 69: 867-874.
- Church, D. C. 1980. Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants. Volume 3-Practical nutrition. 2ⁿ edition. By D.C. Church. Corvallis, Oregon, USA. 416 p.

- Fick, K. R., L. R. McDowell, H. P. Miles, S. N. Wilkinson, D. J. Funnk, H. J. Conrad, and R. Valdivia. 1979. Métodos de análisis para tejidos de plantas y animales. Segunda edición. Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA. 358 p.
- Fieser, B. G., G. W. Horn, and J. T. Edwards. 2007. Effects of energy, mineral supplementation, or both, in combination with monensin on performance of steers grazing winter wheat pasture. *Journal of Animal Science* 85: 3470-3480.
- Gelderman, R. W., W. R. Dahnke, and L. Swenson. 1988. Correlation of several soil N indices for wheat. *Soil Science Plant Analysis* 19(6): 755-772.
- Greene, L. W., W. E. Pinchak, and R. K. Heitschmidt. 1987. Seasonal dynamics of minerals in forages at the Texas Experimental Ranch. *Journal of Range Management* 40: 502-506.
- Greene, L. W. 2000. Designing mineral supplementation of forage programs for beef cattle. *Journal of Animal Science* 77: 1-9.
- Grings, E. E., J. B. Hall, R. A. Bellows, R. E. Short, S. E. Bellows, and R. B. Staigmiller. 1998. Effect of nutritional management, trace mineral supplementation, and norgestomet implant on attainment of puberty in beef heifers. *Journal of Animal Science* 76: 2177-2181.
- Grout, A. S., M. D. Veira, M. D. Weary, G. M. von Keyserlingk, and D. Fraser. 2006. Differential effects of sodium and magnesium sulfate on water consumption by beef cattle. *Journal of Animal Science* 84: 1252-1258.
- Harrington, D. D., J. Walsh, and V. White. 1973. Clinical and pathological findings in the horses fed zinc-deficient diets. *In: Proceedings 3rd Equine Nutrition and Physiology Symposium*. Gainesville, Florida. p 51.
- Hess, B. W., J. E. Lake, E. Scholljegerdes, R. T. Weston, V. Nayigihugo, D. C. J. Molle, and E. G. Moss. 2005. Nutritional controls of beef cow reproduction. *Journal of Animal Science* 83: E90-E106.
- Hodgson, J. M. 1987. Soil sampling and soil description. Ed. Reverté. Oxford, Clarendon, UK. 255 p.
- Huerta B., M. 1999. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. *In: Memorias II Seminario Internacional; Estrategias de suplementación de bovinos en pastoreo*. Departamento de Zootecnia (ed.). Chapingo, México. 28 y 29 de octubre. pp: 153-184.
- Juniper, D. T., R. H. Phipps, D. I. Givens, A. K. Jones, C. Green, and G. Bertin. 2008. Tolerance of ruminant animals to high dose in-feed administration of selenium-enriched yeast. *Journal of Animal Science* 86: 197-204.
- Kincaid, R. L. 2000. Assessment of trace mineral status of ruminants: a review. *Journal of Animal Science* 77: 1-w-10-w.
- Livas C., F. 2007. Experiencias en producción de carne bovina bajo pastoreo. Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Ganadería Tropical

(CEIEGT), FMVZ-UNAM. Martínez de la Torre, Ver. Bovinotécnica, Boletín Técnico 14: 1-8.

- Marinkelle C., J., N. De Sánchez, M. Grogl, y F. Guhl. 1978. Recomendaciones para el almacenamiento de sueros absorbidos en papel filtro bajo condiciones rurales, para el diagnóstico de infección Chagásica con la prueba de inmunofluorescencia. *Revista Institucional: Medicina Tropical*. Sao Paulo 20 (2): 112-114.
- Martínez C., E. 2006. Diagnóstico y suplementación mineral de ganado bovino en condiciones tropicales. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 102 p.
- Mathews, C. K., and K. E. Van Holde. 1990. *Biochemistry*. Benjamin/Cummings Pub. Co. University of Michigan. Michigan, USA. 1129 p.
- Mayland, H. F., L. W. Greene, D. L. Robinson, and S. R. Wilkinson. 1990. Grass tetany: a review of Mg in the soil-plant-animal continuum. *In: Proceedings Pacific Northwest. Animal Nutrition Conference*. Vancouver, Canada. pp: 29-41.
- McDowell, L. R., B. Bauer, E. Galdo, M. Koger, K. J. Loosli, and H. J. Conrad. 1982. Mineral supplementation of beef cattle in the Bolivian tropics. *Journal of Animal Science* 55: 964-970.
- McDowell, L. R., H. J. Conrad, L. G. Ellis, y K. J. Loosli. 1984. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Universidad de Florida y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. USA. pp: 1-49.
- McDowell, L. R. 2005. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Cuarta edición. Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA. 94 p.
- Mills, C. F. 1987. Biochemical and physiological indicators of mineral status in animals: copper, cobalt and zinc. *Journal of Animal Science* 65: 1702-1711.
- Morales A., E., I. Domínguez V., M. González R., G. Jaramillo E., O. Castelán O., N. Pescador S., y M. Huerta B. 2007. Diagnóstico mineral en forraje y suero sanguíneo de bovinos lecheros en dos épocas en el valle central de México. *Técnica Pecuaria México* 45(3): 329-344.
- National Veterinary Services Laboratories. 2006. Procedures for collection and submission of specimens. National Veterinary Services Laboratories. Ames, Iowa, USA. <http://www.aphis.usda.gov/vs/nvsl/html/shipping.html>. Consultada el 3 de febrero de 2009.
- NRC. 1980. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*: Fifth edition. National Academy Press. Washington, D. C., USA. 108 p.
- NRC. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*: Seventh revised edition. National Academy Press. Washington, D. C., USA. p 54.

- NRC. 2005. Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition. National Academy Press. Washington, D. C., USA. 510 p.
- OIE. 2007. Manual de la OIE sobre animales terrestres. Métodos de muestreo en animales terrestres. Organización Mundial de Sanidad Animal. http://bie.int/esp/normes/mmmanual/pdf/es/1.1.01_muestreo_2007.pdf. Consultada el 14 de Diciembre de 2008.
- Olson, K. C. 2005. Range management for efficient reproduction. Journal of Animal Science 83: E107-E116.
- Patterson, D. J., R. C. Perry, G. H. Kiracofe, R. A. Bellows, R. B. Staigmiller, and L. R. Corah. 1992. Management considerations in heifer development and puberty. Journal of Animal Science 70: 4018-4035.
- Phipps, R. H., D. J. Sutton, and A. B. Jones. 1995. Forages mixtures for dairy cows. Journal of Animal Science 61: 491-496.
- Pichard G., M. Kass, O. Felix, y O. Rosero. 1990. Recomendaciones sobre muestreo y análisis químico. In: Guía metodológica de investigación. Ruíz M. E. y Ruíz A. (eds.). Publicado por IICA. San José, Costa Rica. pp: 59-78.
- Ramos O., R., R. Sepúlveda M., y F. Villalobos M. 2003. El Agua en el Medio Ambiente. Muestreo y Análisis. Edit. Plaza y Valdes. Universidad Autónoma de Baja California. 189 p.
- Reyes A., C., y M. Ara. 1999. Tasas de siembra y fertilización con P para el establecimiento de *Centrosema macrocarpum* en Pucallpa. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. 10: 1.
- Rojas M., A., I. A. Dyer, and W. A. Cassatt. 1965. Manganese deficiency in the bovine. Journal of Animal Science 24: 664-667.
- Romero T., E. M. 2006. Indicadores del estatus nutricional a través del año en un hato de vacas de doble propósito en el Norte de Veracruz. In: Memorias, XXIV Reunión anual de la Asociación Mexicana de Producción Animal y X Reunión bienal de Grupo Norte Mexicano de Nutrición Animal, Revista bimestral científica de la Universidad Autónoma de Sinaloa (ed.). Mazatlán Sinaloa, México. p 77.
- Rosero, O. 1990. Metodología de investigación en nutrición mineral de rumiantes. In: Guía metodológica de investigación. Ruíz M. E. y Ruíz A. (eds.). Publicado por IICA. San José, Costa Rica. pp: 33-48.
- Santiago V., M. A., y D. Gerardo C. 1996. Estado mineral de ganado bovino y zacates estrella y guinea en Tepetzintla, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. p 22.
- Saxena, M. S., S. K. Gupta, and S. N. Maurya. 1991. Plasma levels of macro and micro-elements in relation to occurrence of pubertal estrum in crossbred heifers. Indian Journal of Animal Nutrition 8: 265-268.

- Shelton, H. M., B. J. Lowry, C. R. Gutteridge, A. R. Bray, and H. J. Wildin. 1991. Sustaining productive pastures in the tropics. 7. Tree and shrub legumes in improved pastures. *Tropical Grasslands* 25: 119-128.
- Shelton, J. L., L. L. Southern, F. M. LeMieux, T. D. Bidner, and T. G. Page. 2004. Effects of microbial phytase, low calcium and phosphorus, and removing the dietary trace mineral premix on carcass traits, pork quality, plasma metabolites, and tissue mineral content in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 82: 2630-2639.
- SIAP-SAGARPA. 2008. Estudios de situación actual y perspectivas dela producción de carne de bovino en México. http://www.campomexicano.gob.mx/portal_sispro?index.php?portal=carn_ebovino. Consultada el 15 de Noviembre de 2008.
- Small, J. A., V. E. Charmley, A. Rodd, and A. H. Fredeen. 1997. Serum mineral concentrations in relation to estrus and conception in beef heifers and cows fed conserved forage. *Canadian Journal of Animal Science* 77: 55-62.
- Soder, K. J., and L. W. Stout. 2003. Effect of soil type and fertilization level on mineral concentration of pasture relationship to ruminant performance and health. *Journal of Animal Science* 81: 1603-1610.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 1999. The mineral nutrition of livestock. 3rd edition. CABI Publishing. New York, NY, USA. 614 p.
- Wayne, C. C. 1964. Collecting forages samples representative of ingested material of grazing animals for nutritional studies. *Journal of Animal Science* 23: 265-270.
- Wilkins, R. J. 2000. Forages and their role in animal systems. *In: Forage evaluation in ruminant nutrition*. Givens D., I., E. Owen and R. Axford F. (eds.). CABI Publisher. Wallingford, UK. pp: 1-14.

3 DIAGNÓSTICO DEL ESTADO MINERAL DE BOVINOS PASTOREANDO EN LA REGIÓN HUASTECA – JULIO 2007

3.1 Resumen

El estudio se realizó para determinar el estado mineral de vacas lactantes y sus crías, en cinco ranchos de bovinos para carne de la zona norte del estado de Veracruz y sur de Tamaulipas. En cada rancho se muestreó agua, suelo, forraje y suero sanguíneo. En las muestras de suero sanguíneo, agua, suelo y forraje se determinaron los contenidos de calcio, fósforo, potasio, sodio, magnesio, cobre, zinc, hierro y selenio; en las muestras de agua, suelo y forraje se determinó adicionalmente la concentración de manganeso. El contenido mineral en suero sanguíneo fue analizado con un modelo que incluyó los efectos fijos de rancho, tipo de animal y su interacción. Para la concentración de minerales en suero, agua y suelo, el modelo sólo incluyó el efecto fijo de rancho. La interacción rancho por tipo de animal fue importante ($p \leq 0.05$) para fósforo, calcio, potasio, cobre, hierro, selenio, la relación calcio:fósforo y la relación sodio:potasio, no así para magnesio, sodio y zinc. Las concentraciones de calcio, magnesio y potasio en los forrajes fueron similares ($p > 0.05$) entre los ranchos, no así para cobre, hierro, manganeso, zinc, selenio, sodio y fósforo. Las vacas y los becerros fueron deficientes en cobre y zinc debido a bajas concentraciones de estos elementos en suelo, agua y forraje. Adicionalmente en cuatro ranchos se encontraron concentraciones de hierro en forraje superiores a 400 ppm, que podrían interferir con el metabolismo del cobre. Aún cuando el selenio fue deficiente en suelo y forraje de todos los ranchos, en el ganado los problemas fueron mínimos debido al alto contenido de selenio en agua.

Palabras clave: diagnóstico mineral, pastos tropicales, bovinos para carne.

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Pedro Ramos Mondragón
Director de Tesis: Ph.D. Maximino Huerta Bravo

MINERAL STATUS OF GRAZING BEEF CATTLE IN THE HUASTECA REGION – JULY 2007

3.2 Abstract

The study was conducted to determine the mineral status of cows and their calves in five beef cattle farms in the northern area of Veracruz and south of Tamaulipas states. Samples of water, soil, pasture, and blood serum of cows and calves were taken in each farm. Determinations of calcium, phosphorus, potassium, sodium, magnesium, copper, zinc, iron, and selenium were performed in all samples. Additionally, manganese was measured in water, soil, and pasture samples. The mineral content in blood serum was analyzed with a model that included the fixed effects of ranch, animal type, and their interaction. For the concentration of minerals in serum, water, and soil, the model only included the fixed effect of ranch. The interaction ranch x animal type was important ($p \leq 0.05$) for phosphorus, calcium, potassium, copper, iron, selenium, and calcium:phosphorus and sodium:potassium ratios. Magnesium, sodium, and zinc were not affected. The concentrations of calcium, magnesium, and potassium in the pasture were similar ($p \leq 0.05$) among farms, but not for copper, iron, manganese, zinc, selenium, sodium, and phosphorus. The cows and calves were deficient in copper and zinc due to low concentrations of these elements in soil, water, and pasture. Four farms had iron concentrations in pasture above 400 mg/kg, which could interfere with the copper metabolism. Even though selenium was deficient in soils and pastures of all farms, water was rich in this element and there were few problems in cattle.

Key Words: mineral status, tropical pasture, beef cattle

3.3 Introducción

A pesar de la gran variabilidad de los recursos forrajeros la ganadería de los trópicos latinoamericanos enfrenta agudos problemas relacionados con la cantidad, calidad y productividad de las pasturas, en particular durante los periodos secos. Este es un problema que obedece primordialmente a que una gran parte de los forrajes disponibles está conformada por pasturas nativas, adaptadas pero de baja productividad, y por especies introducidas de altos rendimientos pero con praderas altamente degradadas (Romero, 2006).

Lo anterior se relaciona con la explotación continua de la tierra y la escasa fertilización de los suelos, tanto en cantidad de fertilizantes como en variedad de nutrimentos, ocasionando el bajo desempeño productivo, reproductivo e inmunológico; así como el estado nutricional de los animales que los consumen (Olson, 2005).

La producción de forraje es fundamental en la industria de bovinos para carne, en la cual 85% de su dieta es derivada del forraje, y el 15% restante es derivado de suplementos o dietas concentradas (Greene, 2000). Aún cuando el ganado se adapta a la alimentación con variedades forrajeras de mayor calidad, la alimentación exclusiva con forrajes no provee un alimento completo para el ganado, por lo que, la suplementación mineral se hace necesaria (Greene *et al.*, 1987).

En México se han detectado problemas relacionados con deficiencias de minerales en bovinos alimentados en pastoreo, que pueden limitar la producción animal (Santiago y Gerardo, 1996).

Una nutrición adecuada de los bovinos depende de los nutrimentos en forraje, agua, suelo y suplementos; por lo que, es necesario conocer el estado mineral del ganado, que permita implementar medidas para la corrección de las deficiencias minerales en condiciones específicas; ya que las deficiencias y toxicidades minerales en los animales en pastoreo pueden ser predichas por

medio de una técnica de estudio sistemático de mapeo o por el reconocimiento regional (McDowell, 2005).

La región Huasteca Alta es una zona ganadera de importancia de los estados de Veracruz y Tamaulipas; la actividad económica principal es el sector primario con una proporción del 73%, proveniente en su mayor parte de la ganadería de doble propósito la cual ocupa 495,557 ha y se conforma de 234,500 cabezas (Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal, 2005). A pesar de la importancia económica y productiva de la zona, el estado mineral del ganado es un tema poco explorado, por lo que se propuso diagnosticar el estado mineral para permitir implementar medidas para la corrección de las deficiencias minerales en condiciones específicas.

3.4 Materiales y Métodos

El estudio se realizó con muestras obtenidas en cinco ranchos productores de becerros, cuatro ubicados en el estado de Veracruz y uno en Tamaulipas. Los ranchos en Veracruz fueron: Maguey (Rancho 1) municipio de Pánuco, Isla (Rancho 2) y El Rosario (Rancho 3) municipio de Ozuluama, y 4 Hermanos (Rancho 4) municipio de Tampico Alto. El de Tamaulipas fue el Tancusay (Rancho 5) municipio de Altamira.

3.4.1 Protocolo de muestreo

Muestreo de forraje

Las muestras de los forrajes presentes en cada rancho se obtuvieron por el método de simulación del pastoreo, para ello se dio seguimiento a los animales cuando pastoreaban en las primeras horas de la mañana (7:00 h); en cada rancho la superficie de pastoreo se dividió en cinco áreas con una muestra de forraje por área, para dar un total de 25 muestras.

Muestreo de suelo

Las muestras de suelo provinieron de las mismas áreas de donde se obtuvieron las de forraje, en cada área se tomaron cinco muestras de los primeros 15 cm del perfil, estas muestras se mezclaron para formar una sola por área, para dar un total de 25 muestras y en cada una de ellas se midió el pH.

Muestreo de agua

Para cada rancho se identificó la principal fuente de agua de bebida para el ganado, del agua presente en esta fuente se tomaron tres muestras de 500 ml cada una, en total se colectaron 15 muestras de agua de bebida.

Muestreo de sangre

En cada rancho se seleccionaron al azar 10 vacas entre tres y 90 días post-parto y sus crías. A estos animales se les extrajo por punción de la vena yugular 10 ml de sangre colectados en tubo de ensaye con vacío sin anticoagulante, los tubos con sangre se centrifugaron a 3000 rpm durante 15 min para separar el suero que fue conservado por congelación en tubos de ensaye de 10 ml, se obtuvo un total de 100 muestras de sangre.

3.4.2 Concentraciones de minerales

En todas las muestras se determinaron los contenidos de calcio, fósforo, potasio, sodio, magnesio, cobre, zinc, hierro y selenio, el de manganeso se determinó en agua, suelo y forraje.

La concentración de selenio se obtuvo por el método fluorométrico (AOAC, 1994) usando un espectrómetro de luminiscencia modelo LS30 (Perkin Elmer), la de fósforo por colorimetría según Fick *et al.* (1979) usando un espectrómetro UV/VIS modelo Lambda 2 (Perkin Elmer), las de los otros minerales fueron por espectrofotometría de absorción atómica, con un espectrofotómetro de absorción atómica modelo AAnalyst 700 (Perkin Elmer) de acuerdo con el método descrito por Fick *et al.* (1979).

3.4.3 Análisis estadístico

Las variables de respuesta fueron las concentraciones de los minerales; el análisis estadístico fue por análisis de varianza y comparación de medias por Tukey con $\alpha=0.05$, los cálculos respectivos fueron con el procedimiento GLM de SAS (2004).

Las concentraciones de minerales en forrajes, suelo y agua de los cinco ranchos se analizaron con un modelo completamente al azar según se describe a continuación:

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

donde:

Y_{ij} = concentración de mineral en forraje, suelo o agua

μ = media poblacional

R_i = efecto de el i-ésimo rancho ($i= 1, 2, \dots, 5$)

E_{ij} = error aleatorio $\sim \text{NIID}(0, \sigma_e^2)$ en el i-ésimo rancho y j-ésima repetición

La concentración de cada mineral en suero sanguíneo se analizó con el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + E_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = concentración del mineral en suero sanguíneo

μ = media general

A_i = efecto del i-ésimo tipo de animal (1=vacas en lactancia, 2=becerros en lactancia)

B_j = efecto fijo del j-ésimo rancho (1, 2, 3, ..., 5)

AB_{ij} = efecto fijo de la interacción clase de animal-rancho

E_{ijk} = error aleatorio $\sim \text{NIID}(0, \sigma_e^2)$ en el i-ésimo rancho, j-ésima repetición y k-ésimo tipo de animal.

3.5 Resultados y Discusión

3.5.1 Concentración mineral en el agua de bebida

Las concentraciones de los minerales determinados en el agua de bebida se presentan en el Cuadro 5. Las concentraciones de calcio, zinc y selenio no fueron diferentes ($p > 0.05$) entre ranchos. Sin embargo, las concentraciones de fósforo, magnesio, potasio, sodio, hierro y manganeso sí lo fueron ($p \leq 0.05$).

En los cinco ranchos el agua de bebida mostró concentraciones por arriba del nivel máximo tolerable de fósforo (Puls, 1994). Sin embargo, el aporte vía agua es mínimo en relación con los requerimientos del animal.

En los cinco ranchos los niveles de calcio, magnesio, sodio, potasio, zinc y selenio en el agua de bebida se encuentran por debajo del nivel máximo tolerable (Puls, 1994; NRC, 2005). Sin embargo, las aguas de los ranchos 2 y 5 tienen exceso de hierro y manganeso.

Cuadro 5. Concentración mineral en agua de bebida para el ganado (medias de cuadrados mínimos) y significancia de las diferencias de cinco ranchos de la región Huasteca Alta.

Mineral	Rancho ^z					EEM ^y	Pr>F	Nivel máximo tolerable ^x
	1	2	3	4	5			
Ca, mg L ⁻¹	48 ^a	55 ^a	34 ^a	28 ^a	56 ^a	9	0.133	<1000
P, mg L ⁻¹	5.44 ^c	15.72 ^a	7.91 ^{bc}	10.51 ^b	155 ^a	0.7	<0.0001	<0.7
Mg, mg L ⁻¹	6.31 ^a	7.24 ^a	4.12 ^b	2.83 ^b	4.23 ^b	0.4	<0.0001	<1000
Na, mg L ⁻¹	9.15 ^c	9.95 ^{abc}	13.52 ^{ab}	13.71 ^a	9.42 ^{bc}	0.9	0.005	<800
K, mg L ⁻¹	1.52 ^{bc}	1.21 ^c	2.35 ^{abc}	2.82 ^{ab}	3.73 ^a	0.4	0.001	<20
Zn, mg L ⁻¹	0.02 ^a	0.02 ^a	0.02 ^a	0.02 ^a	0.02 ^a	0.0	0.193	<25
Fe, mg L ⁻¹	ND	0.30 ^b	ND	ND	0.65 ^a	0.0	.0015	<0.3
Mn, mg L ⁻¹	0.04 ^b	0.30 ^{ab}	0.04 ^b	0.11 ^{ab}	0.39 ^a	0.1	0.013	<0.05
Se, ng L ⁻¹	1.81 ^a	1.72 ^a	1.91 ^a	1.84 ^a	1.23 ^a	0.2	0.120	<50

^z Medias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^y EEM= Error estándar de la media.

^x Nivel máximo tolerable de minerales en agua (Puls, 1994; NRC, 2005).

ND= no detectable en el espectrofotómetro de absorción atómica utilizado

3.5.2 Concentración mineral en suelo

En el Cuadro 6 se indican las concentraciones minerales y pH del suelo. Hubo efecto de rancho ($p \leq 0.05$) en las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, potasio, zinc, hierro y manganeso, y pH. Sin embargo, las concentraciones de sodio, cobre, y selenio fueron similares ($p > 0.05$) entre los ranchos. Las concentraciones de calcio y sodio en los suelos de todos los ranchos se encuentran dentro de los niveles considerados adecuados para los forrajes (McDowell, 1985; Castellanos *et al.*, 2000). En cambio, las concentraciones de

fósforo, magnesio, zinc, cobre y selenio son bajas en los suelos de todos los ranchos (NRC, 1983; Shorrocks y Alloway, 1986; Whitehead, 2000; Castellanos *et al.*, 2000; Alloway, 2008). Las concentraciones de potasio, hierro y manganeso podrían limitar el crecimiento de los forrajes en la mayoría de los ranchos (Castellanos *et al.*, 2000; Shorrocks y Alloway, 1986).

Cuadro 6. Concentración mineral y pH en suelo (medias de cuadrados mínimos) y significancia de las diferencias de cinco ranchos de la región Huasteca Alta.

Mineral	Rancho ^z					EEM ^y	Pr>F	Nivel crítico ^x
	1	2	3	4	5			
	mg kg ⁻¹							
Ca	573 ^a	259 ^c	555 ^a	579 ^a	386 ^b	25	<0.0001	70
P	6.4 ^b	1.9 ^d	4.1 ^c	5.6 ^{bc}	21 ^a	0.40	<0.0001	25
Mg	138 ^a	44.7 ^c	87 ^b	119 ^{ab}	100 ^b	7.7	<0.0001	200
Na	304 ^a	317 ^a	261 ^a	378 ^a	332 ^a	60	0.7338	70
K	223 ^a	81 ^b	92 ^b	88 ^b	141 ^b	15	0.0003	200
Zn	0.4 ^c	1.2 ^a	0.4 ^c	0.5 ^c	0.8 ^b	0.06	<0.0001	2
Cu	1.3 ^a	1.3 ^a	1.3 ^a	1.3 ^a	1.3 ^a	0	---	3 a 5
Fe	4.2 ^b	10.7 ^a	4.2 ^b	4.2 ^b	6.6 ^{ab}	0.99	0.0030	4.5
Mn	2.2 ^b	35.7 ^a	2.5 ^b	0.6 ^b	38.1 ^a	2.5	<0.0001	8
Se	0.1 ^a	0.1 ^a	0.1 ^a	0.1 ^a	0.1 ^a	0.005	0.1960	0.5
pH	6.9 ^{bc}	6.8 ^c	6.9 ^c	7.4 ^a	7.1 ^b	0.06	<0.0001	-

^z Medias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^y EEM= Error Estándar de la Media.

^x Nivel crítico mínimo de minerales en suelo para crecimiento de las plantas (NRC, 1983; McDowell, 1985; Shorrocks y Alloway, 1986; Castellanos *et al.*, 2000; Whitehead, 2000; Alloway, 2008).

La ocurrencia de deficiencias minerales en los forrajes depende en primera instancia de concentraciones bajas en los suelos, pero además, depende del pH del suelo, contenido de materia orgánica, interacciones con otros elementos (McDowell, 1985; Shorrocks y Alloway, 1986; Castellanos *et al.*, 2000; McDowell, 2005; Alloway, 2008).

El pH de los suelos fue ligeramente alcalino en dos ranchos y ligeramente ácido en los otros. En términos prácticos, se considera que los suelos tienen un pH neutro (Castellanos *et al.*, 2000). Este pH puede afectar la disponibilidad de los microelementos cobre, zinc, hierro, manganeso y boro para los forrajes (NRC, 2007).

La zona muestreada presentó deficiencias de cobre en el suelo. Wikse *et al.* (1992) indican que la deficiencia de cobre es la segunda deficiencia mineral más común del ganado en el mundo, excedida en mayor medida únicamente por la deficiencia de fósforo. Por otro lado, la detección del nivel adecuado de cobre en el suelo depende del método de análisis (Shorrocks y Alloway, 1986). La deficiencia de cobre puede deberse a deficiencias primarias en suelo o por excesos de hierro (Ward *et al.*, 1997); lo que puede causar una disminución en la absorción del cobre por los animales, debido al antagonismo del hierro y el cobre, ya que los animales en pastoreo pueden llegar a consumir cantidades importantes de suelo, especialmente cuando el forraje es deficiente en este mineral (McDowell, 2005).

3.5.3 Concentración mineral en forraje

Las concentraciones minerales del forraje de los cinco ranchos se presentan en el Cuadro 7. Las concentraciones de calcio, magnesio y potasio fueron similares ($p \geq 0.05$) entre ranchos, mientras que las de fósforo, sodio, zinc, cobre, hierro, manganeso, selenio, y la relación calcio:fósforo fueron diferentes ($p \leq 0.05$) entre los ranchos.

Las concentraciones de calcio, potasio y hierro son adecuadas para el ganado en todos los forrajes de todos los ranchos. Sin embargo, las concentraciones de magnesio y sodio son deficientes en todos los forrajes. Fósforo y zinc se encuentran en concentraciones adecuadas en los forrajes de cuatro ranchos, mientras que las concentraciones de cobre, manganeso y selenio son deficientes en la mayoría de los ranchos. Todo lo anterior está basado en los niveles críticos sugeridos por McDowell (2005). Considerando que la deficiencia de magnesio se presenta en vacas de alto nivel de producción pastoreando praderas irrigadas y fertilizadas durante fines del invierno y principios de primavera (ARC, 1980) es poco probable que se presenten problemas en el ganado de los ranchos estudiados. El requerimiento de zinc dado por McDowell (2005) difiere del que podría calcularse considerando los criterios utilizados por el NRC (2001) para bovinos lecheros o el NRC (2007) para pequeños rumiantes. Además, dadas las concentraciones de calcio en los forrajes, el requerimiento de zinc puede estimarse entre 60 y 90 mg kg⁻¹ (Haarenen, 1963). Por ello, es probable que la deficiencia de zinc en el ganado sea común en los ranchos.

Los niveles adecuados de fósforo en la mayoría de los forrajes pueden explicarse por un pH adecuado de los suelos en los ranchos estudiados (Cuadro 7), lo que es diferente a lo reportado por McDowell (2005) quien señala que la deficiencia mineral más común en el mundo es la de fósforo, especialmente en el ganado de las zonas tropicales.

Cuadro 7. Concentración mineral en forraje (medias de cuadrados mínimos) y significancia de las diferencias de cinco ranchos de la región Huasteca Alta.

Minerales	Rancho ^z					EEM ^y	Pr>F	Nivel crítico ^x
	1	2	3	4	5			
Ca, %	0.58 ^a	0.41 ^a	0.39 ^a	0.55 ^a	0.58 ^a	0.07	0.1428	0.30
P, %	0.37 ^a	0.33 ^a	0.33 ^a	0.32 ^a	0.18 ^b	0.018	<0.0001	0.25
Mg, %	0.13 ^a	0.14 ^a	0.15 ^a	0.14 ^a	0.15 ^a	0.008	0.3267	0.20
Na, %	0.03 ^a	0.01 ^c	0.03 ^{ab}	0.02 ^b	0.03 ^{ab}	0.002	<0.0001	0.06
K, %	1.37 ^a	1.57 ^a	1.41 ^a	1.54 ^a	1.37 ^a	0.08	0.1887	0.80
Zn, mg kg ⁻¹	58 ^a	30 ^c	45 ^b	42 ^b	26 ^c	2.40	<0.0001	30
Cu, mg kg ⁻¹	10.4 ^a	8.2 ^b	8.5 ^b	5.1 ^c	6.9 ^{bc}	0.46	<0.0001	10
Fe, mg kg ⁻¹	419 ^{ab}	207 ^b	433 ^{ab}	626 ^a	493 ^a	59	0.0003	30
Mn, mg kg ⁻¹	73 ^b	92 ^a	23 ^c	29 ^c	23 ^c	1.9	<0.0001	40
Se, ng g ⁻¹	126 ^a	86 ^b	86 ^b	82 ^b	80 ^b	4.44	<0.0001	100
Ca:P	1.56 ^b	1.27 ^b	1.12 ^b	1.82 ^b	3.27 ^a	0.21	<0.0001	2:1

^z Medias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^x EEM= Error estándar de la media.

^y Nivel crítico de minerales en forraje basado en necesidades de rumiantes (McDowell, 2005).

Las concentraciones de cobre encontradas en el forraje de todos los ranchos no cubren el requerimiento de los animales (McDowell, 2005), lo que puede deberse a la pobre concentración de cobre en el suelo. Wikse *et al.* (1992) mencionan que el nivel de cobre en el ganado depende no sólo de la concentración de cobre en el forraje, sino también de su disponibilidad; además, indican que también depende de la presencia de antagonistas del cobre como el azufre, molibdeno y el hierro. En este sentido la deficiencia de cobre puede agravarse por el alto contenido de hierro en el forraje de los ranchos, los cuales se encontraron por arriba del requerimiento de hierro para ganado (Underwood y Suttle, 1999).

3.5.4 Concentración mineral en suero sanguíneo

El efecto principal de rancho sobre las concentraciones minerales en suero sanguíneo del ganado se muestra en el Cuadro 8. La concentración de magnesio en suero sanguíneo fue similar ($p>0.05$) en todos los ranchos y dentro del rango adecuado. En cambio, las concentraciones de los demás minerales y las relaciones Ca:P y Na:K en el suero sanguíneo del ganado dependieron ($p\leq 0.05$) del rancho.

Las concentraciones de calcio, fósforo, sodio, potasio, hierro, selenio y la relación Na:K en suero sanguíneo se encuentran por arriba del nivel crítico mínimo, pero no las de zinc y la relación Ca:P en la mayoría de los ranchos; las concentraciones de cobre son deficientes en todos los ranchos de acuerdo con criterios dados por Puls (1994). Las deficiencias de cobre y zinc encontradas en el ganado de este estudio es reflejo del consumo de un forraje pobre en estos minerales, la falta de una suplementación estratégica de minerales y posiblemente por una alta ingesta de hierro ya que los forrajes son ricos en este mineral, y Bremner *et al.* (1987) señalan que un alto contenido de hierro en la dieta interfiere con la absorción del cobre y zinc por parte del animal.

Cuadro 8. Concentración mineral en suero sanguíneo de bovinos (medias de cuadrados mínimos) y nivel de significancia de las diferencias en cinco ranchos de la región Huasteca Alta.

Minerales	Rancho ^z					EEM ^y	Pr>F	Rango normal ^x
	1	2	3	4	5			
Ca, mg L ⁻¹	115 ^{ab}	108 ^c	109 ^{bc}	118 ^a	114 ^{abc}	1.8	0.0004	80 a 110
P, mg L ⁻¹	97 ^a	88 ^{ab}	72 ^c	97 ^a	80 ^{bc}	2.3	<0.0001	40 a 60 (adultos) 60 a 90 (jóvenes)
Mg, mg L ⁻¹	25 ^a	24 ^a	24 ^a	23 ^a	24 ^a	0.8	0.3620	18 a 30
Na, mg L ⁻¹	4554 ^a	4322 ^b	4371 ^{ab}	4444 ^{ab}	4369 ^{ab}	48	0.0107	3100 a 3450
K, mg L ⁻¹	273 ^{ab}	280 ^a	248 ^b	264 ^{ab}	249 ^b	6.9	0.0024	160 a 215
Zn, mg L ⁻¹	0.88 ^a	0.75 ^{ab}	0.71 ^b	0.72 ^b	0.85 ^{ab}	0.03	0.0017	0.8 a 1.4
Cu, mg L ⁻¹	0.64 ^b	0.78 ^a	0.7 ^{ab}	0.63 ^b	0.73 ^{ab}	0.02	0.0003	0.8 a 1.5
Fe, mg L ⁻¹	6.8 ^a	6.2 ^b	6.2 ^b	6.4 ^{ab}	6.4 ^{ab}	0.1	0.0017	1.3 a 2.5
Se, ng mL ⁻¹	173 ^{ab}	151 ^{bc}	135 ^c	106 ^d	181 ^a	7.0	<0.0001	80 a 300
Ca:P	1.20 ^b	1.24 ^b	1.60 ^a	1.28 ^b	1.56 ^a	0.06	<0.0001	1.3:1 a 2.7:1
Na:K	17.5 ^a	15.6 ^b	18.2 ^a	17.2 ^{ab}	17.7 ^a	0.42	0.0005	14.4:1 a 21.6:1

^z Medias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^y EEM= Error Estándar de la Media.

^x Puls (1994).

El efecto principal de tipo de animal afectó ($p \leq 0.05$) las concentraciones de todos los minerales y las relaciones Ca:P y Na:K (Cuadro 9). Las crías tuvieron concentraciones más altas ($p \leq 0.05$) de calcio, fósforo, sodio, potasio, zinc, cobre, hierro y selenio que las vacas. Caso contrario sucedió con la concentración de magnesio y las relaciones Ca:P y Na:K. Parte de estas diferencias se explican por la calidad de la leche en relación al forraje.

Cuadro 9. Concentración mineral en suero sanguíneo de vacas lactantes y sus crías (medias de cuadrados mínimos) y nivel de significancia de las diferencias.

Minerales	Tipo de animal ^z		EEM ^y	Pr>F	Rango normal ^x
	Vaca	Cría			
Ca, mg L ⁻¹	103 ^b	122 ^a	1.1	<0.0001	80 a 110
P, mg L ⁻¹	71 ^b	102 ^a	1.5	<0.0001	40 a 60 (adultos) 60 a 90 (jóvenes)
Mg, mg L ⁻¹	25 ^a	23 ^b	0.5	0.0002	18 a 30
Na, mg L ⁻¹	4336 ^b	4485 ^a	31	0.0008	3100 a 3450
K, mg L ⁻¹	230 ^b	294 ^a	4	<0.0001	160 a 215
Zn, mg L ⁻¹	0.67 ^b	0.89 ^a	0.02	<0.0001	0.80 a 1.40
Cu, mg L ⁻¹	0.64 ^b	0.76 ^a	0.01	<0.0001	0.80 a 1.50
Fe, mg L ⁻¹	6.1 ^b	6.7 ^a	0.07	<0.0001	1.30 a 2.50
Se, ng mL ⁻¹	141 ^b	157 ^a	4.41	0.0080	80 a 300
Ca:P	1.54 ^a	1.22 ^b	0.04	<0.0001	1.3:1 a 2.75:1
Na:K	19.1 ^a	15.5 ^b	0.27	<0.0001	14.4:1 a 21.6:1

^z Medias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^y EEM= Error Estándar de la Media para clase de animal.

^x Puls (1994).

Las concentraciones más altas de Ca y P en los becerros mamones se explican por la ingesta de leche que es un alimento rico en estos minerales, mientras que la vacas su alimentación es exclusiva con forraje de menor concentración de estos minerales que la leche (NRC, 2001), en Mg la situación es contraria debido a que en la leche existe bajo nivel de este elemento. Asimismo, la composición mineral de la

leche es relativamente constante a través de cambios en las concentraciones de éstos en la dieta consumida por la vaca (Underwood y Suttle, 1999).

Aún cuando la leche es pobre en hierro, las concentraciones de este elemento se encontraron por arriba del rango normal en vacas y becerros. Esto se explica en parte porque 1) el forraje contiene concentraciones elevadas de hierro, 2) las deficiencias de cobre afectan al 100 y 76% de vacas y crías, respectivamente, y 3) las deficiencias de zinc afectan al 86 y 27% de vacas y crías, respectivamente. Las limitaciones naturales de minerales con propiedades antioxidantes, como el cobre y zinc, pueden ocasionar estrés oxidativo y dañar los glóbulos rojos (Saleh *et al.*, 2008). El daño a los glóbulos rojos ocasiona la liberación de su contenido al torrente sanguíneo, ocasionando que los minerales altamente concentrados en los eritrocitos aumenten su concentración en el suero sanguíneo, como se puede observar para el caso del hierro, fósforo, potasio, y selenio.

La interacción rancho por tipo de animal afectó ($p \leq 0.03$) las concentraciones de calcio, fósforo, potasio, cobre, hierro y selenio; y las relaciones Ca:P y Na:K (Figuras 1 y 2). La interacción rancho por tipo de animal fue importante en las concentraciones de calcio, fósforo y potasio en todos los ranchos, para cobre y hierro los becerros de los ranchos 1, 2 y 3 presentaron mayor ($p \leq 0.05$) concentración de estos minerales que las vacas, pero no se encontró esto con los becerros de los ranchos 4 y 5 (Figura 1). En el caso de cobre se observó que en un rancho las concentraciones de cobre fueron similares, mientras que en los otros fueron diferentes, lo que pudiera asociarse a que la deficiencia es más severa y puede ocasionar que los niveles de cobre en becerros bajen al nivel de las vacas. Solamente en los ranchos 2 y 3 los becerros mostraron mayor ($p \leq 0.05$) concentración de selenio que las vacas (Figura 1).

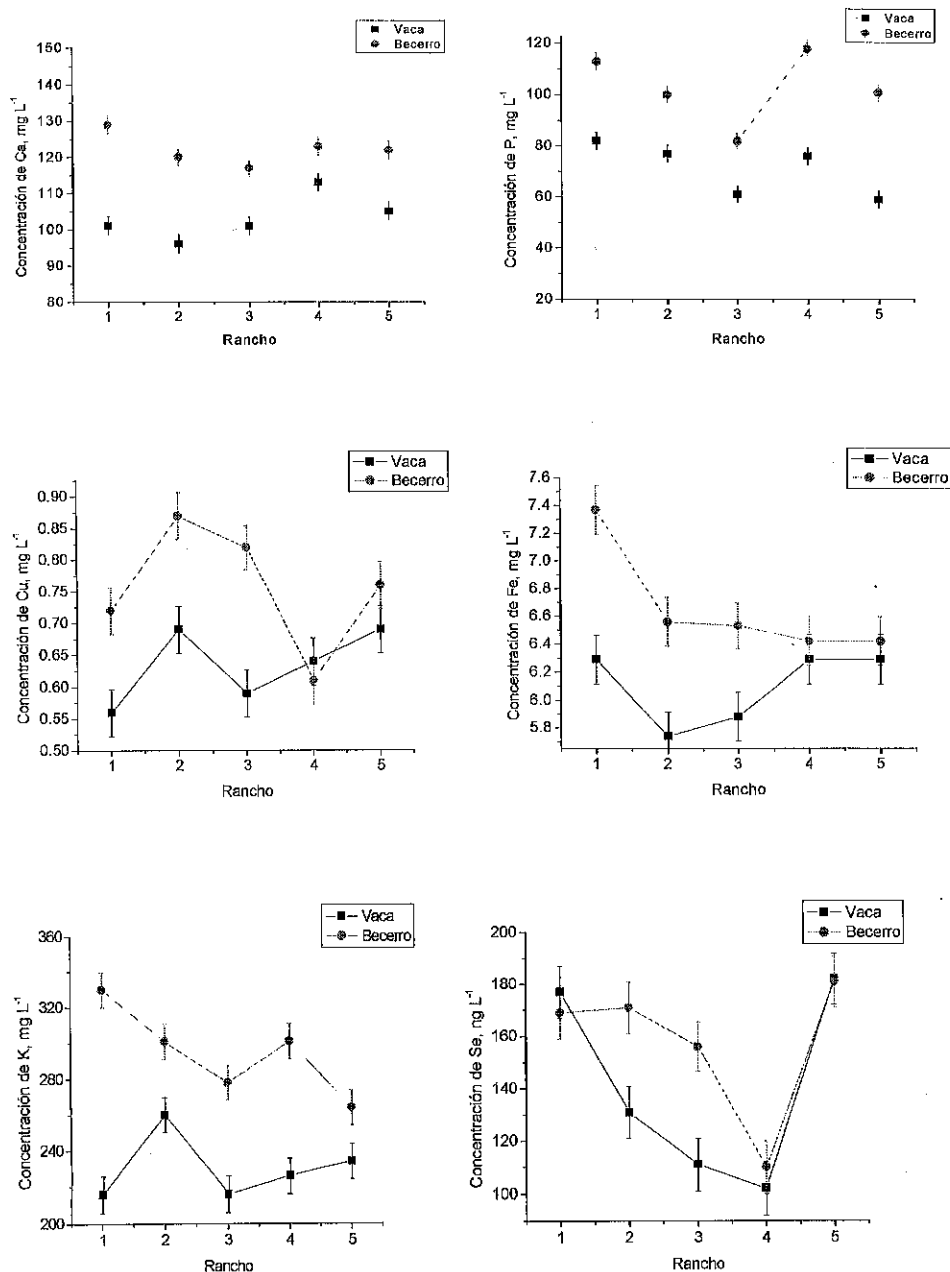


Figura 1. Concentración de calcio, fósforo, cobre, hierro, potasio y selenio en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas (—■—) y becerros (—●—) en la región Huasteca Alta.

Las relaciones calcio:fósforo y sodio:potasio fueron afectadas ($p \leq 0.05$) por la interacción de los efectos principales. La Figura 2 muestra la interacción entre los efectos de rancho y tipo de animal para la relación

calcio fósforo y sodio:potasio. Las vacas tuvieron una mayor relación calcio:fósforo en comparación con las crías en los ranchos 3, 4 y 5; lo cual no sucedió en los ranchos 1 y 2. Esta interacción se puede explicar por que las vacas de los ranchos 3, 4 y 5 tienen niveles más bajos de fósforo y mayores de calcio.

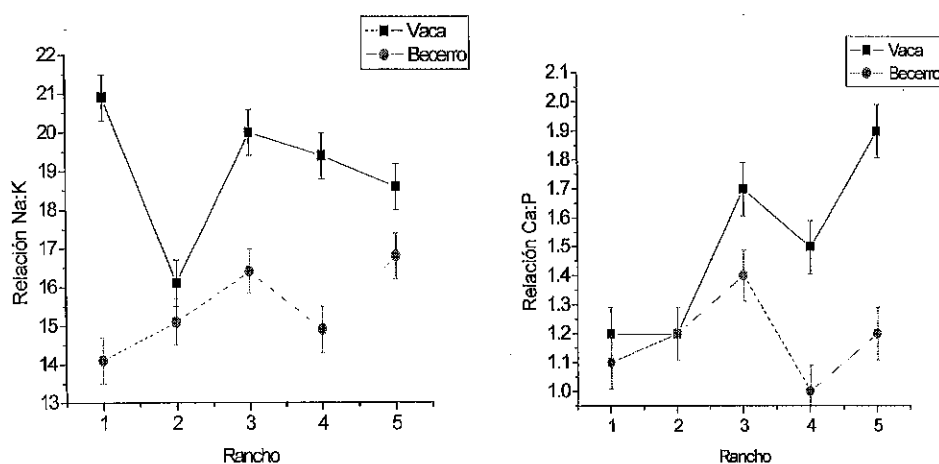


Figura 2. Relaciones de Na:K y Ca:P en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas (—■—) y becerros (—●—) en la región Huasteca Alta.

3.6 Conclusiones

La productividad del hato ganadero de la región Huasteca Alta puede estar limitada por deficiencias en la ingesta de minerales como cobre y zinc, debido a que los forrajes con los que se alimenta el ganado muestran baja concentración de estos elementos y muy alta de hierro. Además de los forrajes, el agua de bebida y el suelo muestran pobres niveles de estos dos elementos.

El magnesio es adecuado en forrajes y ganado, pero el manejo de las praderas para lograr forrajes más nutritivos puede desencadenar deficiencias de este elemento en el ganado.

El sodio es deficiente en los forrajes de todos los ranchos, pero adecuado en el ganado.

Los minerales calcio, hierro y potasio de los forrajes se encuentran en concentraciones superiores a los requerimientos de los animales, por lo que debe evitarse la suplementación con los mismos para evitar problemas relacionados a las altas concentraciones en el animal.

El manganeso es deficiente en los forrajes de tres ranchos.

El selenio mostró niveles adecuados en el ganado, aún cuando el suelo y el forraje no son ricos en este elemento, situación que evidencia la importancia del agua en el aporte de este elemento en la región de la Huasteca Alta.

3.7 Literatura citada

- Alloway, B. J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Second edition. published by IZA and IFA Brussels, Belgium and Paris, France. p. 78.
- AOAC. 1994. Association of Official Analytical Chemist. Arlington Virginia. USA. 853 p.
- ARC. 1980. The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Agricultural Research Council. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, England. 351 p.
- Bremner, I., R. W. Humphries, M. Phillip, J. M. Walker, and C. P. Morrice. 1987. Iron-induced copper deficiency in calves: Dose-response relationships and interactions with molybdenum and sulfur. *Animal Production* 45: 403-414.
- Castellanos J., Z., J. X. Uvalle B., y A. Aguilar S. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. 2da Edición. Colección INCADA. México. 226 p.
- Fick, R. K., McDowell R. L., Miles H. P., Wilkinson S. N., Funck D. J., Conrad H. J., and R. Valdivia. 1979. Métodos de análisis para tejidos de plantas y animales. Segunda edición. Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA. 358 p.
- Greene, L. W., W. E. Pinchak, and R. K. Heitschmidt. 1987. Seasonal dynamics of minerals in forages at the Texas Experimental Ranch. *Journal of Range Management* 40: 502-506.

- Greene, L. W. 2000. Designing mineral supplementation of forage programs for beef cattle. *Journal Animal Science* 77: 1-9.
- Haarenen, S. 1963. Some observations on the zinc requirement for cattle for the prevention of itch and hair licking at different calcium levels in the feed. *Nordisk Veterinaemedicin, Scandinavia. Journal Veterinary Science* 15: 536-542.
- Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal. 2005. Gobierno del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave. Enciclopedia de información municipal. <http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/-veracruz/municipios/30121a.htm>. Consultada el 8 de mayo de 2007).
- McDowell, L. R. 1985. Detection of mineral status of grazing ruminants. *In: L. R. McDowell (Ed). Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press, Inc. Orlando. pp: 339.
- McDowell, R. L. 2005. Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. Cuarta edición. Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA. p. 1.
- NRC. 1983. Selenium in Nutrition. National Academies Press, Washington, D. C. 174 p.
- NRC. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th revised edition. The National Academy Press. Washington, D. C., USA. 381 p.
- NRC. 2005. Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition. The National Academy Press. Washington, D. C. USA. 510 p.
- NRC. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids and New World Camelids. The National Academy Press. Washington, D. C., USA. 345 p.
- Olson, K. C. 2005. Range management for efficient reproduction. *Journal of Animal Science*. 83: E107-E116.
- Puls, R. 1994. Minerals Levels in Animal Health. Diagnostic data. Sherpa International. Clearbrook, Canada. 250 p.
- Romero T., E. M. 2006. Indicadores del estatus nutricional a través del año en un hato de vacas de doble propósito en el Norte de Veracruz. *Revista Bimestral Científica de la Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán Sinaloa, México*. 77 p.
- Saleh, M. A., M. B. Al-Salahy, and S. A. Sanousi. 2008. Corpuscular oxidative stress in desert sheep naturally deficient in copper. *Small Ruminant Research* 80 (3): 33-28.

- Santiago V., M. A., y D. Gerardo C. 1996. Estado mineral de ganado bovino y zacates estrella y guinea en Tepetzintla, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. p. 22.
- SAS. 2004. SAS/STAT 9.1 User's guide. Volumes 1-7. SAS Publishing. Cary, NC, USA. 5180 p.
- Shorrocks, V. M., and B. J. Alloway. 1986. Copper in Plant, Animal and Human Nutrition. Copper Development Association. Report TN 35. Orchard House, London United Kingdom. 84 p.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock. 3rd edition. CABI Publishing. New York, NY, USA. 614 p.
- Ward, J. D., G. P. Gengelbach, and J. W. Spears. 1997. The effects of copper deficiency with or without high dietary iron or molybdenum on immune function of cattle. *Journal of Animal Science* 75: 1400-1408.
- Whitehead, C. D. 2000. Nutrient Elements in Grassland Soil-Plant-Animal Relationships. CABI Publishing. New York, USA. p. 203.
- Wikse, S. E., D. Herd, R. Field, and P. Holland. 1992. Diagnosis of copper deficiency in cattle. *Journal American Veterinary Medical Association* 200:1625-1629.

4 DIAGNÓSTICO DEL ESTADO MINERAL DE BOVINOS PASTOREANDO EN LA REGIÓN HUASTECA– SEPTIEMBRE 2007

4.1 Resumen

El estudio se realizó para determinar el estado mineral de vacas lactantes y sus crías, en cinco ranchos de bovinos para carne de la zona norte del estado de Veracruz y sur de Tamaulipas. En cada rancho se muestreó agua, suelo, forraje y suero sanguíneo. En las muestras de suero sanguíneo, agua, suelo y forraje se determinaron los contenidos de calcio, fósforo, potasio, sodio, magnesio, cobre, zinc y hierro; en las muestras de agua, suelo y forraje se determinó adicionalmente la concentración de manganeso. El contenido mineral en suero sanguíneo fue analizado con un modelo que incluyó los efectos fijos de rancho, tipo de animal y su interacción. Para la concentración de minerales en suero, agua y suelo, el modelo sólo incluyó el efecto fijo de rancho. La interacción rancho por tipo de animal fue importante ($p \leq 0.05$) para fósforo, magnesio, sodio, potasio, cobre, selenio y la relación calcio:fósforo. En las muestras de forraje las concentraciones de todos los minerales fueron diferentes ($p \leq 0.05$) a través de las unidades de producción. Las concentraciones de calcio, fósforo, sodio, potasio, cobre, selenio y la relación calcio:fósforo en el suero sanguíneo del ganado dependió del rancho ($p \leq 0.05$). El efecto principal de tipo de animal afectó ($p \leq 0.05$) las concentraciones minerales de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro, selenio y la relación calcio:fósforo. El ganado de los ranchos es deficiente en cobre y zinc, debido a las bajas concentraciones de estos minerales en agua, suelo, y forraje, y a excesos de hierro en suelo, agua y forraje. El zinc y el cobre deben ser suplementados para cubrir el 100% de los requerimientos de los animales.

Palabras clave: diagnóstico mineral, pastos tropicales, bovinos para carne.

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Pedro Ramos Mondragón

Director de Tesis: Ph.D. Maximino Huerta Bravo

MINERAL STATUS OF GRAZING BEEF CATTLE IN THE HUASTECA REGION – SEPTEMBER 2007

4.2 Abstract

The study was conducted to determine the mineral status of cows and their calves in five beef cattle farms in the northern area of Veracruz and south of Tamaulipas states. Samples of water, soil, pasture, and blood serum were taken in each farm. Determination of calcium, phosphorus, potassium, sodium, magnesium, copper, zinc, iron, and selenium were performed in all samples. Additionally, manganese was measured in water, soil, and pasture samples. The mineral content in blood serum was analyzed with a model that included the fixed effects of ranch, animal type, and ranch x animal type. For the concentration of minerals in serum, water and soil, the model only included the fixed effect of ranch. The interaction ranch x animal type was important ($p \leq 0.05$) for phosphorus, magnesium, sodium, potassium, copper, selenium, and the calcium:phosphorus ratio. All minerals in pasture samples were different ($p \leq 0.05$) among farms. The concentrations of calcium, phosphorus, sodium, potassium, copper, selenium, and the calcium:phosphorus ratio in the blood serum of livestock depended on the ranch ($p \leq 0.05$). The main effect of animal type affected ($p \leq 0.05$) concentrations of calcium, phosphorus, magnesium, sodium, potassium, copper, iron, selenium, and the calcium:phosphorus ratio. The cattle were deficient in copper and zinc due to low concentrations of these minerals in water, soil, and pastures, and excesses of iron in soil, water, and pastures. Zinc and copper should be supplemented to provide at least 100% of the animal requirements.

Key Words: mineral status, tropical pasture, beef cattle

4.3 Introducción

En nuestro país el sistema de producción doble propósito cobra especial importancia ya que el área tropical de México abarca 51.3 millones de hectáreas, equivalentes al 26.2% del territorio nacional. De esta superficie, 19 millones de hectáreas se dedican a la producción pecuaria, donde pastorean aproximadamente 12 millones de bovinos (40% del inventario nacional), que producen el 28 y 39% de la leche y carne, respectivamente, que se consume en México. Las entidades con regiones que tienen clima tropical y unidades de producción con bovinos de doble propósito son: Durango, Zacatecas, Coahuila, San Luis Potosí, Guanajuato, Tamaulipas, Puebla, Veracruz, Tabasco, Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Chiapas, Oaxaca, Nayarit, Jalisco, Hidalgo, Colima, Guerrero y Morelos. Este tipo de ganadería se realiza principalmente en sistemas de pastoreo y la producción láctea se utiliza en la elaboración de quesos, en la venta directa al consumidor o a empresas industriales. La producción de carne se canaliza a la producción de reproductores, y la producción de animales para crecimiento y finalización (Secretaría de la Reforma Agraria, 2008).

En los sistemas doble propósito en general se encuentran desórdenes de nutrición mineral, que van desde deficiencias minerales agudas o toxicidades, caracterizadas por signos clínicos y cambios patológicos bien marcados, hasta una mala condición general o un crecimiento y una producción inferior. Estas últimas condiciones tienen gran importancia por que afectan grandes áreas y un gran número de animales, además que pueden confundirse con deficiencias de energía, proteína y varios tipos de parasitismo (Underwood y Suttle, 1999). Para evitar esas confusiones y solucionar los problemas relacionados, Huerta (1999) señala que la realización de un diagnóstico mineral correcto ayuda a dirigir situaciones específicas que puede resultar en ahorro de

recursos y mayor efectividad para resolver problemas tanto biológica como económicamente.

La región Huasteca Alta es una zona ganadera de importancia de los estados de Veracruz y Tamaulipas, la actividad económica principal es el sector primario con una proporción del 73%, proveniente en su mayor parte de la ganadería de doble propósito la cual ocupa 495,557 ha y se conforma de 234,500 cabezas (Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo Municipal, 2005). A pesar de la importancia económica y productiva de la zona, el estado mineral del ganado es un tema poco explorado, por lo que se propuso diagnosticar el estado mineral para permitir implementar medidas para la corrección de las deficiencias minerales en condiciones específicas.

4.4 Materiales y Métodos

El estudio se realizó con muestras obtenidas en cinco ranchos productores de becerros, cuatro ubicados en el estado de Veracruz y uno en Tamaulipas. Los ranchos en Veracruz fueron: Nuevo (Rancho 1), Isla (Rancho 2) y El Rosario (Rancho 3) municipio de Ozuluama, y 4 Hermanos (Rancho 4) municipio de Tampico Alto. El de Tamaulipas fue el Tancusay (Rancho 5) municipio de Altamira.

4.4.1 Protocolo de muestreo

Muestreo de forraje

Las muestras de los forrajes presentes en cada rancho se obtuvieron por el método de simulación del pastoreo, para ello se dio seguimiento a los animales cuando pastoreaban en las primeras horas de la mañana (7:00 h); en cada rancho la superficie de pastoreo se dividió en cinco

áreas con una muestra de forraje por área, para dar un total de 25 muestras.

Muestreo de suelo

Las muestras de suelo provinieron de las mismas áreas de donde se obtuvieron las de forraje, en cada área se tomaron cinco muestras de los primeros 15 cm del perfil, estas muestras se mezclaron para formar una sola por área para dar un total de 25 muestras y a cada una de éstas se midió el pH.

Muestreo de agua

Para cada rancho se identificó la principal fuente de agua de bebida para el ganado, del agua presente en esta fuente se tomaron tres muestras de 500 ml cada una; en total se colectaron 15 muestras de agua de bebida.

Muestreo de sangre

En cada rancho se seleccionaron al azar 10 vacas entre tres y 90 días post-parto y sus crías. A estos animales se les extrajo por punción de la vena yugular 10 ml de sangre colectados en tubo de ensaye con vacío sin anticoagulante, los tubos con sangre se centrifugaron a 3000 rpm durante 15 min para separar el suero que fue conservado por congelación en tubos de ensaye de 10 ml; se obtuvo un total de 100 muestras de sangre.

4.4.2 Concentraciones minerales

En todas las muestras se determinaron los contenidos de calcio, fósforo, potasio, sodio, magnesio, cobre, zinc, hierro y selenio, el de manganeso se determinó en agua, suelo y forraje. La concentración de selenio se obtuvo por el método fluorométrico (AOAC, 1994) usando un espectrómetro de luminiscencia modelo LS30 (Perkin Elmer), la de

fósforo por colorimetría según Fick *et al.* (1979) usando un espectrómetro UV/VIS modelo Lambda 2 (Perkin Elmer); las de los otros minerales fueron por espectrofotometría de absorción atómica, con un espectrofotómetro de absorción atómica modelo AAnalyst 700 (Perkin Elmer) de acuerdo con el método descrito por Fick *et al.* (1979).

4.4.3 Análisis estadístico

Las variables de respuesta fueron las concentraciones de los minerales. El análisis estadístico fue por análisis de varianza y comparación de medias por Tukey con $\alpha=0.05$; los cálculos respectivos fueron con el procedimiento GLM de SAS (2004).

Las concentraciones de minerales en forrajes, suelo y agua de los cinco ranchos se analizaron con un modelo completamente al azar según se describe a continuación:

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

donde:

Y_{ij} = concentración mineral en forraje, suelo o agua

μ = media poblacional

R_i = concentración mineral en el i-ésimo rancho (1, 2, 3, ..., 5)

E_{ij} = error aleatorio $\sim \text{NIID}(0, \sigma_e^2)$ en el i-ésimo rancho y j-ésima repetición

Para el análisis de las concentraciones de minerales en suero sanguíneo se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + E_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = concentración mineral de suero sanguíneo

μ = media general

A_i = efecto del i-ésimo tipo de animal (1=vacas en lactancia, 2=becerros en lactancia)

B_j = efecto fijo del j-ésimo rancho (1, 2, 3, ..., 5)

AB_{ij} = efecto fijo de la interacción clase de animal-rancho

E_{ijk} = error aleatorio $\sim \text{NIID}(0, \sigma_e^2)$ en el i-ésimo rancho, j-ésima repetición y k-ésimo tipo de animal

4.5 Resultados y Discusión

4.5.1 Concentración mineral en el agua de bebida

Las concentraciones de los minerales determinados en el agua de bebida se presentan en el Cuadro 10. La concentración de zinc en el agua de la zona de muestreo no fue diferente ($p > 0.05$) entre ranchos. Sin embargo, las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso y selenio sí lo fueron ($p \leq 0.05$).

El nivel de fósforo en los cinco ranchos se encuentra por arriba del nivel máximo tolerable en agua de bebida para el ganado (Puls, 1994). Sin embargo, el aporte vía agua es mínimo en relación con los requerimientos del animal.

En los cinco ranchos los niveles de calcio, magnesio, sodio, potasio, zinc y selenio en el agua de bebida se encuentran por debajo del nivel máximo tolerable (Puls, 1994; NRC, 2005). Sin embargo, las aguas de los ranchos 1 y 4 tienen exceso de hierro, y las aguas de los ranchos 2, 4 y 5 tienen exceso de manganeso.

Cuadro 10. Concentración mineral en agua de bebida para el ganado (medias de cuadrados mínimos) y significancia de las diferencias de cinco ranchos de la región Huasteca Alta.

Mineral	Rancho ^z					Pr>F	Nivel máximo tolerable ^x
	1	2	3	4	5		
Ca, mg L ⁻¹	28 ^a	30 ^a	27 ^a	19 ^b	22 ^b	0.63	<0.0001
P, mg L ⁻¹	6.2 ^c	12.4 ^a	8.2 ^b	9.4 ^b	11.4 ^a	0.35	<0.0001
Mg, mg L ⁻¹	3.1 ^b	3.7 ^a	3.0 ^b	2.9 ^b	2.6 ^c	0.05	<0.0001
Na, mg L ⁻¹	8 ^b	9 ^b	9 ^b	11 ^a	9 ^b	0.27	<0.0001
K, mg L ⁻¹	0.5 ^b	0.4 ^b	0.5 ^b	0.5 ^b	0.8 ^a	0.04	0.0004
Zn, mg L ⁻¹	0.01 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a	0.001	0.2802
Fe, mg L ⁻¹	0.44 ^a	0.15 ^a	0.15 ^a	0.44 ^a	0.23 ^a	0.067	0.0235
Mn, mg L ⁻¹	0.03 ^c	0.06 ^b	0.05 ^{bc}	0.11 ^a	0.11 ^a	0.006	<0.0001
Se, ng L ⁻¹	1.5 ^b	1.5 ^b	2.1 ^a	2.1 ^a	2.1 ^a	0.08	<0.0001

^z Medias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^y EEM = Error estándar de la media.

^x Nivel máximo tolerable de minerales en agua (Puls, 1994; NRC, 2005).

4.5.2 Concentración mineral en suelo

En el Cuadro 11 se indican las concentraciones minerales y pH del suelo. Hubo efecto de rancho ($p \leq 0.05$) en las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, zinc y hierro, y pH. Sin embargo, las concentraciones de cobre, manganeso y selenio no fueron afectadas. Las concentraciones de calcio, sodio y manganeso en los suelos de todos los ranchos se encuentran dentro de los niveles considerados adecuados para los forrajes; para el caso de hierro, se encontraron niveles bajos en los ranchos 3 y 5 (McDowell, 1985; Castellanos *et al.*, 2000). En cambio, las concentraciones de fósforo, magnesio, potasio, zinc, cobre y selenio son bajas en los suelos de todos los ranchos (NRC, 1983; Shorrocks y Alloway, 1986; Whitehead, 2000; Castellanos *et al.*, 2000; Alloway, 2008). Las bajas concentraciones de fósforo, potasio, magnesio y manganeso podrían limitar el crecimiento de los forrajes en la mayoría de los ranchos (Castellanos *et al.*, 2000; Shorrocks y Alloway, 1986).

Los niveles de calcio encontrados en los suelos de los cinco ranchos van de 191 a 266, por lo que se cumple con el requerimiento mínimo de las plantas en todos los ranchos (70 ppm; McDowell, 1985). Además, los bajos niveles de K presentes en estos suelos (24 a 40 mg kg⁻¹) benefician la absorción del calcio por las plantas.

Cuadro 11. Concentración mineral y pH en suelo (medias de cuadrados mínimos) y significancia de las diferencias de cinco ranchos de la región Huasteca Alta.

Mineral	Rancho ^z					EEM ^y	Pr>F	Nivel crítico ^x
	1	2	3	4	5			
			mg kg ⁻¹					
Ca	222 ^c	191 ^d	248 ^b	266 ^a	193 ^d	2	<0.0001	70
P	5.3 ^{ab}	4.3 ^c	4.3 ^c	4.7 ^{bc}	5.9 ^a	0.13	0.0002	25
Mg	47 ^a	34 ^c	41 ^b	50 ^a	46 ^{ab}	1.01	<0.0001	200
Na	268 ^{ab}	243 ^b	254 ^{ab}	263 ^{ab}	280 ^a	5	0.025	70
K	37 ^a	27 ^b	27 ^b	29 ^{ab}	34 ^{ab}	1.6	0.0161	200
Zn	0.4 ^b	0.6 ^a	0.4 ^b	0.3 ^b	0.2 ^c	0.02	<0.0001	2
Cu	0.6 ^a	0.8 ^a	0.5 ^a	0.5 ^a	0.4 ^a	0.10	0.1652	3 a 5
Fe	5.8 ^{ab}	10.2 ^a	3.6 ^b	9.1 ^a	3.6 ^b	0.85	0.0040	4.5
Mn	14 ^a	17 ^a	10 ^a	17 ^a	21 ^a	2.4	0.21	8
Se	0.04 ^a	0.06 ^a	0.04 ^a	0.05 ^a	0.06 ^a	2.2	0.2138	0.5
pH	6.98 ^{bc}	6.78 ^c	6.81 ^c	6.41 ^a	6.95 ^b	0.01	<0.0001	-

^z Medias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

y $EE_M = \text{Error Estándar de la Media.}$

x Nivel crítico mínimo de minerales en suelo para crecimiento de las plantas (NRC, 1983; McDowell, 1985; Shorrocks y Alloway, 1986; Castellanos *et al.*, 2000; Whitehead, 2000; Alloway, 2008).

La ocurrencia de deficiencias minerales en los forrajes depende en primera instancia de concentraciones bajas en los suelos, pero además, depende del pH del suelo, contenido de materia orgánica y de interacciones con otros elementos (McDowell, 1985; Shorrocks y Alloway, 1986; Castellanos *et al.*, 2000; McDowell, 2005; Alloway, 2008).

El pH de los suelos de todos los ranchos fue ligeramente ácido. En términos prácticos, se considera que los suelos tienen un pH neutro (Castellanos *et al.*, 2000). Este pH puede afectar la disponibilidad de los microelementos cobre, zinc, hierro, manganeso y boro para los forrajes (NRC, 2007).

La zona muestreada presentó deficiencias de cobre en el suelo. Wikse *et al.* (1992) indican que la deficiencia de cobre es la segunda deficiencia mineral más común del ganado en el mundo, excedida en mayor medida únicamente por la deficiencia de fósforo. Por otro lado, la detección del nivel adecuado de cobre en el suelo depende del método de análisis (Shorrocks y Alloway, 1986). La deficiencia de cobre puede deberse a deficiencias primarias en suelo o por excesos de hierro (Ward *et al.*, 1997); lo que puede causar una disminución en la absorción del cobre en los animales, debido al antagonismo del hierro y el cobre, ya que los animales en pastoreo pueden llegar a consumir cantidades importantes de suelo, especialmente cuando el forraje es deficiente en este mineral (McDowell, 2005).

Los niveles de zinc encontrados en los suelos de todos los ranchos indican deficiencia de este mineral, debido a que no cumplen con el requerimiento mínimo (2 ppm; McDowell, 1985) de las plantas para su crecimiento. Lo anterior puede ser debido al efecto del pH, ya que como lo menciona Huerta (1999), los problemas por deficiencia de este mineral se presentan generalmente en suelos alcalinos.

Los niveles de fósforo en el suelo de los cinco ranchos estuvieron por debajo del nivel crítico, esto puede provocar de acuerdo con el International Plant Nutrition Institute (2008), que las plantas presenten bajos niveles del mineral, ya que absorben únicamente el fósforo que está en la solución del suelo en forma de HPO_4^{-2} (ión fosfato monoácido) y $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$ (ión fosfato diácido) y cualquier fertilizante ya sea de origen orgánico o mineral, debe de transformarse primero en esas especies (formas químicas) antes de ser utilizado por el cultivo. Lo mencionado anteriormente puede deberse a la velocidad de disponibilidad para el cultivo (los residuos orgánicos tienen que ser primero descompuestos por los microorganismos) y la concentración (los residuos orgánicos tienen concentraciones más bajas de fósforo que los compuestos minerales).

4.5.3 Concentración mineral en forraje

Las concentraciones minerales en el forraje de los cinco ranchos se presentan en el Cuadro 12. Las concentraciones de todos los minerales fueron diferentes ($p \leq 0.05$) a través de las unidades de producción.

Las concentraciones de potasio y hierro en los forrajes de todos los ranchos fueron adecuadas para el ganado. Sin embargo, las concentraciones de magnesio, sodio, cobre y selenio fueron deficientes en todos los ranchos.

Las concentraciones de calcio en forrajes se encuentran deficientes en tres de los cinco ranchos. Las concentraciones de P se encuentran adecuadas en cuatro ranchos y deficientes en uno. Así mismo, se presentaron bajos niveles de zinc y manganeso en el rancho 5; el rancho 3 también presentó deficiencia de este último elemento. Todo lo anterior basado en los niveles críticos sugeridos por McDowell (2005).

Considerando la información del ARC (1980) y los niveles de producción del ganado estudiado, es poco probable que la deficiencia de magnesio sea un problema, excepto que se modifique el manejo de los forrajes mediante fertilización nitrogenada y potásica, y que los forrajes se consuman tiernos, en invierno. El requerimiento de zinc dado por McDowell (2005) difiere del que podría calcularse considerando los criterios utilizados por el NRC (2001) para bovinos lecheros o el NRC (2007) para pequeños rumiantes. Sin embargo, únicamente el rancho 5 tendría forrajes deficientes en zinc.

La relación Ca:P fue mayor en el rancho 5 con respecto al resto de los ranchos. En los ranchos 2, 3, y 4 la relación Ca:P fue inferior a uno, lo que podría provocar excesos de fósforo circulante en los animales y probablemente problemas de cálculos urinarios. Los niveles adecuados de fósforo en la mayoría de los forrajes pueden explicarse por un pH adecuado de los suelos en los ranchos estudiados (Cuadro 11), lo que es diferente a lo reportado por McDowell (2005), quien señala que la deficiencia mineral más común en el mundo es la de fósforo, especialmente en el ganado de las zonas tropicales.

Las concentraciones de cobre en los forrajes indicados en el Cuadro 12 no cubren el requerimiento (10 ppm) de los animales (McDowell, 2005). Wikse *et al.* (1992) mencionan que el estatus de Cu en el ganado depende de la concentración y de la disponibilidad en el forraje, así mismo pueden llegar a intervenir factores que afectan la concentración mineral en el forraje como lo es el pH (Huerta, 1999), el tipo o estado de madurez del forraje (Wikse *et al.*, 1992) y de factores antagonistas como lo es la presencia de azufre, hierro y molibdeno. En este sentido la deficiencia de cobre que se presenta en todos los ranchos puede estar influenciada por la tendencia a la alcalinidad de los suelos y la absorción del cobre por la planta (Ward *et al.*, 1997).

Cuadro 12. Concentración mineral en forraje (medias de cuadrados mínimos) y significancia de las diferencias de cinco ranchos de la región Huasteca Alta.

Minerales	Rancho ^z					Pr>F	EEM ^y	Nivel crítico ^x
	1	2	3	4	5			
Ca, %	0.40 ^a	0.23 ^c	0.28 ^b	0.28 ^b	0.30 ^b	<0.0001	0.013	0.30
P, %	0.31 ^a	0.30 ^a	0.30 ^a	0.30 ^a	0.19 ^b	<0.0001	0.007	0.25
Mg, %	0.12 ^b	0.14 ^b	0.17 ^a	0.13 ^b	0.17 ^a	<0.0001	0.007	0.20
Na, %	0.05 ^a	0.03 ^{bc}	0.02 ^c	0.04 ^b	0.04 ^{ab}	<0.0001	0.003	0.06
K, %	1.20 ^b	1.46 ^a	1.43 ^a	1.50 ^a	1.16 ^b	<0.0001	0.064	0.80
Zn, mg kg ⁻¹	59 ^a	38.2 ^c	40.2 ^c	47.4 ^b	24.9 ^d	<0.0001	1.938	30
Cu, mg kg ⁻¹	8.8 ^a	5.9 ^b	7.1 ^{ab}	2.9 ^c	5.1 ^{bc}	<0.0001	0.760	10
Fe, mg kg ⁻¹	275 ^b	110 ^c	229 ^b	404 ^a	494 ^a	<0.0001	34.51	30
Mn, mg kg ⁻¹	52.4 ^{ab}	58.9 ^a	35.8 ^c	43.8 ^{bc}	22.3 ^d	<0.0001	3.284	40
Se, ng g ⁻¹	60 ^{ab}	66 ^a	61 ^{ab}	63 ^a	57 ^b	0.0012	2.236	100
Ca:P	1.29 ^b	0.78 ^c	0.93 ^c	0.92 ^c	1.57 ^a	<0.0001	0.026	2:1

^z Medias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^y EEM = Error estándar de la media

^x Nivel crítico de minerales en forraje basado en necesidades de rumiantes (McDowell, 2005).

Los niveles de calcio estuvieron por debajo del nivel crítico del mineral en forrajes para la alimentación del ganado indicado en el Cuadro 13. La deficiencia de calcio se encuentra relacionada con el estado fisiológico de la planta, ya que como lo indican Ramírez *et al.* (2005), el calcio tiende a acumularse en forrajes maduros y secos, por lo que en forrajes de clima tropical, aunque no es común, pueden encontrarse niveles de calcio bajos durante la época de lluvias (Martínez, 2006).

Las concentraciones de sodio en los forrajes analizados se mantuvieron en un rango de 0.02 a 0.05% y de acuerdo con lo indicado por McDowell (2005), estos forrajes son deficientes en sodio en todos los ranchos. Tal como el calcio, el magnesio y el cobre en la mayoría de las muestras de forraje fueron deficientes; la de sodio no representa un problema difícil de solucionar, ya que la oferta de sal común a los animales es una práctica usualmente utilizada en la mayoría de los sistemas de producción, por lo que el nivel inadecuado del sodio en el forraje no es considerado una limitante (Rojas, 1993). Para el caso de selenio, los niveles estuvieron por debajo del nivel crítico requerido para forrajes (Cuadro 12), lo anterior posiblemente debido a la baja concentración de selenio en suelo ocasionada por la precipitación, de acuerdo con lo mencionado por el NRC (1983), que indica que la concentración de selenio en suelos es reducida por la lixiviación.

4.5.4 Concentración mineral en suero sanguíneo

El efecto principal de rancho sobre las concentraciones minerales en suero sanguíneo del ganado se muestra en el Cuadro 13. Las concentraciones de magnesio, zinc, hierro y la relación sodio:potasio en el suero sanguíneo del ganado fueron similares ($p>0.05$). Sin embargo, las concentraciones de calcio, sodio, potasio, cobre y selenio en el suero sanguíneo del ganado dependieron del rancho ($p\leq 0.05$).

Las concentraciones de calcio, magnesio, selenio y la relación sodio:potasio en suero sanguíneo del ganado, se encuentran dentro de los rangos adecuados (Puls, 1994). Sin embargo, las concentraciones de fósforo, sodio, potasio y hierro se encontraron por arriba del nivel máximo sugerido (Puls, 1994).

El cobre en suero sanguíneo del ganado fue deficiente en la mayoría de los ranchos, mientras que el nivel de zinc fue bajo en todos los ranchos de acuerdo con los criterios dados por Puls (1994). Resultados similares de deficiencia de cobre y zinc en animales se han obtenido en otras regiones tropicales de México (Quiroz y Bouda, 2001; Martínez, 2006). La deficiencia de cobre y zinc puede ser explicada por los bajos niveles de cobre en el forraje (Ward *et al.*, 1997), y puede estar siendo acrecentada por el antagonismo del cobre con el hierro, ya que dietas con altos niveles de hierro interfieren con la absorción del cobre y zinc (Bremner *et al.*, 1987).

La relación Ca:P en suero fue baja en el ganado de todos los ranchos, debido probablemente a una baja relación en los forrajes.

Cuadro 13. Concentración mineral en suero sanguíneo de bovinos (medias de cuadrados mínimos) y nivel de significancia de las diferencias en cinco ranchos de la región Huasteca Alta.

Minerales	Rancho ^z					Pr>F	Rango normal ^x
	1	2	3	4	5		
Ca, mg L ⁻¹	80 ^c	89 ^{bc}	86 ^{bc}	107 ^a	89 ^b	<0.0001	80 a 110
P, mg L ⁻¹	100 ^a	98 ^a	75 ^c	94 ^a	83 ^b	<0.0001	40 a 60 (adultos) 60 a 90 (jóvenes)
Mg, mg L ⁻¹	26 ^a	25 ^a	25 ^a	25 ^a	26 ^a	0.1174	18 a 30
Na, mg L ⁻¹	3883 ^c	4113 ^{ab}	4151 ^a	4070 ^b	4111 ^{ab}	<0.0001	3100 a 3450
K, mg L ⁻¹	221 ^c	285 ^a	278 ^a	236 ^{bc}	261 ^{ab}	<0.0001	160 a 215
Zn, mg L ⁻¹	0.71 ^a	0.71 ^a	0.71 ^b	0.72 ^a	0.71 ^a	0.4119	0.80 a 1.40
Cu, mg L ⁻¹	0.77 ^b	0.64 ^b	0.78 ^b	1.02 ^a	0.73 ^b	<0.0001	0.80 a 1.50
Fe, mg L ⁻¹	3.6 ^a	4.2 ^a	4.2 ^a	4.2 ^a	4.4 ^a	0.1085	1.30 a 2.50
Ca:P	0.81 ^c	0.93 ^b	1.17 ^a	1.17 ^a	1.12 ^a	<0.0001	1.3:1 a 2.75:1
Se, ng mL ⁻¹	136 ^b	165 ^a	140 ^b	107 ^c	170 ^a	<0.0001	80 a 300
Na:K	18.2 ^a	14.6 ^a	15.2 ^a	20.9 ^a	15.8 ^a	0.0932	14.4:1 a 21.6:1

^z Medias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^y EEM= Error Estándar de la Media.

^x Puls, 1994.

El efecto principal de tipo de animal afectó ($p \leq 0.05$) las concentraciones minerales de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro, selenio y la relación Ca:P. En cambio, la concentración de zinc y la relación sodio:potasio en suero sanguíneo del ganado (Cuadro 14) no dependieron del tipo de animal ($p > 0.05$).

En el Cuadro 14 se indican las concentraciones minerales por tipo de animal, en donde las crías tuvieron las concentraciones más altas ($p \leq 0.05$) de calcio, fósforo, sodio, potasio, hierro, cobre y selenio que las vacas. Caso contrario sucedió con la concentración de magnesio y la relación Ca:P. La mayor concentración de minerales en las crías puede explicarse por la calidad de la leche en relación con el forraje.

Aún cuando la leche es pobre en hierro, las concentraciones de este elemento se encontraron por arriba del rango normal en las crías, y sus madres (Cuadro 14). Esto se explica en parte porque 1) el forraje contiene concentraciones elevadas de hierro (Cuadro 12), 2) las deficiencias de cobre afectan al 58% y 40% de vacas y crías, 3) las deficiencias de zinc afectan al 98% y 100% de vacas y crías.

Las limitaciones naturales de minerales con propiedades antioxidantes, como el cobre y zinc, pueden ocasionar estrés oxidativo y dañar los glóbulos rojos (Saleh *et al.*, 2008).

El daño a los glóbulos rojos ocasiona la liberación de su contenido al torrente sanguíneo, ocasionando que los minerales altamente concentrados en los eritrocitos aumenten su concentración en el suero sanguíneo, como se puede observar para el caso del hierro, potasio y selenio.

Cuadro 14. Concentración mineral en suero sanguíneo de vacas lactantes y sus crías (medias de cuadrados mínimos) y nivel de significancia de las diferencias.

Minerales	Tipo de animal ^z		EEM ^y	Pr>F	Rango normal ^x
	Vaca	Cría			
Ca, mg L ⁻¹	82 ^b	99 ^a	1.474	<0.0001	80 a 110
P, mg L ⁻¹	72 ^b	108 ^a	1.082	<0.0001	40 a 60 (adultos) 60 a 90 (jóvenes)
Mg, mg L ⁻¹	26 ^a	25 ^b	0.185	<0.0001	18 a 30
Na, mg L ⁻¹	3814 ^b	4009 ^a	8.22	<0.0001	3100 a 3450
K, mg L ⁻¹	224 ^b	289 ^a	4.036	<0.0001	160 a 215
Zn, mg L ⁻¹	0.71 ^a	0.71 ^a	0.003	0.3200	0.80 a 1.40
Cu, mg L ⁻¹	0.72 ^b	0.85 ^a	0.025	<0.0006	0.80 a 1.50
Fe, mg L ⁻¹	3.6 ^b	4.7 ^a	0.148	<0.0001	1.30 a 2.50
Se, ng mL ⁻¹	126 ^b	162 ^a	2.22	<0.0001	80 a 300
Ca:P	1.15 ^a	0.93 ^b	0.019	<0.0381	1.3:1 a 2.75:1
Na:K	18 ^a	15.8 ^a	1.151	<0.5591	14.4:1 a 21.6:1

^z Medias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

^y EEM= Error Estándar de la Media para clase de animal.

^x Puls (1994).

La interacción rancho por tipo de animal afectó ($p \leq 0.05$) las concentraciones de fósforo, magnesio, sodio, potasio, cobre, selenio, y relación Ca:P (Figura 3 y 4).

En la Figura 3 se observa que la interacción rancho por tipo de animal fue importante para las concentraciones de fósforo, sodio y potasio en todos los ranchos. Para el caso de estos minerales, la interacción se manifestó en que la magnitud de la diferencia entre vacas y becerros fue diferente entre ranchos, pero en todos los casos, ya que los becerros tuvieron mayores concentraciones de fósforo sodio y potasio.

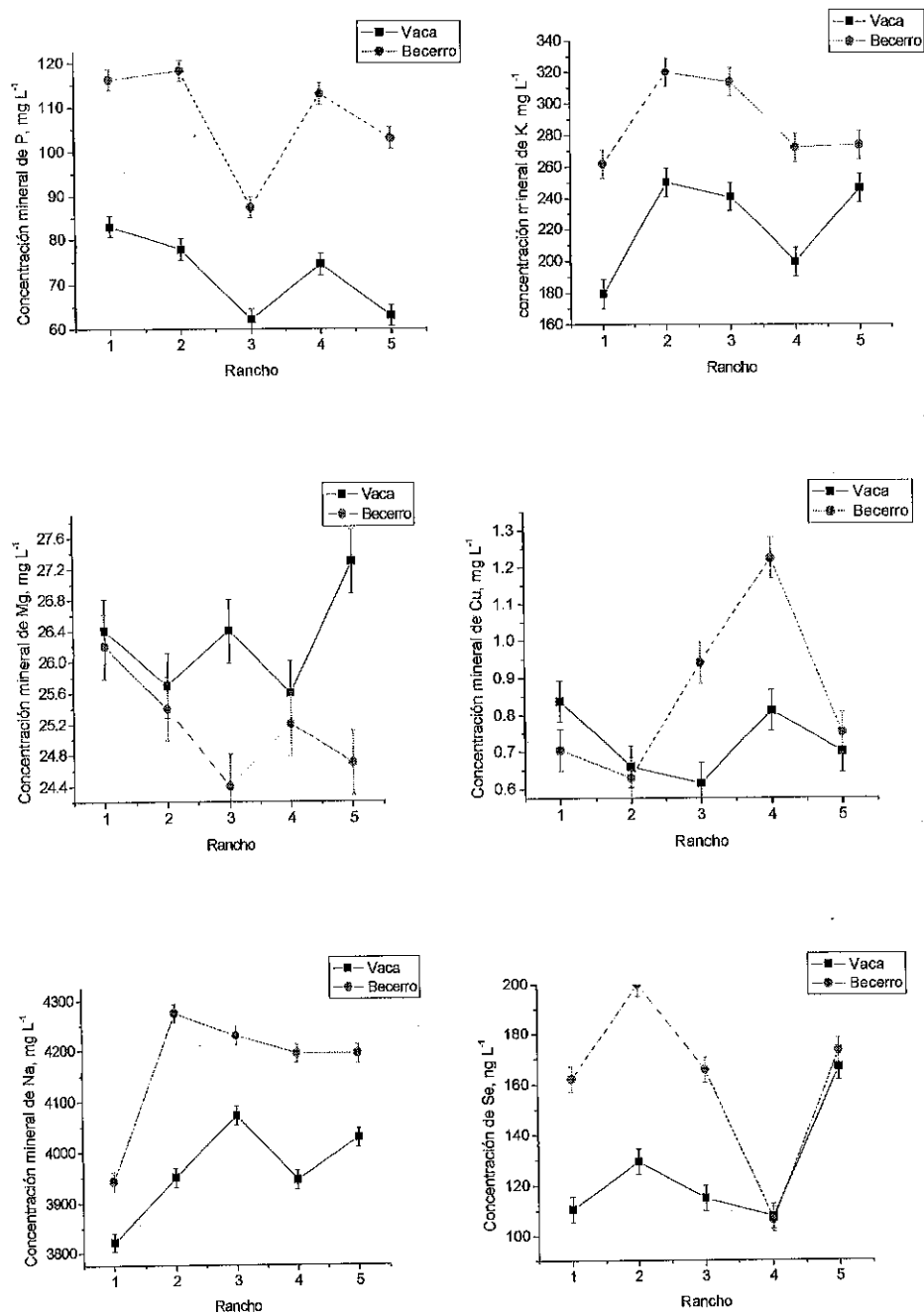


Figura 3. Concentraciones minerales de cobre, sodio, potasio y magnesio en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas (—■—) y becerros (—●—) en la región Huasteca Alta.

En la Figura 3 se muestra la magnitud de la interacción rancho por tipo de animal para magnesio. Las vacas de los ranchos 3 y 5 mostraron

una mayor ($p < 0.05$) concentración de magnesio en suero sanguíneo en comparación con los becerros. Sin embargo, en los ranchos 1, 2 y 4 no hubieron diferencias de concentración entre vacas y becerros ($p > 0.05$).

En la Figura 3 se puede observar que para el caso del cobre en los ranchos 3 y 4 los becerros presentaron mayor ($p \leq 0.05$) concentración de este elemento que las vacas. Sin embargo, en los ranchos 2 y 5 no se detectaron diferencias ($p > 0.05$) por tipo de animal. En cambio, en el rancho 1 se encontró que las vacas tenían mayor concentración de cobre que los becerros.

La concentración de selenio en becerros en los ranchos 1, 2 y 3 fue mayor que en las vacas ($p \leq 0.05$); mientras que para los ranchos 4 y 5 no se encontraron diferencias ($p > 0.05$) (Figura 3); en el rancho 4 se puede observar que las concentraciones de selenio fueron similares, lo que puede asociarse a que la deficiencia de este mineral es más severa y puede ocasionar que los niveles en becerros bajen al nivel de las vacas.

La relación calcio:fósforo fue afectada ($p \leq 0.05$) por la interacción de los efectos principales. La Figura 4 muestra la interacción entre los efectos de rancho y tipo de animal para la relación calcio:fósforo.

Las vacas tuvieron una mayor relación calcio:fósforo, en comparación con las crías en los ranchos 2, 3, 4 y 5; lo cual no sucedió en el rancho 1. Esta interacción se puede explicar porque las vacas de los ranchos 2, 3, 4 y 5 tienen niveles más bajos de fósforo y mayores de calcio.

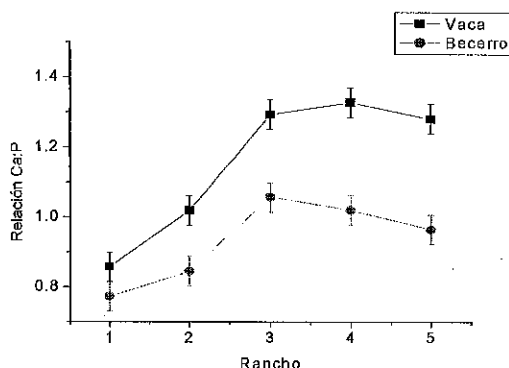


Figura 4. Relación Ca:P en suero sanguíneo (medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar) de vacas (—■—) y becerros (---●---) en la zona norte del estado de Veracruz y sur de Tamaulipas.

4.6 Conclusiones

En general, el ganado de los ranchos es deficiente en cobre y zinc, debido a las bajas concentraciones de estos minerales, y a excesos de hierro en agua y forraje. El zinc y el cobre deben ser suplementados para cubrir los requerimientos mínimos de los animales. Sin embargo, ambos elementos deben ser suplementados por arriba del requisito, debido al alto nivel de hierro presente en el forraje, que puede intervenir en la absorción de los mismos.

Los minerales hierro y potasio de los forrajes se encuentran en concentraciones superiores a los requerimientos de los animales, por lo que debe evitarse la suplementación con los mismos para evitar problemas relacionados con las altas concentraciones en el animal.

Aún cuando el selenio fue deficiente en el suelo y forraje de todos los ranchos, los problemas por deficiencia de este elemento en el ganado fueron mínimos, debido al alto contenido de selenio en agua.

ndo tierras/manuales/Manejo Bovino Doble Prop sito.pdf.
Consultada el 28 de enero de 2009.

Shorrocks, V. M., and B. J. Alloway. 1986. Copper in plant, animal and human nutrition. Copper Development Association. Report TN 35. Orchard House, London United Kingdom. 84 p.

Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock. 3rd edition. CABI Publishing. New York, USA. 614 p.

Ward, J. D., G. P. Gengelbach, and J. W. Spears. 1997. The effects of copper deficiency with or without high dietary iron or molybdenum on immune function of cattle. Journal Animal Science 75: 1400-1408.

Whitehead, C. D. 2000. Nutrient elements in grassland soil-plant-animal relationships. CABI Publishing. New York (NY) USA. p. 203.

Wikse, S. E., D. Herd, R. Field, and P. Holland. 1992. Diagnosis of copper deficiency in cattle. Journal American Veterinary Medical Association 200: 1625-1629.