



Diagnóstico mineral de vacas de carne en pastoreo



Ruth Manzayani García-Fuerte ^{a*}

Maximino Huerta Bravo ^a

José Ricardo-Álvares Rodríguez ^a

Enrique Cortés Díaz ^b

Laura Haydée Vallejo Hernández ^a

Gustavo Sosa Pérez ^c

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

^b Universidad Autónoma Chapingo. Centro Regional Universitario Anáhuac. Chapingo, Estado de México, México.

^c Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de preparatoria agrícola. Chapingo, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: manzayani28@gmail.com

Resumen:

El objetivo de la presente investigación fue determinar las concentraciones minerales en forraje, agua, suero sanguíneo; así como signos clínicos de vacas en pastoreo. Se analizaron 25 vacas de raza Angus y Hereford de diferentes estados fisiológicos, a las cuales se les tomaron muestras sanguíneas por venopunción. Las muestras de forraje se colectaron mediante la técnica de “hand-plucking” y el agua se colectó de las fuentes disponibles. La determinación de minerales se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica y espectrofotometría ultravioleta visible. El suero sanguíneo de las vacas presentó

concentraciones deficientes de cobre (100 %), zinc (88 %), sodio (52 %), potasio (36 %) y fósforo (16 %). El hierro y manganeso estaban en concentraciones por arriba del rango normal. Se generó un Índice de clasificación de la deficiencia de cobre (IDCU): severa 0.41-0.48 mg L⁻¹, moderada > 0.48-0.54 mg L⁻¹ y ligera > 0.54 -0.79 mg L⁻¹. El 68, 20 y 12 % de las vacas correspondían a la clasificación dada respectivamente. Se identificaron los siguientes signos; abortos, cojeras, pelo: opaco, hirsuto y descolorido, lagrimeo, pelo acerado, bocio y pica. Para forraje se encontraron niveles deficientes de cobre (1.27 mg kg⁻¹) y zinc (24.5 mg kg⁻¹). En agua, cobre y zinc no fueron detectables y había exceso de hierro 0.345 (mg L⁻¹). En conclusión, la deficiencia primaria es cobre, ocasionada por las deficiencias en forraje, agua y posibles desbalances causados por otros minerales.

Palabras clave: Bovinos, Minerales, Deficiencia, Cobre y Zinc.

Recibido: 07/11/2024

Aceptado: 13/01/2025

Introducción

La ganadería en México es una actividad que se desarrolla en aproximadamente el 60 % del territorio nacional con una amplia diversidad de sistemas de producción⁽¹⁾. El sistema vacacría es el más importante en México, aunque también es el más vulnerable, ya que generalmente se desarrolla en condiciones de pastoreo, lo que lo vuelve dependiente de factores ambientales⁽²⁾. En estos sistemas de producción la calidad de los forrajes puede ser oscilante y, por consiguiente, los aportes nutricionales son variables⁽³⁾.

Generalmente, el forraje no logra satisfacer los requerimientos nutricionales del ganado. Estos forrajes son insuficientes en minerales, los cuales son nutrientes esenciales para el desarrollo, crecimiento y reproducción⁽⁴⁾. La deficiencia de minerales en los bovinos ocasiona algunas alteraciones en la actividad reproductiva y metabólica, para evitar estas alteraciones es recomendable realizar una suplementación mineral^(5,6). Los animales en pastoreo presentan deficiencias de fósforo, cobre y zinc, principalmente, por esta razón se han realizado diversas investigaciones sobre la suplementación en este tipo de sistemas de producción^(7,8,9).

En la actualidad existen diversos métodos de suplementación mineral directos e indirectos y la elección del método más adecuado dependerá del tipo de sistema de producción, economía y disponibilidad^(9,10,11). Para poder realizar una suplementación efectiva y precisa es

necesario conocer el estado del sistema de producción mediante un diagnóstico mineral completo que incluya suelo, agua, forraje, suero sanguíneo, objetivo de producción, época del año y manejo de los animales. La implementación de diagnósticos bioquímicos y minerales ayudan a efectuar una mejor evaluación del estado nutricional⁽¹⁰⁻¹³⁾. El objetivo de la presente investigación fue determinar las concentraciones minerales en forraje, agua, suero sanguíneo; y signos clínicos de vacas en pastoreo en Lagos de Moreno, Jalisco, México.

Material y métodos

La presente investigación se realizó en un sistema de producción vaca-cría, ubicado en el municipio de Lagos de Moreno, Jalisco, México 21° 21' 24" N 101° 56' 16" O. El clima es semiárido templado, la temperatura media anual es de 15.1 °C, y su temperatura mínima y máxima promedio oscila entre los 5.4 °C y 28.5 °C. La precipitación media anual es de 665 mm, mientras que la precipitación promedio acumulada es de 536.31 mm⁽¹⁴⁾.

Manejo de los bovinos. Se tomaron muestras sanguíneas de 25 animales de las razas Angus y Hereford en diferentes estados fisiológicos: gestantes, vacías, recién paridas y vaquillas, con diversas condiciones corporales y se manejaron en una manga y prensa para ganado. También se registró la presencia de signos asociados a las deficiencias minerales.

Manejo de muestras sanguíneas. La recolección de muestras sanguíneas se realizó por medio de la técnica de venopunción de la vena yugular, extrayendo 10 ml por vaca siguiendo los procedimientos definidos por Fick *et al*⁽¹⁵⁾. Dichas muestras se colocaron en tubos al vacío sin anticoagulante y se centrifugaron a 2,500 rpm durante 15 min. Después se obtuvo el suero sanguíneo, el cual se refrigeró y almacenó a -4 °C hasta el momento de su análisis.

Manejo de muestras de forraje. Se recolectaron 24 muestras de forraje en un agostadero compuesto de: banderilla (*Bouteloua curtipendula*), navajita (*Bouteloua gracilis*), bermuda (*Cynodon dactylon*) y guinea (*Panicum máximum*) en una superficie de 50 ha, dichas muestras fueron colectadas por la técnica de hand plucking⁽¹⁶⁾, se mantuvieron en una bolsa de papel. Posteriormente se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C durante 48 h. Consecutivamente, se molieron, y mediante análisis proximal⁽¹⁶⁾ se determinó materia seca (MS), proteína cruda (PC), extracto etéreo y cenizas. Además, se determinó fibra detergente neutro (FDN) acorde a la metodología de Van Soest^(16,17). Para las determinaciones minerales se realizaron acorde a lo descrito por la metodología de Fick *et al*⁽¹⁵⁾.

Manejo de muestras de agua. Se colectaron 3 muestras de agua de cada fuente disponible para los animales (2 bordos y un bebedero que se encontraba dentro del corral de manejo), éstas se almacenaron en botes de plástico de 50 ml previamente desmineralizados. Dichas

muestras se filtraron antes de su determinación siguiendo la metodología descrita por Fick *et al*⁽¹⁵⁾. El muestreo se realizó en el mes de mayo (época seca).

Análisis de laboratorio. La determinación de concentraciones en suero, agua y forraje para los minerales Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y Mn se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica. La concentración de P de las muestras se determinó por medio de espectrofotometría ultravioleta visible, en ambas siguiendo la metodología descrita por Fick *et al*⁽¹⁵⁾.

Análisis estadístico. Los datos se analizaron con el procedimiento GLM en SAS⁽¹⁸⁾. Dado que la concentración de cobre en suero sanguíneo fue la más deficiente de los minerales estudiados se generó un índice de clasificación de deficiencia de cobre (IDCU): severo (0.41-0.48 mg L⁻¹), moderado (0.48-0.54 mg L⁻¹) y ligero (0.54 -0.79 mg L⁻¹). El IDCU se consideró como la variable dependiente y las concentraciones del resto de los minerales como variables independientes.

El modelo estadístico incluyó los siguientes parámetros:

$$Y_{ijk} = \mu + A_j + e_{ij}$$

Donde Y = variable dependiente, μ = media global, A_j = (Concentraciones minerales) e_{ij} = error residual. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey.

Resultados

Concentración mineral en suero sanguíneo

Se encontraron concentraciones deficientes en suero sanguíneo de la mayoría de los minerales analizados. En el Cuadro 1 se observa que los minerales más deficientes en las vacas son cobre (100 %), zinc (88 %) y sodio (52 %). Para los minerales potasio y fósforo existen algunos animales deficientes, sin embargo, la media general se encuentra dentro de los niveles adecuados. Cabe destacar que hierro y manganeso en suero sanguíneo se encontraron en concentraciones por encima de lo apropiado según Puls⁽¹⁹⁾.

Cuadro 1: Concentración mineral en suero sanguíneo de vacas productoras de carne

Mineral	Concentración mineral (mg L⁻¹)	Rango normal	Vacas deficientes (%)
Cobre	0.48 ± 0.07	0.8 - 1.5	100
Hierro	2.58 ± 0.57	1.3 - 2.5	0
Zinc	0.70 ± 0.09	0.8 - 1.4	88
Calcio	65.28 ± 10.30	37.6 - 48.8*	0
Magnesio	34.65 ± 10.53	18 - 30	0
Sodio	2879.80 ± 744.30	3100 - 3450	52
Potasio	167.54 ± 35.07	160 - 215	36
Manganeso	2.40 ± 22.51	0.006 - 0.070	0
Fósforo	56.38 ± 0.91	40 - 60	16

(19,20*)

Índice de clasificación de deficiencia de cobre (IDCU)

Uno de los minerales más deficientes fue el Cu, para el cual se generó un índice de clasificación de acuerdo con la severidad de la deficiencia, basado en las concentraciones de Cu en suero sanguíneo: severa, moderada y ligera. Dado que se trata de una deficiencia primaria, provoca diversos efectos, como la disminución del consumo de alimento y alteración entre la interacción, lo que a su vez afecta el metabolismo de otros elementos. Sin embargo, tras analizar todos los elementos, no se encontró un efecto significativo, lo que podría atribuirse al número de animales presentes en cada grupo.

La mayoría de los animales muestreados se encontraban en la categoría de deficiencia severa (68 %). El 20 % de los animales se clasificó en la categoría de deficiencia moderada (> 0.48-0.54 mg L⁻¹) y, por último, solo el 12 % de las vacas se detectaron con deficiencia ligera (> 0.54 -0.79 mg L⁻¹) (Cuadro 2). Las concentraciones en suero sanguíneo de zinc, hierro, calcio, magnesio, sodio, potasio, fósforo y manganeso no fueron afectadas por el IDCU ($P>0.05$).

Cuadro 2: Índice de clasificación de deficiencia de cobre con relación a las diferentes concentraciones minerales en suero sanguíneo de vacas productoras de carne

IDCU	Rango (mg L ⁻¹)	AD (%)	Concentraciones minerales de acuerdo con cada clasificación (mg L ⁻¹)							
			Zn	Fe	Ca	Mg	Na	K	P	Mn
Severo	0.41-0.48	68	0.68	2.8	65.5	34.6	2750	166	53	2.36
Moderado	0.48-0.54	20	0.74	2.3	63.2	34.0	3154	159	66	2.70
Ligero	0.54-0.79	12	0.71	1.9	67.8	36.1	3357	204	67	2.00
Probabil.	-	-	0.47	0.30	0.85	0.97	0.37	0.28	0.42	0.63

IDCU= índice de deficiencia de cobre; AD= animales deficientes; Zn= zinc; Fe= hierro; Ca= calcio; Mg= magnesio; Na= sodio; K= potasio; P= fósforo; Mn= manganeso; Probabil.= probabilidad.

En el índice de deficiencia de cobre se identificaron los signos más característicos de deficiencias de minerales, donde el pelo opaco, hirsuto y descolorido se observó en el 100 % de los animales en clasificación severa y ligera. Pica está presente en cualquiera de las categorías: 50 a 60 % de los animales lo presentaban. Para el caso del lagrimeo, éste solo se presenta en el índice de deficiencia severa y ligera. Cabe recalcar que una vaca puede mostrar más de dos signos y todos los signos se observan en la clasificación de severo (Cuadro 3).

Cuadro 3: Índice de deficiencia de cobre con relación al porcentaje de animales que presentaban signos característicos de deficiencias de minerales

IDCU	Rango (mg L ⁻¹)	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Severo	0.41-0.48	33	17	100	39	29	39	33	50	22
Moderado	0.48-0.54	20	20	80	0	20	20	20	60	0
Ligero	0.54 -0.79	0	0	100	50	19	50	0	50	0

IDCU= índice de deficiencia de cobre; A = abortos; B = cojeras; C= pelo opaco, hirsuto y descolorido; D= lagrimeo; E= pelo o lana acerada; F=bocio; G= inflamación de la ubre; H= pica; I= salivación excesiva.

Composición del forraje

El forraje analizado fue banderilla (*Bouteloua curtipendula*), navajita (*Bouteloua gracilis*), bermuda (*Cynodon dactylon*) y guinea (*Panicum máximum*) en una superficie total de 50 ha y se encontró seco y maduro tenía concentraciones deficientes de PC (<6 %), altos niveles de FDN (71.97 %), lo cual puede ser un indicio de que el forraje disponible está altamente lignificado, y concentraciones bajas de extracto etéreo (0.93 %). Se identificaron niveles deficientes de Cu (1.27 mg kg⁻¹) caso diferente para los demás minerales (Cuadro 4).

Cuadro 4: Concentraciones minerales en base seca del forraje (mg/kg para micro minerales y porcentaje para macrominerales)

	Cu	Fe	Zn	Mn	Na	K	Ca	Mg	P
Nivel crítico	10	20	30	40	0.06	0.8	0.3	0.1	0.25
Promedio	1.275 ±	23 ±	24.5 ±	176 ±	0.03 ±	0.33 ±	0.40 ±	0.20 ±	0.38 ±
+ DE	0.33	8.25	2.65	76.15	0.01	0.16	0.10	0.03	0.05

Cu= cobre; Fe= hierro; Zn= zinc; Mn= manganeso; Na= sodio; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio; P= fósforo.

Niveles críticos de minerales en forraje basados en necesidades de rumiantes⁽²¹⁾.

Minerales en agua de bebida

Los minerales, cobre y zinc en el agua fueron indetectables. El resto de ellos se encontraron dentro del rango normal sugerido por Puls⁽¹⁹⁾, con excepción del hierro, el cual sobrepasa los niveles máximos tolerables (349 mg L⁻¹) (Cuadro 5).

Cuadro 5: Concentración mineral en las diferentes fuentes de agua

Minerales	Cu	Fe	Zn	Mn	Na	K	Ca	Mg	P
Máximo tolerable	>1.0	<0.3	<25	<0.05	<800	<20	<1000	<1000	<0.7
Promedio	± ND	0.35 ±	ND	57.76 ±	1.71 ±	37.5 ±	18.84 ±	4.82 ±	711 ±
DE		0.05		20.24	0.34	12.1	3.25	0.06	277

Cu= cobre; Fe= hierro; Zn= zinc; Mn= manganeso; Na= sodio; K= potasio; Ca= calcio; Mg= magnesio; P= fósforo.

ND= no detectable; DE= desviación estándar.

Niveles máximos tolerables en agua⁽¹⁹⁾.

Discusión

En sistemas donde se analizan adecuadamente los componentes de la dieta para definir la suplementación mineral, se logran respuestas favorables en la producción con incrementos hasta de 16 % en ganancia diaria de peso⁽²²⁾. De acuerdo con los resultados de este trabajo, el cobre es un mineral que se encuentra deficiente en todos los animales analizados (0.48 ± 0.07 mg L⁻¹); esta deficiencia es relevante debido a que interviene en diversas funciones enzimáticas como cofactor, una de las más importantes es la ceruloplasmina, enzima dependiente del cobre⁽²³⁾.

El cobre también está relacionado con la embriogénesis, ya que promueve el desarrollo temprano del embrión, aumenta el porcentaje de blastocitos, y se menciona que podrían

existir transportadores de Cu en el complejo cúmulo-ovocito⁽²⁴⁾. De aquí que, los efectos causados por la hipocuprosis se asocien a disminución de la concepción, ciclos anovulatorios y anestros, lo que provoca un incremento en los días abiertos, integridad del tracto reproductor y muerte embrionaria⁽²⁵⁾. Diversos estudios en humanos han demostrado la función del cobre en el sistema nervioso central y su relación con diversas enfermedades⁽²⁶⁾.

Arthington *et al*⁽²⁷⁾ definieron como el cobre interfiere en respuestas inmunológicas, pero cuando existe deficiencia se suprime la haptoglobina y fibrinógeno, y se provoca la respuesta inmune^(28,29,30). Phillippo *et al*⁽³⁰⁾ describieron como en vaquillas suplementadas con molibdeno se encontró pubertad tardía siendo este antagonista del cobre. Algunos autores mencionaron que el manganeso puede tener efectos sobre enzimas dependientes del Cu como la lisil oxidasa, causando efectos negativos en la reproducción^(31,32).

La deficiencia de cobre se ha reportado en la mayor parte del mundo y se considera que es la segunda deficiencia más relevante de animales en pastoreo⁽³³⁾. En un estudio sobre la prevalencia de la deficiencia de Cu en Canadá encontraron que la deficiencia variaba de un 24 a 43 % de la población estudiada⁽³⁴⁾. En otro trabajo⁽³⁵⁾ diagnosticaron 80 vacas con deficiencia de cobre, las cuales después de haber sido suplementadas se encontraron respuestas reproductivas favorables y disminución en patologías reproductivas como retención placentaria, metritis, piometras y quistes. Ramírez *et al*⁽³⁶⁾ encontraron más del 50 % de animales con deficiencia de cobre severa.

Zinc

Arthington y Ranches⁽³⁷⁾ mencionaron que el zinc es el tercer elemento con mayor deficiencia en animales de pastoreo, la función más destacable de este mineral se basa en la síntesis de ADN y ARN, procesos como la espermatogénesis y en la función inmunológica. Múltiples estudios señalan que el zinc es fundamental en el desarrollo animal^(38,39,40). Este nutriente está muy relacionado en la síntesis de proteínas, carbohidratos y otras funciones bioquímicas⁽⁴¹⁾. Davy *et al*⁽⁴²⁾ encontraron deficiencias que iban desde el 23 % hasta el 47 % en la región estudiada.

Sodio

El sodio es un macromineral considerado como un mineral electrolítico debido a que se encarga de mantener el equilibrio de los fluidos corporales, así como músculos y nervios⁽⁴³⁾. También interactúa en procesos de digestión y desnaturalización de los taninos⁽⁴⁴⁾. La hiponatremia se define como deficiencia de sodio y se considera deficiente cuando existen niveles de concentración en suero de $< 3,139.5 \text{ mg L}^{-1}$ ⁽⁴⁵⁾. Davy *et al*⁽⁴²⁾ encontraron algunas

zonas de California con deficiencias de sodio y Olson *et al*⁽⁴⁶⁾ encontraron vacas con niveles por debajo de 3,523 mg L⁻¹. La deficiencia de sodio puede presentar algunos signos clínicos como: pérdida de condición corporal, disminución en la ganancia de peso, y pica, que es un desorden donde el animal lame, mordisquea y consume objetos⁽⁴⁷⁾.

Índice de deficiencia de cobre

El mineral más deficiente en este diagnóstico fue el cobre. Cuya deficiencia se clasificó en severo (0.41-0.48 mg L⁻¹), moderado (0.48-0.54 mg L⁻¹) y ligero (0.54 -0.79 mg L⁻¹). Se identificaron diversos signos característicos de deficiencia de minerales, los cuales se presentaron cuando la deficiencia era severa: abortos, cojeras, pelo opaco, hirsuto y descolorido, lagrimeo, pelo o lana acerada, bocio, inflamación de la ubre, pica, salivación excesiva. Entre más severa sea la deficiencia, mayor es la cantidad de signos presentes. Cuando es ligera la deficiencia, los signos encontrados son menos.

Pelo opaco, hirsuto y descolorido. En la clasificación de deficiencia severa, el 100 % de los animales presentaron pelo hirsuto, opaco y descolorido. El cobre está involucrado en la transformación de melanina a través de la polifenil oxidasa; la melanina es la encargada de proporcionar las coloraciones a la piel y el pelo^(48,49,50). Algunos trabajos^(52,53) describen que tonalidades de pelaje en color negro suelen volverse rojizas, y pelajes que son rojizos adquieren tonalidades amarillentas.

Cojeras y claudicación. Este signo también se considera característico de una deficiencia de Cu, y en el diagnóstico se observó que tanto para deficiencia severa como moderada se presenta, y es debido a la interacción que tiene el cobre con la enzima lisil oxidasa; esta enzima es parte importante de la formación de cadenas polipeptídicas de colágeno^(49,50). El cobre también se ha asociado a inflamación y endurecimiento de articulaciones, otros describen que el defecto de la queratina ocasiona uñas blandas, situación observada también en deficiencias de zinc^(51,52).

Abortos y alteraciones reproductivas. El papel del Cu en la reproducción aún no es muy claro, algunos autores describen que una deficiencia de Cu puede ocasionar abortos, reabsorciones embrionarias, anestros, alteración en el ciclo estral, disminución en el número y frecuencia de las pulsaciones de LH^(52,53,54). El cobre participa en la reducción de estrés oxidativo en el ovario; también se ha mencionado que el cobre participa en la síntesis y secreción de las gonadotropinas y el crecimiento folicular⁽⁵⁵⁻⁵⁸⁾.

Pelo acerado. El aspecto rizado del pelo es debido al disulfuro que está presente en la queratina, pero para convertirlo se necesita la transformación del sulfhidrilo a disulfuro, y esto lo llevan a cabo con las enzimas dependientes de cobre; cuando existe deficiencia de

cobre el pelo se observa opaco, áspero y muy frágil^(59,52). Otros signos de deficiencia de cobre son; diarrea, ataxia neonatal, anemia y disminución de la condición corporal^(52,60).

Pica. La pica es un desorden que se presenta en animales y humanos, en el cual consumen, lamen y mordisquean objetos⁽⁶¹⁾. Su causa puede ser la deficiencia de uno o varios minerales, pero en algunas investigaciones describen que es una deficiencia de sodio, mineral que se mostraba deficiente en los animales muestreados⁽⁶²⁾. La deficiencia de sodio también provoca languidez, pelo reseco, debilidad, disminución en la producción de leche^(52,62). En un estudio realizado en Saskatchewan, Canadá para ver la prevalencia de deficiencia de minerales entre 2003 y 2012, encontraron los siguientes signos: abortos, muertes, vacas caídas, pérdidas neonatales, diarreas, terneros débiles y la deficiencia más común de minerales fue Cu (47.2 %)⁽⁶³⁾.

Forraje y agua

Los forrajes tenían concentraciones bajas de proteína (< 6 %), y altos para FDN (71.97 %), considerándose concentraciones típicas de los forrajes⁽⁶⁴⁾. Muñoz-González *et al*⁽⁶⁵⁾ encontraron niveles de FDN de 64.6 a 66.4 %. También se identificaron deficiencias de Cu y Zn. En un estudio realizado en el trópico encontraron que casi el 91 % de forrajes tenía deficiencias de cobre y un 16 % de zinc y ninguno de los forrajes analizados alcanzó los niveles requeridos por los bovinos⁽⁶⁶⁾. En el agua, el hierro (349 mg L⁻¹) se encontró por encima de los niveles máximos tolerables y de acuerdo con algunos estudios, existe una contaminación de este mineral, el cual puede provocar antagonismo con algunos otros⁽⁶⁷⁾.

Antagonismo del hierro y cobre

El hierro es uno de los minerales esenciales para los animales y más abundante en la tierra; se considera que está presente en todas las fuentes de alimento, así que los animales que se encuentran en pastoreo consumen grandes cantidades de éste^(68,69). El hierro es antagonista de algunos minerales como lo son Cu, Mn y Zn⁽⁷⁰⁾. El metabolismo del cobre se ve afectado por concentraciones elevadas de Fe, Zn y S; se ha descrito que ganado que tenía niveles de hierro arriba del rango normal, mostraban una deficiencia de cobre, lo que desencadenó hipocupremia, situación reportada en aguas ricas en Fe^(70,71).

Resultados previos encontrados de México

En un estudio hicieron evaluación de suero sanguíneo y encontraron que, la concentración de Cu fue deficiente por debajo del nivel crítico, principalmente en las localidades Benito Juárez 0.36 mg dl⁻¹ y Jilotepec 0.46 mg dl⁻¹, del estado de México; en esta última, el Cu

también fue bajo en el forraje⁽⁷²⁾. Así también, en la misma localidad se encontró deficiencias de zinc en suero sanguíneo: 0.55 mg dl⁻¹. Como se puede identificar misma situación que pasó con el ganado muestreado⁽⁷²⁾. En Chihuahua, en un estudio desarrollado en varias localidades se encontró deficiencia de fósforo y hierro y en tres localidades, y deficiencia de cobre⁽⁷³⁾. Las deficiencias de Cu son generalizadas en todo el país, tanto en bovinos, ovinos y caprinos. En un estudio realizado en el estado de Yucatán se encontró en zonas que hasta el 99 % de los animales tenían esta deficiencia con un contenido promedio de Cu inferior a 2 ppm⁽⁷⁴⁾.

Al analizar el forraje en San Luis Potosí encontraron que existió más Fe ($P \leq 0.05$) en la época seca, lo cual coincide con lo encontrado, y se coincide que las concentraciones de los minerales encontrados en el forraje no satisfacen los requerimientos del ganado en pastoreo⁽⁷²⁾. Muñoz-González *et al*⁽⁷⁵⁾, encontraron que el forraje estaba por debajo del nivel mínimo para Cu, el 100 %; Zn, el 28 %; y P, el 72 %⁽⁷⁵⁾.

Conclusiones e implicaciones

El ganado del rancho estudiado, que se ubica en la zona árida y semiárida del país presenta deficiencia de cobre, la cual está relacionada con la deficiencia existente de este mineral en forraje y agua. Cuando la deficiencia de cobre es severa, aparecen más signos clínicos en el animal como: abortos, cojeras, pelo opaco, hirsuto y descolorido, lagrimeo, pelo o lana acerada, bocio, y pica. Otro problema en el ganado es la deficiencia de zinc que también puede contribuir a la presencia de signos clínicos y desbalances minerales. El exceso de hierro en forraje y agua contribuye a las deficiencias de cobre por el antagonismo que existe entre ellos.

Agradecimientos y conflicto de intereses

A la Secretaría de Ciencias Humanidades Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada. AL Rancho Los Fresnos y la señora Marisa Candiani Castañeda por el apoyo para trabajar con su ganado. Por último, al Laboratorio de Nutrición en Rumiantes del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

Los autores declaramos que no existe ningún conflicto de intereses para la divulgación de los resultados, discusión, análisis de datos y conclusiones presentados en el presente trabajo.

Literatura citada:

1. Enríquez-Quiroz JF, Esqueda-Esquivel VA, Martínez-Méndez D. Rehabilitación de praderas degradadas en el trópico de México. Rev Mex Cienc Pecu 2021;243(60).

2. Bautista-Martínez Y, Granados-Zurita L, Joaquín-Cancino S, Ruiz-Albarrán M, Garay-Martínez JR, Infante-Rodríguez F, *et al.* Factores que determinan la producción de becerros en el sistema vaca-cría del Estado de Tabasco, México. *Nova Scientia* 2020;12(25). <http://dx.doi.org/10.21640/ns.v12i25.2117>.
3. Almeraya SS, Mora FJS, García SJA, Hernández MO, Almeraya QSX. Caracterización de la cadena de abasto de ganado bovino producida en la zona norte de Veracruz. *Agricultura Sociedad y Desarrollo* 2024;21(2). <http://dx.doi.org/10.22231/asyd.v21i2.1602>.
4. Navas PA, Aragón HLF, Triana VJF. Efecto del componente arbóreo sobre la dinámica de crecimiento y calidad nutricional de una pradera mixta en trópico alto. *Rev Med Vet* 2020;1(41):71–82. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss41.7>.
5. Da Silva CEI. Suplementação e formulação de sal mineral y mistura múltipla para bovinos. *Rev Universitaria Brasileira* 2024;2(1)(10.5281/zenodo.11069052). (hal-04543118).
6. Anchordoquy JM, Anchordoquy JP, Galarza EM, Farnetano NA, Giuliadori MJ, Nikoloff N. Parenteral zinc supplementation increases pregnancy rates in beef cows. *Biol Trace Element Res* 2019;192(2):175–82. <http://dx.doi.org/10.1007/s12011-019-1651-8>.
7. Depablos L, Ordóñez J, Godoy S, Chicco CF. Suplementación mineral proteica de novillas a pastoreo en los Llanos Centrales de Venezuela. *Zoot Trop* 2009;27(3):249-262.
8. Jiménez-Páez JO, Huerta BM, López AR, Ruíz FA, Rodríguez PG. Bolos intrarruminales para suplementar minerales traza en rumiantes. Revisión. *Avances Invest Agropec* 2020;24(1):35-46.
9. León-Cruz M, Ramirez-Bibriesca E, López-Arellano R, Miranda-Jiménez L, Rodríguez-Patiño G, Díaz-Sánchez VM, *et al.* Bolos intrarruminales con liberación controlada de minerales traza. Revisión. *Rev Mex Cienc Pecu* 2020;11(2):498-516.
10. Acosta Portillo M, Uran N, Britez L, Pedrozo Prieto R. Perfil bioquímico mineral en vacas cruzadas de Cebú preñadas y vacías de un establecimiento de Caraguatay (Paraguay). *Compendio Cient Vet* 2020;10(2):5-11.
11. Duffy R, Yin M, Redding LE. A review of the impact of dietary zinc on livestock health. *J Trace Elements Minerals* 2023;5(100085):100085. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtemin.2023.100085>.
12. Salamanca, A. Suplementación de minerales en la producción bovina. *REDVET*. 2010;11(9):1-10. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63615732008.pdf>.

13. Ruiz-Albarran M, Balocchi O, Wittwer F, Pulido RG. Evaluación de la fermentación ruminal en vacas lecheras en pastoreo otoñal utilizando muestras de líquido ruminal obtenidas por rumenocentesis. *Vet Prod* 2024;1(2):5-14. <https://cienciasveterinariasyproduccionanimal.uat.edu.mx/index.php/cienciasVeterinarias/article/view/19>.
14. INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. División geoestadística municipal y población total por municipio. https://en.www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_01.pdf.
15. Fick KR, McDowell LR, Miles PH, Wilkinson NS, Furik JD, Conrad JH, Valdivia R. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Florida, USA: Universidad de Florida;1979.
16. AOAC. Official methods of analysis. 15th ed. Arlington; Association of official analytical chemists, Inc; 1990.
17. Van Soest, P. Nutritional ecology of the ruminant. 2^a ed. USA: Cornell University Press; 1994.
18. SAS (versión 9.3; SAS Institute Inc., Cary, Carolina del Norte).
19. Puls R. Mineral levels in animal health: diagnostic data. Sherpa International. British Columbia, Canada. 1994.
20. Kvarn C, Larsson L. Studies on ionized calcium in serum and plasma from normal cows. Its relation to total serum calcium and the effects of sample storing. *Acta Vet Scand* 1978;19(4):487–496.
21. McDowell LR, Arthington JD. Minerals for grazing ruminants in tropical regions. University of Florida IFAS. 2005;90.
22. Ocampos ODA, Paniagua Alcaraz PL, Tobal CF, Portillo G. Desarrollo y ajuste en campo de un modelo de simulación para cálculo y evaluación de requerimiento mineral en ganado bovino de carne mantenido sobre Pastizal nativo. *Cienc Vet* 2023;25(2):111–24. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-84952023000200009&lang=pt.
23. Arthington JD, Pate FM, Spears JW. Effect of copper source and level on performance and copper status of cattle consuming molasses-based supplements. *J Anim Sci* 2003;81(6):1357–62. <http://dx.doi.org/10.2527/2003.8161357x>.

24. Gómez Rendón J, Del Campo M, González Tous M. Algunas anotaciones sobre la importancia del cobre en la reproducción bovina. *Rev Colomb Cienc Anim* 2019;11(1). <http://dx.doi.org/10.24188/recia.v11.n1.2019.716>.
25. Zatta P, Frank A. Copper deficiency and neurological disorders in man and animals. *Brain Res Rev* 2007;54(1):19–33 <http://dx.doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.10.001>.
26. Arthington JD, Corah LR, Blecha F. The effect of molybdenum-induced copper deficiency on acute-phase protein concentrations, superoxide dismutase activity, leukocyte numbers, and lymphocyte proliferation in beef heifers inoculated with bovine herpesvirus-1. *J Anim Sci* 1996;74(1):211. <http://dx.doi.org/10.2527/1996.741211x>.
27. Heegaard PM, Godson DL, Toussaint MJ, Tjørnehøj K, Larsen LE, Viuff B, *et al.* The acute phase response of haptoglobin and serum amyloid A (SAA) in cattle undergoing experimental infection with bovine respiratory syncytial virus. *Vet Immunol Immunopathol* 2000;77(1–2):151–9. [http://dx.doi.org/10.1016/s0165-2427\(00\)00226-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0165-2427(00)00226-9).
28. Stokka GL, Edwards AJ, Spire MF, Brandt RT, Smith JE. Inflammatory response to clostridial vaccines in feedlot cattle. *JAVMA* 1994;204(3):415–9. <http://dx.doi.org/10.2460/javma.1994.204.03.415>.
29. Arthington JD, Cooke RF, Maddock TD, Araujo DB, Moriel P, DiLorenzo N, Cordero GC Effects of vaccination on the acute-phase protein response and measures of performance in growing beef calves. *J Anim Sci* 2013;91(4):1831–7. <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2012-5724>.
30. Phillippo M, Humphries WR, Atkinson T, Henderson GD, Garthwaite PH. The effect of dietary molybdenum and iron on copper status, puberty, fertility and oestrous cycles in cattle. *J Agric Sci* 1987;109(2):321–36. doi:10.1017/S0021859600080758.
31. Mason J. Thiomolybdates: Mediators of molybdenum toxicity and enzyme inhibitors. *Toxicology* 1986;42(2–3):99–109. [http://dx.doi.org/10.1016/0300-483x\(86\)90001-6](http://dx.doi.org/10.1016/0300-483x(86)90001-6).
32. Kendall NR, Marsters P, Scaramuzzi RJ, Campbell BK. Expression of lysyl oxidase and effect of copper chloride and ammonium tetrathiomolybdate on bovine ovarian follicle granulosa cells cultured in serum-free media *Reproduction (Cambridge, England)* 2003;125(5):657-665.
33. Waldner C, McLeod L, Parker S, Campbell J. Update on copper and selenium in Canadian cow–calf herds: regional differences and estimation of serum reference values. *Transl Anim Sci* 2023;7(1). <http://dx.doi.org/10.1093/tas/txad062>.

34. Hernández-Arroyave W, Jiménez-Arango F. Determinación de los contenidos de cobre en función de su interrelación en los suelos, forrajes y ganado bovino en la región del Magdalena Medio. *Vetzootec* 2018;12(1):01-13. <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/vetzootec/article/view/3342>.
35. García JR, García-López Cuesta M, Figueredo JM, Quiñones R, Faure R, *et al.* Los niveles sanguíneos de cobre y su influencia en los indicadores reproductivos de la hembra bovina en las condiciones del trópico. *Rev Cubana Cienc Agr* 2010;44(3):239-245.
36. Ramírez CE, Tittarelli CM, Mattioli GA, Giuliadori M, Puchuri MC. Hipocupremia bovina en 5 partidos de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). *Vet Arg* 1997;14:12-17.
37. Arthington JD, Ranches J. Trace mineral nutrition of grazing beef cattle. *Animals* 2021;11(10):2767. <http://dx.doi.org/10.3390/ani11102767>.
38. Arthington JD, Corah LR, Hill DA. The effects of dietary zinc concentration and source on yearling bull growth and fertility. *PAS* 2002;18(3):282–285. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31534-5](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31534-5).
39. Duff GC, Galyean ML. Board-Invited Review: Recent advances in management of highly stressed, newly received feedlot cattle. *J Anim Sci* 2007;85(3):823–840. <http://dx.doi.org/10.2527/jas.2006-501>.
40. Messersmith EM, Smerchek DT, Hansen SL. The crossroads between zinc and steroidal implant-induced growth of beef cattle. *Animals* 2021;11(7):1914. <http://dx.doi.org/10.3390/ani11071914>.
41. Ozturk H, Niazi P, Mansoor M, Monib AW, Alikhail M, Azizi A. The function of zinc in animal, plant, and human nutrition. *JRASB* 2023;2(2):35–43. <http://dx.doi.org/10.55544/jrasb.2.2.6>.
42. Davy JS, Forero LC, Shapero MWK, Rao DR, Becchetti TA, Koopman Rivers C, *et al.* Mineral status of California beef cattle. *Transl Anim Sci* 2019;3(1):66–73. <http://dx.doi.org/10.1093/tas/txy114>.
43. Sodium in your diet. U.S. Food and Drug Administration. FDA; 2024 <https://www.fda.gov/food/nutrition-education-resources-materials/el-sodio-en-su-dieta>.
44. Kaspari M. The seventh macronutrient: how sodium shortfall ramifies through populations, food webs and ecosystems. *Eco Lett* 2020;23(7):1153–68. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32380580/>.

45. Hoorn EJ, Liamis G, Zietse R, Zillikens MC. Hyponatremia and bone: an emerging relationship. *Nat Rev Endocrinol* 2012;8(1):33–9. <http://dx.doi.org/10.1038/nrendo.2011.173>.
46. Olson WG, Link KRJ, Otterby DE, Stevens JB. Assessment of sodium deficiency and polyuria/polydipsia in dairy cows. *The Bovine Practitioner* 1989;128–133. <http://dx.doi.org/10.21423/bovine-vol0no24p128-133>.
47. Rodríguez A, Banchemo G. Deficiencia de minerales en rumiantes. *Revista INIA* 2007;13:11-15.
48. García-Márquez LJ, Ramírez-Romero R, Martínez-Burnes J, López-Mayagoitia A, Ruiz-Ramírez JA, Loman-Zúñiga EI, *et al.* Ataxia enzoótica por deficiencia de cobre en ciervo rojo (*Cervus elaphus*) cautivo en Colima, México. *Rev Mex Cienc Pecu* 2022;12(4):1326–37. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v12i4.5750>.
49. Rosa DE, Mattioli GA. Metabolismo y deficiencia de cobre en los bovinos. *Analecta Vet* 2002;22:1. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/11140>. Consultado 8 Oct, 2024.
50. Depablos L, Godoy S, Chicco CF, Ordoñez J. Nutrición mineral en sistemas ganaderos de las sábanas centrales de Venezuela. *Zoot Trop* 2009;27(1):027–38. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-72692009000100004&script=sci_arttext. Consultado 12 Oct, 2024.
51. Quiroz-Rochac G, Bouda J. Fisiopatología de las deficiencias de cobre en rumiantes y su diagnóstico. *Vet México* 2001;32(4):289-296.
52. Huerta BM. Alimentación y suplementación mineral. Sitio Argentino de Producción Animal. Engormix. 2016. Disponible en: produccion-animal.com.ar. Consultado 18 Oct, 2024.
53. Mertz W, Davis GK. Copper. In: Mertz W, editor. Trace elements in human and animal nutrition. Vol I. 5th ed. Philadelphia: Academic Press; 1986.
54. Ingraham RH, Kappel LC, Morgan EB, Srikandakumar A. Correction of subnormal fertility with copper and magnesium supplementation. *JDS* 1987;70(1):167–80. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(87\)79991-3](http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(87)79991-3).
55. Du Z, Hemken RW, Harmon RJ. Copper metabolism of Holstein and Jersey cows and heifers fed diets high in cupric sulfate or copper proteinate. *J Anim Sci* 1996;79(10):1873–80. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(96\)76555-4](http://dx.doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(96)76555-4).

56. Torres G, Paez R, Azúm J, Roller F, González N, Acosta J, *et al.* Uso del sulfato de cobre por vía parenteral en vacas hipocuprémicas con mastitis y su efecto en la fertilidad. *La Técnica* 2016;(16):56. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122436/records/64747b92425ec3c088f67abb>. Consultado 16 Oct, 2024.
57. García J, Cuesta M, Pedroso R, Gutiérrez M, Mollineda A, Figueredo J. Efecto del cobre sobre la reproducción en novillas lecheras de Cuba. *Rev MVZ Córdoba* 2006;11(2). <http://dx.doi.org/10.21897/rmvz.442>.
58. Hernández-Arroyave W, Ocampo-Ortiz PE, Montoya-Flórez LM, Bustamante-Cano JJ. Suplementación parenteral de cobre y su relación con índices de fertilidad en bovinos de regiones con altos niveles de molibdeno en el Magdalena Medio colombiano. *Vetzootec* 2016;10(1):01-12. doi: <https://doi.org/10.17151/vetzo.2016.10.L1>.
59. Amin BY, Dar RR, Ali A, Malla JA, Shubeena S. Role of micro-nutrients in bovine reproduction. *Theriogenology Insight - Int J Reprod All Anim* 2016;6(1):57. <http://dx.doi.org/10.5958/2277-3371.2016.00008.5>.
60. Riaz M, Muhammad G. Deficiencia de cobre en rumiantes en Pakistán. *Matrix Sci Medica* 2018;2(1):18-21.
61. Jin X, Meng L, Zhang R, Tong M, Qi Z, Mi L. Effects of essential mineral elements deficiency and supplementation on serum mineral elements concentration and biochemical parameters in grazing Mongolian sheep. *Front Vet Sci* <http://dx.doi.org/10.3389/fvets.2023.1214346>.
62. Perdrizet U, Blakley B, Al Dissi A. Concentrations and deficiencies of minerals in cattle submitted to a diagnostic laboratory in Saskatchewan from 2003-2012: A retrospective study. *Can Vet J* 2020;61(1):57–62.
63. Villanueva-Avalos JF, Vázquez-González A, Quero-Carrillo AR. Atributos agronómicos y producción de forraje en ecotipos de *Cenchrus purpureus* en condiciones de trópico subhúmedo. *Rev Mex Cienc Agríc* 2022;(27):1–9. <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v13i27.3147>.
64. Muñoz-González JC, Huerta BM, Lara BA, Rangel SR, De la Rosa AJL. Producción y calidad nutrimental de forrajes en condiciones del Trópico Húmedo de México. *Rev Mex Cienc Agríc* 2016;3315–3327.
65. Muñoz-González JC, Huerta BM, Rangel-Santos R, Lara-Bueno A, De La Rosa-Arana JL. Evaluación mineral de forrajes del trópico húmedo mexicano. *Trop Subtrop* 2014; 17:285–287.

66. Rivas JRR, Jaramillo CAR, Baquerizo CJR, Córdoba MRA. Estudio de los procesos de remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas: una revisión. Polo del Conocimiento: Rev Científico-profesional 2021;6:1384–1407.
67. NASEM. Nutrient requirements of beef cattle, 8th ed. Washington, DC, USA: The National Academies Press; 2016.
68. Cheng J, Kolba N, Tako E. The effect of dietary zinc and zinc physiological status on the composition of the gut microbiome *in vivo*. Crit Rev Food Sci Nutr 2024;64(18):6432–51. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2023.2169857>.
69. Pinto-Santini L, Godoy S, Chicco C, Chacón T. Efecto de altos niveles de hierro y molibdeno sobre la nutrición del cobre en vacas mestizas. Rev Cient (Maracaibo) 2007;17(6):588–96.
70. Mullis LA, Spears, JW, McCraw, RL. Efectos de la raza (Angus *vs.* Simmental) y la fuente de cobre y zinc en el estado mineral de novillos alimentados con una dieta rica en hierro. J Anim Sci 2003;81:318–322.
71. Krueger KM, Vavrus CE, Lofton ME, McClure RP, Gantzer P, Carey CC, *et al.* Iron and manganese fluxes across the sediment-water interface in a drinking water reservoir. Water Res 2020;182(116003):116003. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2020.116003>.
72. Almaraz EM, Vara ID, González-Ronquillo M, Escutia GJ, Ortega OC, Sálas, NP, Huerta BM. Diagnóstico mineral en forraje y suero sanguíneo de bovinos lecheros en dos épocas en el valle central de México. Tec Pecu Méx 2007;45(3):329-344.
73. Maltos R, Carrete F, Rodríguez J, Turriza-Chan JL, Castellanos-Ruelas AF, Rosado-Rubio JG, *et al.* Concentración de minerales en el agua, suelo, forraje y ganado bovino de la región sur del Estado de Coahuila. Agrociencia 1989;44(4):471–480.
74. Turriza-Chan JL, Castellanos-Ruelas AF, Rosado-Rubio JG, Hetedia y Aguilat M, Cabrera-Torres E. Diagnóstico de la concentración mineral en tejido óseo de ovinos en pastoreo en el Estado de Yucatán, México. Agrociencia 2010;44(4):471–480.
75. Muñoz-González J, Huerta-Bravo M, Bueno AL, Santos RR, de la Rosa-Arana JL. Producción y calidad nutricional de forrajes en condiciones del trópico húmedo de México. REMEXCA.2017;3315–3327. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V0I16.399>.