



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

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

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIAGNÓSTICO MINERAL DE BOVINOS EN PASTOREO EN LA COSTA SUR DE JALISCO

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

JOSÉ ADRIÁN MAGADÁN OLMEDO

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



Mayo 2015

Chapingo, Estado de México



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

**DIAGNÓSTICO MINERAL DE BOVINOS EN PASTOREO EN LA COSTA
SUR DE JALISCO**

Tesis realizada por **JOSÉ ADRIÁN MAGADÁN OLMEDO** bajo la supervisión
del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



Ph. D. MAXIMINO HUERTA BRAVO

ASESOR:



Ph. D. RODOLFO RAMÍREZ VALVERDE

ASESOR:



Ph. D. JOSÉ LUIS ZARAGOZA RAMÍREZ

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
DEDICATORIAS	ix
AGRADECIMIENTOS	x
DATOS BIOGRÁFICOS	xi
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Importancia de los minerales	3
2.2 Diagnóstico mineral	4
2.3 Clasificación y principales funciones de los minerales	5
2.4 Requerimientos y desbalances de minerales	10
2.5 Factores que influyen en el estado mineral de los animales	16
2.5.1 Biodisponibilidad	17
2.5.2 Interacciones entre minerales	18
2.5.3 Factores de la dieta	24
2.5.4 Factores del animal	24
2.5.5 Estado fisiológico	25
2.5.6 Sistemas de producción	25
2.6 Suplementación mineral	27
2.7 Componentes del diagnóstico mineral	29
2.7.1 Suelo	29
2.7.2 Agua	30
2.7.3 Forraje	31
2.7.4 Muestras de origen animal	32
2.8 Literatura citada	33
3. DIAGNÓSTICO MINERAL DE BOVINOS EN PASTOREO EN LA COSTA SUR DE JALISCO, MÉXICO	40
3.1 Resumen	40

3.2	Abstract.....	41
3.3	Introducción	42
3.4	Materiales y métodos.....	43
3.4.1	Colecta y procesamiento de las muestras.....	43
	Agua.....	43
	Forraje.....	44
	Suelo	44
	Suero sanguíneo	44
3.4.2	Análisis de laboratorio	45
3.4.3	Análisis estadístico.....	45
3.5	Resultados y discusión	46
3.5.1	Concentración mineral en suelo	46
3.5.2	Concentración mineral en agua	55
3.5.3	Concentración mineral en forraje	60
3.5.4	Concentración mineral en suero sanguíneo	69
3.6	Conclusiones	87
3.7	Literatura citada	88

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Principales funciones de los elementos minerales esenciales en el cuerpo.	7
Cuadro 2. Requerimientos minerales y concentraciones máximas tolerables para ganado bovino de carne (NRC, 1996).	12
Cuadro 3. Signos de deficiencia y toxicidad de macrominerales en el ganado.	13
Cuadro 4. Signos de deficiencia y toxicidad de microminerales en el ganado.	14
Cuadro 5. Niveles de significancia para época, rancho e interacción época por rancho para las concentraciones de minerales en el suelo en la Costa Sur de Jalisco.	47
Cuadro 6. Efecto de la época del año en la concentración de minerales extraíbles del suelo en la Costa Sur de Jalisco.	47
Cuadro 7. Efecto del rancho en la concentración de macrominerales extraíbles del suelo en la Costa Sur de Jalisco.	48
Cuadro 8. Efecto del rancho en la concentración de microminerales extraíbles del suelo en la Costa Sur de Jalisco.	49
Cuadro 9. Niveles de significancia para época, rancho e interacción época por rancho para las concentraciones de minerales en el agua de bebida en la Costa Sur de Jalisco.	56
Cuadro 10. Efecto de la época del año en la concentración de minerales en agua de bebida para el ganado en la Costa Sur de Jalisco.	56
Cuadro 11. Efecto del rancho en la concentración de minerales en agua de bebida para el ganado en la Costa Sur de Jalisco.	57

Cuadro 12. Niveles de significancia para época, rancho e interacción época por rancho para las concentraciones de minerales en el forraje en la Costa Sur de Jalisco.....	61
Cuadro 13. Efecto de la época del año en las concentraciones minerales del forraje en la Costa Sur de Jalisco.	61
Cuadro 14. Efecto del rancho en las concentraciones de macrominerales del forraje en la Costa Sur de Jalisco.	62
Cuadro 15. Efecto del rancho en las concentraciones de microminerales del forraje en la Costa Sur de Jalisco.	63
Cuadro 16. Niveles de significancia de época, rancho, tipo de animal y sus interacciones dobles y triples para las concentraciones de minerales en suero sanguíneo de bovinos en la Costa Sur de Jalisco.	70
Cuadro 17. Efecto de la época del año en las concentraciones minerales de suero sanguíneo de bovinos en la Costa Sur de Jalisco.	71
Cuadro 18. Efecto del rancho en las concentraciones de macrominerales de suero sanguíneo de bovinos en la Costa Sur de Jalisco.	71
Cuadro 19. Efecto del rancho en las concentraciones de microminerales de suero sanguíneo de bovinos en la Costa Sur de Jalisco.	72
Cuadro 20. Efecto del tipo de animal en las concentraciones de minerales de suero sanguíneo de bovinos en la Costa Sur de Jalisco.	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Secuencia de cambios fisiopatológicos que pueden ocurrir en el ganado con privación de minerales (Suttle, 2010).	15
Figura 2. Secuencia de eventos bioquímicos que pueden ocurrir en el ganado durante la exposición crónica a cantidades excesivas de minerales (Suttle, 2010).	16
Figura 3. Concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio y potasio en suelo durante las épocas de lluvias y seca en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.	50
Figura 4. Concentraciones de cobre, zinc, hierro y manganeso, y pH en suelo durante las épocas de lluvias y seca en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.	54
Figura 5. Concentraciones de calcio, magnesio, sodio y potasio en agua durante las épocas de lluvias y seca en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.	58
Figura 6. Concentraciones de cobre, hierro y manganeso en agua durante las épocas de lluvias y seca en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.	59
Figura 7. Agua con alto contenido de hierro (37 mg L ⁻¹).	60
Figura 8. Concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio y potasio, y relación Ca:P en forraje durante las épocas de lluvias y seca en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.	64
Figura 9. Gramíneas con hojas de color rojizo-púrpura (signos de deficiencia de fósforo).	65
Figura 10. Concentraciones de cobre, zinc, hierro y manganeso en forraje durante las épocas de lluvias y seca en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.	69

Figura 11. Concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio y potasio en suero sanguíneo de vacas y becerros, en dos épocas del año, en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.	75
Figura 12. Signos de deficiencia de fósforo. A y B) Vacas con "trasero caído"; C y D) crecimiento de pezuña e inclinación hacia arriba; E) rigidez articular (también puede ser causada por deficiencia de zinc); F) metatarso enderezado.	77
Figura 13. Signos de deficiencia de fósforo. A y B) Vacas con los miembros hacia dentro del cuerpo y con cifosis (espalda arqueada); C) becerro con debilidad; D) vaca con amiotrofia o delgadez.	78
Figura 14. Concentraciones de cobre, zinc y hierro en suero sanguíneo de vacas y becerros, en dos épocas del año, en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.	81
Figura 15. Signos de deficiencia de cobre. A) Vaca con despigmentación de la capa de pelo; B) becerro con despigmentación de capa y pelo áspero y seco; C) becerros con despigmentación de los pelos alrededor de los ojos; D) becerros con balanceo de los cuartos posteriores y marcha vacilante; E y F) presencia de diarreas.	82
Figura 16. Consumo de suelo. A) Escasez de forraje en la época seca y contaminación con suelo; B) geofagia (consumo de tierra).	83
Figura 17. Signos de deficiencia de fósforo y cobre. A) Deformación de articulaciones; B) fracturas; C) cojeras; D) inflamación de articulaciones.	84
Figura 18. Signos de deficiencia de zinc. A) Becerro con dermatitis en hocico, frente, contorno de ojos, orejas, cuello, paletas, muslos y base del rabo; B) vaca con caída de pelo en círculos; C) grietas sangrantes en ubres; D) grietas entre pezuñas; E y F) vacas con salivación excesiva.	85

Figura 19. El hierro es antagónico con el cobre y el cobalto. A) Animal con anemia, posiblemente por la deficiencia de cobre; B) lagrimeo causado por la posible deficiencia de cobalto y cobre.	86
--	----

DEDICATORIAS

A todos aquellos que no se rinden ante las adversidades.

A los humildes de corazón.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) porque a través de la asignación de recursos fue posible concluir la presente investigación.

Al Ph. D. Maximino Huerta Bravo por compartir sus conocimientos, por su paciencia y por su confianza. Porque aprendí a ver las cosas desde diferentes perspectivas, porque ahora sé que no hay límites.

Al Ph. D. Rodolfo Ramírez Valverde por su disposición, apoyo y acertadas sugerencias para la mejora de esta investigación. Porque me impulsó a demostrar lo que podemos lograr cuando los demás no confían en nuestras capacidades.

Al Ph. D. José Luis Zaragoza Ramírez por sus valiosas aportaciones para el desarrollo de este trabajo de investigación. Porque pude ver que a veces es necesario adaptarnos a diferentes situaciones para salir adelante.

Un agradecimiento especial merecen los señores José de Jesús Corona, Ignacio Navarro, Alfredo Ochoa, Rosendo Villaseñor, Francisco Martínez, Adán Brambila, Florentino Covarrubias, José María Espinoza, Felipe Sandoval, Pedro Tapia, Francisco Orozco y J. Guadalupe Horta por permitir el ingreso a sus unidades de producción y por las facilidades para el trabajo de campo, esto fue la base de la presente investigación.

A Roberto Jáuregui, Pedro Meda, Juan González, Antonio Saavedra, Carolina Campos, Ernesto Díaz, Juan Montejo, Luisa Cáceres y Santiago Velázquez por su apoyo en el desarrollo de este trabajo.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: José Adrián Magadán Olmedo
Fecha de nacimiento: 1 de julio de 1979
Lugar de nacimiento: Río Grande, Oaxaca
No. Cartilla militar: C-3605459
CURP: MAOA790701HOCGLD07
Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia
Cédula profesional: 4798018

Desarrollo académico

Preparatoria: Preparatoria Agrícola (1994-1997)
Universidad Autónoma Chapingo
Licenciatura: Departamento de Zootecnia (1997-2001)
Universidad Autónoma Chapingo
Maestría: Posgrado en Producción Animal (2013-2014)
Universidad Autónoma Chapingo

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La ganadería bovina es la principal actividad agropecuaria desarrollada en las regiones tropicales de México, donde se concentra aproximadamente el 80% de la población bovina de doble propósito, y cuya alimentación base son los forrajes que crecen en las praderas y agostaderos (Colegio de Postgraduados y Fundación Produce Veracruz, 2003). Sin embargo, la desnutrición es comúnmente aceptada como una de las limitaciones más importantes para la producción de ganado en pastoreo en los trópicos (Stonaker, 1975; McDowell y Arthington, 2005).

En estas condiciones, la productividad de los sistemas de pastoreo con ganado bovino es baja, debido principalmente a la variación estacional en la producción y la calidad de los forrajes (Pfander, 1971; Preston, 1982; Blanco-Penedo *et al.*, 2009). La insuficiencia de energía y proteína es a menudo responsable de la baja producción animal; sin embargo, muchos investigadores han observado que la salud del ganado se deteriora a pesar de tener una abundancia de alimentos; de esta forma, los desbalances de minerales (deficiencias o excesos) en suelos y forrajes se han considerado responsables de la baja producción y de los problemas reproductivos de los rumiantes en pastoreo en los trópicos (Haque *et al.*, 1993; McDowell y Arthington, 2005; Chelliah *et al.*, 2008).

Los minerales constituyen un elemento importante en los sistemas de producción ganaderos destinados a la producción de leche o carne, debido a que son vitales para la salud y el crecimiento del ganado, soportando múltiples procesos bioquímicos en el cuerpo (Underwood y Suttle, 1999). Sin embargo, a pesar del beneficio que aportan, el suministro de minerales en la dieta para el ganado suele ser bajo en las regiones tropicales (McDowell y Arthington, 2005).

Los desbalances de minerales provocan efectos económicamente importantes sobre el rendimiento y la salud de los animales, incluso antes de que los signos clínicos sean evidentes (Kincaid, 1999); debido a esto, para tener un mayor acercamiento sobre la situación mineral en una región específica, es necesario realizar un diagnóstico utilizando las tecnologías actualmente disponibles, esta información ayudará a decidir qué minerales se necesitan en un suplemento (Kincaid, 1999; Arizmendi-Maldonado *et al.*, 2002).

Los análisis de tejidos de animales (o los fluidos), suelo, agua y plantas se han utilizado para establecer deficiencias y toxicidades minerales (McDowell y Arthington, 2005). La evaluación del estado mineral en el ganado permitirá proponer alternativas para la corrección de las deficiencias (McDowell, 2003). Por ello, el objetivo de este estudio fue determinar, durante las estaciones seca y de lluvias de un ambiente de trópico, el perfil mineral de vacas y crías en pastoreo para identificar si el estado mineral puede ser un factor que limite la productividad del ganado bovino en este tipo de ambiente.

En el capítulo 2 se presenta una revisión de literatura, en la cual se expone la importancia de los minerales, su clasificación, sus principales funciones, sus requerimientos, sus deficiencias y sus toxicidades. También se hace una descripción de los factores que influyen en el estado mineral de los animales, los elementos a considerar para la suplementación y, por último, se presentan los componentes del diagnóstico mineral.

En el capítulo 3 se exponen los resultados de un diagnóstico mineral realizado a bovinos en condiciones de pastoreo, durante dos épocas del año (lluvias y seca), en doce ranchos ubicados en la región Costa Sur de Jalisco.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de los minerales

La importancia de los minerales para la salud y el bienestar de los animales se ha reconocido durante siglos (Ammerman *et al.*, 1983). La presencia de estos elementos en la alimentación animal es vital para los procesos metabólicos, por lo cual no se puede exagerar su importancia en la nutrición; de hecho, aproximadamente 5% del peso de un animal consiste de minerales (McDowell y Arthington, 2005; Soetan *et al.*, 2010).

Los minerales son sustancias inorgánicas que están presentes en todos los tejidos y fluidos del cuerpo, y su presencia es necesaria para el mantenimiento de ciertos procesos fisicoquímicos que son esenciales para la vida (Soetan *et al.*, 2010). Estos componentes químicos son utilizados por el cuerpo de muchas maneras y, a pesar de que no producen energía, tienen un papel importante que desempeñar en muchas actividades del organismo (Malhotra, 1998). Todas las formas de la materia viva requieren estos elementos inorgánicos para sus procesos vitales normales (Soetan *et al.*, 2010).

Las deficiencias o alteraciones de los minerales en la nutrición de un animal causan una variedad de enfermedades y pueden surgir de varias maneras (Soetan *et al.*, 2010). Cuando un elemento es deficiente se produce un síndrome característico, el cual refleja las funciones específicas del nutriente en el metabolismo del animal. Los minerales son componentes esenciales de los sistemas enzimáticos; por lo tanto, las deficiencias simples o condicionadas tienen profundos efectos en el metabolismo y la estructura de los tejidos (Simsek y Aykut, 2007).

2.2 Diagnóstico mineral

El método tradicional que se ha utilizado para evaluar la nutrición animal consiste en estimar el consumo de alimento, calcular la ingestión de nutrientes y compararla con los requisitos. Esto sigue siendo una consideración importante; sin embargo, este método tiene desventajas obvias para el ganado. Incluso en animales estabulados, el consumo de vitaminas y minerales no se analiza de forma rutinaria y solamente se estima con base en los valores bibliográficos para los distintos alimentos (Maas, 2007).

Debido a la importancia de los minerales en la nutrición de las plantas y animales, y sus interrelaciones metabólicas que influyen en otros factores vitales como las enzimas, antioxidantes, vitaminas, etc., es importante obtener periódicamente información actualizada sobre su contenido en las fuentes de alimento y agua comúnmente utilizadas por los animales (Soetan *et al.*, 2010).

La mayoría de los desequilibrios minerales, especialmente en condiciones marginales, no presentan manifestaciones patológicas de una falta o de un exceso de un mineral específico; por lo tanto, para determinar las insuficiencias minerales se requieren análisis clínicos y ensayos biológicos (McDowell y Arthington, 2005).

Quiroz-Rocha y Bouda (2001) mencionan que, cuando se lleva a cabo un programa de diagnóstico de deficiencias minerales, es importante conocer el estado mineral de los suelos de donde se obtienen los insumos; debe hacerse una revisión de la dieta, incluyendo las premezclas minerales, para conocer el aporte de cada elemento; y es fundamental hacer las determinaciones en el organismo, con el fin de conocer el estado de cada elemento en los animales. No es suficiente evaluar solamente la dieta, debido a que pueden existir interferencias entre componentes de la ración; así como requerimientos mayores por condiciones de fisiología productiva en el animal o excesos de eliminación.

Los exámenes bioquímicos y patológicos junto con el análisis mineral del suelo, el agua, la planta, y los tejidos y fluidos animales se han utilizado para establecer con diverso grado de éxito las deficiencias y excesos de minerales (McDowell y Arthington, 2005). Sin embargo, debido a que los análisis minerales son complicados y caros, es importante seleccionar y analizar el mínimo número de tejidos de plantas y animales que sean los más indicativos del estado mineral (McDowell y Arthington, 2005; Huerta, 2010).

2.3 Clasificación y principales funciones de los minerales

Los minerales están divididos en dos grupos, los macro y los microminerales, esta clasificación se basa en las necesidades de los animales en lugar de su importancia relativa (Gupta y Gupta, 2014). Los requerimientos de los macro son presentados típicamente como porcentaje; mientras que los micro son en miligramos, o incluso microgramos, por kilogramo. En el primer grupo se incluyen calcio, fósforo, potasio, sodio, cloro, azufre y magnesio. Los microelementos son también conocidos como elementos traza, porque los primeros métodos analíticos no permitían su cuantificación y fueron reportados simplemente como una "huella"; en este grupo se encuentran hierro, zinc, cobre, molibdeno, selenio, yodo, manganeso y cobalto (O'Dell y Sunde, 1997; Gill *et al.*, 2004; Blair, 2011).

Respecto a la esencialidad, O'Dell y Sunde (1997) afirman que un elemento es esencial cuando se requiere para sustentar el crecimiento, la reproducción y la salud adecuados en todo el ciclo de vida, cuando todos los otros nutrientes son óptimos. Por su parte, McDowell y Arthington (2005) señalan que los elementos minerales son nutrientes esenciales para todos los animales e influyen en la eficiencia de producción del ganado. El NRC (2005) considera que los minerales esenciales son aquellos que tienen funciones bioquímicas bien definidas y que deben estar en la dieta de los vertebrados para la salud y la productividad óptimas. Mientras que para McDonald *et al.* (2010) el término elemento mineral esencial se limita a un elemento mineral que se ha demostrado que tiene un papel metabólico en el cuerpo. Finalmente, Gupta y

Gupta (2014) definen que un elemento esencial es aquel que el cuerpo no puede sintetizar en cantidades suficientes para mantener la salud.

McDonald *et al.* (2010) y Church (1993) señalan que hasta 1950 se clasificaron 13 elementos minerales como esenciales: éstos comprenden a los macroelementos (calcio, fósforo, potasio, sodio, cloro, azufre y magnesio) y los micro u oligoelementos (hierro, yodo, cobre, manganeso, zinc y cobalto). Para 1970 se había añadido a la lista molibdeno, selenio, cromo y flúor; posteriormente también se incluyó arsénico, boro, plomo, litio, níquel, silicio, estaño, vanadio, rubidio y aluminio; la lista varía ligeramente de acuerdo con los diferentes autores. Los tejidos vegetales y animales contienen otros 30 elementos minerales en pequeñas cantidades, para los que no se ha encontrado alguna función esencial. Muchos de estos microelementos, especialmente los de reciente descubrimiento, son necesarios en cantidades tan mínimas, o están tan ampliamente distribuidos en los alimentos para animales, que las deficiencias son extremadamente raras en condiciones normales.

Aunque la mayoría de los elementos minerales de origen natural se encuentran en los tejidos animales, se cree que muchos están presentes simplemente porque son constituyentes de los alimentos y pueden no tener una función esencial en el metabolismo del animal (McDonald *et al.*, 2010).

De acuerdo con Suttle (2010), los minerales desempeñan cuatro grandes tipos de funciones en los animales:

Estructural: los minerales pueden formar componentes estructurales de órganos y tejidos del cuerpo, ejemplificados por calcio, fósforo y magnesio; silicio en los huesos y dientes; y fósforo y azufre en las proteínas musculares. Los minerales como el zinc y el fósforo también pueden contribuir a la estabilidad estructural de las moléculas y membranas de las que forman parte.

Fisiológica: los minerales se presentan en los fluidos y tejidos corporales como electrolitos que se encargan de mantener la presión osmótica, el equilibrio ácido-base, la permeabilidad de la membrana y la transmisión de los impulsos nerviosos. El sodio, potasio, cloro, calcio y magnesio en la sangre, en el jugo gástrico y en el fluido cerebroespinal son ejemplos de tales funciones.

Catalítica: los minerales pueden actuar como catalizadores en los sistemas endocrino y enzimático, como componentes integrales y específicos de la estructura de metaloenzimas y hormonas o como activadores (coenzimas) dentro de dichos sistemas. El número y la variedad de metaloenzimas y coenzimas identificados han seguido aumentando desde finales de 1990. Las actividades pueden ser anabólicas o catabólicas, mejorando (oxidante) o protegiendo la vida (antioxidante).

Reguladora: los minerales regulan la replicación y la diferenciación celular; por ejemplo, los iones de calcio influyen en la transducción de señales y la selenocisteína influye en la transcripción de genes.

En el Cuadro 1 se presentan las principales funciones de los minerales en el organismo.

Cuadro 1. Principales funciones de los elementos minerales esenciales en el cuerpo.

Elemento	Principales funciones
Calcio	Es esencial para la formación y mantenimiento del hueso, síntesis de la leche, función muscular y nerviosa, coagulación de la sangre, mantenimiento del ritmo cardíaco, activación enzimática y permeabilidad de las membranas.
Fósforo	Esencial para la formación y mantenimiento de huesos y dientes, así como para la utilización de la energía de los alimentos. Necesario para la coagulación de la sangre, la contracción del músculo del corazón y la función renal. Es fundamental para muchos sistemas enzimáticos, funcionamiento adecuado de los microorganismos del rumen, regulación del pH de la sangre y otros fluidos, metabolismo de las proteínas.

Cuadro 1. Continuación...

Elemento	Principales funciones
Potasio	Requerido para el balance osmótico, el equilibrio ácido-base, varios sistemas enzimáticos y el balance de agua. Interviene en la función neural y ayuda a la contracción muscular.
Sodio	Actúa en la regulación de la presión osmótica, el equilibrio ácido-base y el pH de la sangre. Funciona como electrolito en el fluido corporal y está relacionado con el metabolismo del agua a nivel celular, la toma de nutrientes y la transmisión de impulsos nerviosos. Importante en la función neural y muscular, y es estabilizador enzimático.
Cloro	Participa en el mantenimiento de la presión osmótica y en la regulación del equilibrio ácido-base y el pH. Funciona como electrolito en el fluido corporal y está relacionado con el metabolismo del agua a nivel celular, la toma de nutrientes y la transmisión de impulsos nerviosos. Necesario para la activación de la amilasa y es esencial para la formación del ácido clorhídrico en el jugo gástrico.
Azufre	Importante en la síntesis y metabolismo de proteínas (componente esencial de metionina y cisteína), metabolismo de lípidos y carbohidratos, coagulación de la sangre, funciones endocrinas y equilibrio ácido-base en el fluido intra y extracelular. Involucrado en la desinfección de la sangre y protección contra sustancias tóxicas. Necesario en la síntesis de colágeno para dar a la piel su integridad estructural.
Magnesio	Tiene una función importante en la transmisión y actividad neuromuscular, activador enzima-sustrato, ayuda a la absorción de Ca y K, está involucrado en el metabolismo de lípidos y carbohidratos, forma parte de la síntesis de proteínas, interviene en la síntesis y degradación del ADN.
Hierro	Componente de la hemoglobina, la mioglobina y el citocromo. Esencial para la oxigenación de los glóbulos rojos y para muchas enzimas. Importante para el crecimiento.
Zinc	Constituyente de la insulina y muchas enzimas vitales, requerido para la síntesis de proteínas y la formación de colágeno, promueve un sistema inmunológico saludable. Estabiliza las estructuras del ARN, ADN y ribosomas. Interviene en la producción, almacenamiento y secreción de hormonas (testosterona, insulina y corticosteroides adrenales).
Cobre	Necesario para la respiración celular, la formación de huesos, una apropiada función cardíaca, el desarrollo del tejido conectivo, mielinización de la médula espinal, queratinización y pigmentación de los tejidos. Esencial para la salud del sistema inmune de los bovinos y para la protección antioxidante de los glóbulos rojos. Componente de varias metaloenzimas importantes.
Molibdeno	Esencial en ciertos sistemas enzimáticos y es requerido para el metabolismo del N.

Cuadro 1. Continuación...

Elemento	Principales funciones
Selenio	Esencial para el crecimiento, la reproducción y la prevención de enfermedades. Protege a las membranas celulares contra la degeneración y muerte de los tejidos.
Yodo	Componente de las hormonas de la tiroides.
Manganeso	Necesario para la estructura normal de los huesos, la reproducción y la función normal del sistema nervioso. Cofactor en muchas enzimas asociadas con el metabolismo de los carbohidratos y la síntesis de mucopolisacáridos. Requerido para el metabolismo de grasas y proteínas. Mantiene saludable al sistema inmunológico.
Cobalto	Requerido por los microorganismos del rumen para la síntesis de vitamina B ₁₂ , activador enzima-sustrato.

Adaptado de Church, 1977; McDowell y Arthington, 2005; Gupta y Gupta, 2014.

Algunos elementos, por ejemplo el calcio y el molibdeno, pueden interferir con la absorción, el transporte, la función, el almacenamiento o la excreción de otros elementos. Hay muchas maneras en las que los minerales pueden interactuar, pero las tres principales implican la formación de compuestos no absorbibles, la competencia por las vías metabólicas y la inducción de proteínas unidas a un metal. La interacción de los minerales con los demás es un factor importante en la alimentación animal y un desequilibrio de los elementos minerales, a diferencia de una deficiencia sencilla, es importante en la etiología de ciertos trastornos nutricionales de los animales. El uso de isótopos radiactivos en los últimos años ha permitido avanzar en el conocimiento de la nutrición mineral, aunque hay muchas enfermedades nutricionales asociados con minerales cuyas causas exactas aún se desconocen (McDonald *et al.*, 2010).

Aunque se ha considerado el papel esencial de los minerales en la alimentación animal, es importante tener presente que muchos de ellos son tóxicos (causando una enfermedad o la muerte) si se proporcionan en cantidades excesivas (McDonald *et al.*, 2010).

2.4 Requerimientos y desbalances de minerales

Las funciones realizadas por los minerales sólo pueden cumplirse si se absorben y retienen para mantener el ritmo de crecimiento, el desarrollo y la reproducción y para reponer los minerales que se "pierden", ya sea como productos o insidiosamente durante el proceso de la vida (Suttle, 2010).

Los requerimientos netos de minerales subestiman necesidades dietéticas brutas porque los minerales ingeridos son absorbidos en forma incompleta, el grado de subestimación está inversamente relacionado con la eficacia con la que un determinado mineral se absorbe a partir de una dieta dada. Para algunos minerales (por ejemplo, sodio y potasio) la absorción es prácticamente completa en todas las circunstancias; pero para otros (por ejemplo, cobre y magnesio), la mayoría de lo que se ingiere puede permanecer sin absorberse (Suttle, 2010). La forma química en la que un mineral está presente en la dieta puede determinar la eficacia con la que se absorbe (McDowell y Arthington, 2005).

Cantidades determinadas de todos los minerales esenciales son requeridas para reemplazar las pérdidas inevitables, incluso en el ganado improductivo. La magnitud de este "requisito de mantenimiento" varía para los diferentes elementos y especies, pero su principal componente es por lo general la cantidad inevitablemente perdida a través de las heces en forma de células descamadas de la mucosa, residuos microbianos y secreciones digestivas no absorbidas (Suttle, 2010).

La actividad del pastoreo puede aumentar las necesidades de energía para mantenimiento de 10 a 20% o más que la requerida por los animales en reposo. El alimento extra requerido para el movimiento y el trabajo usualmente suministrará al animal suficientes minerales adicionales, excepto tal vez para sodio, potasio y cloro; ya que el trabajo físico intenso, especialmente en condiciones de calor, incrementa en gran medida las pérdidas de estos elementos en el sudor, aumentando así su requerimiento neto (Suttle, 2010).

Ningún otro incremento de los requisitos con el trabajo físico se ha reportado para los macrominerales; sin embargo, hay una creciente creencia de que el aumento del consumo de oxígeno durante el ejercicio conduce a un incremento de los requisitos para los microelementos, tales como selenio, que están involucrados en la defensa antioxidante (Avellini *et al.*, 1995).

Las necesidades de minerales para la reproducción en mamíferos generalmente se compara con el contenido mineral del feto y los productos de la concepción (la placenta, el útero y los líquidos fetales), y por lo tanto aumentan de forma exponencial hasta alcanzar un máximo en el final de la gestación (Suttle, 2010). También hay un pequeño requisito adicional para el crecimiento del tejido mamario y la acumulación de calostro antes del parto (Langlands *et al.*, 1984).

El requisito mineral neto para producción se determina por el contenido mineral de cada unidad producida, tales como la ganancia de peso o la producción de leche, y usualmente se considera que permanecen constantes. Sin embargo, para elementos tales como calcio y fósforo, que están en mayores concentraciones en el hueso que en el tejido blando, los requisitos para crecimiento pueden disminuir ligeramente a medida que los animales maduran, debido a que el hueso hace una contribución progresivamente menor a cada unidad de ganancia de peso vivo (Suttle, 2010).

En el Cuadro 2 se presentan los requerimientos aproximados y los niveles tóxicos de minerales sugeridos por el NRC (1996) para ganado de carne. Muchos factores afectan los requerimientos minerales, entre ellos el tipo y el nivel de producción, la edad, la forma química de los elementos en los ingredientes alimenticios, el consumo suplementario del mineral, la raza y la adaptación animal (McDowell y Arthington, 2005).

Cuadro 2. Requerimientos minerales y concentraciones máximas tolerables para ganado bovino de carne (NRC, 1996).

Mineral	Ganado en crecimiento y engorda	Vacas		Concentración máxima tolerable
		Gestación	Lactación temprana	
Macroelementos				
Calcio (%)	0.19-0.73	0.22-0.38	0.53-0.67	2.00 ¹
Fósforo (%)	0.12-0.34	0.16-0.24	0.32-0.44	1.00 ¹
Potasio (%)	0.60	0.60	0.70	3.00
Sodio (%)	0.06-0.08	0.06-0.08	0.10	-
Azufre (%)	0.15	0.15	0.15	0.40
Magnesio (%)	0.10	0.12	0.20	0.40
Microelementos				
Hierro (mg Kg ⁻¹)	50.00	50.00	50.00	1,000.00
Zinc (mg Kg ⁻¹)	30.00	30.00	30.00	500.00
Cobre (mg Kg ⁻¹)	10.00	10.00	10.00	100.00
Selenio (mg Kg ⁻¹)	0.10	0.10	0.10	2.00
Yodo (mg Kg ⁻¹)	0.50	0.50	0.50	50.00
Manganeso (mg Kg ⁻¹)	20.00	40.00	40.00	1,000.00
Cobalto (mg Kg ⁻¹)	0.10	0.10	0.10	10.00

¹ McDowell y Arthington (2005).

Los desajustes minerales nutricionales varían desde deficiencias minerales agudas o enfermedades de toxicidad, caracterizadas por signos clínicos y cambios patológicos marcados, hasta condiciones leves o de transición, difíciles de diagnosticar, expresadas como extenuación o crecimiento y reproducción no satisfactorios (Cuadros 3 y 4). Los signos de deficiencias minerales pueden ser confusos, ya que las condiciones observadas pueden ser causadas por más de un mineral y pueden ser combinadas con los efectos de la deficiencia de proteína, varios tipos de parasitismo, plantas tóxicas y enfermedades infecciosas (McDowell y Arthington, 2005).

Cuadro 3. Signos de deficiencia y toxicidad de macrominerales en el ganado.

Mineral	Deficiencia	Toxicidad
Calcio	Raquitismo, crecimiento lento, huesos débiles que se fracturan fácilmente, reducción de la producción de leche, fiebre de leche, tetania.	Defectos óseos, reducción del consumo de alimento y de la ganancia de peso.
Fósforo	Huesos frágiles y débiles, pobre crecimiento, disminución del apetito, bajo comportamiento reproductivo, pica.	Anormalidades óseas, reducción del consumo de alimento y de la ganancia de peso, cálculos urinarios.
Potasio	Disminución del consumo de alimento, pérdida de la condición del cabello, retraso en el crecimiento, emaciación, incapacidad para coordinar los movimientos musculares, rigidez, trastornos nerviosos.	Disminución del apetito y el crecimiento, tetania de los pastos, fiebre de leche, paro cardíaco.
Sodio	Ansia por la sal, mayor consumo de agua, retraso en el crecimiento, falta de coordinación, debilidad y escalofríos. Lamido de madera, suelo y sudor de otros animales.	Bajo consumo de agua y alimento, problemas digestivos, baja ganancia de peso, diarrea.
Azufre	Crecimiento lento, reducción de la producción de leche y de la eficiencia alimenticia, debilidad, lagrimeo.	Poliencefalomalacia, dolor abdominal, crispas musculares, diarrea, deshidratación severa, fuerte olor a azufre en el aliento, pulmones congestionados, enteritis severa.
Magnesio	Irritabilidad, nerviosismo, tetania, convulsiones.	Debilidad, molestias en la locomoción, diarrea, disminución del consumo de alimento, somnolencia, muerte.

Adaptado de McDowell y Arthington, 2005; Suttle, 2010; Blair, 2011.

A menudo, los síntomas de deficiencia específicos se relacionan con las funciones a las que el mineral está asociado; mientras que los síntomas generales para la mayoría de las toxicidades minerales incluyen diarrea, deshidratación, anorexia, salivación, pérdida de peso, dificultad para respirar, parálisis, necrosis de órganos y tejidos, y muerte (Church, 1977).

Cuadro 4. Signos de deficiencia y toxicidad de microminerales en el ganado.

Mineral	Deficiencia	Toxicidad
Hierro	Anemia nutricional, palidez de mucosas, pobre crecimiento, letargo, agrandamiento del corazón.	Reducción del consumo de alimento, baja ganancia de peso, diarrea, hipotermia, acidosis metabólica.
Zinc	Disminución del consumo de alimento y de la ganancia de peso, reducción de la eficiencia alimenticia, mastitis, piel seca y con grietas, pérdida y aspereza de pelo, reducción en el crecimiento testicular.	Reducción de la tasa de crecimiento en terneros prerumiantes, pica.
Cobre	Diarrea severa, anemia, apetito anormal, crecimiento lento, decoloración del pelo, ataxia en recién nacidos, infertilidad, huesos frágiles.	Náusea, vómito, salivación, dolor abdominal, convulsiones, parálisis, colapso, anemia, distrofia muscular, bajo crecimiento, deterioro de la reproducción, muerte.
Selenio	Enfermedad del músculo blanco, retención placentaria, baja tasa reproductiva, inmunidad reducida, muerte súbita.	Somnolencia, enflaquecimiento, pelo áspero, dolor y crecimiento alargado de los cascos o las pezuñas, rigidez y cojera, atrofia del corazón, cirrosis hepática, dolor abdominal, salivación, crujiir de dientes, parálisis en algún grado.
Yodo	Bocio, anestro, ceguera en neonatos, semen anormal.	Depresión en el apetito, apariencia inactiva e indiferente, escamiosidad y caída de piel, dificultad al tragar, tos seca, lagrimeo excesivo.
Manganeso	Retraso y disminución de signos de estro, pobre concepción, anormalidades óseas, abortos, deformaciones fetales.	Bajas tasas de reproducción.
Cobalto	Falta de apetito, anemia, emaciación, disminución de la producción de leche, pelo áspero, mucosas pálidas.	Disminución del apetito y de la ganancia de peso, anemia.

Adaptado de McDowell y Arthington, 2005; Suttle, 2010; Blair, 2011.

La falta de especificidad en las consecuencias clínicas y patológicas de la privación mineral cambia el enfoque a la detección de los cambios bioquímicos en los tejidos y fluidos de los animales. Estos cambios también son valiosos en la detección preclínica de los desequilibrios minerales (Mills, 1987).

Suttle (2010) reporta que la secuencia en la privación mineral consta de cuatro fases (Figura 1):

1. Agotamiento, durante la cual se reduce la cantidad almacenada del mineral.
2. Deficiencia, en la cual se reduce la cantidad transportada del mineral.
3. Disfunción, cuando las funciones dependientes del mineral quedan limitadas.
4. Desorden, durante la cual las anomalías clínicas se hacen evidentes a simple vista.

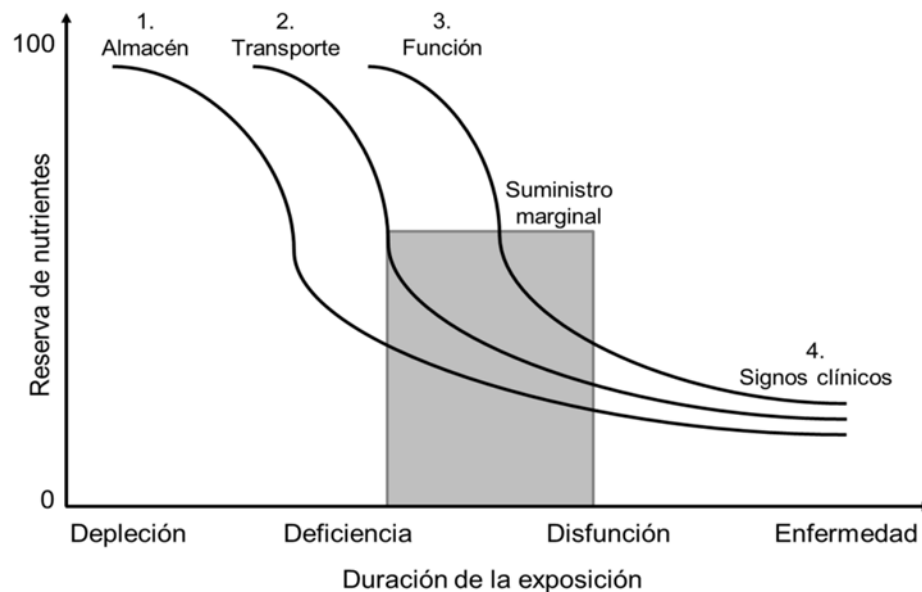


Figura 1. Secuencia de cambios fisiopatológicos que pueden ocurrir en el ganado con privación de minerales (Suttle, 2010).

La exposición crónica a un exceso de minerales (Figura 2) conduce generalmente a una secuencia de cambios bioquímicos que es una imagen contraria a los acontecimientos ocurridos durante la privación (Suttle, 2010):

1. Hay un incremento del mineral en los sitios de almacenamiento.
2. Aumenta la concentración del mineral en las reservas de transporte.

3. La disfunción puede manifestarse por la acumulación de metabolitos o constituyentes anormales en la sangre, los tejidos o las excreciones.
4. Los signos clínicos del desorden se hacen visibles.

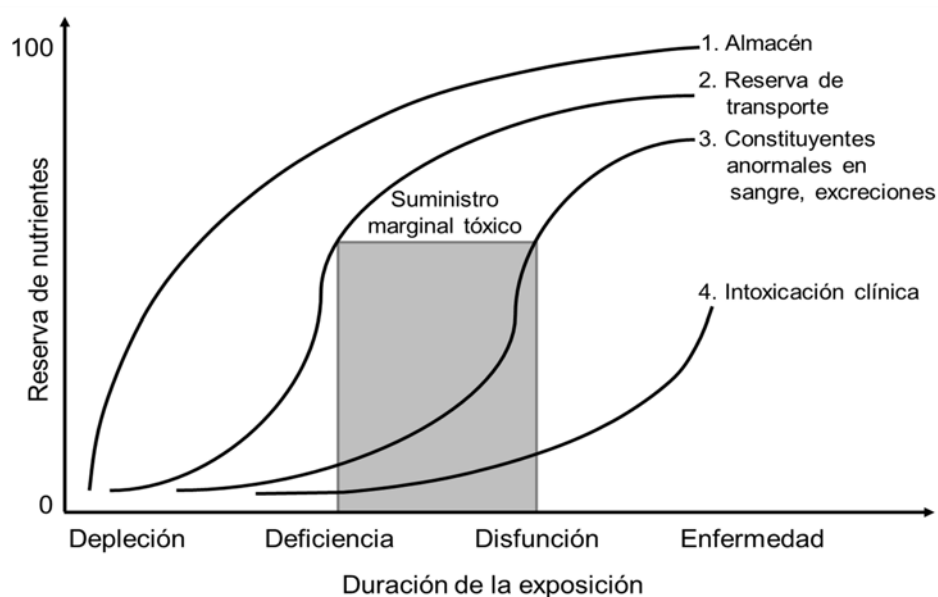


Figura 2. Secuencia de eventos bioquímicos que pueden ocurrir en el ganado durante la exposición crónica a cantidades excesivas de minerales (Suttle, 2010).

Las deficiencias de minerales, las toxicidades y los desequilibrios requieren que el animal compense metabólicamente a través del desvío de nutrientes, de este modo se pueden producir ciertas enfermedades metabólicas y el rendimiento general de los animales puede ser menor (McDowell, 2003; Underwood y Suttle, 1999).

2.5 Factores que influyen en el estado mineral de los animales

Muchos factores pueden afectar el estado mineral de un animal, tales como la biodisponibilidad de los elementos, la ausencia o presencia de antagonistas en la dieta, el tipo de alimento, los factores del animal, el estado fisiológico, el sistema de producción, entre otros.

2.5.1 Biodisponibilidad

La producción eficiente del ganado y el mantenimiento de la salud en los animales requieren que los nutrientes esenciales sean proporcionados en cantidades apropiadas y en formas que sean biológicamente utilizables. El grado de biodisponibilidad tiene influencia no sólo en el requerimiento dietético sino también en la tolerancia a un nutriente. Por lo tanto, es importante conocer la biodisponibilidad de los nutrientes en los ingredientes de los alimentos y en los suplementos que son usados en la alimentación animal (Ammerman *et al.*, 1995).

Los términos relativos a la utilización de los nutrientes incluyen "biodisponibilidad", "disponibilidad", "disponibilidad biológica", "bioactividad", "biopotencia" y "bioeficacia." Estos términos se utilizan con frecuencia indistintamente (Ammerman *et al.*, 1995). La "biodisponibilidad" se define como el grado en que un nutriente ingerido en una fuente particular es absorbido en una forma que puede ser utilizado en el metabolismo por el animal (Ammerman *et al.*, 1995; O'Dell y Sunde, 1997). Para algunos nutrientes, la medición de la utilización real es considerablemente difícil, y los investigadores han manejado a menudo estimaciones de utilización que no cumplen con la definición más estricta de la biodisponibilidad (Ammerman *et al.*, 1995).

Los valores de biodisponibilidad frecuentemente se expresan en unidades porcentuales. En ciertos estudios, tales como aquellos en los que se obtiene la absorción verdadera, el valor representa la proporción absoluta de un nutriente que es absorbido por el animal y llevado a los tejidos para su utilización. Sin embargo, los valores de biodisponibilidad para los nutrientes se expresan a menudo, en relación a una respuesta obtenida con un material estándar de referencia. Este enfoque se traduce en un número denominado "valor de biodisponibilidad relativa". Los valores relativos son útiles en la formulación de dietas, especialmente cuando se aplican a las fuentes de nutrientes suplementarios. Con frecuencia, la fuente de nutriente utilizada como un material estándar de referencia es la misma, o similar en biodisponibilidad, a la

que se utilizó para determinar el requerimiento del animal para el nutriente (Ammerman *et al.*, 1995).

La biodisponibilidad puede verse afectada por la especie animal y su estado fisiológico (crecimiento, desarrollo óseo, gestación, lactancia o enfermedad); la demanda de los animales en relación con el consumo; las interacciones con los nutrimentos y otros compuestos de la dieta; el tipo de procesamiento que se ha dado al nutriente; así como el tamaño de partícula del ingrediente, su forma química y el grado de solubilidad (Spears, 1996; Ammerman *et al.*, 1995; Spears, 2003).

Considerando lo anterior, la capacidad de los forrajes para satisfacer las necesidades de minerales del ganado en pastoreo depende de la cantidad (la concentración en la planta) y la biodisponibilidad de estos minerales. De esta forma, aunque las concentraciones en el forraje pueden ser adecuadas, el porcentaje que está disponible para el animal puede ser bajo (Whitehead *et al.*, 1985; Spears, 2003; Khan *et al.*, 2006).

2.5.2 Interacciones entre minerales

El término de interacción mineral se utiliza para describir las interrelaciones entre los elementos minerales, y puede ser definido como “el efecto de un elemento en uno o más de otros elementos que se manifiesta por respuestas fisiológicas o bioquímicas” (O'Dell, 1997).

La interacción fisiológica de dos o más minerales en la dieta puede tener efectos significativos en la salud y el bienestar animal. Aunque las interacciones que implican elementos esenciales en la dieta pueden ser perjudiciales (antagónicas) o benéficas (sinérgicas), la principal preocupación es que un elemento antagónico puede inducir una deficiencia de nutrientes de su contraparte cuya concentración en la dieta está en el límite (O'Dell, 1997).

Las interacciones antagónicas a menudo se expresan como una inhibición mutua de la absorción en el tracto intestinal pero también pueden ocurrir a nivel

celular (Henry y Miles, 2000). La comprensión de las interrelaciones en la dieta y a nivel de tejidos entre dos o más minerales es importante para proporcionar una óptima nutrición a los rumiantes (Ammerman y Goodrich, 1983). El posible número y el grado de interacción entre minerales es grande y complejo, por esta razón es necesaria una base teórica para la predicción y el estudio de las interacciones.

A continuación se presentan las principales interacciones encontradas entre los elementos minerales:

Cobre-Hierro: el metabolismo del cobre está estrechamente entrelazado con otros microminerales y se sabe que su deficiencia afecta la movilización de hierro, dando como resultado deficiencia secundaria de este último (Araya *et al.*, 2007). Así mismo, dietas altas en hierro reducen el estado de cobre en el ganado (Underwood y Suttle, 1999; Mullis *et al.*, 2003); sin embargo, altos contenidos de hierro en la dieta no afectan el estado del cobre en terneros jóvenes prerumiantes, lo que indica que se necesita un rumen funcional para que el hierro interfiera con el metabolismo del cobre (Bremner *et al.*, 1987). Se cree que el sulfuro en el rumen se combina con el hierro para formar complejos de sulfuro ferroso, los cuales se disocian en el abomaso a pH bajo donde el sulfuro entonces forma complejos insolubles con el cobre (Gengelbach *et al.*, 1994).

Cobre-Zinc: una porción de cobre en la mucosa intestinal se une a la metalotioneína o proteínas similares (Linder y Hazegh-Azam, 1996). La unión a la metalotioneína impide la transferencia de cobre a la serosa intestinal, y la metalotioneína fijada al cobre se puede perder en las heces durante el reemplazo normal de las células intestinales. La metalotioneína tiene mayor afinidad por el cobre que por el zinc, y una dieta alta en zinc puede reducir la absorción de cobre mediante la inducción de síntesis de metalotioneína (Harris, 1997).

Zinc-Hierro: se ha demostrado que bajas concentraciones de zinc en la dieta incrementan las reservas de hierro tisular, así como las concentraciones de hemoglobina (Fischer y Belonge, 2002).

Zinc-Cobre-Hierro: el zinc interacciona negativamente con el cobre y el hierro, mientras que el cobre tiene un efecto positivo sobre el metabolismo del hierro. Hay una interacción recíproca entre el zinc y el hierro. La naturaleza de esta interacción múltiple es ilustrada por el hecho de que el exceso de zinc inhibe la absorción y la función del cobre, que a su vez es esencial para la utilización del hierro (O'Dell, 1997).

Cobre-Azufre: el azufre en forma de sulfuro reduce la biodisponibilidad del cobre mediante la formación de sulfuro de cobre insoluble en el intestino (McDowell y Arthington, 2005).

Cobre-Molibdeno: niveles tóxicos de molibdeno interfieren con el metabolismo del cobre, incrementando el requerimiento de este mineral (Randhawa *et al.*, 2002; McDowell y Arthington, 2005).

Cobre-Molibdeno-Azufre: los requerimientos de cobre varían mucho en rumiantes en función de las concentraciones de otros componentes de la dieta, especialmente azufre y molibdeno (McDowell y Arthington, 2005; McDonald *et al.*, 2010; Dias *et al.*, 2013). La interacción entre molibdeno, cobre y azufre es de gran importancia práctica en rumiantes en pastoreo (Spears, 2003). Esta interacción puede ocurrir con concentraciones de molibdeno y azufre que se encuentran de forma natural en los alimentos y se centra en la formación de tiomolibdatos (mono, di, tri y tetratiomolibdatos) en el rumen (Gooneratne *et al.*, 1989; Suttle, 1991). Los tiomolibdatos son formados por la reacción del molibdato con el sulfuro. El sulfuro es producido por los microorganismos del rumen vía la reducción de sulfato y también la degradación de los aminoácidos azufrados. Los sulfuros y tiomolibdatos insolubles formados por los microorganismos ruminales se unen al cobre de la dieta, y su disponibilidad se reduce notablemente, debido a que no es liberado incluso bajo condiciones

ácidas (Allen y Gawthorne, 1987; Spears, 2003; Dermauw *et al.*, 2014). Ciertas clases de tiomolibdatos pueden ser absorbidas (Price *et al.*, 1987). Los efectos sistémicos sobre el metabolismo del cobre que son atribuidos a la absorción de tiomolibdatos incluyen: 1) el aumento de la excreción biliar de cobre a partir de las reservas hepáticas; 2) la fuerte unión del cobre a la albúmina plasmática, lo que resulta en el transporte reducido del cobre disponible para los procesos bioquímicos; y 3) la remoción de cobre a partir de metaloenzimas (Suttle, 1991; Spears, 2003). El molibdeno puede tener poco efecto sobre la biodisponibilidad del cobre cuando las concentraciones ruminales de azufre son bajas (Suttle, 1975).

Hierro-Molibdeno-Cobre: no está claro si los efectos antagónicos de hierro y molibdeno sobre el cobre son aditivos (Bremner *et al.*, 1987).

Aluminio-Hierro: las interacciones entre el aluminio y el hierro se producen teóricamente en diversos tejidos porque el aluminio es transportado, al menos parcialmente, en el plasma por la transferrina. La importancia y el mecanismo de las interacciones son controvertidos. Es poco probable que el aluminio y el hierro compitan directamente por la absorción; sin embargo, la presencia de Fe II reduce la absorción intestinal de aluminio al disminuir la liberación de éste en la sangre desde las células de la mucosa (NRC, 2005). Fernández-Menéndez *et al.* (1991) plantearon que en la deficiencia de hierro la disminución de la saturación de transferrina da lugar a una mayor absorción de aluminio.

Hierro-Cobalto: el hierro y el cobalto interactúan en la mucosa intestinal y son mutuamente antagónicos (Thomson *et al.*, 1971).

Potasio-Sodio: el exceso moderado de potasio puede presentar o agravar una deficiencia de sodio y predisponer a los rumiantes a la fiebre de leche (McDowell y Arthington, 2005).

Potasio-Magnesio: el alto contenido de potasio en los forrajes durante las épocas críticas del año puede ser antagonista a la absorción y utilización de

magnesio y puede influir en la incidencia de tetania de los pastos. La deficiencia de magnesio disminuye la retención de potasio, resultando en deficiencia de este elemento (McDowell y Arthington, 2005).

Calcio-Magnesio: el exceso de calcio en la dieta disminuye la absorción y el estado de magnesio en los animales (O'Dell, 1997) y el exceso de este último descontrola el metabolismo del calcio (McDowell y Arthington, 2005).

Calcio-Zinc: niveles excesivos de calcio en la dieta reducen la concentración de zinc en suero sanguíneo de rumiantes (Pond y Wallace, 1986; Huerta, 1999; Spears, 2003).

Calcio-Fósforo: la nutrición y el metabolismo normal del fósforo requiere niveles adecuados de calcio en la dieta y una adecuada proporción de calcio: fósforo (Littledike y Goff, 1987). Los fosfatos no pueden ser depositados en los huesos sin calcio suficiente disponible (NRC, 2005). Sin embargo, el exceso de calcio en la dieta forma complejos insolubles con fosfatos o fitatos en el intestino, haciendo al fósforo indisponible para su absorción (Lei *et al.*, 1994; Liu *et al.*, 2000). Además, los altos niveles de calcio sérico inhiben la síntesis de $1,25-(OH)_2D_3$, reduciendo la absorción de fósforo en el intestino. Por lo tanto, es difícil distinguir los signos clínicos de la deficiencia o toxicidad primarias de fósforo, sin confundirlas con la nutrición de calcio o vitamina D. En muchos casos, la toxicidad de fósforo es producida por un exceso relativo de fósforo en relación con niveles bajos de calcio (NRC, 2005). Los excesos de fósforo reducen la absorción de calcio (McDowell y Arthington, 2005).

Manganeso-Calcio-Fósforo: algunas investigaciones indican que altos niveles de calcio y fósforo en la dieta pueden reducir la biodisponibilidad del manganeso (Spears, 2003; McDowell y Arthington, 2005).

Fósforo-Magnesio: el consumo de excesos de fósforo, así como de calcio, acentúa los signos de deficiencia de magnesio, principalmente por la disminución de la absorción de este elemento. Los efectos del calcio y el fósforo

son aditivos (O'Dell, 1997). Así mismo, el exceso de magnesio descontrola el metabolismo del fósforo (McDowell y Arthington, 2005).

Fósforo-Hierro-Aluminio: en muchos países tropicales, grandes cantidades de hierro y aluminio en el suelo acentúan la deficiencia de fósforo al formar complejos de fosfatos insolubles, reduciendo el fósforo disponible para la absorción por la planta (McDowell y Arthington, 2005).

Selenio-Calcio: algunas investigaciones indican que el calcio de la dieta, ya sea alto o bajo, puede reducir la absorción del selenio en animales adultos (Alfaro *et al.*, 1987; Spears, 2003).

Selenio-Azufre: el selenio y el azufre tienen propiedades físicas y químicas similares, por lo cual son propensos a interactuar de manera competitiva (O'Dell, 1997; Spears, 2003). El selenio puede reemplazar al azufre en algunos compuestos orgánicos, pero la actividad metabólica de los compuestos seleníferos es menor que la de los que contienen azufre. El azufre se ha usado para contrarrestar al selenio cuando éste se ha suministrado en concentraciones tóxicas (McDowell y Arthington, 2005), debido a que el incremento de azufre en la dieta reduce la biodisponibilidad de selenio (O'Dell, 1997; Spears, 2003).

Selenio-Arsénico: la deficiencia de selenio altera el metabolismo y agudiza la toxicidad del arsénico. Además, la suplementación con arsénico como arsenito o arsenato alivia la toxicidad de la mayoría de las formas de selenio (por ejemplo: selenato, selenito, selenocisteína, selenometionina), por lo cual el arsénico se ha usado con éxito para contrarrestar el envenenamiento causado por el exceso de selenio en el ganado vacuno (Levander, 1977; McDowell y Arthington, 2005). Los suplementos de selenio como selenato de sodio, aparentemente, pueden aliviar la toxicidad del arsénico como arsenato (NRC, 2005).

2.5.3 Factores de la dieta

La composición química de las plantas y comunidades vegetales en los pastizales varía según la especie, el tipo de suelo, el clima, la estación del año y la fenología. Al comparar leguminosas con gramíneas del mismo lugar, las primeras tienden a ser más altas en calcio, cobre, zinc y cobalto (Greene *et al.*, 1987; Suttle, 2010).

Las dietas de los rumiantes son generalmente altas en fibra y la proporción que se digiere en el rumen a través de la fermentación microbiana es considerable. Sin embargo, la asociación de minerales con fracciones de fibra en los alimentos (Whitehead *et al.*, 1985), así como su unión a los constituyentes fibrosos no digeridos en el tracto gastrointestinal, puede alterar la biodisponibilidad de algunos minerales en los rumiantes (Kabaija y Smith, 1988).

2.5.4 Factores del animal

El pH en el ambiente ruminal es ligeramente ácido (6.0-6.8) y al menos algunos de los complejos metálicos que son formados en el rumen permanecen insolubles, incluso bajo las condiciones ácidas encontradas en el abomaso (Waghorn *et al.*, 1990).

Aunque se han reconocido las diferencias entre especies en el metabolismo mineral, sólo recientemente se han observado diferencias entre razas dentro de una misma especie (Paterson y Engle, 2005). Los distintos requerimientos entre razas pueden estar relacionados con las diferencias en la absorción en el tracto gastrointestinal; además, también se ha indicado que estas diferencias en el metabolismo entre razas pueden no deberse únicamente a la absorción, sino también a la manera en que los minerales son utilizados o metabolizados post-absorción (Ward *et al.*, 1995).

Relacionado con los microminerales, un buen ejemplo es el metabolismo del cobre en rumiantes; es bien sabido que hay gran variación genética en su

tolerancia o resistencia, ya que ciertas razas se clasifican como tolerantes o resistentes a la toxicidad de cobre (Suttle, 2010). En el ganado bovino se ha reportado que Simmental y Charolais pueden tener requisitos más altos de cobre que otras razas como Aberdeen Angus, y que las vacas Jersey son más susceptibles a la intoxicación por este mineral que Holstein Friesian (Du *et al.*, 1996).

2.5.5 Estado fisiológico

El requerimiento diario de nutrientes varía de acuerdo a las funciones fisiológicas del ganado en pastoreo y, por tanto, el crecimiento, la gestación, la lactancia y la engorda juegan un papel clave en la determinación de las demandas diarias de nutrientes (Abdullah *et al.*, 2013).

Los animales también han demostrado que tienen diferentes necesidades de minerales en función de su edad (NRC, 2001). El cambio en las necesidades de minerales en el tiempo es más evidente en los animales jóvenes en crecimiento (Paterson y Engle, 2005).

2.5.6 Sistemas de producción

En los sistemas intensivos es fundamental proporcionar cantidades adecuadas de minerales para satisfacer las necesidades de los animales y así maximizar la salud y la productividad (López-Alonso, 2012).

En los sistemas sostenibles la principal fuente de minerales para el ganado es el propio suelo y los materiales de desecho de la granja que se reciclan en el pasto. Las concentraciones de minerales disponibles en los diferentes tipos de suelo dependen de la roca madre y de la química del suelo y, como consecuencia, los forrajes en algunas circunstancias pueden ser deficientes o desequilibrados en algunos minerales (Hayashida *et al.*, 2004; López-Alonso, 2012). En raros casos puede ocurrir deficiencia o toxicidad agudas y las medidas correctivas pueden ser complejas y difíciles. Por el contrario, las deficiencias o toxicidades subclínicas, que son difíciles de diagnosticar pero

asociadas a una baja productividad, son comunes en todo el mundo (Suttle, 2010; Blanco-Penedo *et al.*, 2009).

Los productores de hoy se enfrentan a muchos problemas difíciles en referencia a la agricultura sostenible. De ellos, el tema ambiental ha comenzado a tener un impacto en las prácticas de producción. En un futuro cercano, posiblemente los reglamentos pueden limitar el nivel de minerales utilizados en la alimentación a fin de reducir la cantidad encontrada en los desechos animales (Larson, 2005; López-Alonso, 2012). Cuando los productores se enfrentan a este tipo de restricción, la forma de los minerales utilizados puede ser más crítica en relación a la biodisponibilidad para el animal. La pregunta entonces es, si con menores niveles de minerales orgánicos más biodisponibles se obtendrá la misma respuesta que con mayores niveles de minerales inorgánicos (Larson, 2005).

A diferencia de las granjas convencionales, en los sistemas orgánicos la principal (o incluso la única) fuente de alimentación para el ganado se produce localmente y el uso de suplementos minerales está restringido. Aunque no están prohibidos, los suplementos minerales no son la primera opción, deben ser considerados como una medida de corto plazo, ya que es un enfoque ampliamente convencional y no sigue la filosofía orgánica, que trata de diseñar estrategias más naturales y sostenibles para el suelo y los pastizales (López-Alonso, 2012).

Muchos de los sistemas de producción animal actuales, así como sus expectativas de rendimiento, inducen periodos de estrés para el animal. En la presencia de estrés, el estado mineral del animal es crítico en la minimización de los efectos negativos sobre la producción (Larson, 2005). El estrés y su relación con la aparición de enfermedades se han reconocido durante mucho tiempo. Los factores de estrés en relación con la producción animal incluyen una variedad de circunstancias tales como infección, factores ambientales, parto, lactancia, destete, transporte y manejo. Las investigaciones han demostrado que el estrés puede alterar el metabolismo de los minerales

(Paterson y Engle, 2005). El estrés puede reducir potencialmente el estado mineral debido a una disminución en la capacidad del animal para retener elementos específicos (Larson, 2005).

Las actividades están altamente estandarizadas en la ganadería intensiva, pero son variables en la orgánica. En la mayoría de los casos, estas granjas son el resultado de unidades convencionales que adaptan sus prácticas de cría y de manejo a los métodos más regulados y sostenibles requeridos para alcanzar el estatus de "orgánico" (López-Alonso, 2012).

El ganado en sistemas de libre pastoreo es totalmente dependiente de los minerales que contienen los pastos. Los animales raras veces son encerrados y hay pocas oportunidades para administrar suplementos minerales a través de forrajes y concentrados; de modo que los científicos y los agricultores han desarrollado estrategias eficaces para controlar, tratar y prevenir las deficiencias. Los métodos de suplementación preferidos para el ganado tienen eficiencias de 6 a 12 meses y por lo general incluyen inyecciones de acción prolongada, bolos intrarruminales de lenta liberación y fertilizantes; algunas opciones adicionales están disponibles para las vacas lecheras, incluyendo minerales solubles introducidos en el abastecimiento de agua y suplementos alimenticios si el hato tiene acceso a comederos (López-Alonso, 2012).

2.6 Suplementación mineral

Idealmente, los suplementos minerales deben utilizarse sólo cuando los requisitos no pueden cumplirse de manera fiable por la combinación de los alimentos naturales (Suttle, 2010). Es importante tener en cuenta la interrelación entre muchos nutrientes, debido a que la deficiencia o la toxicidad en uno solo puede afectar la funcionalidad de otros (Arthington, 2006).

El combinar suplementos minerales con el concentrado es una forma eficiente de proveer los minerales. Este método asegura que cada animal consuma una cantidad adecuada de minerales y de otros nutrientes. Este procedimiento representa un sistema ideal para proveer los minerales pero no puede ser

usado con rumiantes en pastoreo, ya que reciben poco concentrado y su alimentación depende completamente de los forrajes (McDowell y Arthington, 2005).

La suplementación mineral *ad libitum* es el método directo más utilizado para los animales en pastoreo; aun cuando el ganado no balancea sus necesidades minerales perfectamente al consumir una mezcla *ad libitum*, usualmente no hay otra forma práctica de cubrir los requerimientos (Greene, 2000; McDowell y Arthington, 2005).

La formulación de un suplemento para el suministro de minerales en las proporciones exactas es inútil si no se consume en las cantidades adecuadas. El consumo de minerales *ad libitum* es variable de un animal a otro. La regulación del consumo es el mayor problema a superar al proporcionar minerales a libre acceso (Greene, 2000).

Las estrategias de formulación de suplementos minerales *ad libitum* pueden llegar a ser complejas debido a las diferencias en la disponibilidad de minerales del forraje, las interacciones entre los elementos y la dificultad en la evaluación del estado mineral de los animales. Un suplemento mineral *ad libitum* debería cambiar con la etapa de producción del animal y la composición mineral del forraje, pero esto no es práctico desde el punto de vista de manejo (Greene, 2000).

La manera más fácil de manejar la suplementación mineral *ad libitum* es proveer el mismo suplemento durante todo el año para todas las clases de ganado en pastoreo, pero esto no funciona cuando se trata de satisfacer las necesidades de minerales del ganado en momentos específicos. El compromiso entre lo ideal y lo más fácil de manejar es una elección que debe tomar cada ganadero (Greene, 2000).

En algunas situaciones podría no saberse cuáles son los requerimientos para una suplementación mineral, en estos casos sería apropiado proveer una

mezcla mineral completa y básica, formulada para satisfacer un amplio rango de ambientes y de regímenes alimenticios. Existe un mínimo peligro de toxicidad o costo excesivo, especialmente en comparación con la alta probabilidad de incrementar la tasa de producción del ganado vacuno mediante el suministro de una suplementación mineral básica (McDowell y Arthington, 2005).

En conclusión, es mejor formular mezclas *ad libitum* con base en el análisis mineral del alimento; sin embargo, cuando se desconoce el estado mineral de este alimento, es sin duda recomendable un suplemento mineral completo y básico (McDowell y Arthington, 2005).

2.7 Componentes del diagnóstico mineral

El control cuantitativo de elementos minerales en los animales depende directamente de sus concentraciones en diversos factores ambientales tales como suelo, agua y plantas (Khan *et al.*, 2009). Sin lugar a dudas el análisis del forraje es un indicador potencial del estado mineral en rumiantes comparado con el suelo. Del mismo modo, las concentraciones de minerales en los tejidos o en los fluidos de animales reflejan mejor la disponibilidad de minerales que los análisis del forraje (McDowell, 1985). Además, la sangre se considera como el bio-sustrato más importante para la estimación del estado mineral de un animal (McDowell, 1985; Merkel *et al.*, 1990; Khan *et al.*, 2006).

2.7.1 Suelo

La principal y la única fuente de nutrientes minerales que se encuentra en plantas, animales y seres humanos es el suelo; los tipos de nutrientes que se encuentran varían dependiendo de su origen (Gupta y Gupta, 2014). Debido a esto, la mayoría de las deficiencias minerales que ocurren naturalmente en los herbívoros están asociadas con regiones específicas y están directamente relacionadas con las características del suelo (McDowell y Arthington, 2005).

Las concentraciones minerales en las plantas generalmente reflejan la adecuación con la que el suelo puede suministrar minerales absorbibles para las raíces; sin embargo, las plantas reaccionan a los inadecuados suministros de minerales disponibles en el suelo mediante la limitación de su crecimiento, la reducción en la concentración de los elementos deficientes en sus tejidos o, más comúnmente, mediante la reducción del crecimiento y de la concentración simultáneamente. La medida en que se produce una respuesta particular varía con diferentes minerales y diferentes especies o variedades de plantas, así como con el suelo y las condiciones climáticas (Suttle, 2010).

Además, sin darse cuenta, los rumiantes en pastoreo pueden consumir grandes cantidades de suelo como consecuencia natural del pastoreo (McDowell y Arthington, 2005). La ingestión de suelo es una fuente directa de minerales para los animales (Healy *et al.*, 1970). El consumo elevado de suelo de forma indirecta (por contaminación del forraje) es favorecido cuando el suelo tiene una estructura pobre, mal drenaje, alta capacidad de carga y durante los meses de bajo crecimiento del pasto (McDowell y Arthington, 2005; Suttle, 2010).

2.7.2 Agua

El agua es requerida para un gran número de funciones en el cuerpo: la regulación de la temperatura corporal, el crecimiento, la reproducción, la lactancia, la digestión, el metabolismo, el funcionamiento de las articulaciones, la vista y el equilibrio mineral. El agua es el medio de transporte principal de glucosa, aminoácidos, minerales, vitaminas hidrosolubles y desechos (NRC, 1996).

El agua de bebida no es normalmente una fuente importante de minerales para el ganado, aunque hay excepciones, ya que las concentraciones de azufre pueden alcanzar los 600 mg L^{-1} , que equivalen a 3 g Kg^{-1} de este mineral en la dieta como sulfatos; esto es más que cualquier requerimiento nutricional e incluso puede crear problemas por inducción de deficiencia de cobre (Suttle, 2010).

El agua para el ganado debe analizarse periódicamente para conocer su calidad y potenciales contaminantes, también debe examinarse cada vez que ocurra un cambio significativo en los niveles y en las fuentes (Mulliniks *et al.*, 2010; Hersom y Crawford, 2014).

2.7.3 Forraje

La concentración de minerales en los forrajes depende de la interacción de varios factores, entre los cuales se incluye el suelo, la especie de planta, el estado de madurez, el rendimiento, el manejo del pasto y el clima (McDowell y Arthington, 2005). Teniendo en cuenta los factores que pueden influir en la composición mineral de un cultivo o forraje en particular, existen dificultades para obtener los valores y limitaciones representativos para su uso; muchos han utilizado los valores del NRC para fines representativos, pero durante algún tiempo éstos han estado en la necesidad de revisión (Suttle, 2010).

Suttle (2010) señala que pueden existir grandes diferencias entre las necesidades de minerales de las plantas y las de los animales que dependen de éstas. En efecto, las plantas no necesitan yodo o cobalto y los tratamientos del suelo solamente serían necesarios para satisfacer los requisitos del ganado. Las aplicaciones de compuestos de magnesio a veces son necesarias para aumentar la concentración de este elemento en el pasto y así satisfacer las necesidades de las vacas, aunque esto normalmente no tiene ningún efecto sobre el rendimiento de los pastos. Por el contrario, las necesidades de potasio y manganeso de la planta son superiores a las de los animales, y las aplicaciones de estos elementos en los fertilizantes pueden aumentar considerablemente los rendimientos en los pastos de suelos deficientes, aun cuando no hayan dado signos de deficiencia en el ganado en pastoreo.

Los valores tabulados y los datos de las etiquetas de los alimentos no deberían ser confiables para la estimación del consumo de minerales, debido a que esta información algunas veces es incorrecta (Kincaid, 1999; McDowell y Arthington, 2005). Debido a esto, los análisis químicos del alimento que consume el animal

son necesarios, ya que proporcionan datos útiles si se pueden obtener muestras representativas de todos los alimentos (Kincaid, 1999).

2.7.4 Muestras de origen animal

La concentración de muchos nutrientes en la sangre circulante puede ser útil en la determinación del estado nutricional del ganado. Intervalos de referencia para la concentración de la mayoría de los nutrientes se han establecido para la sangre, plasma y suero, y debido a que son fáciles de obtener, éstas puede ser excelentes muestras para el análisis (Maas, 2007; Suttle, 2010).

La sangre entera (utilizando anticoagulantes, tales como ácido etilendiaminotetraacético o heparina) es una muestra apropiada para el análisis de selenio, manganeso y zinc (Mills, 1987; Maas, 2007; Herdt y Hoff, 2011). Sin embargo, hay varias limitaciones en los análisis de sangre (Herdt y Hoff, 2011). Dado que los glóbulos rojos en el ganado vacuno tienen una vida útil de alrededor de 160 días (Schalm, 1980), las concentraciones de minerales en la sangre entera a menudo cambian lentamente (Kincaid, 1999).

Los mecanismos de control homeostático pueden limitar los cambios en las concentraciones de algunos minerales en el plasma hasta que las reservas endógenas son agotadas sustancialmente (Miller, 1975). Además, se necesita un manejo cuidadoso de las muestras de sangre para prevenir la hemólisis y la contaminación del plasma (Kincaid, 1999). Debido al uso de anticoagulantes, tales como EDTA o heparina, el plasma es más limitado pero es apropiado para el análisis de cobre, zinc y manganeso (Maas, 2007).

El suero sanguíneo se elige generalmente para el análisis de minerales, ya que evita el costo y las posibles complicaciones analíticas de la adición de un anticoagulante, y le da una forma más estable (es decir, libre de hemólisis) para el transporte (Suttle, 2010). El suero es una muestra apropiada para el análisis de cobre, yodo, hierro, zinc, manganeso, calcio, magnesio y fósforo (Maas, 2007).

2.8 Literatura citada

- Abdullah, M., R. Ahmad, S. Yaqoob, and M. Ahmad. 2013. Mineral profile of browse species used as feed by grazing livestock in Cholistan Rangelands, Pakistan. *Pakistan Journal of Nutrition* 12: 135-143.
- Alfaro, E., M. W. Neathery, W. J. Miller, R. P. Gentry, C. T. Crowe, A. S. Fielding, R. E. Etheridge, D. G. Pugh, and D. M. Blackmon. 1987. Effects of varying the amounts of dietary calcium on selenium metabolism in dairy calves. *Journal of Dairy Science* 70: 831-836.
- Allen, J. D., and J. W. Gawthorne. 1987. Involvement of the solid phase of rumen digesta in the interaction between copper, molybdenum and sulphur in sheep. *British Journal of Nutrition* 58: 265-276.
- Ammerman, C. B., and R. D. Goodrich. 1983. Advances in mineral nutrition in ruminants. *Journal of Animal Science* 57: 519-533.
- Ammerman, C. B., D. H. Baker, and A. J. Lewis. 1995. Bioavailability of Nutrients for Animals: Amino Acids, Minerals, and Vitamins. Academic Press, London, 441 pp.
- Araya, M., M. Olivares, and F. Pizarro. 2007. Copper in human health. *International Journal of Environment and Health* 1: 608–620.
- Arizmendi-Maldonado, D., L. R. McDowell, T. R. Sinclair, P. Mislevy, F. G. Martin, and N. S. Wilkinson. 2002. Mineral concentrations in four tropical forages as affected by increasing daylength. I. Macrominerals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33: 1991-2000.
- Arthington, J. D. 2006. Trace mineral nutrition and immune competence in cattle. *In: Ruminant Nutrition Symposium*. February 1-2, 2006. Gainesville, FL. 11 p.
- Avellini, L., M. Silvestrelli, and A. Gaiti. 1995. Training-induced modifications in some biochemical defences against free radicals in equine erythrocytes. *Veterinary Research Communications* 19: 179-184.
- Blair, Robert. 2011. *Nutrition and Feeding of Organic Cattle*. Cabi. Wallingford, Oxfordshire, U. K. 293 p.
- Blanco-Penedo, I., R. F. Shore, M. Miranda, J. L. Benedito, and M. López-Alonso. 2009. Factors affecting trace element status in calves in NW Spain. *Livestock Science* 123: 198-208.
- Bremner, I., W. R. Humphries, M. Phillippo, M. J. Walker, and P. C. Morrice. 1987. Iron-induced copper deficiency in calves: dose response

relationships and interactions with molybdenum and sulphur. *Animal Production* 45: 403-414.

- Chelliah, G., R. O. Myer, J. N. Carter, L. R. McDowell, and N. S. Wilkinson. 2008. Mineral concentrations of cool season pasture forages in North Florida during winter-spring grazing season. I. macrominerals and forage organic constituents. *Journal of Plant Nutrition* 31: 1756-1773.
- Church, D. C. 1977. *Livestock Feeds and Feeding*. 3rd printing. Oxford Press. Portland, Oregon. 349 p.
- Church, D. C. 1993. *The Ruminant Animal-Digestive Physiology and Nutrition*. Waveland Press, Inc. Illinois, U.S.A. 564 p.
- Colegio de Postgraduados y Fundación Produce de Veracruz. 2003. Síntesis de oportunidades estratégicas de investigación y desarrollo. *In: Necesidades de Investigación y Transferencia de Tecnología de la Cadena de Bovinos de Doble Propósito en el Estado de Veracruz*. Tepetates, Ver., mayo de 2003. pp: 107-120.
- Dermauw V., A. De Cuyper, L. Duchateau, A. Waseyehon, E. Dierenfeld, M. Clauss, I. R. Peters, G. Du Laing, and G. P. J. Janssens. 2014. A disparate trace element metabolism in zebu (*Bos indicus*) and crossbred (*Bos indicus* x *Bos taurus*) cattle in response to a copper-deficient diet. *Journal of Animal Science* 92: 3007-3017.
- Dias R. S., S. López, Y. R. Montanholi, B. Smith, L. S. Haas, S. P. Miller, and J. France. 2013. A meta-analysis of the effects of dietary copper, molybdenum, and sulfur on plasma and liver copper, weight gain, and feed conversion in growing-finishing cattle. *Journal of Animal Science* 91: 5714-5723.
- Du, Z., R. W. Hemken, and R. J. Harmon. 1996. Copper metabolism of Holstein and Jersey cows and heifers fed diets high in cupric sulfate or copper proteinate. *Journal of Dairy Science* 79: 1873-1880.
- Fernández-Menéndez, M. J., G. S. Fell, J. H. Brock, and J. B. Cannata. 1991. Aluminum uptake by intestinal cells: effect of iron status and precomplexation. *Nephrology Dialysis Transplantation* 6: 672-674.
- Fischer, P. W., and B. Belongue. 2002. Effect of zinc depletion on iron transport across isolated duodenal sacs. *In: Trace Elements in Man and Animals* 10. Kluwer Academic Press. New York. pp. 308.
- Gengelbach, G. P., J. D. Ward, and J. W. Spears. 1994. Effect of dietary copper, iron, and molybdenum on growth and copper status of beef cows and calves. *Journal of Animal Science* 72: 2722-2727.

- Gill, W., C. Lane, J. Neel, A. Fisher, G. Bates, and D. Joines. 2004. Mineral nutrition of beef cattle. University of Tennessee, Institute of Agriculture. 23 p.
- Gooneratne, S. R., W. T. Buckley, and D. A. Christensen. 1989. Review of copper deficiency and metabolism in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science* 69: 819-845.
- Greene, L. W. 2000. Designing mineral supplementation of forage programs for beef cattle. *Journal of Animal Science* 77: 1-9.
- Greene, L. W., W. E. Pinchak, and R. K. Heitschmidt, 1987. Seasonal dynamics of minerals of forages at the Texas Experimental Ranch. *Journal of Range Management* 40: 502-506.
- Gupta, U. C. and S. C. Gupta. 2014. Sources and deficiency diseases of mineral nutrients in human health and nutrition: a review. *Pedosphere* 24: 13-38.
- Haque, I., E. Aduayi, and S. Sibanda. 1993. Copper in soils, plants, and ruminant animal nutrition with special reference to sub-Saharan Africa. *Journal of Plant Nutrition* 16: 2149-2212.
- Harris, E. D. 1997. Copper. *In: Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements*. Marcel Dekker, Inc., New York. pp: 231-273.
- Hayashida, M, E. A. Orden, E. M. Cruz, L. C. Cruz, and T. Fujihara. 2004. Effects of concentrate supplementation on blood mineral concentration of growing upgraded Philippine goats. *Animal Science Journal* 75: 139-145.
- Healy, W. B., W. J. McCabe, and G. F. Wilson. 1970. Ingested soil as a source of microelements for grazing animals. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 13: 503-521.
- Henry, P. R., and R. D. Miles. 2000. Interactions among the trace minerals. *Ciencia Animal Brasileira* 1: 95-106.
- Herd, T. H., and B. Hoff. 2011. The use of blood analysis to evaluate trace mineral status in ruminant livestock. *Veterinary Clinics of North America-Food Animal Practice* 27: 255-283.
- Hersom, M., and S. Crawford. 2014. Water nutrition and quality considerations for cattle. Institute of Food and Agricultural Sciences. IFAS Extension, University of Florida. Gainesville, FL. 4 p.
- Huerta B., M. 1999. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. *In: Memoria del II Seminario Internacional Estrategias de Suplementación a Bovinos en Pastoreo*. Chapingo, Méx., 28 y 29 de octubre. Universidad Autónoma Chapingo. pp: 154-184.

- Huerta B., M. 2010. Alimentación y suplementación mineral. *In: Memoria del 1^{er} Simposium de Salud y Producción de Bovinos de Carne en la Zona Norte-Centro de México.* Aguascalientes, Ags., mayo de 2010. 14 p.
- Kabajja, E., and Smith, O. B. 1988. Trace element kinetics in the digestive tract of sheep fed diets with graded levels of dietary fibre. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 59: 218-224.
- Khan, Z. I., A. Hussain, M. Ashraf, and L. R. McDowell. 2006. Mineral status of soils and forages in Southwestern Punjab-Pakistan: micro-minerals. *Asian-Australian Journal of Animal Science* 19: 1139-1147.
- Khan, Z. I., M. Ashraf, K. Ahmad, E. E. Valeem, and L. R. McDowell. 2009. Mineral status of forage and its relationship with that of plasma of farm animals in Southern Punjab, Pakistan. *Pakistan Journal of Botany* 41: 67-72.
- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: a review. *Proceedings of the American Society of Animal Science.* Department of Animal Sciences, Washington State University, Pullman. 10 p.
- Langlands, J.P., J. E. Bowles, G. E. Donald, and A. J. Smith. 1984. Deposition of copper, manganese, selenium and zinc in Merino sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 35: 701-707.
- Larson, C. K. 2005. Role of trace minerals in animal production. *In: Nutrition Conference sponsored by Department of Animal Science.* UT Extension and University Professional and Personal Development The University of Tennessee. 12 p.
- Lei, X. G., P. K. Ku, E. R. Miller, M. T. Yokoyama, and D. E. Ullrey. 1994. Calcium level affects the efficacy of supplemental microbial phytase in corn-soybean meal diets of weanling pigs. *Journal of Animal Science* 72: 139-143.
- Levander, O. A. 1977. Metabolic interrelationships between arsenic and selenium. *Environmental Health Perspectives* 19: 159-164.
- Linder, M. C. and M. Hazegh-Azam. 1996. Copper biochemistry and molecular biology. *The American Journal of Clinical Nutrition* 63: 797S-811S.
- Littledike, E. T., and J. P. Goff. 1987. Interactions of calcium, phosphorus, magnesium, and vitamin D that influence their status in domestic meat animals. *Journal of Animal Science* 65: 1727-1743.
- Liu, J., D. W. Bollinger, D. R. Ledoux, and T. L. Veum. 2000. Effects of dietary calcium:phosphorus ratios on apparent absorption of calcium and

- phosphorus in the small intestine, cecum, and colon of pigs. *Journal of Animal Science* 78: 106-109.
- López-Alonso, M. 2012. Trace minerals and livestock: not too much not too little. International Scholarly Research Network Veterinary Science. Department of Animal Pathology, Veterinary Faculty. Lugo, Spain. 18 p.
- Maas, J. 2007. Diagnostic considerations for evaluating nutritional problems in cattle. *Veterinary Clinics Food Animal Practice* 23: 527-539.
- Malhotra, V. K. 1998. *Biochemistry for Students*. 11th Ed. Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd. New Delhi, India. 397 p.
- McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, C. A. Morgan, L. A. Sinclair, and R. G. Wilkinson. 2010. *Animal Nutrition*. 7th Ed. Pearson. Harlow, U. K. 692 p.
- McDowell, L. R. 1985. *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press, Inc. Gainesville, FL. 443 p.
- McDowell, L. R. 2003. *Minerals in Animal and Human Nutrition*. 2nd Edition. Elsevier Science B. V. Amsterdam, The Netherlands. 644 p.
- McDowell, L. R., y J. D. Arthington. 2005. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. 4^a Edición. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. U.S.A. 94 p.
- Merkel, R. C., L. R. McDowell, H. L. Popenoe, and N. S. Wilkinson. 1990. Mineral status comparisons between water buffalo and Charolais cattle in Florida. *Buffalo Journal* 1: 33-41.
- Miller, W. J. 1975. New concepts and developments in metabolism and homeostasis of inorganic elements in dairy cattle. A review. *Journal of Dairy Science* 58: 1549-1560.
- Mills, C. F. 1987. Biochemical and physiological indicators of mineral status in animals: copper, cobalt and zinc. *Journal of Animal Science* 65: 1702-1711.
- Mulliniks, J. T., J. Muscha, S. L. Lodge-Ivey, M. K. Petersen. 2010. Predicted mineral intake utilizing both water and forage analysis varies by source and location of livestock water in Eastern Montana. *Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science* 61: 182-185.
- Mullis, L. A., J. W. Spears, and R. L. McCraw. 2003. Effects of breed (Angus vs Simmental) and copper and zinc source on mineral status fed high dietary iron. *Journal of Animal Science* 81: 318-322.

- NRC (National Research Council). 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th ed. National Academies Press. Washington, D. C. USA. 232 p.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient requirements of Dairy Cattle. 7th rev. ed. National Academies Press. Washington, D. C. USA. 381 p.
- NRC (National Research Council). 2005. Mineral Tolerance of Animals. 2nd ed. National Academies Press. Washington, D. C. USA. 496 p.
- O'Dell, B. L. 1997. Mineral-ion interaction as assessed by bioavailability and ion channel function. *In*: Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements. Marcel Dekker, Inc., New York. pp: 641-647.
- O'Dell, B. L., and R. A. Sunde. 1997. Introduction. *In*: Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements. Marcel Dekker, Inc., New York. pp: 1-12.
- Paterson, J. A., and T. E. Engle. 2005. Trace mineral nutrition in beef cattle. *In*: Nutrition Conference sponsored by Department of Animal Science. UT Extension and University Professional and Personal Development The University of Tennessee. 22 p.
- Pfander, W. H. 1971. Animal nutrition in the tropics: problems and solutions. *Journal of Animal Science* 33: 843-849.
- Pond, W. G., and M. H. Wallace. 1986. Effect of gestation-lactation diet calcium and zinc levels and of parenteral vitamins A, D and E during gestation on ewe body weight and on lamb weight and survival. *Journal of Animal Science* 63: 1019-1025.
- Preston, T. R. 1982. Nutritional limitations associated with the feeding of tropical forages. *Journal of Animal Science* 54: 877-884.
- Price, J., A. M. Will, G. Paschaleris, and J. K. Chesters. 1987. Identification of thiomolybdates in digesta and plasma from sheep after administration of ⁹⁹Mo-labelled compounds into the rumen. *British Journal Nutrition* 58: 127-138.
- Quiroz-Rocha, G. F., y J. Bouda. 2001. Fisiopatología de las deficiencias de cobre en rumiantes y su diagnóstico. *Veterinaria México* 32: 289-296.
- Randhawa C. S., S. S. Randhawa and N. K. Sood. 2002. Effect of molybdenum induced copper deficiency on peripheral blood cells and bone marrow in buffalo calves. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 15: 509-515.
- Schalm, O. W. 1980. Blood and blood-forming organs. *In*: Bovine Medicine and Surgery II. American Veterinary Publication. Santa Barbara, CA. 791 p.

- Simsek A., and O. Aykut. 2007. Evaluation of the microelement profile of Turkish hazelnut (*Corylus avellana* L.) varieties for human nutrition and health. *International Journal of Food Science and Nutrition* 58: 677-688.
- Soetan, K. O., C. O. Olaiya, and O. E. Oyewole. 2010. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: a review. *African Journal of Food Science* 4: 200-222.
- Spears, J. W. 1996. Organic trace minerals in ruminant nutrition. *Animal Feed Science and Technology* 58: 151-163.
- Spears, J. W. 2003. Trace mineral bioavailability in ruminants. *The Journal of Nutrition* 133: 1506S-1509S.
- Stonaker, H. H. 1975. Beef production systems in the tropics I. Extensive production systems on infertile soils. *Journal of Animal Science* 41: 1218-1227.
- Suttle, N. F. 1975. The role of organic sulphur in the copper-molybdenum-S interrelationship in ruminant nutrition. *British Journal of Nutrition* 34: 411-420.
- Suttle, N. F. 1991. The interactions between copper, molybdenum, and sulphur in ruminant nutrition. *Annual Review of Nutrition* 11: 121-140.
- Suttle, N. F. 2010. *Mineral Nutrition of Livestock*. 4th Edition. CABI Publishing. United Kingdom. 587 p.
- Thomson, A. B. R., L. S. Valberg, and D. C. Sinclair. 1971. Competitive nature of the intestinal transport mechanism for cobalt and iron in the rat. *The Journal of Clinical Investigation* 50: 2384-2394.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*, 3rd ed. CABI Publishing. Wallingford, Oxon. U. K. 600 p.
- Waghorn, G. C., I. D. Shelton, and B. R. Sinclair. 1990. Distribution of elements between solid and supernatant fractions of digesta in sheep given six diets. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 33: 259-269.
- Ward, J. D., J. W. Spears, and G. P. Gengelbach. 1995. Differences in copper metabolism among Angus, Simmental, and Charolais cattle. *Journal of Animal Science* 73: 571-577.
- Whitehead, D. C., K. M. Goulden, and R. D. Hartley. 1985. The distribution of nutrient elements in cell wall and other fractions of the herbage of some grasses and legumes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 36: 311-318.

3. DIAGNÓSTICO MINERAL DE BOVINOS EN PASTOREO EN LA COSTA SUR DE JALISCO, MÉXICO

3.1 Resumen

El objetivo de esta investigación fue determinar el perfil mineral de bovinos en pastoreo a través del muestreo de suelo, agua, forraje y suero sanguíneo de vacas y sus crías, en las épocas seca y de lluvias, en 12 ranchos de la Costa Sur de Jalisco, México. Se determinaron las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio, cobre, zinc, hierro y manganeso; excepto este último en suero sanguíneo. El modelo estadístico para las concentraciones minerales en suelo, agua y forraje incluyó el efecto de época, rancho y su interacción. El modelo para suero sanguíneo consideró los efectos de época, rancho, edad del animal y sus interacciones dobles y triples. El contenido de minerales en suelo, agua y forraje fue afectado ($p \leq 0.05$) por la época, el rancho y su interacción. En promedio, los suelos tuvieron pH ácido (5.9), con altos contenidos de hierro ($22,209 \text{ mg Kg}^{-1}$), magnesio ($2,334 \text{ mg Kg}^{-1}$) y manganeso (484 mg Kg^{-1}). El agua tuvo altas concentraciones de hierro (1.8 mg L^{-1}) y no se detectó contenido de fósforo. Los forrajes tuvieron altos niveles de hierro (285 mg Kg^{-1}); fueron adecuados en calcio (0.43%), magnesio (0.25%), sodio (0.12%), potasio (2.24%) y manganeso (165 mg Kg^{-1}); deficientes en fósforo (0.08%) y con bajos contenidos de cobre (11 mg Kg^{-1}) y zinc (35 mg Kg^{-1}). Las concentraciones de minerales en suero sanguíneo fueron diferentes ($p \leq 0.05$) entre épocas, ranchos y edades; también hubo efecto ($p \leq 0.05$) de las interacciones. El suero fue alto en sodio ($3,742 \text{ mg L}^{-1}$), potasio (221 mg L^{-1}) y fósforo (64 y 93 mg L^{-1} para vacas y crías, respectivamente); adecuado en calcio (97 mg L^{-1}), magnesio (26 mg L^{-1}) y hierro (2.0 mg L^{-1}); y deficiente en cobre (0.6 mg L^{-1}) y zinc (0.8 mg L^{-1}). Se concluye que existen desequilibrios de minerales en el animal; producto de interacciones entre elementos y de sus altas o bajas concentraciones en suelo, agua y forraje; como es el caso de las deficiencias de cobre y zinc; así como los altos niveles de sodio, potasio y fósforo.

Palabras clave: suelo, agua, forraje, suero sanguíneo, minerales.

MINERAL DIAGNOSIS IN BEEF CATTLE GRAZING ON THE SOUTH COAST OF JALISCO, MEXICO

3.2 Abstract

The objective of this study was to determine the mineral profile of grazing beef cattle through sampling of soil, water, forage and blood serum of cows and their calves, in the dry and rainy seasons, in 12 farms of the South Coast of Jalisco state, Mexico. Concentrations of calcium, phosphorus, magnesium, sodium, potassium, copper, zinc, iron and manganese were determined; except the latter in blood serum. The statistical model for mineral concentrations in soil, water and forage included the effect of season, farm and their interaction. The model for blood serum considered the effects of season, farm, animal age and their double and triple interactions. The mineral content in the soil, water and forage was affected ($p \leq 0.05$) by season, farm and their interaction. The soils were acid pH (5.9), and high in iron ($22,209 \text{ mg Kg}^{-1}$), magnesium ($2,334 \text{ mg Kg}^{-1}$), and manganese (484 mg Kg^{-1}). Water had high concentrations of iron (1.8 mg L^{-1}), and phosphorus content was not detected. The forages had high levels of iron (285 mg Kg^{-1}); they were adequate in calcium (0.43%), magnesium (0.25%), sodium (0.12%), potassium (2.24%), and manganese (165 mg Kg^{-1}); deficient in phosphorus (0.08%) and had low contents of copper (11 mg Kg^{-1}) and zinc (35 mg Kg^{-1}). Mineral concentrations in blood serum were different ($p \leq 0.05$) among seasons, farms and ages; the effects of interactions were significant ($p \leq 0.05$) as well. The blood serum was high in sodium ($3,742 \text{ mg L}^{-1}$), potassium (221 mg L^{-1}) and phosphorus (64 and 93 mg L^{-1} for cows and calves, respectively); adequate in calcium (97 mg L^{-1}), magnesium (26 mg L^{-1}) and iron (2.0 mg L^{-1}); and deficient in copper (0.6 mg L^{-1}) and zinc (0.8 mg L^{-1}). It was concluded that there are mineral imbalances in the animal. These are products of interactions among elements and their high or low concentrations in soil, water and forage; such as deficiencies of copper and zinc; and high levels of sodium, potassium and phosphorus.

Key words: soil, water, forage, blood serum, minerals.

3.3 Introducción

En Jalisco la ganadería bovina de doble propósito (cría y leche) en condiciones de pastoreo es una de las actividades más diseminadas en el medio rural, lo cual coloca al estado en el segundo lugar a nivel nacional (después de Veracruz) en cuanto a la producción de este tipo de ganado, contribuyendo con el 10.3%. En la Costa Sur de Jalisco esta actividad utiliza cerca de 241 mil hectáreas, que representan el 34% de la superficie regional y en la cual se tiene al 7.5% del inventario de bovinos de la entidad (INEGI, 2012). En esta superficie se encuentran praderas y agostaderos que son la base de la alimentación para el ganado, donde la productividad es baja debido principalmente a la variación estacional en la producción y a la calidad de los forrajes (Ortega, 1990).

El requerimiento diario de nutrientes fluctúa de acuerdo a las funciones fisiológicas del ganado en pastoreo y, por tanto, el crecimiento, la gestación, la lactancia y la engorda juegan un papel clave en la determinación de las demandas diarias de nutrientes (Abdullah *et al.*, 2013). En contraste, la composición química de los forrajes varía según la especie, el tipo de suelo, el clima, la fenología y los factores abióticos (Greene *et al.*, 1987). Por tanto, las deficiencias o desbalances de minerales en los suelos y forrajes son parcialmente responsables de la baja producción y problemas de reproducción en el ganado (McDowell *et al.*, 1985).

La información generada sobre la nutrición mineral de suelos, pastizales y animales son valores promedio generados por diferentes investigadores, en distintos tiempos, sin metodologías uniformes para muestreos y procedimientos analíticos; por lo cual sólo representan una visión aproximada del estado nutricional general de los bovinos (Chicco y Godoy, 2005). Por lo que, para tener un mayor acercamiento sobre la situación mineral en una región específica, es necesario realizar un diagnóstico utilizando las tecnologías actualmente disponibles. Esta información ayudará a decidir qué minerales se

necesitan en un suplemento para la corrección de desbalances (Arizmendi-Maldonado *et al.*, 2002; McDowell y Arthington, 2005).

El objetivo de esta investigación fue determinar, durante las estaciones seca y de lluvias en la Costa Sur de Jalisco, el perfil mineral en vacas y crías mantenidas en pastoreo, a través de la cuantificación en agua, suelo, forraje y suero sanguíneo para identificar si el estado mineral puede ser un factor que limite la productividad ganadera en esta región.

3.4 Materiales y métodos

Fueron realizados dos muestreos, uno en el mes de mayo y otro en septiembre de 2013, que corresponden a las épocas seca y de lluvias, respectivamente; en cada uno se colectaron 5 muestras de suelo, 5 de forraje, mínimamente 3 de agua (de acuerdo al número de fuentes) y alrededor de 20 de suero sanguíneo (10 vacas y sus crías) por rancho. La investigación se realizó en 12 ranchos localizados en la región Costa Sur del Estado de Jalisco, distribuidos en cuatro municipios (Ranchos 1 y 3 en Casimiro Castillo; Ranchos 11 y 12 en Cuautitlán; Ranchos 2, 9 y 10 en La Huerta; y Ranchos 4, 5, 6, 7 y 8 en Villa Purificación). El clima en la región es cálido subhúmedo con lluvias en verano, con invierno y primavera secos y sin estación invernal definida; con temperatura promedio de 25°C y 1,550 mm anuales de lluvia distribuidos en los meses de junio a septiembre (García, 1988).

3.4.1 Colecta y procesamiento de las muestras

La distribución y el número de ranchos en los que se realizaron los muestreos fueron definidos con base en las características climáticas y fisiográficas de la región, tratando de cubrir las diferentes zonas.

Agua

El agua se colectó en botellas de plástico, previamente identificadas, directamente de las fuentes utilizadas por el ganado. Se tomó un total de 100 muestras, cada una con un volumen aproximado de 500 mL, las cuales se

mantuvieron en refrigeración hasta su análisis. El procesamiento de las muestras se realizó de acuerdo con el método 3005A de la EPA (1992).

Forraje

La colecta de forraje se realizó mediante el método de “Hand Plucking”, el cual simula el pastoreo; es decir, se seleccionó el forraje que el animal consume durante el pastoreo. La dieta de los animales en todos los ranchos estuvo compuesta esencialmente por gramíneas. La superficie de pastoreo de cada rancho se dividió en cinco áreas y se tomó una muestra de forraje por cada una. Las muestras fueron manejadas de acuerdo a los métodos recomendados por Fick *et al.* (1979). Éstas fueron secadas en estufas con aire forzado a una temperatura de 55 °C durante 48 horas y se molieron en un molino tipo Wiley con una criba de acero inoxidable de 1 mm. De cada muestra de forraje molido se tomaron 0.2 g y fueron digeridos con 4 mL de ácido nítrico concentrado y 2 mL de peróxido de hidrógeno al 30%, utilizando un sistema de microondas Multiwave 3000 de Anton Paar (Araújo-Nóbrega *et al.*, 2007).

Suelo

Las muestras de suelo se colectaron en los puntos en donde se obtuvo el forraje, a una profundidad de 10 a 15 centímetros y fueron depositadas en bolsas de plástico previamente identificadas. Las muestras fueron secadas en una estufa con aire forzado a una temperatura de 65 °C durante 48 horas; fueron molidas en mortero con pistilo y se tamizaron en una malla de 1 mm. La digestión de las muestras consistió en pesar 0.5 g de suelo, a los cuales se les adicionó 10 mL de ácido nítrico concentrado y fueron introducidos al sistema de microondas Multiwave 3000, utilizando el método 3051A de la EPA (2007).

Suero sanguíneo

Las muestras de sangre en cada rancho se obtuvieron de 10 vacas y de sus crías, se extrajeron de la vena yugular o de la coccígea, utilizando agujas y tubos vacutainer sin anticoagulante. Fueron colectados aproximadamente 20 mL por animal, siguiendo la metodología descrita por Fick *et al.* (1979). Estas

muestras se centrifugaron a 3,000 rpm durante 15 minutos para separar el suero, el cual se congeló a -20 °C en tubos de ensayo de 10 mL hasta su análisis.

3.4.2 Análisis de laboratorio

Las concentraciones de calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K), cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe) y manganeso (Mn) se midieron mediante las técnicas de espectrofotometría de absorción atómica, siguiendo los procedimientos descritos por Fick *et al.* (1979), para lo cual se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica modelo AAnalyst 700 de PerkinElmer. La concentración de fósforo (P) se determinó por la metodología de colorimetría (Fick *et al.*, 1979), mediante un espectrofotómetro UV/VIS modelo Lambda 2 de PerkinElmer.

La medición del pH se realizó mezclando una fracción de suelo con agua desionizada en una proporción 1:2 peso/volumen, la cual se agitó durante 10 minutos, después de lo cual se hizo la lectura en la fase líquida, utilizando un potenciómetro Microprocessor pH 210, marca HANNA Instruments.

3.4.3 Análisis estadístico

Las variables de respuesta analizadas para cada componente del muestreo fueron las concentraciones de Ca, P, Mg, Na, K, Cu, Zn y Fe; así mismo, en el forraje, agua y suelo también se midió la concentración de Mn.

Los efectos de rancho, tipo de animal y época sobre la concentración de los minerales estudiados fueron evaluados por el procedimiento estadístico para modelos lineales (GLM) de SAS (SAS, 2011). La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey a un $\alpha=0.05$.

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

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

Donde: Y_{ijk} fue la concentración de cada uno de los minerales en el i-ésimo rancho y la j-ésima época del año, μ fue la media general, R_i fue el efecto del i-ésimo rancho (1, 2, 3,...,12), S_j fue el efecto de la j-ésima época del año (seca y lluvias), $(RS)_{ij}$ fue el efecto de la interacción rancho por época del año, y E_{ijk} corresponde al error experimental en el i-ésimo rancho y j-ésima época del año.

El modelo estadístico para los análisis de suero sanguíneo fue:

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

Donde: Y_{ijkl} fue la concentración de cada uno de los minerales en el i-ésimo rancho, j-ésimo tipo de animal y k-ésima época del año; μ fue la media general; R_i fue el efecto del i-ésimo rancho (1, 2, 3,...,12); A_j fue el efecto del j-ésimo tipo de animal (vacas y becerros); S_k fue el efecto de la k-ésima época del año (seca y lluvias); $(RA)_{ij}$ fue el efecto de la interacción rancho por tipo de animal; $(AS)_{jk}$ fue el efecto de la interacción tipo de animal por época del año; $(RS)_{ik}$ fue el efecto de la interacción rancho por época del año; $(RAS)_{ijk}$ fue el efecto de la interacción rancho por tipo de animal por época del año; y E_{ijkl} corresponde al error experimental en el i-ésimo rancho, j-ésimo tipo de animal y k-ésima época del año.

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Concentración mineral en suelo

El Cuadro 5 muestra los niveles de probabilidad de época, rancho e interacción época por rancho para las concentraciones de minerales extraíbles y pH del suelo. La época del año únicamente afectó ($p \leq 0.03$) los niveles de fósforo y sodio. El efecto de rancho, así como la interacción época por rancho mostraron diferencias ($p < 0.01$) en las concentraciones de todos los minerales analizados.

Los Cuadros 6, 7 y 8 muestran las medias de los efectos principales con la finalidad de tener información general del contenido mineral de los suelos en la región de estudio; sin embargo, la discusión se centrará en la doble interacción,

debido a que fue significativa para todas las variables estudiadas. La variabilidad entre ranchos, épocas y sus interacciones sugieren la presencia diferenciada de minerales en suelo, y posibles necesidades específicas de minerales en los animales, dependiendo del rancho y la época.

Cuadro 5. Niveles de significancia para época, rancho e interacción época por rancho para las concentraciones de minerales en el suelo en la Costa Sur de Jalisco.

Efecto	Ca	P	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn	pH
Época (S)	0.64	<0.01	0.67	0.03	0.48	0.21	0.23	0.50	0.46	0.77
Rancho (R)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
S x R	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

En el Cuadro 6 se presentan las concentraciones de minerales extraíbles y el pH del suelo en dos épocas del año (lluvias y seca).

Cuadro 6. Efecto de la época del año en la concentración de minerales extraíbles del suelo en la Costa Sur de Jalisco.

Elemento (mg Kg ⁻¹)	Época		EEM ^z	NM ^y
	Seca	Lluvias		
Calcio	1,540 ^a	1,381 ^a	238	70 ^{**}
Fósforo ^x	168 ^a	56 ^b	27	10 ^{**}
Magnesio	2,251 ^a	2,416 ^a	271	8.5 ^{**}
Sodio	86 ^a	71 ^b	4.6	62 [*]
Potasio	1,045 ^a	1,165 ^a	119	59 ^{**}
Cobre	27 ^a	24 ^a	1.9	5 ^{***}
Zinc	41 ^a	34 ^a	4.4	10 ^{*****}
Hierro	21,442 ^a	22,976 ^a	1,615	5 ^{**}
Manganeso	456 ^a	512 ^a	53	12 ^{****}
pH	5.9 ^a	5.9 ^a	0.08	-

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

^z Error estándar de la media.

^y Nivel mínimo para el desarrollo de plantas (Rhue y Kidder, 1983^{*}; McDowell, 1985^{**}; Shorrocks y Alloway, 1988^{***}; Castellanos *et al.*, 2000^{****}; Alloway 2008^{*****}).

^x En el 50% de las muestras no se detectaron los niveles de fósforo extraíble en suelo y para fines de análisis se les asignó cero.

El Cuadro 7 muestra las concentraciones de macrominerales extraíbles en suelos analizados de 12 ranchos.

Cuadro 7. Efecto del rancho en la concentración de macrominerales extraíbles del suelo en la Costa Sur de Jalisco.

Rancho	Elemento (mg Kg ⁻¹)				
	Calcio	Fósforo ^x	Magnesio	Sodio	Potasio
1	760 ^{cd}	61 ^b	2,126 ^{de}	98 ^b	1,399 ^{cd}
2	3,529 ^b	172 ^{ab}	6,075 ^a	131 ^a	2,180 ^b
3	664 ^{cd}	307 ^a	1,389 ^{ef}	73 ^{bcd}	877 ^{ef}
4	4,942 ^a	24 ^b	1,578 ^{ef}	54 ^{de}	259 ^g
5	906 ^{cd}	96 ^b	4,573 ^b	83 ^{bc}	2,724 ^a
6	759 ^{cd}	118 ^b	2,989 ^{cd}	68 ^{cde}	1,626 ^c
7	1,771 ^c	128 ^b	1,637 ^{ef}	68 ^{cde}	422 ^{fg}
8	497 ^d	310 ^a	905 ^{ef}	45 ^e	473 ^{fg}
9	1,472 ^{cd}	30 ^b	3,570 ^{bc}	92 ^{bc}	1,119 ^{cde}
10	884 ^{cd}	34 ^b	1,491 ^{ef}	89 ^{bc}	1,105 ^{de}
11	958 ^{cd}	54 ^b	829 ^f	86 ^{bc}	545 ^{fg}
12	381 ^d	9 ^b	843 ^f	53 ^{de}	533 ^{fg}
EEM ^z	583	67	664	11	292
NM ^y	70 ^{**}	10 ^{**}	8.5 ^{**}	62 [*]	59 ^{**}

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

^z Error estándar de la media.

^y Nivel mínimo para el desarrollo de plantas (Rhue y Kidder, 1983*; McDowell, 1985**).

^x En el 50% de las muestras no se detectaron los niveles de fósforo extraíble en suelo y para fines de análisis se les asignó cero.

Para el caso de los microminerales, el Cuadro 8 muestra las concentraciones halladas en el suelo de cada rancho.

La interacción de época del año por rancho sobre las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio y potasio en suelo se muestran en la Figura 3.

Cuadro 8. Efecto del rancho en la concentración de microminerales extraíbles del suelo en la Costa Sur de Jalisco.

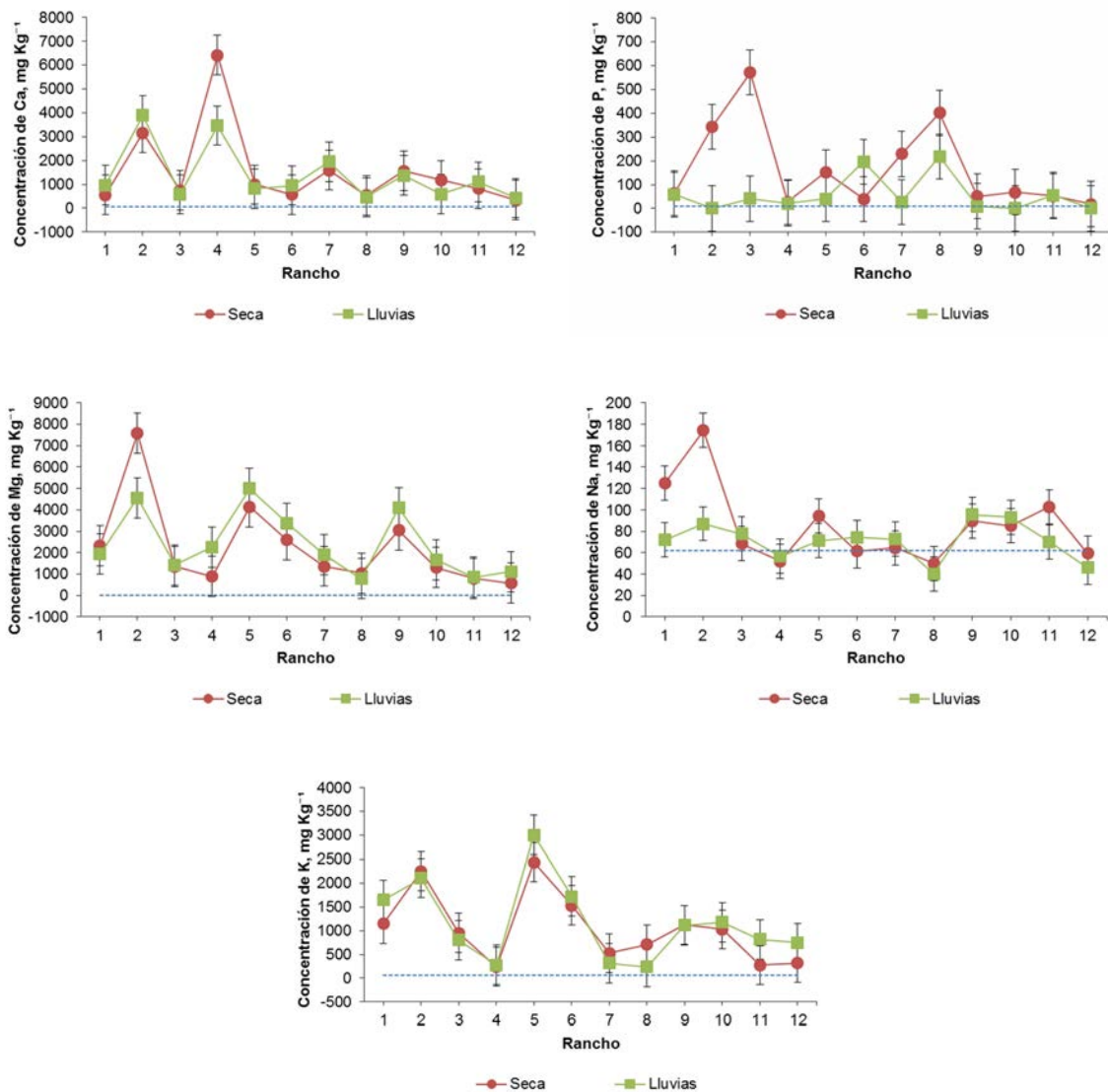
Rancho	Elemento (mg Kg ⁻¹)				pH
	Cobre	Zinc	Hierro	Manganeso	
1	19 ^e	50 ^{bc}	15,608 ^{de}	391 ^{cdef}	5.2 ^d
2	31 ^{bcd}	84 ^a	21,731 ^{bcd}	707 ^b	6.5 ^a
3	23 ^{de}	32 ^{cde}	16,723 ^{cd}	611 ^{bcd}	5.7 ^c
4	56 ^a	33 ^{cde}	48,661 ^a	1,258 ^a	6.5 ^a
5	32 ^{bc}	41 ^{cd}	21,125 ^{bcd}	270 ^{ef}	5.6 ^{cd}
6	33 ^b	29 ^{cde}	14,649 ^{de}	234 ^{ef}	5.9 ^{bc}
7	23 ^{de}	37 ^{cd}	25,525 ^b	349 ^{def}	5.9 ^{bc}
8	20 ^e	11 ^e	24,090 ^{bc}	157 ^f	5.6 ^{cd}
9	23 ^{de}	71 ^{ab}	26,134 ^b	620 ^{bc}	6.2 ^{ab}
10	5 ^f	26 ^{cde}	8,541 ^e	427 ^{cde}	6.4 ^a
11	18 ^e	17 ^{de}	19,794 ^{bcd}	248 ^{ef}	5.8 ^c
12	24 ^{cde}	22 ^{de}	23,923 ^{bc}	540 ^{bcd}	5.2 ^d
EEM ^z	4.7	10.8	3,955	129	0.2
NM ^y	5 ^{**}	10 ^{****}	5 [*]	12 ^{***}	-

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

^z Error estándar de la media.

^y Nivel mínimo para el desarrollo de plantas (McDowell, 1985*; Shorrocks y Alloway, 1988**; Castellanos *et al.*, 2000***; Alloway 2008****).

El efecto de la interacción sobre la concentración de calcio extraíble del suelo se debió a que en el Rancho 4 fue mayor (p<0.01) en la época seca en 86%, respecto a la de lluvias, mientras que en el resto de los ranchos las concentraciones fueron similares. Los suelos de todos los ranchos en ambas épocas tuvieron concentraciones medias de calcio que cubrieron el mínimo necesario para el desarrollo de las plantas. Sin embargo, a pesar de ser uno de los elementos más abundantes en la litósfera y de fácil disponibilidad en la mayoría de los suelos (Barker y Pilbeam, 2007), los Ranchos 1, 3, 6, 8, 10 y 12 podrían tener niveles bajos de este mineral en algunas de las áreas muestreadas.



Nota: en el 50% de las muestras no se detectaron los niveles de fósforo extraíble en suelo y para fines de análisis se les asignó cero.

Figura 3. Concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio y potasio en suelo durante las épocas de lluvias y seca en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.

Las concentraciones de fósforo extraíble del suelo fueron mayores ($p < 0.01$) en la época seca que en la de lluvias en los Ranchos 2 y 3. Solamente en el Rancho 8 se tuvo este elemento en niveles adecuados para las plantas durante las dos épocas, ya que los Ranchos 2, 3, 5 y 7 presentaron niveles deficientes de este mineral en las lluvias; así mismo, en el 6 se tuvieron en la época seca; pero en los Ranchos 1, 4, 9, 10, 11 y 12 se observaron en ambas épocas.

El 50% de las muestras tuvo niveles de fósforo inferiores al mínimo requerido para el desarrollo de las plantas, considerando el valor de 10 ppm sugerido por McDowell (1985). La biodisponibilidad del fósforo está fuertemente ligada al pH del suelo. La formación de fosfato de hierro y aluminio provoca reducción de la solubilidad del fósforo en suelos fuertemente ácidos, mejorando conforme el pH se acerca a neutro; esta máxima solubilidad y disponibilidad de fósforo para la planta es a un pH de 6.5, y disminuye nuevamente cuando éste se incrementa hacia el rango alcalino (Hopkins y Ellsworth, 2005).

La concentración de magnesio mostró diferencias ($p < 0.01$) entre épocas únicamente para el Rancho 2, en el cual fue superior en 66% para la seca. Durante esta época, el Rancho 4 apenas superó el mínimo requerido por las plantas; de igual forma, el 12 podría presentar concentraciones deficientes de este mineral durante esta misma época; mientras que en el 8 y el 11 los niveles se encontraron marginales durante ambas épocas. Aun así, se tuvieron altas concentraciones de este elemento en algunas áreas de estas unidades de producción y en el resto de los ranchos, principalmente en el 1, 2, 5, 6 y 9; lo que podría ser problemático para los cultivos.

De acuerdo con Barker y Pilbeam (2007), el excesivo contenido de magnesio podría deberse a que los suelos que tienden a ser arcillosos, como los analizados en el presente estudio, generalmente tienen las más altas concentraciones de este mineral. Además, comúnmente los suelos ricos en magnesio incluyen a aquellos que no están fuertemente lixiviados o suelos en depresiones donde los nutrientes pueden acumularse, como es el caso de la mayor parte de las muestras analizadas.

El efecto de la interacción para el caso del sodio se debió a que en la época seca se observaron concentraciones superiores ($p \leq 0.04$), respecto a las lluvias, en 73, 100 y 47% únicamente para los Ranchos 1, 2 y 11. El 38% del total de muestras de suelo analizadas tuvo niveles de este mineral inferiores al mínimo requerido por las plantas. Las concentraciones deficientes en la época seca se tuvieron en los Ranchos 6 y 7; mientras que en ambas épocas se observaron

en los Ranchos 4, 8 y 12. Los suelos ácidos, como los encontrados en el presente estudio, son típicamente bajos en fosfato disponible para las plantas, así como en cationes básicos como el sodio (Shabala, 2012).

Respecto al potasio, la interacción se debió a que el efecto de época no fue el mismo en todos los ranchos ($p < 0.01$) y no hubo diferencias entre épocas ($p > 0.05$). A pesar de que los suelos tuvieron concentraciones medias de potasio superiores al mínimo requerido por las plantas para su desarrollo, en los Ranchos 11 y 12 podrían tenerse niveles deficientes de este mineral durante la seca, mientras que en el 7 y en el 8 sería durante las lluvias; así mismo, el 4 los tendría en ambas épocas.

La materia orgánica del suelo no tiene sitios específicos de unión para el potasio y por tanto éste es propenso a la lixiviación. Generalmente, los suelos que son más bajos en potasio tienen mayor proporción de materia orgánica; mientras que aquellos con un alto contenido de este mineral son suelos jóvenes, como muchos de origen volcánico (Barker y Pilbeam, 2007). En esta última situación podría encontrarse la mayor parte de los suelos analizados, ya que la región de estudio se encuentra próxima a una zona volcánica.

La Figura 4 muestra la interacción de época del año por rancho sobre las concentraciones de cobre, zinc, hierro y manganeso en el suelo.

La interacción para el cobre se debió a que los Ranchos 2 y 4 en la época seca mostraron niveles mayores ($p < 0.01$) en 153 y 41% que en la de lluvias. El suelo de todos los ranchos en ambas épocas cubrió satisfactoriamente el nivel mínimo de cobre necesario para el desarrollo de las plantas, a excepción del Rancho 10 que se encontró en el límite e incluso podría presentar niveles deficientes en algunas zonas.

Las concentraciones adecuadas de cobre podrían deberse a que este mineral es más abundante en rocas máficas, ricas en magnesio y hierro (Barker y Pilbeam, 2007), minerales que se encuentran en altas concentraciones en los

suelos de la región de estudio. Mortvedt (2000) reporta que la concentración de cobre en los suelos varía de 2 a 200 mg Kg⁻¹, con una concentración media de 30 mg Kg⁻¹, lo que coincide con lo encontrado en la presente investigación (26 mg Kg⁻¹).

Los niveles de zinc en el suelo de los distintos ranchos tuvieron un comportamiento similar en ambas épocas, a excepción del Rancho 2, en el que se encontraron diferencias ($p < 0.01$), ya que las concentraciones fueron superiores en 437% en la época seca; en este caso podría haber un efecto confundido de rancho, debido a que entre una y otra época los animales pastorearon en potreros distantes entre sí, con diferentes condiciones fisiográficas.

Los bajos niveles de zinc en el suelo, respecto al mínimo requerido por las plantas, solamente se encontraron en los Ranchos 8, 11 y 12 durante ambas épocas. Las concentraciones medias de zinc en las muestras de suelo analizadas (38 mg Kg⁻¹) cubrieron el requerimiento mínimo de las plantas y se encontraron dentro del rango reportado por Kabata-Pendias y Pendias (1992), quienes señalaron que el contenido total de zinc en los suelos varía de 3 a 770 mg Kg⁻¹, con un promedio mundial de 64 mg Kg⁻¹.

Los niveles de hierro mostraron diferencias ($p \leq 0.01$) entre épocas en cuatro ranchos, en el 2 y 4 las concentraciones fueron 61 y 24% mayores en la seca, mientras que en el 8 y 12 fueron 324 y 140% superiores en las lluvias. El suelo de todos los ranchos superó el nivel mínimo necesario de este mineral para el desarrollo de los cultivos, incluso podría llegar al exceso. Estas altas concentraciones de hierro podrían deberse a que los suelos en la región de estudio tienden a ser arcillosos y, de acuerdo con lo reportado por Barker y Pilbeam (2007), los diversos óxidos de Fe (III) insoluble (Fe³⁺) son los principales componentes de un suelo mineral, y ocurren ya sea como un revestimiento de gel de partículas de suelo o como finas partículas amorfas en la fracción de arcilla.

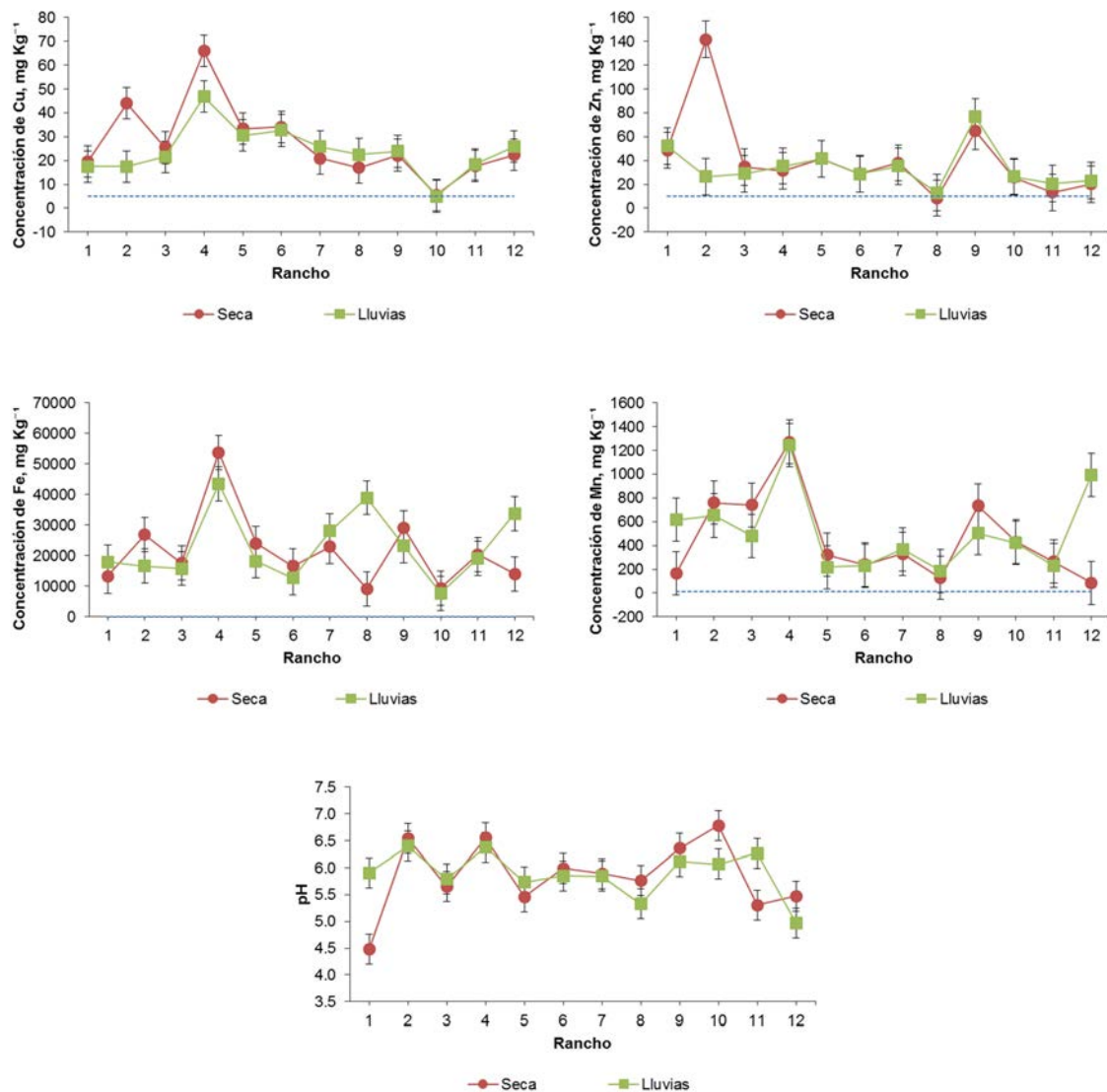


Figura 4. Concentraciones de cobre, zinc, hierro y manganeso, y pH en suelo durante las épocas de lluvias y seca en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.

El manganeso tuvo concentraciones mayores ($p \leq 0.01$) en la época de lluvias para los Ranchos 1 y 12 hasta en 272 y 1054% respecto a la seca. Estos ranchos, al igual que el 8, tuvieron niveles bajos de este mineral durante la época seca, lo que podría afectar el desarrollo de los cultivos, aun así existen altas concentraciones de manganeso en algunas zonas de estos ranchos y en el resto de unidades de producción, esto podría deberse a que este elemento

es más abundante en los suelos desarrollados a partir de rocas ricas en hierro, debido a su asociación con este mineral (Barker y Pilbeam, 2007).

El efecto de la interacción en el pH del suelo se observó en los Ranchos 1 y 11, con mayores valores en la época de lluvias, así como en el 10 y el 12 con menores valores en esta época. Los suelos fueron ligeramente ácidos con un valor medio de pH de 5.9. El 60% de las muestras analizadas mostró acidez, lo cual podría afectar el desarrollo de las plantas forrajeras. En un estudio similar en el Valle de Toluca, Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) encontraron valores similares de pH y condiciones de acidez en el 63% de las muestras analizadas.

Las condiciones de acidez pueden inducir deficiencias de micronutrientes como el cobre. Un pH de 6.5 se considera que es óptimo para un suelo que contiene minerales en cantidades bien balanceadas. La mayoría de las deficiencias de nutrientes pueden evitarse entre un rango de pH de 5.5 a 6.5, siempre que los minerales del suelo y la materia orgánica contengan los nutrientes esenciales (Shisia *et al.*, 2013).

3.5.2 Concentración mineral en agua

El Cuadro 9 muestra los niveles de significancia de época, rancho y la interacción época por rancho para las concentraciones de minerales en el agua de bebida para el ganado. La época del año afectó ($p < 0.01$) las concentraciones de calcio, magnesio, sodio, cobre, zinc y manganeso. El rancho afectó ($p < 0.01$) los niveles de calcio, magnesio, sodio y manganeso. La interacción época por rancho afectó ($p \leq 0.04$) la concentración de calcio, magnesio, sodio, potasio, cobre, hierro y manganeso; por lo cual para estos minerales la discusión se centrará en la interacción; mientras que la de zinc será para época. La variabilidad entre ranchos, épocas y sus interacciones sugieren la presencia diferenciada de minerales en el agua de bebida, y posibles necesidades específicas de minerales en los animales, dependiendo del rancho y la estación del año.

Cuadro 9. Niveles de significancia para época, rancho e interacción época por rancho para las concentraciones de minerales en el agua de bebida en la Costa Sur de Jalisco.

Efecto	Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn
Época (S)	<0.01	<0.01	<0.01	0.12	<0.01	<0.01	0.10	0.01
Rancho (R)	<0.01	<0.01	<0.01	0.06	0.06	0.61	0.27	<0.01
S x R	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.07	0.04	<0.01

El Cuadro 10 muestra las concentraciones medias de los minerales analizados para cada época. Los niveles de zinc fueron mayores ($p<0.01$) en la seca, aunque en ambas épocas estuvieron por debajo del máximo tolerable por el ganado.

Cuadro 10. Efecto de la época del año en la concentración de minerales en agua de bebida para el ganado en la Costa Sur de Jalisco.

Elemento* (mg L ⁻¹)	Época		EEM ^z	NMT ^y
	Seca	Lluvias		
Calcio	18.96 ^a	9.94 ^b	1.535	<1000
Magnesio	8.53 ^a	5.50 ^b	0.683	<1000
Sodio	16.36 ^a	7.76 ^b	1.137	<800
Potasio	9.81 ^a	4.94 ^a	2.187	<20
Cobre	0.03 ^a	0.02 ^b	0.002	<1
Zinc	0.12 ^a	0.05 ^b	0.010	<8
Hierro	2.45 ^a	1.12 ^a	0.577	<0.4
Manganeso	0.42 ^a	0.02 ^b	0.112	<0.5

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

* Concentraciones de fósforo no fueron detectadas.

^z Error estándar de la media.

^y Nivel máximo tolerable en agua de bebida para el ganado (Puls, 1988).

En el Cuadro 11 se indican las concentraciones de minerales encontradas en el agua de bebida para el ganado de cada rancho.

El efecto de la interacción época del año por rancho sobre las concentraciones de calcio, magnesio, sodio y potasio en agua de bebida para el ganado se presenta en la Figura 5.

Cuadro 11. Efecto del rancho en la concentración de minerales en agua de bebida para el ganado en la Costa Sur de Jalisco.

Rancho	Elemento (mg L ⁻¹)*							
	Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn
1	21.7 ^{ab}	7.9 ^c	9.9 ^{cd}	1.5 ^{bc}	0.03 ^{ab}	0.11 ^{ab}	0.41 ^b	0.020 ^b
2	29.0 ^a	11.4 ^{ab}	18.3 ^{ab}	4.1 ^{bc}	0.02 ^{abc}	0.06 ^{ab}	0.84 ^{ab}	0.068 ^b
3	19.9 ^{abc}	6.7 ^{cde}	14.2 ^{bc}	1.3 ^{bc}	0.02 ^{abc}	0.08 ^{ab}	0.86 ^{ab}	0.008 ^b
4	21.3 ^{ab}	7.3 ^{cd}	6.4 ^d	23.7 ^a	0.04 ^a	0.07 ^{ab}	4.98 ^a	1.920 ^a
5	11.0 ^{cde}	4.5 ^{def}	7.9 ^{cd}	15.5 ^{ab}	0.02 ^c	0.14 ^a	2.08 ^{ab}	0.016 ^b
6	8.7 ^{de}	4.6 ^{def}	10.0 ^{cd}	1.4 ^{bc}	0.02 ^c	0.08 ^{ab}	0.77 ^b	0.004 ^b
7	16.7 ^{bcd}	12.5 ^a	18.8 ^{ab}	2.7 ^{bc}	0.02 ^{abc}	0.09 ^{ab}	0.97 ^{ab}	0.052 ^b
8	5.6 ^e	4.0 ^{def}	7.3 ^{cd}	1.2 ^c	0.03 ^{abc}	0.05 ^b	0.70 ^b	0.002 ^b
9	14.7 ^{bcd}	12.5 ^a	13.5 ^{bc}	10.2 ^{abc}	0.03 ^{abc}	0.08 ^{ab}	4.83 ^a	0.251 ^b
10	15.8 ^{bcd}	8.6 ^{bc}	22.4 ^a	6.8 ^{bc}	0.02 ^{abc}	0.08 ^{ab}	2.28 ^{ab}	0.295 ^b
11	5.5 ^e	2.6 ^f	8.3 ^{cd}	13.0 ^{abc}	0.02 ^{bc}	0.07 ^{ab}	1.55 ^{ab}	0.088 ^b
12	4.7 ^e	3.0 ^{ef}	8.0 ^{cd}	3.5 ^{bc}	0.03 ^{ab}	0.06 ^{ab}	0.83 ^{ab}	0.006 ^b
EEM ^z	3.83	1.70	2.83	5.45	0.004	0.026	1.447	0.280
NMT ^y	<1000	<1000	<800	<20	<1	<8	<0.4	<0.05

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

* Concentraciones de fósforo no fueron detectadas.

^z Error estándar de la media.

^y Nivel máximo tolerable en agua de bebida para el ganado (Puls, 1988).

El efecto de la interacción sobre las concentraciones de calcio se debió a que fueron diferentes ($p \leq 0.03$) entre épocas en ocho ranchos; en seis de ellos (1, 3, 4, 5, 9 y 10) fueron mayores ($p \leq 0.01$) en la época seca, mientras que en los dos restantes (2 y 7) los mayores ($p \leq 0.03$) niveles se presentaron durante las lluvias. En ambas épocas y en todos los ranchos, las concentraciones de este mineral fueron inferiores al nivel máximo tolerable por el ganado bovino en el agua de bebida, el cual, de acuerdo con Puls (1988), es de 1000 mg L⁻¹.

Las concentraciones de magnesio mostraron diferencias ($p \leq 0.04$) en cuatro ranchos (1, 3, 4 y 9), en éstos se presentaron mayores niveles en la época seca que en las lluvias. Las concentraciones encontradas de este mineral en el agua

de todos los ranchos y en ambas épocas fueron inferiores al máximo tolerable por el ganado bovino, el cual es de 1000 mg L^{-1} (Puls, 1988).

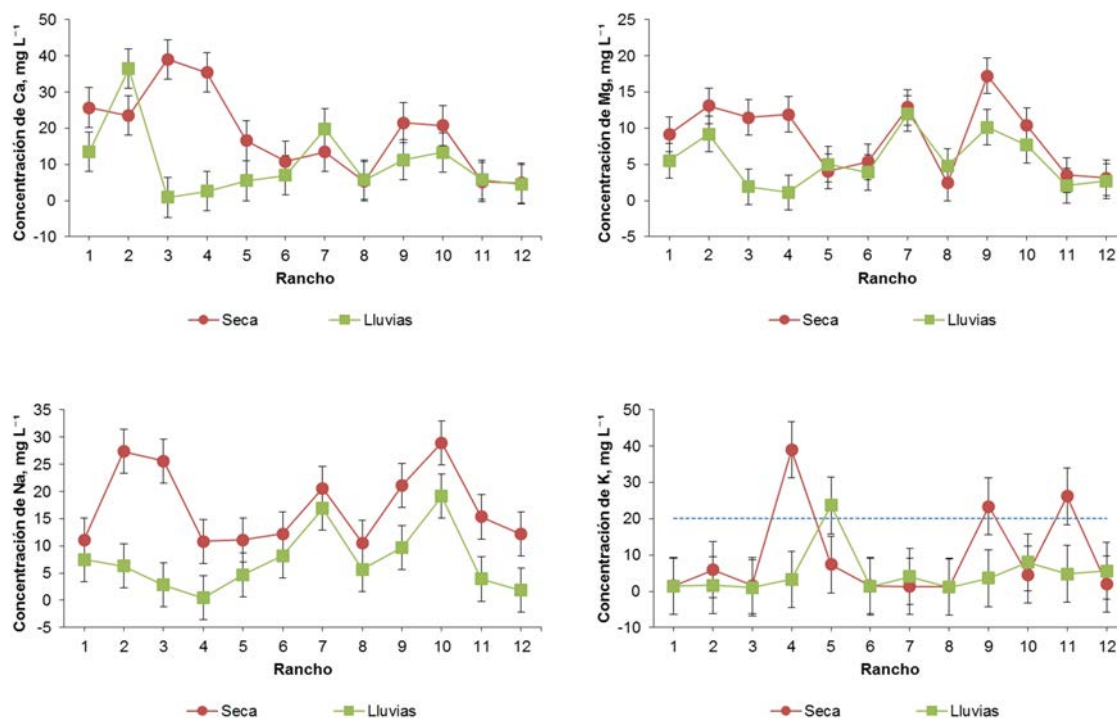


Figura 5. Concentraciones de calcio, magnesio, sodio y potasio en agua durante las épocas de lluvias y seca en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.

Las concentraciones de sodio mostraron diferencias ($p \leq 0.01$) en ocho de los doce ranchos (2, 3, 4, 5, 9, 10, 11 y 12), en los cuales fueron mayores durante la época seca que en las lluvias. El máximo tolerable por el ganado bovino en el agua de bebida es de 800 mg L^{-1} (Puls, 1988); mientras que, en el presente estudio, la concentración más alta se encontró en el Rancho 10, con una media de 22.4 mg L^{-1} , por lo que hay un amplio margen para alcanzar el nivel dañino para el ganado.

Respecto al potasio, la interacción se debió a que los niveles para los Ranchos 4, 9 y 11 fueron mayores ($p \leq 0.04$) en la época seca que en las lluvias, incluso superaron el nivel máximo tolerable en agua de bebida para el ganado bovino;

mientras que el Rancho 5 alcanzó niveles por arriba de este margen durante las lluvias.

La interacción época del año por rancho sobre las concentraciones de cobre, hierro y manganeso en el agua de bebida se muestra en la Figura 6.

La interacción para cobre se originó en los Ranchos 2, 3, 4, 5, 11 y 12; los cuales tuvieron mayores concentraciones ($p \leq 0.01$) durante la época seca que en las lluvias, sin llegar en ningún caso al máximo tolerable que es de 1 mg L^{-1} (Puls, 1988).

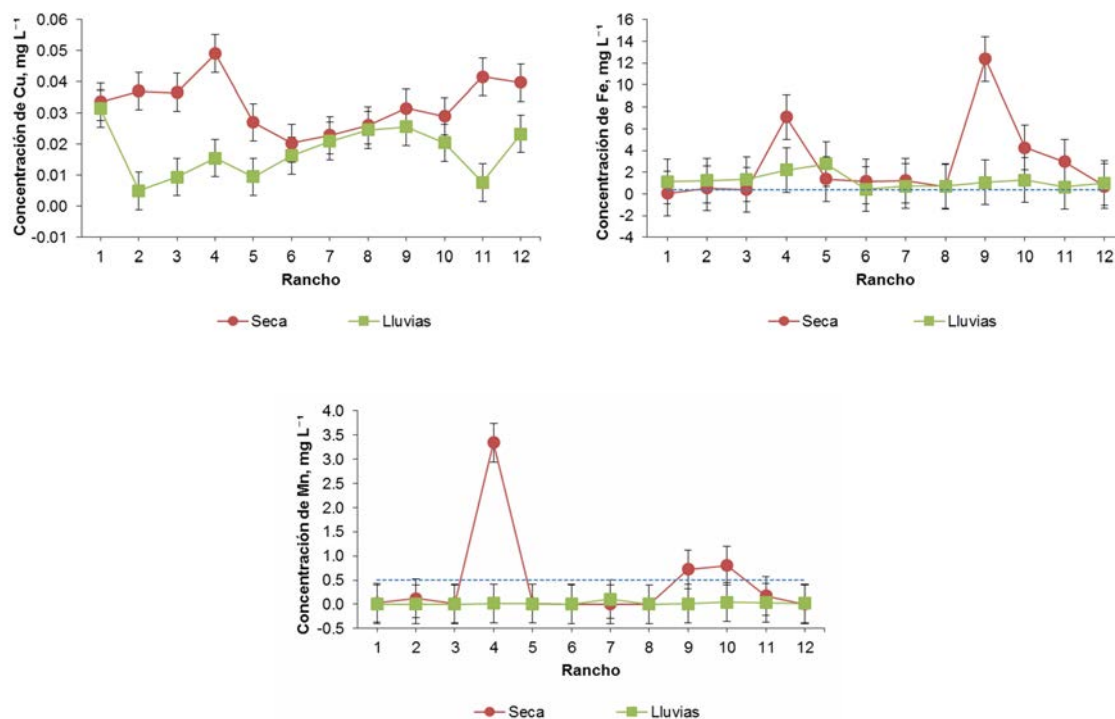


Figura 6. Concentraciones de cobre, hierro y manganeso en agua durante las épocas de lluvias y seca en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.

La concentración de hierro en el agua de bebida mostró diferencias ($p < 0.01$) entre épocas solamente para el Rancho 9, observándose los mayores niveles en la seca. Todos los ranchos en ambas épocas tienen agua de bebida con niveles de hierro superiores al máximo tolerable por el ganado. El agua con alto contenido de hierro puede hacer que las bacterias proliferen y formen una masa

roja y viscosa (NRC, 2005), como fue observada en las fuentes de agua (bordos) de los Ranchos 4 y 9 durante la época seca, en las cuales se encontraron las mayores concentraciones de hierro en el agua (Figura 7).



Figura 7. Agua con alto contenido de hierro (37 mg L^{-1}).

Los niveles de manganeso fueron mayores ($p \leq 0.04$) durante la época seca que en las lluvias en los Ranchos 4, 9 y 10, incluso por arriba del nivel máximo tolerable por el ganado bovino.

Los Ranchos 4 y 9 fueron los que mostraron mayores diferencias entre épocas en la concentración de los distintos minerales en el agua, observándose los niveles más altos en la seca, esto es debido a que la principal fuente de agua en estos ranchos son bordos y en esta época mantienen bajo nivel de agua con alta contaminación por suelo (barro).

3.5.3 Concentración mineral en forraje

En el Cuadro 12 se presentan los niveles de significancia de época, rancho e interacción rancho por época para las concentraciones de minerales en forraje. La época del año afectó ($p < 0.01$) los niveles de fósforo, potasio, cobre y zinc; así como la relación Ca:P. El rancho y la interacción rancho por época afectaron ($p \leq 0.05$) las concentraciones de todos los minerales analizados. La información presentada en los Cuadros 13, 14 y 15 corresponde a los efectos principales; sin embargo, la discusión se centrará en la interacción, dado que fue significativa para todas las variables. La variabilidad entre ranchos, épocas y

sus interacciones sugieren la presencia diferenciada de minerales en el forraje, y posibles necesidades específicas de minerales en los animales, dependiendo del rancho y la estación.

Cuadro 12. Niveles de significancia para época, rancho e interacción época por rancho para las concentraciones de minerales en el forraje en la Costa Sur de Jalisco.

Efecto	Ca	P	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn	Ca:P
Época (S)	0.77	<0.01	0.72	0.41	<0.01	<0.01	<0.01	0.62	0.43	<0.01
Rancho (R)	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
S x R	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

En el Cuadro 13 se presentan las concentraciones de minerales en los forrajes por época del año.

Cuadro 13. Efecto de la época del año en las concentraciones minerales del forraje en la Costa Sur de Jalisco.

Elemento	Época		EEM ^z	RMB ^y
	Seca	Lluvias		
Calcio (%)	0.43 ^a	0.42 ^a	0.03	0.30
Fósforo (%)	0.07 ^b	0.10 ^a	0.01	0.25
Magnesio (%)	0.25 ^a	0.26 ^a	0.01	0.20
Sodio (%)	0.11 ^a	0.12 ^a	0.01	0.06
Potasio (%)	1.72 ^b	2.77 ^a	0.14	0.60
Cobre (mg Kg ⁻¹)	9.95 ^b	12.57 ^a	0.32	10
Zinc (mg Kg ⁻¹)	40.14 ^a	30.59 ^b	1.84	30
Hierro (mg Kg ⁻¹)	270.66 ^a	300.56 ^a	43.98	30
Manganeso (mg Kg ⁻¹)	152.53 ^a	177.96 ^a	22.91	40
Relación Ca:P	8.89 ^a	4.76 ^b	0.73	1.2

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

^z Error estándar de la media.

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

El Cuadro 14 muestra el efecto del rancho en las concentraciones de macrominerales en los forrajes.

Cuadro 14. Efecto del rancho en las concentraciones de macrominerales del forraje en la Costa Sur de Jalisco.

Rancho	Elemento (%)					Relación Ca:P
	Calcio	Fósforo	Magnesio	Sodio	Potasio	
1	0.41 ^b	0.13 ^a	0.25 ^{bcd}	0.20 ^a	2.48 ^{ab}	3.67 ^c
2	0.45 ^b	0.09 ^{bcd}	0.21 ^{cd}	0.10 ^b	3.05 ^a	6.62 ^{bc}
3	0.40 ^b	0.09 ^{bcd}	0.22 ^{bcd}	0.18 ^a	2.22 ^{abc}	4.81 ^c
4	0.36 ^{bc}	0.07 ^{def}	0.13 ^e	0.09 ^b	1.16 ^d	6.34 ^{bc}
5	0.22 ^c	0.05 ^{ef}	0.19 ^{de}	0.09 ^b	1.64 ^{bcd}	7.91 ^{bc}
6	0.49 ^b	0.06 ^{def}	0.30 ^{ab}	0.13 ^{ab}	2.50 ^{ab}	9.55 ^b
7	0.65 ^a	0.07 ^{def}	0.36 ^a	0.08 ^b	2.39 ^{abc}	14.24 ^a
8	0.41 ^b	0.11 ^{abc}	0.24 ^{bcd}	0.09 ^b	2.42 ^{abc}	4.14 ^c
9	0.38 ^b	0.08 ^{cde}	0.28 ^{bc}	0.08 ^b	1.54 ^{cd}	7.30 ^{bc}
10	0.65 ^a	0.12 ^{ab}	0.37 ^a	0.15 ^{ab}	2.93 ^a	5.33 ^{bc}
11	0.35 ^{bc}	0.09 ^{bcd}	0.21 ^{cde}	0.09 ^b	2.16 ^{abc}	4.14 ^c
12	0.37 ^{bc}	0.05 ^f	0.26 ^{bcd}	0.09 ^b	2.43 ^{abc}	7.89 ^{bc}
EEM ^z	0.06	0.01	0.03	0.03	0.35	1.78
RMB ^y	0.30	0.25	0.20	0.06	0.60	1.20

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

^z Error estándar de la media.

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

En el Cuadro 15 se muestran las concentraciones de microminerales en los forrajes de los 12 ranchos en que se llevó a cabo el presente estudio.

La interacción época del año por rancho ($p \leq 0.05$) sobre las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio y potasio; así como la relación Ca:P en forraje se muestra en la Figura 8.

El efecto de la interacción sobre las concentraciones de calcio se debió a que entre épocas fueron diferentes ($p \leq 0.03$) para siete ranchos, en cinco de ellos (1, 2, 6, 7 y 9) fueron superiores ($p \leq 0.03$) durante la época seca, mientras que en los dos restantes (5 y 10) se observaron mayores ($p < 0.01$) niveles en las lluvias. El 19% de las muestras analizadas tuvo bajas concentraciones de calcio; de esta forma, los forrajes de los Ranchos 10 y 12 presentaron

deficiencias durante la época seca; los del 1, 3, 4 y 9 en las lluvias; mientras que en los Ranchos 5 y 11 las deficiencias estuvieron presentes en ambas épocas.

Cuadro 15. Efecto del rancho en las concentraciones de microminerales del forraje en la Costa Sur de Jalisco.

Rancho	Elemento (mg Kg ⁻¹)			
	Cobre	Zinc	Hierro	Manganeso
1	13.0 ^a	55 ^a	406 ^b	338 ^a
2	11.4 ^{abc}	29 ^{de}	145 ^c	80 ^c
3	12.3 ^{ab}	39 ^{bcd}	167 ^{bc}	160 ^c
4	10.1 ^{cd}	31 ^{cde}	185 ^{bc}	94 ^c
5	10.9 ^{bcd}	26 ^e	164 ^{bc}	72 ^c
6	10.1 ^{cd}	30 ^{de}	165 ^{bc}	111 ^c
7	10.3 ^{bcd}	33 ^{bcd}	410 ^b	159 ^c
8	11.7 ^{abc}	28 ^e	141 ^c	318 ^{ab}
9	10.7 ^{bcd}	43 ^b	138 ^c	138 ^c
10	9.2 ^d	34 ^{bcd}	261 ^{bc}	130 ^c
11	13.3 ^a	42 ^{bc}	889 ^a	206 ^{abc}
12	12.0 ^{abc}	36 ^{bcd}	348 ^{bc}	175 ^{bc}
EEM ^z	0.8	4.5	108	56
RMB ^y	10	30	30	40

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

^z Error estándar de la media.

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

Los niveles de calcio en los forrajes no mostraron una tendencia definida entre épocas, de tal forma que las concentraciones medias son similares (p>0.05) entre lluvias y seca. Greene *et al.* (1987) encontraron que el nivel de este mineral en las gramíneas es mayor en tejido vivo que en material muerto; sin embargo, las concentraciones fueron altamente variables y difíciles de interpretar en relación con la dinámica estacional. También encontraron que los niveles de calcio en tejidos vivos de pastos perennes mostraron poca variación

estacional, indicando que la edad del tejido vivo no fue un factor importante que afectara las concentraciones de calcio.

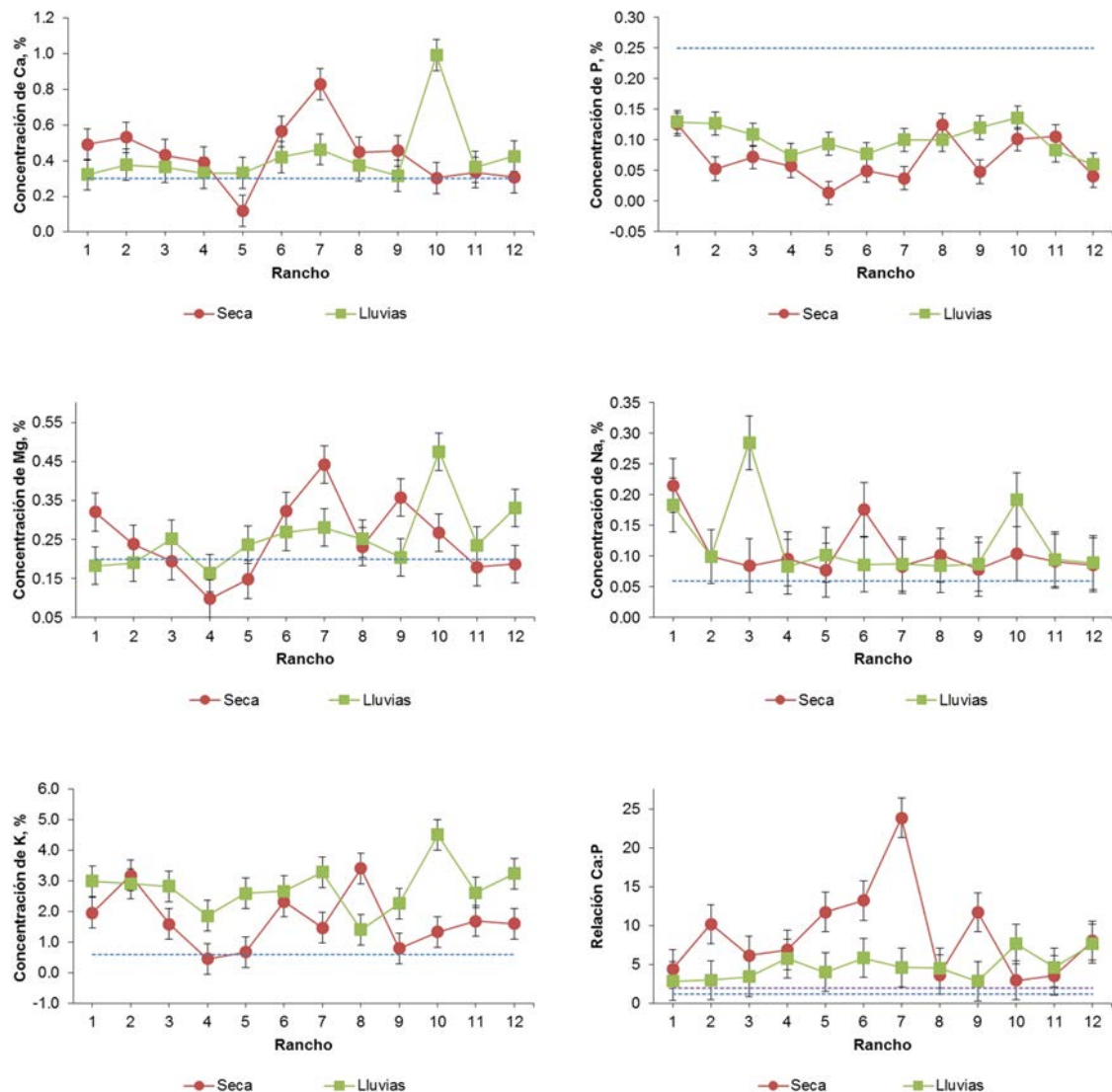


Figura 8. Concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio y potasio, y relación Ca:P en forraje durante las épocas de lluvias y seca en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.

Las concentraciones de fósforo mostraron diferencias ($p \leq 0.04$) entre épocas en los Ranchos 2, 3, 5, 7 y 9; observándose menores niveles en la seca, esto debido probablemente a que en esta época hay menor solubilidad de este elemento, además de que los niveles de fósforo son mayores durante los

períodos de crecimiento activo de las plantas (Greene *et al.*, 1987). En ambas épocas y en todos los ranchos la concentración estuvo por debajo del nivel mínimo necesario para cubrir los requerimientos del ganado bovino.

Huerta (1999) señala que la poca información generada para la región comprendida entre Jalisco y Nayarit, con la cual colinda la Costa Sur, demuestra la existencia de deficiencias de fósforo en los forrajes (Figura 9). Esto se debe en parte a que el grado de fijación de este elemento está regulado en gran medida por el pH del suelo, es menos disponible a valores altos y bajos, su mayor disponibilidad es a un pH entre de 6.5 y 7.0 (IANR, 2014). El pH medio de los suelos analizados en este estudio fue de 5.9, lo que disminuye la disponibilidad del fósforo para los forrajes. Al respecto, McDowell y Arthington (2005) informan que en la mayoría de las regiones tropicales los suelos y las plantas son bajos en fósforo, además de que la mayor parte del año los forrajes maduros contienen menos de 0.15% de este elemento.



Figura 9. Gramíneas con hojas de color rojizo-púrpura (signos de deficiencia de fósforo).

El magnesio mostró diferencias ($p \leq 0.05$) en sus concentraciones entre épocas en seis ranchos (1, 5, 7, 9, 10 y 12), la mitad de ellos (1, 7 y 9) tuvieron niveles mayores ($p < 0.01$) en la época seca, mientras que en el resto (5, 10 y 12) se observaron concentraciones mayores ($p \leq 0.05$) durante las lluvias. El 40% del total de muestras analizadas tuvo bajas concentraciones de este mineral, observándose deficiencias en la época seca en los Ranchos 3, 8 y 12; en la de

lluvias en el 1, 2 y 9; mientras que en los Ranchos 4, 5 y 11 se tuvieron en ambas épocas. A diferencia del fósforo, las concentraciones de magnesio no mostraron una tendencia en su concentración entre épocas; resultados similares encontraron Greene *et al.* (1987) en un estudio realizado con tejido vivo de diferentes especies de gramíneas en distintas épocas.

El efecto de la interacción sobre los niveles de sodio en el forraje fue ocasionado por el Rancho 3, dado que tuvo mayor ($p \leq 0.05$) concentración en la época de lluvias que en la seca. Solamente en los Ranchos 1 y 10 todos los forrajes tuvieron concentraciones de este mineral superiores al nivel mínimo para cubrir los requerimientos del ganado bovino en ambas épocas; en los diez restantes, a pesar de tener concentraciones medias por arriba del mínimo requerido, podrían presentar deficiencias en algunas áreas muestreadas. De esta forma, algunos forrajes de los Ranchos 2, 4, 7, 9, 11 y 12 tuvieron bajos niveles tanto en lluvias como en secas; mientras que en el 6 y 8 las tienen en las lluvias, y en el 3 y 5 en la seca.

Las diferencias ($p \leq 0.02$) en las concentraciones de potasio fueron observadas en diez ranchos (1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11 y 12), presentándose los mayores niveles en la época de lluvias; a excepción de uno (Rancho 8), en el que se tuvieron niveles superiores ($p < 0.01$) durante la seca. Las mayores concentraciones de este mineral durante las lluvias podrían deberse a que su contenido disminuye a medida que la madurez del forraje aumenta durante la estación seca (McDowell y Arthington, 2005), estos cambios ocurrieron aparentemente porque el potasio, al igual que el fósforo, es un mineral lábil; por lo que estas diferencias se atribuyen a que la absorción de potasio por las plantas está limitada por la humedad disponible en el suelo (Greene *et al.*, 1987).

El 49% de las muestras de forraje tuvo concentraciones de potasio superiores a los requerimientos del ganado (NRC, 2005). Los Ranchos 1, 3, 5, 6, 7, 10, 11 y 12 tuvieron niveles excesivos en las lluvias; el Rancho 8 en la seca; mientras

que el 2 en ambas épocas. Las deficiencias solamente se presentaron en los Ranchos 4, 5 y 9 durante la seca.

Respecto a la relación Ca:P, mostró diferencias ($p \leq 0.04$) en seis ranchos (2, 5, 6, 7, 9 y 10), encontrándose valores más altos ($p < 0.01$) para la época seca que para las lluvias, a excepción de un rancho (10) ($p \leq 0.04$). La relación Ca:P podría ser adecuada en algunos forrajes de los Ranchos 1, 2, 3, 5 y 9 durante las lluvias; y de los Ranchos 8, 10 y 11 en la época seca; sin embargo, en el 96% de las muestras de forraje fue alta. Esta situación podría disminuir el crecimiento de los animales y la eficiencia de utilización del alimento (McDowell y Arthington, 2005).

Al respecto, Huerta (1999) señala que si el requisito de fósforo es cubierto, una relación Ca:P superior a 2:1 puede ser tolerada por el animal hasta un máximo de 8:1. Sin embargo, considerando que la concentración de fósforo encontrada en los forrajes analizados de todos los ranchos no cumple con el nivel mínimo para cubrir los requerimientos del ganado, se esperaría una mayor depresión de la absorción de fósforo por parte del animal (NRC, 1980; McDowell y Arthington, 2005).

En la Figura 10 se muestra la interacción época del año por rancho sobre las concentraciones de cobre, zinc, hierro y manganeso en el forraje.

La interacción para los niveles de cobre se debió a que hubo diferencias ($p < 0.01$) entre épocas en ocho ranchos (2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 y 10), observándose las mayores concentraciones en las lluvias, época en la cual no se tuvieron deficiencias de este mineral en ningún rancho. Por el contrario, durante la seca en los Ranchos 2, 4, 5, 6, 7, 9 y 10 se encontraron niveles inferiores al mínimo para cubrir los requerimientos del ganado bovino. Del total de muestras de forraje analizadas, el 30% tuvo concentraciones de cobre deficientes para la alimentación del ganado.

A pesar de que las concentraciones de cobre en el suelo de 11 ranchos fueron superiores al nivel mínimo requerido para el desarrollo de las plantas en ambas épocas, los forrajes no cubrieron los requerimientos del ganado para este mineral durante la seca en siete ranchos, en parte debido a que, además de las altas concentraciones de hierro encontradas en los suelos analizados, en la región Costa Sur podrían existir altos niveles de azufre por estar localizada cerca de una zona volcánica. Al respecto, McDowell (2003), Suttle (2010) y Dias *et al.* (2013) señalan que los excesos de molibdeno, azufre y hierro interfieren con la absorción de cobre.

Las concentraciones de zinc mostraron diferencias ($p \leq 0.02$) entre épocas en seis ranchos (1, 4, 6, 9, 11 y 12); en todos éstos, las más bajas se encontraron durante la época de lluvias. A excepción de los Ranchos 1 y 3, se detectaron deficiencias de zinc en por lo menos una época del año; en los Ranchos 4, 6, 9, 11 y 12 se tuvieron en las lluvias; en el 10 en la seca; mientras que en el 2, 5, 7 y 8 se presentaron en ambas. El 41% de las muestras de forraje analizadas no alcanzó el nivel mínimo de este mineral para cubrir los requerimientos del ganado bovino. Las bajas concentraciones de zinc en los forrajes podrían deberse a la posible interacción con el magnesio, ya que los suelos presentan alto contenido de este mineral, lo cual, de acuerdo con Alloway (2008), es una condición que puede dar lugar a deficiencias de zinc en los cultivos.

Las concentraciones de hierro fueron mayores ($p < 0.01$) durante las lluvias en el Rancho 7, mientras que en el 11 fueron ($p \leq 0.02$) en la seca. Los forrajes de todos los ranchos, en ambas épocas, tuvieron concentraciones de este mineral superiores al nivel mínimo para cubrir los requerimientos del ganado bovino, incluso el 24% de las muestras analizadas presentaron concentraciones excesivas. Los forrajes de los Ranchos 7 y 12 tuvieron altos niveles de hierro durante las lluvias, el 1 en la seca, y el 11 en ambas épocas. Los forrajes tropicales que crecen en suelos ácidos, como es el caso de la Costa Sur, son altos en hierro, lo que podría afectar la absorción de cobre por el animal (Mullis *et al.*, 2003; McDowell y Arthington, 2005).

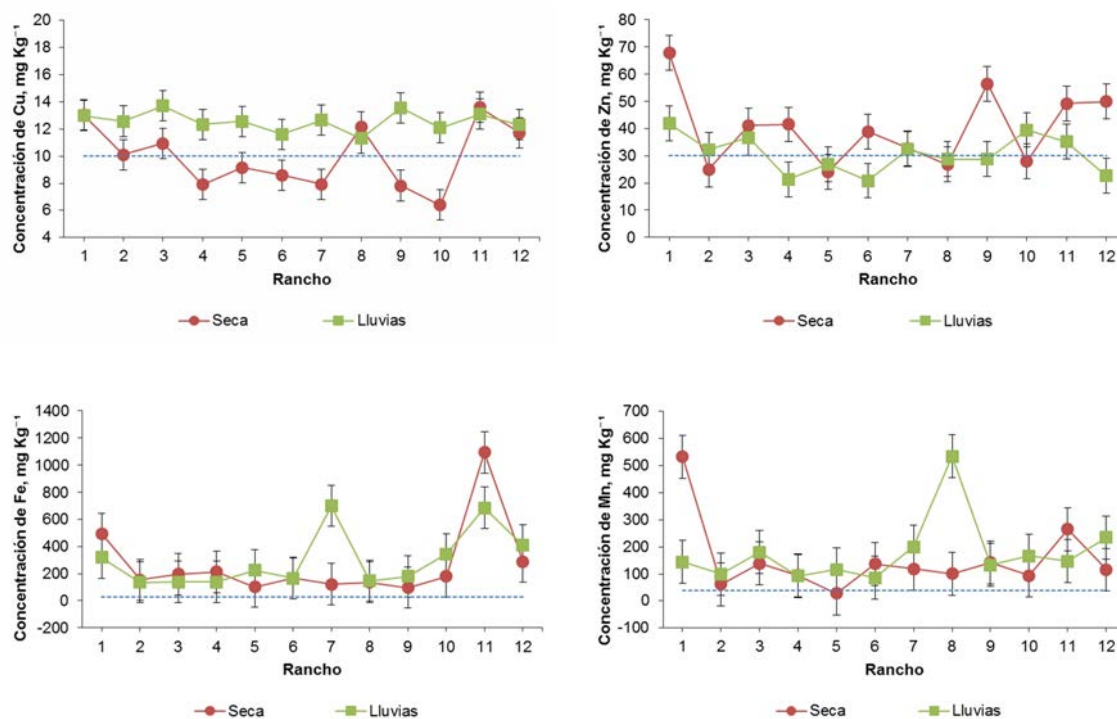


Figura 10. Concentraciones de cobre, zinc, hierro y manganeso en forraje durante las épocas de lluvias y seca en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.

Respecto al manganeso, la interacción se produjo porque se tuvieron concentraciones mayores ($p < 0.01$) en la época seca en el Rancho 1 y en las lluvias ($p < 0.01$) en el Rancho 8. A excepción del Rancho 5 durante la época seca, los niveles de manganeso en los forrajes cubrieron los requerimientos mínimos del ganado en ambas épocas. Los Ranchos 1 y 8 muestran concentraciones medias de manganeso superiores a 500 mg Kg^{-1} ; sin embargo, los bovinos que consumen niveles adecuados de hierro generalmente no desarrollan signos adversos si se alimentan con $< 2,000 \text{ mg Kg}^{-1}$ de manganeso, ya que es considerado uno de los elementos menos tóxicos (McDowell y Arthington, 2005).

3.5.4 Concentración mineral en suero sanguíneo

El Cuadro 16 muestra los niveles de significancia de época, rancho, tipo de animal y sus interacciones dobles y triples para las concentraciones de

minerales en suero sanguíneo de bovinos. La época del año afectó las concentraciones de fósforo, potasio, cobre, zinc y hierro ($p \leq 0.04$). El rancho, la interacción época por rancho y la interacción época por rancho por tipo de animal afectaron ($p < 0.01$) las concentraciones de todos los minerales. El tipo de animal afectó ($p < 0.01$) los niveles de calcio, fósforo, magnesio, potasio, zinc y hierro. La interacción época por tipo de animal y la interacción rancho por tipo de animal afectaron ($p < 0.01$) el nivel de todos los minerales, excepto sodio. La relación Ca:P fue afectada ($p < 0.01$) por la época, el rancho, el tipo de animal y por las interacciones dobles y triples entre ellos.

Cuadro 16. Niveles de significancia de época, rancho, tipo de animal y sus interacciones dobles y triples para las concentraciones de minerales en suero sanguíneo de bovinos en la Costa Sur de Jalisco.

Efecto	Ca	P	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Ca:P
Época (S)	0.47	0.01	0.54	0.88	<0.01	<0.01	0.04	<0.01	<0.01
Rancho (R)	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Tipo de animal (A)	<0.01	<0.01	<0.01	0.46	<0.01	0.30	<0.01	<0.01	<0.01
S x R	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
S x A	<0.01	<0.01	<0.01	0.79	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
R x A	<0.01	<0.01	<0.01	0.11	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
S x R x A	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

En los Cuadros 17, 18, 19 y 20 se presentan las medias de los efectos principales, esto es con la finalidad de dar a conocer información general de los hallazgos en la región de estudio; sin embargo, la discusión se centrará en la triple interacción debido a que fue significativa para todas las variables estudiadas. La variabilidad entre ranchos, épocas, tipos de animales y sus interacciones sugieren la presencia diferenciada de minerales según esos factores, y posibles necesidades específicas de suplementación mineral para los animales.

El Cuadro 17 muestra los efectos principales de época sobre las concentraciones de minerales en el suero sanguíneo de bovinos.

Cuadro 17. Efecto de la época del año en las concentraciones minerales de suero sanguíneo de bovinos en la Costa Sur de Jalisco.

Elemento (mg L ⁻¹)	Época		EEM ^z	Intervalo adecuado ^y
	Seca	Lluvias		
Calcio	97 ^a	97 ^a	0.7	80-110
Fósforo	76 ^b	81 ^a	1.6	45-60 ^x 60-90 ^w
Magnesio	26 ^a	26 ^a	0.3	18-35
Sodio	3,738 ^a	3,746 ^a	34.2	3,105-3,450
Potasio	233 ^a	210 ^b	2.2	160-200
Cobre	0.68 ^a	0.53 ^b	0.013	0.8-1.5
Zinc	0.74 ^b	0.78 ^a	0.014	0.8-1.4
Hierro	2.42 ^a	1.59 ^b	0.066	1.3-2.5
Relación Ca:P	1.44 ^a	1.30 ^b	0.033	1.3-2.7

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

^z Error estándar de la media.

^y Rango de concentración adecuado en suero sanguíneo de ganado bovino (Puls, 1988).

^x Animales adultos.

^w Animales jóvenes.

En el Cuadro 18 se presenta la información sobre las concentraciones de macrominerales en suero sanguíneo de bovinos para los 12 ranchos muestreados.

Cuadro 18. Efecto del rancho en las concentraciones de macrominerales de suero sanguíneo de bovinos en la Costa Sur de Jalisco.

Rancho	Elemento (mg L ⁻¹)					Relación Ca:P
	Calcio	Fósforo	Magnesio	Sodio	Potasio	
1	89.9 ^d	76.7 ^c	23.3 ^f	3,883 ^{ab}	237 ^{ab}	1.19 ^{bcd}
2	93.3 ^{cd}	65.0 ^d	26.9 ^{abc}	3,795 ^{abcd}	226 ^{bc}	1.52 ^a
3	94.5 ^{bc}	71.1 ^{cd}	27.9 ^{ab}	3,660 ^{bcde}	225 ^{bc}	1.49 ^a
4	97.5 ^{abc}	74.4 ^{cd}	24.7 ^{def}	3,676 ^{bcde}	210 ^d	1.53 ^a
5	96.7 ^{abc}	80.6 ^{bc}	26.7 ^{abcd}	3,617 ^{cde}	210 ^d	1.32 ^{abc}
6	97.5 ^{abc}	88.6 ^b	25.0 ^{cdef}	3,768 ^{abcde}	210 ^d	1.17 ^{cd}
7	97.8 ^{ab}	100.0 ^a	25.7 ^{bcde}	3,543 ^e	218 ^{cd}	1.00 ^d

Cuadro 18. Continuación...

Rancho	Elemento (mg L ⁻¹)					Relación Ca:P
	Calcio	Fósforo	Magnesio	Sodio	Potasio	
8	101.0 ^a	81.2 ^{bc}	24.2 ^{ef}	3,576 ^{de}	220 ^{cd}	1.38 ^{abc}
9	100.2 ^a	77.4 ^c	25.2 ^{cdef}	3,923 ^a	215 ^{cd}	1.42 ^a
10	97.3 ^{abc}	76.7 ^c	28.1 ^a	3,771 ^{abcde}	214 ^{cd}	1.52 ^a
11	99.5 ^{ab}	72.9 ^{cd}	25.3 ^{cdef}	3,824 ^{abc}	248 ^a	1.47 ^a
12	100.7 ^a	78.9 ^{bc}	26.4 ^{abcd}	3,870 ^{ab}	227 ^{bc}	1.41 ^{ab}
EEM ^z	1.7	3.9	0.8	84	5	0.08
Intervalo adecuado ^y	80-110	45-60 ^x 60-90 ^w	18-35	3,105-3,450	160-200	1.3-2.7

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

^z Error estándar de la media.

^y Rango de concentración adecuado en suero sanguíneo de ganado bovino (Puls, 1988).

^x Animales adultos.

^w Animales jóvenes.

El Cuadro 19 muestra el efecto del rancho sobre las concentraciones de cobre, zinc y hierro en el suero sanguíneo de bovinos.

Cuadro 19. Efecto del rancho en las concentraciones de microminerales de suero sanguíneo de bovinos en la Costa Sur de Jalisco.

Rancho	Elemento (mg L ⁻¹)		
	Cobre	Zinc	Hierro
1	0.64 ^b	0.68 ^{ef}	2.32 ^a
2	0.74 ^a	0.72 ^{de}	2.09 ^{abcd}
3	0.60 ^{bc}	0.77 ^{bcd}	2.13 ^{abcd}
4	0.53 ^c	0.91 ^a	1.87 ^{bcdef}
5	0.61 ^{bc}	0.81 ^{bc}	2.20 ^{ab}
6	0.60 ^{bc}	0.72 ^{de}	1.53 ^f
7	0.64 ^b	0.84 ^{ab}	2.04 ^{abcde}
8	0.56 ^{bc}	0.75 ^{cde}	2.39 ^a

Cuadro 19. Continuación...

Rancho	Elemento (mg L ⁻¹)		
	Cobre	Zinc	Hierro
9	0.56 ^{bc}	0.78 ^{bcd}	2.16 ^{abc}
10	0.59 ^{bc}	0.73 ^{cde}	1.62 ^{ef}
11	0.57 ^{bc}	0.63 ^f	1.74 ^{cdef}
12	0.53 ^c	0.77 ^{bcd}	1.70 ^{def}
EEM ^z	0.033	0.034	0.162
Intervalo adecuado ^y	0.8-1.5	0.8-1.4	1.3-2.5

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

^z Error estándar de la media.

^y Rango de concentración adecuado en suero sanguíneo de ganado bovino (Puls, 1988).

En el Cuadro 20 se presentan las concentraciones medias de minerales en suero sanguíneo de vacas y crías.

Cuadro 20. Efecto del tipo de animal en las concentraciones de minerales de suero sanguíneo de bovinos en la Costa Sur de Jalisco.

Elemento (mg L ⁻¹)	Tipo de animal		EEM ^z	Intervalo adecuado ^y
	Vaca	Cría		
Calcio	92 ^b	102 ^a	0.69	80-110
Fósforo	64 ^b	93 ^a	1.58	45-60 ^x 60-90 ^w
Magnesio	28 ^a	24 ^b	0.33	18-35
Sodio	3,724 ^a	3,760 ^a	34.23	3,105-3,450
Potasio	210 ^b	233 ^a	2.20	160-200
Cobre	0.59 ^a	0.61 ^a	0.013	0.8-1.5
Zinc	0.68 ^b	0.84 ^a	0.014	0.8-1.4
Hierro	1.75 ^b	2.22 ^a	0.066	1.3-2.5
Relación Ca:P	1.60 ^a	1.14 ^b	0.033	1.3-2.7

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

^z Error estándar de la media.

^y Rango de concentración adecuado en suero sanguíneo de ganado bovino (Puls, 1988).

^x Animales adultos.

^w Animales jóvenes.

La Figura 11 muestra la interacción rancho por época con edad para las concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio, y potasio, así como para la relación Ca:P.

El efecto de la triple interacción sobre la concentración de calcio se manifestó en la época seca para todos los ranchos; así como en las lluvias en los Ranchos 2, 3, 5, 7, 9, 10 y 11; con mayores valores para las crías que para las vacas. Las vacas mostraron mayores concentraciones en las lluvias que en la seca en los Ranchos 1 y 11, mientras que en el 2 y 8 fue en sentido inverso. Las crías tuvieron mayores valores en las secas que en las lluvias en los Ranchos 2, 6, 8 y 12; y menores en el 11. Solamente el 3% de los animales tuvo deficiencias de este mineral, mientras que los excesos estuvieron presentes en el 10%. La deficiencia únicamente se observó en las vacas del Rancho 1 durante la época seca; mientras que los excesos fueron para las crías en la época seca en los Ranchos 7, 8 y 12; así como en las lluvias en el 9 y 11.

El suero sanguíneo de las crías mostró mayor nivel de calcio debido probablemente al consumo de leche, la cual contiene aproximadamente 0.95% de este elemento en base seca (NRC, 2005), por lo tanto tiene mayor concentración que los forrajes consumidos principalmente por las vacas, que en promedio tuvieron 0.43%.

La triple interacción tuvo efecto sobre la concentración de fósforo en 11 ranchos durante la época de lluvias (excepto el Rancho 1) y en 10 en la seca (excepto los Ranchos 1 y 11), con mayores concentraciones para las crías que para los animales adultos. Las vacas tuvieron mayores niveles de este mineral en las lluvias que en la seca en los Ranchos 7, 8, 9, 10 y 12; y menores en el 4. De igual forma, las crías en los Ranchos 5, 8 y 9 tuvieron mayores concentraciones en las lluvias que en la seca.

Las deficiencias de fósforo estuvieron principalmente en las vacas, ya que el 21% tuvo concentraciones inferiores al rango considerado como normal; mientras que los excesos fueron para el 53% de las crías y el 55% de los

animales adultos. Las vacas de los Ranchos 2 y 4 mostraron deficiencias en la época de lluvias; mientras que en el 3, 10 y 12 fue en la seca. Así mismo, en este grupo de animales se tuvieron excesos en las lluvias en los Ranchos 3, 8, 9, 10 y 12; en la seca en el 2 y 4; y en ambas épocas en los Ranchos 1, 5, 6, 7 y 11. Lo anterior indica que la mayor problemática se encuentra en los Ranchos 3, 10 y 12; debido a que en la época seca se tienen deficiencias, mientras que en las lluvias hay excesos.

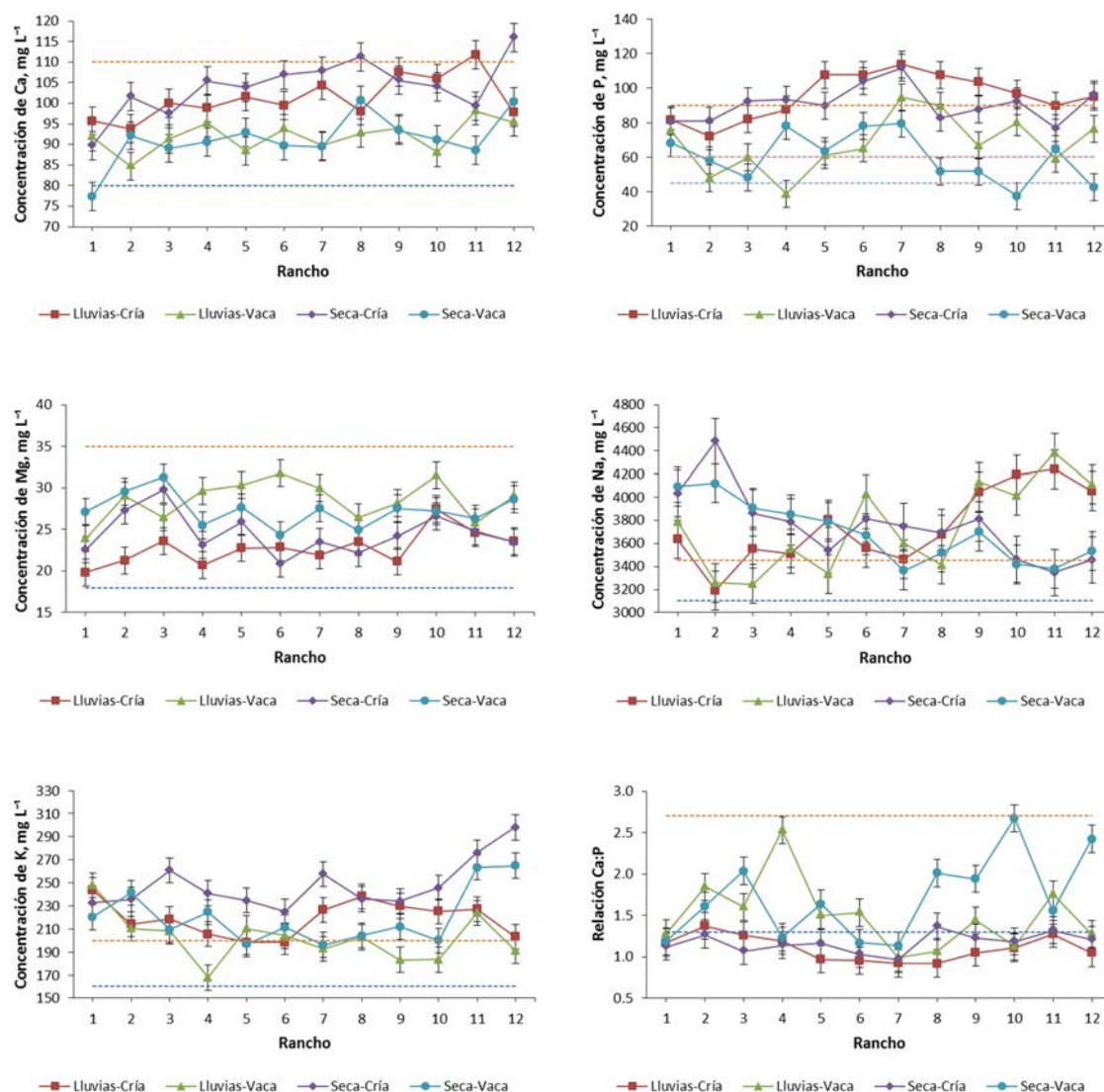


Figura 11. Concentraciones de calcio, fósforo, magnesio, sodio y potasio en suero sanguíneo de vacas y becerros, en dos épocas del año, en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.

En ningún rancho las crías tuvieron deficiencias de fósforo en suero sanguíneo, por el contrario, a excepción de los Ranchos 1 y 2, en alguna época del año mostraron niveles superiores al rango considerado como adecuado. En el Rancho 3 los excesos en las crías se tuvieron en la seca; en el 8 y el 11 en las lluvias; mientras que en los Ranchos 4, 5, 6, 7, 9, 10 y 12 se tuvieron en ambas épocas.

A pesar de que en el agua de bebida no se detectaron niveles de fósforo, que en el suelo se tuvieron bajas concentraciones y, por tanto, deficiencias en los forrajes, los niveles de este elemento en el suero sanguíneo, tanto de vacas como de crías, fueron elevados. Sin embargo, los animales mostraron diversos signos de deficiencia (Figuras 12 y 13), por lo que las altas concentraciones de fósforo en suero podrían deberse a un incremento de la carga de fosfato extracelular por desórdenes en la hemólisis, ya que aproximadamente el 20% del fósforo en el cuerpo se encuentra distribuido en los tejidos musculares y nerviosos y, especialmente, en los glóbulos rojos (Rebollar y Mateos, 1999; McDowell y Arthington, 2005; Loh, 2010).

La hemólisis podría ser agravada por la deficiencia de cobre que causa daño oxidativo a la membrana celular, liberando fósforo, potasio y hierro de los eritrocitos al fluido extracelular (Yim *et al.*, 1990; Kincaid, 1999), minerales que, junto con el sodio, se encontraron en concentraciones excesivas en el suero sanguíneo. Los signos de estrés oxidativo en forma de cuerpos de Heinz en eritrocitos se han reportado en animales deficientes en cobre (Suttle, 2010).

Las crías tuvieron mayores niveles de fósforo en suero sanguíneo que las vacas debido al consumo de leche, la cual tiene de 0.6 a 0.8% de fósforo en base seca (Puls, 1988; Suttle, 2010); mientras que los forrajes analizados tuvieron un promedio de 0.08%, los cuales son la base de la alimentación de las vacas y no cubren el nivel mínimo requerido por el ganado bovino (McDowell y Arthington, 2005). Además, los coeficientes de absorción de este elemento varían con el estado fisiológico, ya que para becerros que consumen leche es de 90%, para

rumiantes jóvenes de 100 a 200 kg de peso corporal es de 78%, mientras que para las vacas en pastoreo es de 64% (NRC, 2001).

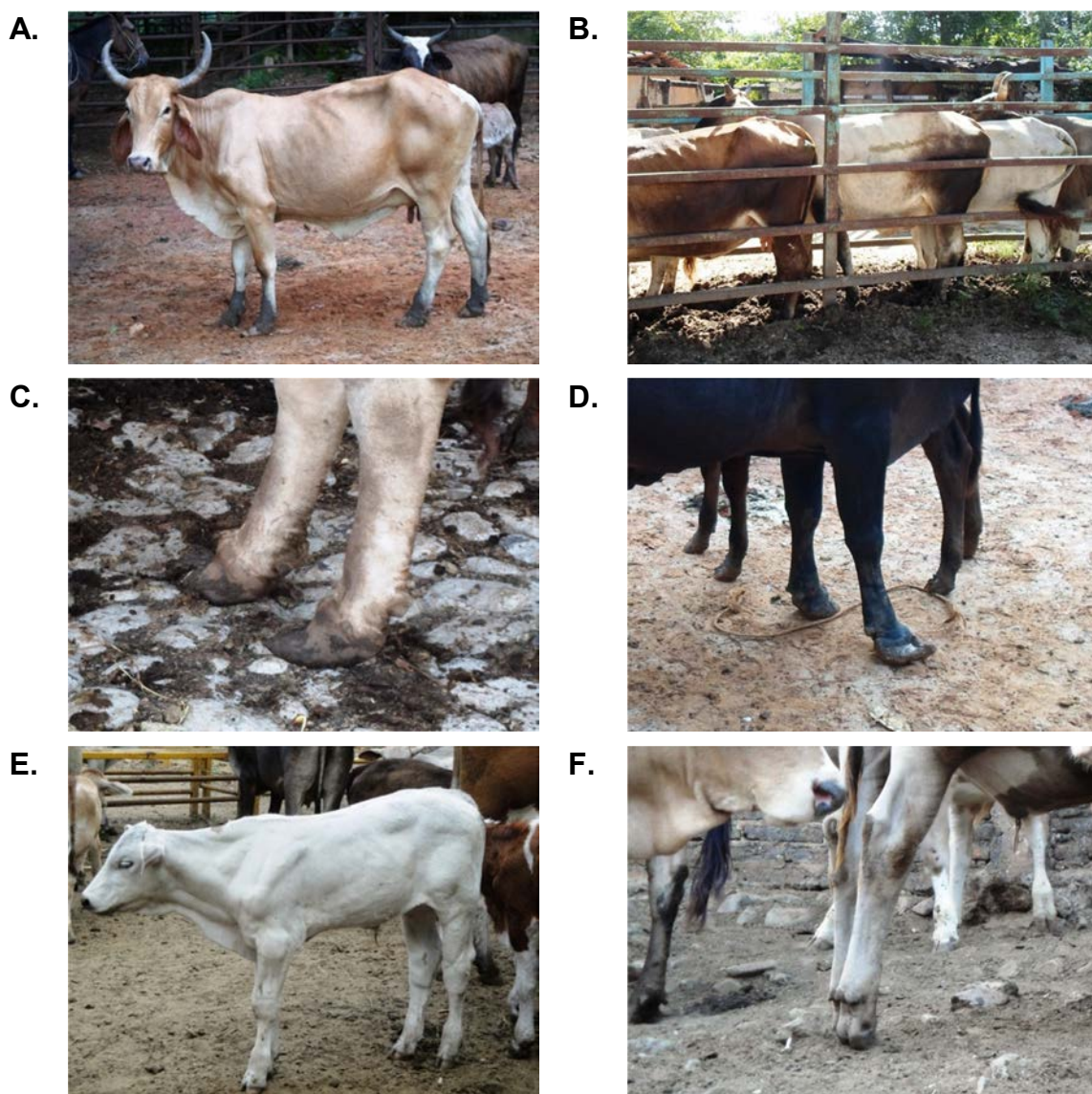


Figura 12. Signos de deficiencia de fósforo. A y B) Vacas con "trasero caído"; C y D) crecimiento de pezuña e inclinación hacia arriba; E) rigidez articular (también puede ser causada por deficiencia de zinc); F) metatarso enderezado.

Los forrajes analizados tuvieron menores concentraciones de fósforo en la época seca que en las lluvias, ya que al madurar la planta disminuye su contenido de este elemento (McDowell y Arthington, 2005); además de que en la seca podría ser menor su solubilidad en el suelo, lo que coincide con los bajos niveles encontrados en el suero sanguíneo durante esta época.

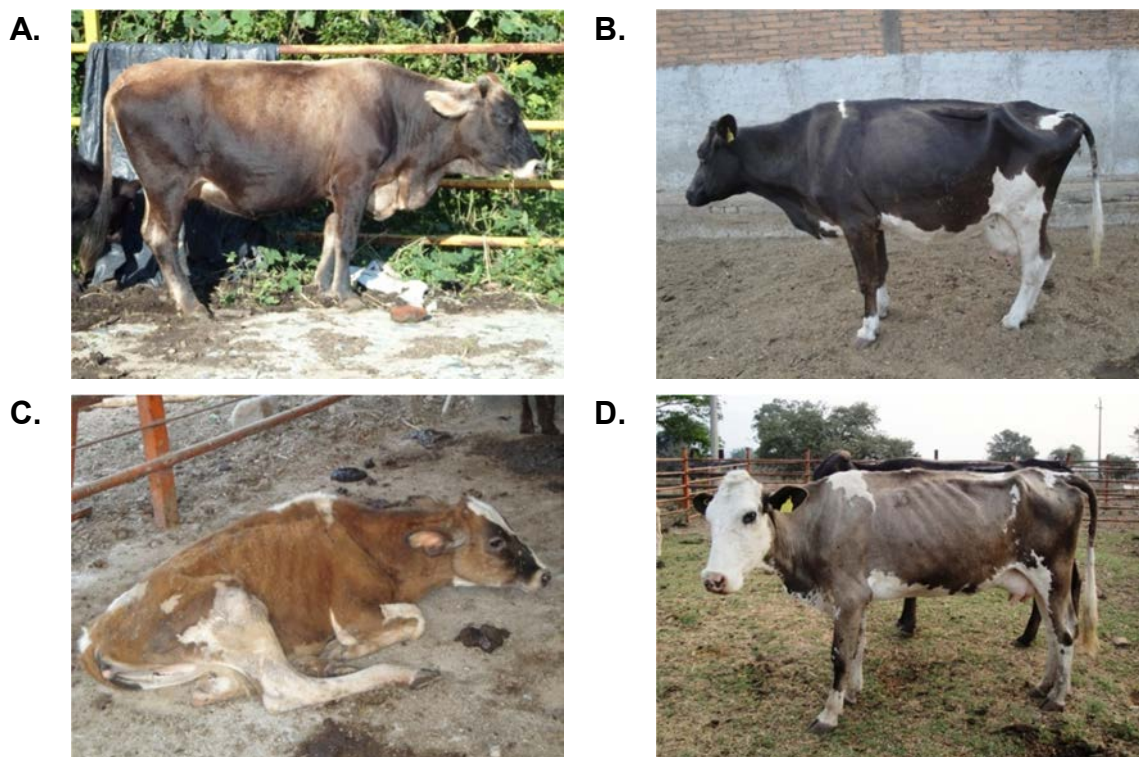


Figura 13. Signos de deficiencia de fósforo. A y B) Vacas con los miembros hacia dentro del cuerpo y con cifosis (espalda arqueada); C) becerro con debilidad; D) vaca con amiotrofia o delgadez.

Las vacas tuvieron mayores concentraciones de magnesio en suero sanguíneo que las crías en ambas épocas en los Ranchos 1, 7 y 12; mientras que en los Ranchos 2, 4, 5, 6, 9 y 10 solamente fue en las lluvias. Las vacas mostraron niveles más altos de magnesio en las lluvias que en la seca en los Ranchos 4, 6 y 10; mientras que en el Rancho 3 fue de forma inversa. Las mayores concentraciones de este mineral en las crías fueron observadas durante la época seca respecto a las lluvias en los Ranchos 2 y 3.

El contenido de magnesio en el suero de ambos tipos de animal y en las dos épocas para todos los ranchos se encuentra dentro del rango considerado como adecuado; al respecto, McDowell y Arthington (2005) señalan que la concentración de este mineral sólo disminuye en casos de deficiencia severa. El mayor contenido en las vacas que en las crías podría deberse a que el forraje consumido por las primeras tuvo una concentración media de magnesio de 0.25%, además del consumo involuntario de suelo durante el pastoreo, el cual

tuvo altas concentraciones de este elemento; mientras que la leche, que es la principal fuente de alimento de los becerros, posee menores concentraciones de este mineral, las cuales son de 0.08 a 0.11% en base seca (Puls, 1988).

La concentración de sodio solamente tuvo efecto en los Ranchos 5 y 6 durante las lluvias, en el primero el nivel más alto fue para las crías, mientras que en el segundo fue para las vacas. Las crías en los Ranchos 1 y 2 tuvieron mayores concentraciones de sodio en la época seca que en las lluvias; mientras que en el 10, 11 y 12 fue de forma inversa. Por su parte, las vacas mostraron mayores valores en la seca que en las lluvias en los Ranchos 2, 3 y 5; y menores en el 9, 10, 11 y 12.

El 68% del total de muestras analizadas tuvo concentraciones elevadas de sodio, respecto al rango considerado adecuado en el suero sanguíneo, por lo cual, ambos tipos de animal tuvieron altos niveles de este mineral; a excepción del Rancho 2 durante las lluvias que tuvo concentraciones adecuadas tanto en crías como en vacas; el 11 en la seca para ambos tipos de animal; las vacas de los Ranchos 3 y 5 durante las lluvias; así como las vacas del Rancho 7 en la seca. De acuerdo con Suttle (2010), los altos niveles de potasio en el forraje podrían causar una mayor absorción de sodio en el rumen. De igual forma, Hutcheson *et al.* (1984) encontraron que el nivel de sodio en el suero sanguíneo aumentó a medida que se incrementó el contenido de potasio en la dieta.

Respecto al potasio, el efecto de su concentración se observó en el Rancho 4 en la época de lluvias; en los Ranchos 3, 5 y 12 en la seca; y en los Ranchos 7, 8, 9 y 10 en ambas épocas; con mayores valores para las crías que para los animales adultos. Las vacas tuvieron mayores concentraciones de este mineral en la seca que en las lluvias en los Ranchos 2, 4, 9, 11 y 12; y sólo en el Rancho 1 fueron menores; de igual forma, las crías tuvieron mayores concentraciones en la seca que en las lluvias en los Ranchos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11 y 12. En general, las concentraciones fueron altas, ya que el 74% de los animales tuvo niveles superiores al rango considerado como adecuado, a

excepción de las vacas en los Ranchos 4, 9, 10 y 12 que tuvieron niveles adecuados durante las lluvias y en el 7 en ambas épocas.

Los excesos de este mineral en el suero sanguíneo podrían deberse a su alto contenido en el forraje, ya que a medida que su nivel en la dieta aumenta también se incrementan los niveles plasmáticos, aunque el riesgo de toxicidad por potasio a partir del agua de bebida y el alimento es bajo; además influyen factores como el estado metabólico del animal, el compuesto consumido y las interacciones con otros elementos (NRC, 2005). Respecto a lo último, sobresale la deficiencia de cobre, que al causar daño oxidativo a la membrana celular podría liberar potasio de los glóbulos rojos al fluido extracelular (Yim *et al.*, 1990; Kincaid, 1999; Suttle, 2010), incrementando así su concentración en el suero sanguíneo.

El efecto en la relación Ca:P se manifestó en los Ranchos 4, 6 y 11 en la época de lluvias; en los Ranchos 8, 10 y 12 en la seca; así como en el 2, 3, 5 y 9 en ambas épocas con mayores valores para las vacas. Las crías del Rancho 8 mostraron una mayor proporción en la época seca que en las lluvias; de igual forma, las vacas de los Ranchos 3, 8, 9, 10 y 12 tuvieron mayores valores en la seca que en las lluvias; mientras que en los Ranchos 4 y 6 fueron menores.

El 59% de las muestras analizadas tuvo una baja relación Ca:P. A excepción de los Ranchos 8 y 11 en la seca, las crías en las dos épocas manifestaron valores por debajo del rango considerado como adecuado. Mientras que para el caso de las vacas, durante las dos épocas tuvieron valores bajos en el Rancho 1; en las lluvias para los Ranchos 7, 8, 10 y 12; y en la seca en el 4, 6 y 7. La menor relación Ca:P para las crías, respecto a las vacas, se debe a que el suero sanguíneo tuvo altas concentraciones de fósforo respecto a las de calcio.

La Figura 14 presenta el efecto de la interacción rancho por época por edad para las concentraciones de cobre, zinc y hierro.

El efecto de la triple interacción sobre la concentración de cobre se manifestó en la época seca con mayores valores para las vacas que para las crías en los Ranchos 1 y 3, mientras que los animales adultos presentaron los niveles más bajos en los Ranchos 5 y 6. Las crías tuvieron mayores concentraciones en la época seca que en las lluvias en los Ranchos 1, 2, 5, 6, 10 y 11; y sólo en el 4 fueron menores. De igual manera, las vacas de los Ranchos 1, 2, 3, 5, 6, 10 y 11 tuvieron mayores valores en la seca y solamente en el Rancho 4 fue mayor en las lluvias. Vieyra-Alberto *et al.* (2013) también encontraron mayores niveles de cobre en la época seca que en las lluvias en 17 ranchos de la región Huasteca Potosina, México.

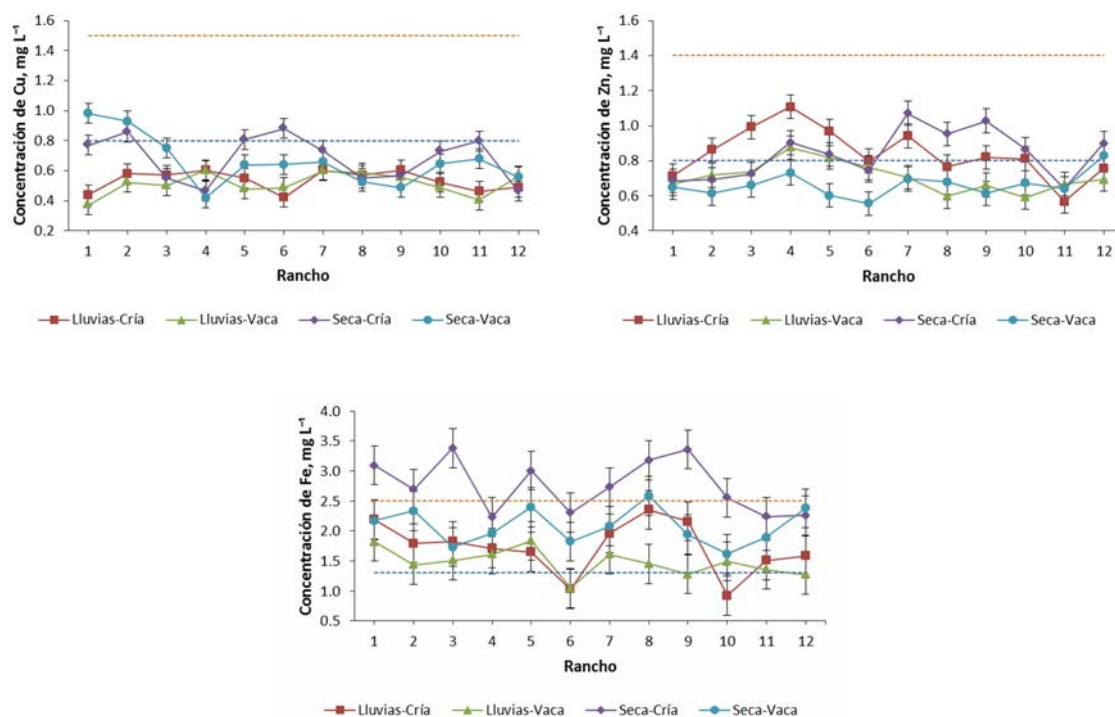


Figura 14. Concentraciones de cobre, zinc y hierro en suero sanguíneo de vacas y becerros, en dos épocas del año, en doce ranchos de la Costa Sur de Jalisco.

En el presente estudio, el 86% de las muestras analizadas tuvo concentraciones de cobre inferiores al rango considerado como adecuado. Ambos tipos de animal en todos los ranchos mostraron deficiencias en las lluvias; así mismo, en la época seca, en el rango adecuado solamente se

encontraron las vacas y crías del Rancho 2, así como las vacas del 1 y las crías del 6 (Figura 15).

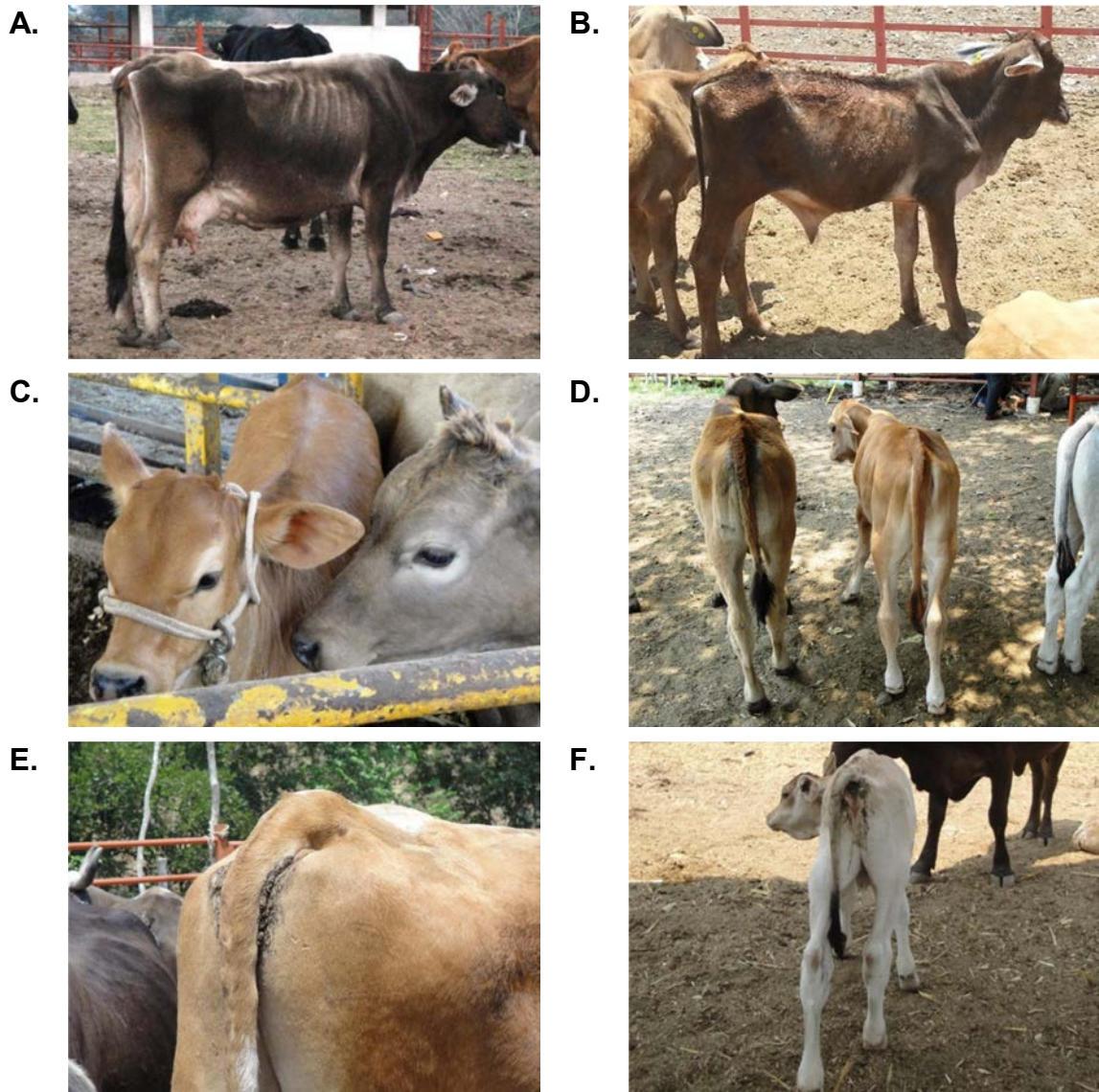


Figura 15. Signos de deficiencia de cobre. A) Vaca con despigmentación de la capa de pelo; B) becerro con despigmentación de capa y pelo áspero y seco; C) becerros con despigmentación de los pelos alrededor de los ojos; D) becerros con balanceo de los cuartos posteriores y marcha vacilante; E y F) presencia de diarreas.

Los forrajes analizados tuvieron altas concentraciones de hierro, respecto a los requerimientos de los bovinos; así mismo, durante el pastoreo el animal además consume suelo, el cual también tuvo altos niveles de este mineral.

Herlin y Andersson (1996) señalan que esta ingestión es de manera accidental, debido al suelo adherido a las plantas o como un consumo activo que se debe a la falta de elementos minerales esenciales; tales como cobre, cobalto y manganeso (Figura 16). Esto pudo ocasionar un consumo excesivo de hierro que puede afectar la absorción de cobre por el animal (Gengelbach *et al.*, 1994; Gooneratne, 2006; Pogge *et al.*, 2014). McDowell y Arthington (2005) señalan que a excepción del fósforo, la deficiencia de cobre es la limitante más importante para los animales en pastoreo en las regiones tropicales (Figura 17).

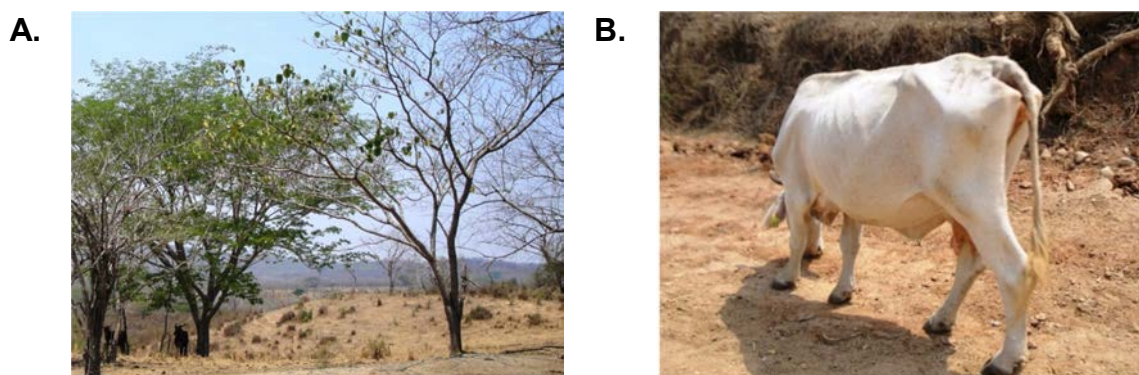


Figura 16. Consumo de suelo. A) Escasez de forraje en la época seca y contaminación con suelo; B) geofagia (consumo de tierra).

El nivel de zinc durante las lluvias en los Ranchos 3, 4, 5, 7, 8, 9 y 10; y en la época seca en los Ranchos 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 tuvo mayores niveles en las crías que en los animales adultos. Las vacas de los Ranchos 5 y 6 manifestaron mayor concentración en las lluvias que en la seca, al igual que las crías de los Ranchos 2, 3 y 4; mientras que en los Ranchos 8 y 9 las crías tuvieron mayores valores en la seca que en las lluvias.

El 65% de los animales mostró niveles de zinc inferiores al mínimo considerado como adecuado en el suero sanguíneo. Las vacas presentaron deficiencias en ambas épocas, a excepción de las del Rancho 4 en las lluvias que se encuentran dentro del rango adecuado. Las crías de los Ranchos 2, 3 y 5 mostraron deficiencias durante la época seca; mientras que en los Ranchos 8, 9, 10 y 12 fue en las lluvias; así mismo, en el 1, 6 y 11 las deficiencias se presentaron en ambas épocas (Figura 18).

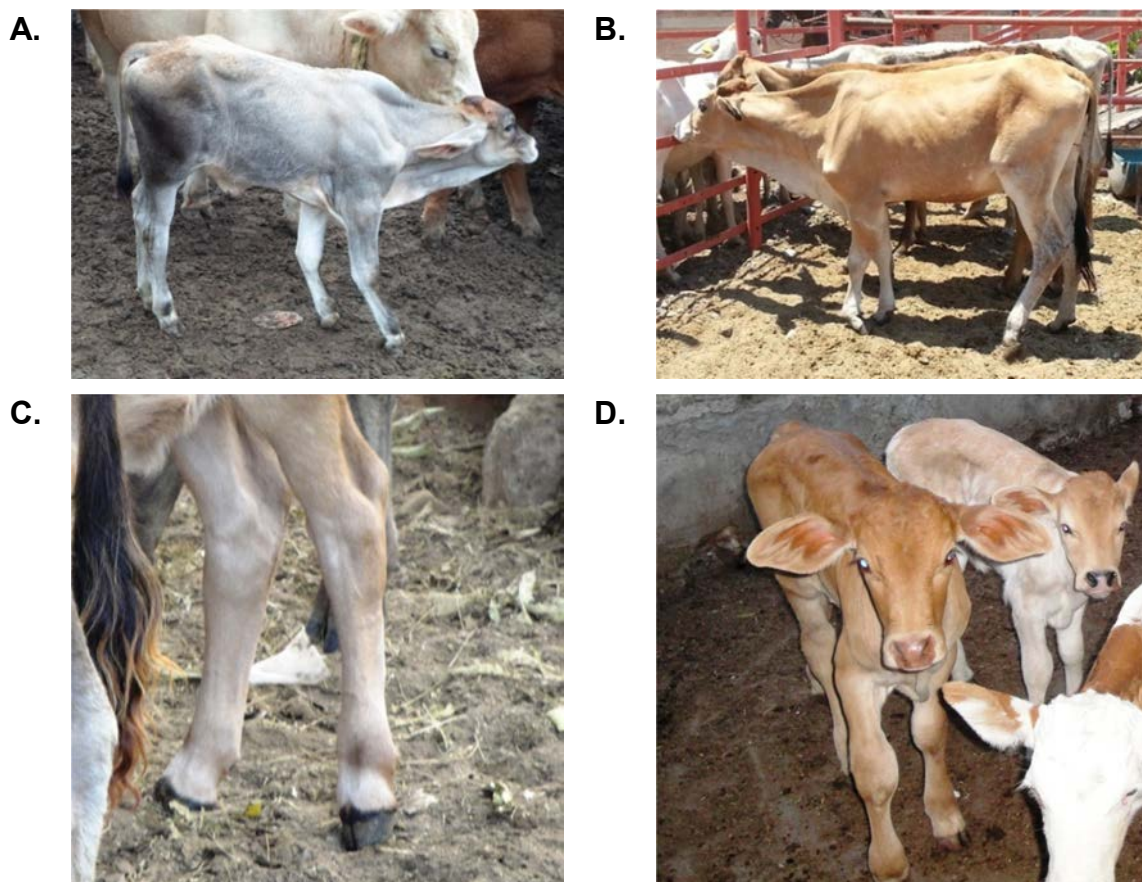


Figura 17. Signos de deficiencia de fósforo y cobre. A) Deformación de articulaciones; B) fracturas; C) cojeras; D) inflamación de articulaciones.

Los bajos niveles de zinc en suelo, plantas y tejidos de animales se han reportado en muchas regiones tropicales del mundo (McDowell y Arthington, 2005). La deficiencia de zinc en los animales podría deberse a que los forrajes de la mayoría de los ranchos, en por lo menos una época del año, no cubrieron el requerimiento mínimo del ganado bovino. Esta deficiencia se presentó en ambas épocas, aunque es más marcada en la de seca, aun cuando en ésta se tuvieron mayores niveles de este mineral en los forrajes. Sin embargo, en la época de estiaje es cuando se tienen mayores temperaturas en la región de estudio, sobre todo en el mes de mayo, que fue cuando se realizó uno de los muestreos; al respecto, Kincaid (1999) menciona que el zinc sérico se reduce por el estrés hipertérmico.

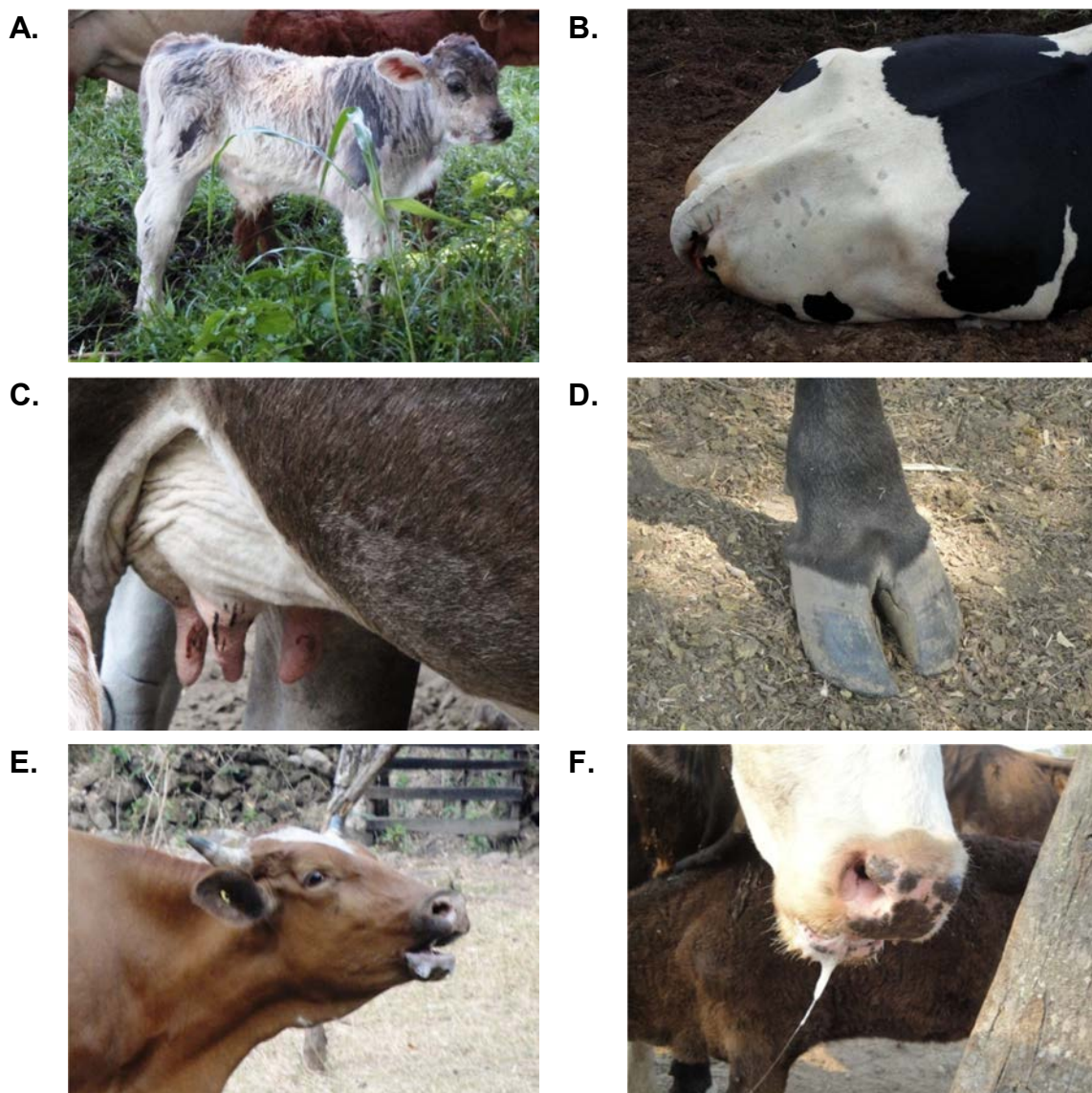


Figura 18. Signos de deficiencia de zinc. A) Becerro con dermatitis en hocico, frente, contorno de ojos, orejas, cuello, paletas, muslos y base del rabo; B) vaca con caída de pelo en círculos; C) grietas sangrantes en ubres; D) grietas entre pezuñas; E y F) vacas con salivación excesiva.

Las mayores concentraciones de zinc en las crías respecto a las vacas podría deberse a que los niveles en plasma fluctúan con la edad (entre otros factores como el estrés, las infecciones y la restricción alimenticia). El zinc en plasma es alto (2.3 mg L^{-1}) en los becerros recién nacidos y disminuye (1.2 mg L^{-1} a las 12 semanas) con la edad (Kincaid y Hodgson, 1989).

Las concentraciones de hierro mostraron diferencias en la seca para los Ranchos 1, 3 y 10; en las lluvias para el 8 y en ambas épocas para el 9 con mayores valores para las crías que para los animales adultos. Las vacas en los Ranchos 2, 6, 8 y 12; así como las crías en los Ranchos 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9 y 10 tuvieron mayores niveles en la época seca que en las lluvias. El 24% de las muestras de suero sanguíneo tuvo bajas concentraciones de hierro; así mismo, en el 22% los niveles fueron excesivos. Las deficiencias se presentaron principalmente durante las lluvias en vacas de los Ranchos 9 y 12, en crías del 10, así como en ambos tipos de animal de los Ranchos 6 y 11. A excepción de los Ranchos 4, 6, 10, 11 y 12; las crías tuvieron niveles excesivos de hierro durante la época seca.

La deficiencia de hierro en los animales en pastoreo es rara, debido a que las plantas generalmente contienen un nivel adecuado de este mineral, además de la contaminación del forraje con suelo rico en hierro (Kincaid, 1999; McDowell y Arthington, 2005), sobre todo en la seca. Es por eso que en esta época se encontraron los niveles más altos de este mineral. A pesar de tener excesos de hierro, especialmente en las crías, los animales podrían presentar anemia, ya que, de acuerdo con Suttle (2010), la deficiencia de cobre puede provocar hemólisis, la cual contribuye a los altos contenidos de hierro extracelular (Figura 19). La anemia se desarrolla después de la carencia severa o prolongada de cobre, en vacas puede ser hipocrómica y macrocítica (Suttle, 2010).



Figura 19. El hierro es antagónico con el cobre y el cobalto. A) Animal con anemia, posiblemente por la deficiencia de cobre; B) lagrimeo causado por la posible deficiencia de cobalto y cobre.

3.6 Conclusiones

Los suelos en la Costa Sur de Jalisco tienen concentraciones medias de calcio, potasio, cobre y zinc que cubren el mínimo necesario para el desarrollo de las plantas, tanto en la época seca como en las lluvias; pero son bajos en fósforo (principalmente en la época de lluvias) y en sodio. Los minerales que se encuentran en concentraciones excesivas en ambas épocas son: hierro, magnesio y manganeso.

El agua de bebida tiene concentraciones de hierro superiores (75% de las muestras) al nivel máximo tolerable por el ganado bovino, particularmente en la seca.

Los forrajes en ambas épocas tienen concentraciones adecuadas de calcio, sodio y manganeso en relación a los requerimientos del ganado bovino; niveles excesivos de potasio (20% en la seca y 78% en las lluvias) y hierro (18% en la seca y 30% en las lluvias); así como deficiencias de fósforo (100% en ambas épocas), magnesio (48% en la seca y 32% en las lluvias) y zinc (36% en la seca y 46% en las lluvias). El cobre está deficiente en la época seca (53%). La mayoría de los forrajes (96%) tiene una relación Ca:P superior a 2:1.

El ganado en la Costa Sur de Jalisco tiene concentraciones adecuadas de calcio y magnesio. Existe deficiencia generalizada de cobre (86%), excepto algunos animales en la época seca. El zinc es deficiente en ambas épocas, tanto en crías (45%) como en vacas (84%). El fósforo está en exceso en ambas épocas para la mayoría de vacas (55%) y sus crías (53%); al igual que el potasio (62% de vacas y 86% de crías) y el sodio (68% en ambos tipos de animal). El hierro está en concentraciones excesivas en la época seca en el 50% de las crías. Los excesos de fósforo, potasio, sodio y hierro en suero sanguíneo del ganado pueden deberse a las deficiencias generalizadas de cobre y zinc.

En general, la variabilidad en la concentración de los elementos minerales entre ranchos, épocas y tipos de animales confirman las necesidades específicas de suplementación mineral para el ganado.

3.7 Literatura citada

- Abdullah, M., R. Ahmad, S. Yaqoob, and M. Ahmad. 2013. Mineral profile of browse species used as feed by grazing livestock in Cholistan Rangelands, Pakistan. *Pakistan Journal of Nutrition* 12: 135-143.
- Alloway, B. J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. 2nd ed. International Zinc Association and International Fertilizer Industry Association. Belgium and France. 139 p.
- Anton Paar. 2006. Instruction Manual: Multiwave 3000, Microwave Reaction System. Austria. 222 p.
- Araújo-Nóbrega, J., C. C. Nascentes, G. C. Labuto-Araújo, A. R. Araújo-Nogueira, and C. Pirola. 2007. High-throughput microwave-assisted digestion and extraction procedures for agricultural materials. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38: 17-18.
- Arizmendi-Maldonado, D., L. R. McDowell, T. R. Sinclair, P. Mislevy, F. G. Martin, and N. S. Wilkinson. 2002. Mineral concentrations in four tropical forages as affected by increasing daylength. I. Macrominerals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33: 1991-2000.
- Barker, A. V., and D. J. Pilbeam. 2007. Handbook of Plant Nutrition. Taylor & Francis Group. Boca Raton, FL. 613 p.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle B., y A. Aguilar S. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas Agrícolas, Plantas y ECP. 2^a ed. Colección INCADA. México. 226 p.
- Chicco, C. F., y S. Godoy. 2005. Deficiencias minerales y condiciones asociadas en la ganadería de carne de las sabanas de Venezuela. Primer Curso Internacional Sobre Avances en la Nutrición de los Rumiantes. Maracay, Aragua, Venezuela. pp: 101-128.
- Dias R. S., S. López, Y. R. Montanholi, B. Smith, L. S. Haas, S. P. Miller, and J. France. 2013. A meta-analysis of the effects of dietary copper, molybdenum, and sulfur on plasma and liver copper, weight gain, and feed conversion in growing-finishing cattle. *Journal of Animal Science* 91: 5714-5723.

- Domínguez-Vara, I. A., y M. Huerta-Bravo. 2008. Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas en el Valle de Toluca, México. *Agrociencia* 42: 173-183.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 1992. Method 3005A: Acid digestion of waters for total recoverable or dissolved metals for analysis by FLAA or ICP Spectroscopy. Washington, D. C. 5 p.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2004. Drinking Water Health Advisory for Manganese. Washington, D. C. 49 p.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). 2007. Method 3051A: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. Washington, D. C. 30 p.
- Fick, K. R., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. Funk, J. H. Conrad, y R. Valdivia. 1979. Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales. 2ª Ed. Universidad de Florida, Gainesville, FL. 358 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4ª ed., México, D.F. 217 p.
- Gengelbach, G. P., J. D. Ward, and J. W. Spears. 1994. Effect of dietary copper, iron, and molybdenum on growth and copper status of beef cows and calves. *Journal of Animal Science* 72: 2722-2727.
- Greene, L. W., W. E. Pinchak, and R. K. Heitschmidt. 1987. Seasonal dynamics of minerals of forages at the Texas Experimental Ranch. *Journal of Range Management* 40: 502-506.
- Gooneratne, R. 2006. Diseases related to copper, molybdenum and sulphur interactions in ruminants. *In: Veinte años de buiatría: actas del XIV Congreso Internacional de la Federación Mediterránea de Sanidad y Producción de Rumiantes*. 12-15 de julio de 2006. Universidad de Santiago de Compostela, Lugo-Santiago de Compostela. pp. 8-14.
- Herlin, A. H., and Andersson, I. 1996. Soil Ingestion in Farm Animals A Review. Swedish University of Agricultural Sciences. Lund, Sweden. 35 p.
- Hopkins, B., and J. Ellsworth. 2005. Phosphorus availability with alkaline/calcareous soil. *In: Western Nutrient Management Conference*. Salt Lake City, UT. pp: 88-93.
- Huerta B., M. 1999. Respuesta a la corrección de deficiencias minerales sobre el comportamiento animal. *In: Memoria del II Seminario Internacional Estrategias de Suplementación a Bovinos en Pastoreo*. 28 y 29 de octubre. Chapingo, Méx. pp: 154-172.

- Hutcheson, D. P., N. A. Cole, and J. B. McLaren. 1984. Effects of pretransit diets and post-transit potassium levels for feeder calves. *Journal of Animal Science* 58: 700–707.
- IANR (Institute of Agriculture and Natural Resources of the University of Nebraska). 2014. *Nutrient Management for Agronomic Crops in Nebraska*. Lincoln, Nebraska. 149 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2012. *Diagnóstico de la Ganadería en Jalisco: Censo Agropecuario 2007*. INEGI, Universidad de Guadalajara. 130 p.
- Kabata-Pendias, A., and H. Pendias. 1992. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4th ed. Boca Raton, FL. CRC Press. 520 p.
- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: a review. *Proceedings of the American Society of Animal Science*. Department of Animal Sciences, Washington State University, Pullman. 10 p.
- Kincaid, R. L., and A. S. Hodgson. 1989. Relationship of selenium concentrations in blood of calves to blood selenium of the dam and supplemental selenium. *Journal of Dairy Science* 72: 259-263.
- Loh, T. P., S. Saw, and S. K. Sethi. 2010. Hyperphosphatemia in a 56-year-old man with hypochondrial pain. Clinical case study. *Clinical Chemistry* 56: 892–896.
- McDowell, L. R. 1985. *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press, Inc. Gainesville, FL. 443 p.
- McDowell, L. R. 2003. *Minerals in Animal and Human Nutrition*. 2nd Edition. Elsevier Science B.V. Amsterdam, The Netherlands. 644 p.
- McDowell, L. R., y J. D. Arthington. 2005. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. 4^a ed. Universidad de Florida. Gainesville, FL. 94 p.
- Mortvedt, J. J. 2000. Bioavailability of micronutrients. *In: Handbook of Soil Science*. Boca Raton, FL. CRC Press. pp. D71–D88.
- Mullis, L. A., J. W. Spears, and R. L. McCraw. 2003. Effects of breed (Angus vs Simmental) and copper and zinc source on mineral status fed high dietary iron. *Journal of Animal Science* 81: 318-322.
- NRC (National Research Council). 1980. *Mineral Tolerance of Domestic Animals*. National Academy Press. Washington, D. C. 577 p.

- NRC (National Research Council). 2005. Mineral Tolerance of Animals. 2nd ed. National Academies Press. Washington, D. C. USA. 496 p.
- Ortega S., J. A. 1990. Manejo y utilización de forrajes para producción de carne. *In: Memoria del X Simposium de Ganadería Tropical "Bovinos Productores de Carne"*. Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias del Estado de Veracruz, INIFAP. Publicación Especial No. 8. Campo Experimental La Posta. Veracruz, Ver. México. 85 p.
- Perkin-Elmer. 1996. Métodos Analíticos para Espectroscopía de Absorción Atómica. The Perkin-Elmer Corporation. U.S.A. 297 p.
- Perkin-Elmer. 2000. UV WinLab Software User's Guide. PerkinElmer Ltd. Buckinghamshire, U. K. 42 p.
- Pogge, D. J., M. E. Drewnoski, and S. L. Hansen. 2014. High dietary sulfur decreases the retention of copper, manganese, and zinc in steers. *Journal of Animal Science* 92: 2182-2191.
- Puls, R. 1988. Mineral Levels in Animal Health Diagnostic Data. Ed. Sherpa International. Canada. 154 p.
- Rebollar, P. G., and G. G. Mateos. 1999. El fósforo en nutrición animal. Necesidades, valoración de materias primas y mejora de la disponibilidad. *In: XV Curso de especialización. Avances en Nutrición y Alimentación Animal*. FEDNA. Madrid, España. pp. 19-64.
- Rhue, R. D., and D. Kidder. 1983. Analytical procedures used by the IFAS extension soil testing laboratory and the interpretation of the results. Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences. University of Florida. Gainesville, FL.
- SAS Institute Inc. 2011. SAS/STAT 9.3. User's Guide. Cary, N. C., USA. 8621 p.
- Shabala, S. 2012. Plant Stress Physiology. CAB International. London, U. K. 318 p.
- Shisia, K. S., V. Ngure, H. Nyambaka, and F. D. O. Oduor. 2013. Effect of pH and forage species on mineral concentrations in cattle breeds in major grazing areas of Uasin Gishu County, Kenya. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 2: 247-254.
- Shorrocks, V. M., and B. J. Alloway. 1988. Copper in Plant, Animal and Human Nutrition. Report TN35. Copper Development Association. United Kingdom. 106 p.
- Suttle, N. F. 2010. Mineral Nutrition of Livestock. 4th Ed. CABI Publishing. United Kingdom. 587 p.

- Vieyra-Alberto, R., I. A. Domínguez-Vara, G. Olmos-Oropeza, J. F. Martínez-Montoya, J. L. Borquez-Gastelum, J. Palacio-Núñez, J. A. Lugo de la Fuente, y E. Morales-Almaráz. 2013. Perfil e interrelación mineral en agua, forraje y suero sanguíneo de bovinos durante dos épocas en la Huasteca Potosina, México. *Agrociencia* 47: 121-133.
- Yim, M. B., P. B. Chock, and E. R. Stadtman. 1990. Copper, zinc superoxide dismutase catalyzes hydroxyl radical production from hydrogen peroxide. *Proceedings National Academy of Sciences of the U.S.A.* 87: 5006-5010.