

Production and reproductive problems due to mineral deficiencies in cattle in some tropical regions of Mexico

Problemas productivos y reproductivos por deficiencias minerales en bovinos de algunas regiones tropicales de México

Valdez-Arjona, Laura¹; Ramírez-Mella, Monica¹; Rayas-Amor, Adolfo²; Díaz-Ramírez, Mayra²; Jiménez-Guzmán, Judith²; García-Garibay, Mariano²; Miranda-de la Lama, Genaro²; Cruz-Monterrosa, Rosy²; Ramírez-Briebesca, Efrén^{3*}

¹Colegio de Posgraduados Campus Campeche Programa de Bioprospección y Sustentabilidad Agrícola en el Trópico. ²Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma Departamento de Ciencias de la Alimentación. ³Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo, Programa de Ganadería.

*Autor de correspondencia: efenrb@colpos.mx

ABSTRACT

Objective: To carry out the mapping of the most common mineral deficiencies of cattle in tropical regions of Mexico.

Design/methodology/approach: The search for scientific publications on tropical cattle in different scientific and academic databases was carried out.

Results: The tropical zones of Mexico present the problem of forages low in protein and minerals. The climatic conditions influence the content of minerals in the soil, plants and animals. Low contents of Ca, P, Zn, Se, I and Cu are reported.

Limitations of the study/implications: The presence of some deficiency diseases is reflected by the low production in milk and meat, there are negative effects on fertility, abortions, low semen quality, retention of placenta and dystrophic births.

Findings/conclusions: Minerals lacking in cattle should be supplemented, in order to improve productive efficiency. Avoid high-mineral diets to prevent polluting effects on the environment.

Keywords: Lack of minerals, grazing cattle, tropics.

RESUMEN

Objetivo: Realizar un mapeo de las deficiencias minerales más comunes que presenta el ganado bovino en las regiones tropicales de México.

Diseño/metodología/aproximación: Se realizó la búsqueda en bases de datos científicas y académicas de publicaciones científicas sobre ganado bovino criado en el trópico.

Resultados: Las zonas tropicales de México presentan la problemática de forrajes bajos en proteína y minerales. Las condiciones climáticas influyen en el contenido de minerales en el suelo, plantas y en los animales. Se reportan bajos contenidos de Ca, P, Zn, Se, I y Cu.

Limitaciones del estudio/implicaciones: La presencia de algunas enfermedades carenciales se refleja con la baja producción en leche y carne, hay efectos negativos en la fertilidad, abortos, baja calidad de semen, retención de placenta y partos distócicos.

Hallazgos/conclusiones: Los minerales carentes en el ganado bovino se deben de suplementar, con el propósito de mejorar la eficiencia productiva. Se debe evitar dietas con alto contenido de minerales para prevenir efectos contaminantes al ambiente.

Palabras clave: Carencia de minerales, ganado de pastoreo, trópico.

Agroproductividad: Vol. 12, Núm. 12, diciembre. 2019. pp: 11-18.

Recibido: febrero, 2019. **Aceptado:** octubre, 2019.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas ganaderos extensivos o semi-extensivos de doble propósito (carne y leche) predominan en las regiones tropicales de México, la cual incluye el 23% del territorio, albergando el 30% de la población bovina del país (Segura-Correa, 1990). El principal problema de los sistemas es la baja calidad y disponibilidad de los forrajes, baja eficiencia en el uso de los suelos, hay deterioro ambiental por problemas de deforestación, erosión, pérdida de biodiversidad y contaminación del agua (Arboleda *et al.*, 2013). El suelo contiene material orgánico que son usados para el crecimiento de las plantas (Docampo, 2014) y a su vez para la alimentación animal (Gupta & Gupta, 2014). La carencia o desequilibrio de minerales en el suelo, ocasiona falta de crecimiento en las plantas y carencia de minerales en los animales (Soetan *et al.*, 2010). Las principales deficiencias de minerales en la relación suelo-planta-animal son por fósforo (P), calcio (Ca), cobre (Cu), zinc (Zn), selenio (Se) e yodo (I) (Bhandari *et al.*, 2016; Dermauw *et al.*, 2014; Hill & Shannon, 2019).

En los suelos de México se reporta amplia variación del contenido mineral, lo cual refleja su composición en los forraje y los animales (Huerta-Bravo *et al.*, 2016). Los minerales integran la estructura de tejidos, participan en el transporte de fluidos en la membrana celular (Suttle & Underwood, 2010) y son componentes de sistemas enzimáticos (Campos Granados, 2016; Pond, Church, & Pond, 2002). En la ganadería, la deficiencia mineral causa varias enfermedades como la fiebre de leche, síndrome del becerro débil, problemas de lactancia, laminitis, abortos, infertilidad,

tetania, osteoporosis, síndrome de pica, anemia, etc. (Confalonieri *et al.*, 2016; López-Alonso, 2012; Yasothai, 2014), repercutiendo en la producción, reproducción (Salamanca, 2010) y causas de muerte en los animales (Kumar, Pandey, Razaque, & Dwivedi, 2011). El objetivo de este trabajo fue describir algunos problemas productivos y reproductivos involucrados en la deficiencia de minerales en bovinos que pastorean algunas regiones tropicales de México.

Sistemas ganaderos en las regiones tropicales

Se presentan tres tipos de sistemas de producción en el ganado bovino, los cuales son: intensivo, mixto y extensivo (Perdomo *et al.*, 2017). Los sistemas mixtos o semi-intensivos se combinan con el pastoreo y suplementación; mientras el intensivo mantiene a los animales en corrales y se les proporciona alimento balanceado para incrementar la producción de carne o leche. La ganadería tropical de América Latina se integra con el 78% de la población bovina, correspondiendo a doble propósito (Perdomo *et al.*, 2017) se desarrolla principalmente bajo el sistema extensivo y es una de las principales actividades productivas del sector agropecuario (Molina *et al.*, 2019; Orantes *et al.*, 2014).

Las regiones de trópico seco y húmedo en México

La zona tropical de México se clasifica en seca y húmeda. El clima de estas regiones se caracteriza por la temperatura media anual mayor a 18 °C con lluvias de 800 a 4000 mm al año. Dependiendo de las precipitaciones, existen tres tipos de climas: Af, tropical con lluvias todo el año; Aw, tropical con lluvias en verano y Am, tropical con lluvias inten-

sas en verano. La altitud es menor a 1000 m, y distribución estacional de seis meses al año con periodo seco y el restante con lluvias. Las características del trópico son la abundancia de agua y suelos para el cultivo de especies de la familia Poaceae y Fabaceae (antes gramíneas y leguminosas) (Martínez-González, 2006). Entre las características del suelo, tienden a ser someros, infértiles y ácidos; se llega a presentar toxicidad por aluminio que fija el P en complejos insolubles haciéndolo poco disponible para la vegetación (Osorio-Miranda *et al.*, 2013).

Deficiencia de minerales en suelo-planta-animal

El suelo contiene material orgánico y minerales (Aguilar Alínquer, 2014) usados para el desarrollo de las plantas (Docampo, 2014). La composición mineral de los suelos se debe al origen de la roca madre, glaciación, lixiviación, erosión, evaporación, salinización y uso de químicos (Smart *et al.*, 1981). Un ejemplo es el contenido de selenio (Se) en el suelo que varía con el tipo (cambisoles, vermisoles, fluvisoles, alisoles, andasoles), la textura (arcillosa, franco-limosa y arenosa) y el contenido de materia orgánica (Mehdi *et al.*, 2013). Las épocas de sequía y lluvia tienen una amplia variación en el contenido mineral en las regiones tropicales (Huerta-Bravo *et al.*, 2016). Estudios realizados en regiones de Nayarit, Veracruz, Chiapas, Jalisco, Tabasco y Quintana Roo en México (Cuadro 1), se reportan diferentes concentraciones de minerales en los suelos y plantas.

En las plantas, la acumulación de minerales depende del contenido y la disponibilidad de éstos en el suelo, la especie y etapa de madurez de la planta, el rendimiento, manejo de los pastos y clima (Fitri, 2016). Los

factores del suelo, que influyen en la absorción mineral de las plantas o cultivos son: acidez, humedad, condiciones de drenaje y temperatura (Smart et al., 1981). El estado de madurez del forraje afecta el contenido de proteína y minerales, ya que durante la etapa inicial de crecimiento en la planta, es mayor el contenido de minerales, contrario a la disminución gradual que se presenta a medida que la planta madura (Salamanca, 2010). Minerales como el P, Zn, Fe, Co y Mo son los que presentan disminución severa durante el crecimiento y maduración de la planta (Iqbal et al., 2007; Salamanca, 2010). Las principales deficiencias de minerales que se reportan en los suelos y forrajes de las regiones tropicales de México son: Ca, P, Mg, K, Cu, Zn y Se (Cuadro 1).

Los principales forrajes en el trópico mexicano son: *Brachiaria* (*B. Brizantha*), Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*), Taiwán (*Pennisetum purpureum*), Tanzania (*Panicum maximun*), Mombasa (*Panicum maximun*) pasto Chetumal (*Brachiara humidicola*) entre otros. Hay variabilidad en el contenido de minerales Cu, Zn, Fe, Ca, P, Na, K y Mg. El Cuadro 2 resume el contenido de minerales por especies tropicales.

Las limitaciones climáticas imponen severas restricciones nutricionales a los forrajes (May et al., 2011), ocasionando poca disponibilidad durante la sequía. En la época de lluvias, a pesar de la abundancia de forraje, su rápido crecimiento está asociado con deficiencia de minerales (Susmira et al., 2009). Un estudio realizado en época de lluvia reportó deficiencias de Ca, K, Cu y Zn en la mitad de los forrajes muestreados, mientras el contenido de Fe fue mayor y su efecto antagonista predispone a deficiencias de Cu y Zn (May et al., 2011). También se ha observado que en la época de sequía de regiones subtropicales, se afecta el contenido de P a diferencia de la época de lluvia (Susmira et al., 2009). El Cuadro 3 muestra la variabilidad de los minerales en los forrajes por época de año.

El contenido de minerales se ve afectado principalmente en épocas de lluvias. Por tipo de forraje, se observa que las poáceas tienen mayor contenido de minerales, pero no cumplen con los requerimientos de los animales en Ca, P, Cu y Zn, por lo tanto en los animales se debe considerar el balance de los nutrientes que contiene el forraje (Pond et al., 2002). Los minerales son importantes para los procesos metabólicos y fisiológicos de los animales (Campos Granados, 2016), estos contribuyen entre 4-5% del peso vivo del animal. Los principales macrominerales son Ca, P, Mg, K, Na, Cl y S y los microminerales son Cu, Co, Se, Zn, Mn, I y Fe (Perdomo et al., 2017; Sales F., 2017). Todos se agrupan en cuatro tipos de funciones en

Cuadro 1. Concentraciones de minerales en algunas regiones tropicales de México.

	unidades	Suelos					
		Chiapas (Castro et al., 2010)	Q. Roo (Cabrera et al., 2009)	Tabasco (Osorio-Miranda et al., 2013)	Jalisco (Martínez-Trinidad et al., 2008) (cmol kg ⁻¹)	Veracruz (Campos et al., 2007) (cmol kg ⁻¹)	Nayarit (Vivanco et al., 2010) (cmol kg ⁻¹)
Ca	Meq 100 g ⁻¹	12.8	3.1	30.9	4.64	2.67	4.4
P			6.0	6.62			
Mg		2.7	1.0	3.70	0.77	0.95	0.8
Na		0.1	1.6	0.13	0.08		0.2
K		0.7	2.1	0.36	0.51	0.25	0.8
Fe	mg kg ⁻¹	74.26	21.0				
Cu		1.07	1.5				
Zn		2.7	2.0				
Mn		43.7	12.0				
		Forrajes					
		Chiapas (Muñoz-González J; et al., 2016; Muñoz-González, 2014)	Q. Roo (Cabrera et al., 2009)	Tabasco (Muñoz-González, 2014)	S. L. Potosí (Dominguez-Vara et al., 2013; Santiago-Figueroa et al., 2016)	Yucatán (Vivas -May et al., 2011)	
Ca	%	0.8	0.11	0.32	0.22	0.83	
P		0.2	0.21	0.13	0.14		
Mg		0.02	0.02		0.11		
K						0.53	
Cu	mg kg ⁻¹	6.23	5.0 ppm		8.0 ppm	4.5 ppm	
Zn			28.0 mg kg ⁻¹		25.0 mg kg ⁻¹	23.0 mg kg ⁻¹	



Cuadro 2. Contenido mineral en pastos tropicales.

Pastos	Macro (%)	Micro ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Referencia
<i>Brachiaria brizantha</i>	Ca: 0.35; P: 0.19	Cu: 6.25	(Muñoz-González <i>et al.</i> , 2014)
<i>Brachiaria humidicola</i>	Ca: 0.33; P: 0.22	Cu: 5.62	
Estrella de África (<i>C. plectostachyus</i>)	Ca: 0.25; P: 0.18	Cu: 6.0	(Cabrera <i>et al.</i> , 2009; May <i>et al.</i> , 2011; Muñoz-González <i>et al.</i> , 2016)
Taiwán (<i>P. purpureum</i>)	Ca 0.34; P: 0.20	Cu: 9.0	(May <i>et al.</i> , 2011; Muñoz-González J; <i>et al.</i> , 2016)
Tanzania (<i>P. maximum</i>)	Ca 0.25; P: 0.13	Cu: 3.0	(May <i>et al.</i> , 2011)
Mombasa (<i>P. maximum</i>)	Ca 0.43; P: 0.08	Cu: 5.0	

Cuadro 3. Concentración de mineral de los forrajes dependiendo la época del año.

Forraje	Época	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P	Referencia
Poaceae	Lluvias	4.93	2.53	31	0.31	0.23	0.09	1.96	0.22	(Ruiz, 2016)
	Secas	6.80	298	44	0.42	0.32	0.15	1.39	0.18	
	Lluvias	4.5	167	31.6	0.19			0.59		(May <i>et al.</i> , 2011)
	Seca	-	149	26	0.33	0.05	0.08	0.13	0.07	
	Lluvia		114	20	0.27	0.04	0.09	0.17	0.06	(Sales F., 2017)
Fabaceae		-	165	32	0.80	0.07	0.10	0.16	0.10	
<i>Leucaena leucocephala</i>		11.32	141.2	22.1	0.23	0.33	0.22	2.06	0.28	(Santiago <i>et al.</i> , 2016)

los animales: Estructurales, fisiológicos, catalíticos y reguladores (Costa e Silva *et al.*, 2015); por ejemplo, el Ca tiene un papel vital como mensajero intracelular regulando funciones vitales en las células, en la reproducción sirve para la contracción muscular durante el parto (Perdomo *et al.*, 2017). La deficiencia de Se es severa desde el altiplano hasta el sur del país, aunque no se incluyen referencia en los Cuadros, esta bien documentado que los animales contienen en promedio menos de 0.08 $\mu\text{gSe mL}^{-1}$ en tejido hemático; principalmente el poco Se se adquiere en la mayoría de las plantas (White, 2016) y se sabe que el aumento de su contenido en el forraje, ayuda a tener efectos positivos en la salud (Puccinelli *et al.*, 2017). Además, demuestra importancia en el proceso reproductivo y en el comportamiento sexual junto con el I; el Zn se une hormonas esteroidales por los receptores de órganos o tejido blanco (Perdomo *et al.*, 2017). Sin embargo, de acuerdo con estudios realizados (Allen *et al.*, 1983; Confalonieri *et al.*, 2016; Hefnawy & Tórtora-Pérez, 2010; Perdomo *et al.*, 2017; Smart *et al.*, 1981; Van, 2018), se ha demostrado que la carencia de minerales se puede manifestar en enfermedades o síntomas clínicos (Cuadro 4).

Las enfermedades por carencia mineral son más frecuentes en los herbívoros, animales en crecimiento, hembras preñadas y altas productoras de leche (Confalonieri *et al.*, 2016). La ingestión involuntaria de cierta cantidad de suelo, expone al animal a otros compuestos tóxicos como metales pesados y químicos (Blanco-Pe-

nedo *et al.*, 2010). Algunos estudios sobre la concentración de minerales en tejidos animales se muestran en el Cuadro 5.

Las principales deficiencias de Ca, P, Cu y Zn tienen relación con las concentraciones de suelos y forrajes. Se deben tomar en cuenta las recomendaciones de seguridad sobre la cantidad de minerales que se incluyen en la dieta, debido a la interacción con otros minerales (López-Alonso, 2012). Algunos ejemplos, son los excesos de Fe, Ca, Mo que impiden la absorción del Mn, Cu y Zn (Dominguez-Vara R *et al.*, 2013; López-Alonso, 2012; Perdomo *et al.*, 2017). Altos contenidos de Co, Cu, Zn, Mn y Mo en presencia de S, limitan la absorción de Fe y el exceso de K puede reducir la absorción de Mg (Sales F., 2017). El margen entre el requerimiento nutricional y la toxicidad es pequeño, por lo tanto, los excesos de ciertos minerales causan efectos antagonistas a otros minerales y son tóxicos para los animales. Ejemplo, intoxicaciones por Cu se da por la baja ingesta de molibdeno, causando hemoglobinuria, gastroenteritis y la muerte súbita (Varga & Puschner, 2012). La pérdida del equilibrio calcio-fósforo (2:1) se caracteriza por la presentación de celos irregulares o largos períodos de anestro (Perdomo *et al.*, 2017) y baja producción de leche (Albornoz *et al.*, 2017). La intoxicación por Na puede generar edema cerebral y poliencefalomalacia. El desequilibrio en Mg, Ca y P puede generar urolitiasis (Rodríguez y Banchemo, 2007). De acuerdo a los requerimientos nutricionales del ganado, los bovinos nece-

Cuadro 4. Enfermedades o signología clínica por deficiencia de minerales

Enfermedad	Signología	Deficit
Bocio	Hipertrofia de la glándula tiroides.	I
Raquitismo	Deformación de huesos.	P y Ca
Pica o afosforosis	Apetito depravado caracterizado por el deseo de comer madera, huesos, rocas y otros materiales similares.	P
Eclampsia	Convulsiones.	Ca
Paresia	Parálisis de la musculatura.	Ca y K
Anemia	Disminución anormal de eritrocitos.	Fe y Cu
Osteomalacia	Reblandecimiento de los huesos.	Ca
Musculo Blanco o distrofia muscular nutricional	Lesiones cardíacas, dificultad para caminar y posturas anormales.	Se
Tetania de los pastos	Convulsiones.	Mg
Fiebre de la leche	Inapetencia, inercia, temores musculares y decaimiento.	Ca
Osteoporosis	Disminución de la densidad ósea.	Ca

Cuadro 5. Concentración de minerales en tejidos de rumiantes.

Muestra	Valores		Referencia	
	Encontrados	Normales		
Hueso (ovinos)	Ca,%	47.6	36	(Turrisa et al., 2010)
	K,%	0.01	0.05	
	Cu $\mu\text{g g}^{-1}$	0.64	3	
	Fe $\mu\text{g g}^{-1}$	4.31	15	
Hígado $\mu\text{g g}^{-1}$ (hembras, bovinos)	Cu	27.59	75	(García J; et al., 2010)
	Zn	142.35	160	
	Fe	47.97	180	
	Mn	4.98	6	
Suero sanguíneo mg L^{-1} (bovinos)	Ca	54-117	80-1120	(Dominguez-Vara et al., 2013; Huerta Bravo, 2015)
	P	48.6	40-60	
	Mg	14-24	18-35	
	K	200	150-220	
	Na	3000	3220-3680	
	Cu	0.00051	0.80-2.5	
	Zn	0.00083	0.80-2.5	
	Fe	0.0012	1.3-2.5	

sitan por lo menos 17 minerales (National Academies of Sciences, Engineering, 2016)the National Research Council (NRC (Cuadro 6).

Problemas productivos y reproductivos en el ganado

En los países tropicales de América Latina (McDowell y Conrad, 1974), Asia (Bhanderi et al., 2016) y África (Iqbal & Bamezai, 2012) los trastornos nutricionales representan un factor importante que limitan la productividad del ganado, sobre todo en bajos contenidos de minerales en forrajes, que varían dependiendo de las épocas lluviosa o sequía (McDowell L y Conrad J, 1974). En México se ha reportado que la deficiencia mineral afecta el crecimiento al destete, produciendo un retraso en etapas posteriores y baja del sistema inmune y trastornos en el desarrollo ovárico y fertilidad en hembras (Ruiz,

2016). Diferentes estudios realizados reportan problemas reproductivos y productivos que se presentan en el ganado por la deficiencia de minerales (Cuadro 7).

CONCLUSIONES

Las deficiencias de minerales en las regiones tropicales de México son principalmente de Ca, P, Cu, Zn, I y Se, puede variar en diferentes regiones, debido a condiciones climáticas, tipos de suelo, forrajes y disponibilidad para los animales. Por lo tanto, la carencia de minerales repercute en la ganadería de pastoreo a través de bajos parámetros de producción y reproducción de los animales. Debido a que son insuficientes los minerales en la dieta, se sugiere utilizar suplementos como sales minerales, bloques nutricionales, minerales inyectables o bolos intrarruminales de lenta liberación.

Cuadro 6. Requerimientos minerales para bovinos.

Mineral	Unidad	Crecimiento y finalización	Gestación	Lactación	Concentración máxima tolerable
calcio	%	9.2	16.9	16.4	-
cloro	%	-	-	-	-
chromo	mg kg ⁻¹	-	-	-	1000
cobalto	mg kg ⁻¹	0.15	0.15	0.15	25
cobre	mg kg ⁻¹	10	10	10	40
yodo	mg kg ⁻¹	0.5	0.5	0.5	50
hierro	mg kg ⁻¹	50	50	50	500
magnesio	%	0.1	0.12	0.2	0.4
manganeso	mg kg ⁻¹	20	40	40	1000
molibdeno	mg kg ⁻¹	-	-	-	5
níquel	mg kg ⁻¹	-	-	-	50
fósforo	%	7.1	12.9	9.3	-
potasio	%	0.6	0.6	0.7	2
selenio	mg kg ⁻¹	0.1	0.1	0.1	5
sodio	%	0.06	0.06	0.1	-
azufre	%	0.15	0.15	0.15	0.4
zinc	mg kg ⁻¹	30	30	30	500

Cuadro 7. Problemas reproductivos y productivos del ganado tropical por deficiencia de minerales.

Problema productivo y reproductivo	Deficiencia
Partos distócicos y retención de placenta. Baja producción de leche.	Ca
Bajas tasas de concepción y preñez, ganancia de peso y producción de leche disminuida.	P
Infertilidad, quistes ováricos, menor producción de leche, baja calidad del semen. Mortalidades en neonatos por más de 60%	Se
Pubertad tardía y crecimiento lento de las gónadas.	Zn
Muerte embrionaria, reabsorción del embrión y retención de placenta.	Cu
Retorno irregular del estro, bajo desarrollo folicular, quistes ovárico y anestro prolongado.	Mn
Crecimiento lento de los animales.	Fe
Depresión de los niveles de estrógenos, retraso en la pubertad, estro suprimido o irregular, infertilidad, muerte embrionaria, nacimiento de terneras débiles, aborto, retención de placenta, disminución de la libido y deterioro de la calidad del semen.	I
Disminución de la libido, reducción de la espermatogénesis, esterilidad en machos, retraso de la pubertad, reducción de la tasa de concepción y anestro prolongado en hembras.	Mo
Infertilidad.	Co
Crecimiento lento y baja producción de leche.	Na

Referencias: (Allen *et al.*, 1983; Barrios *et al.*, 2010; Hefnawy & Tórtora-Pérez, 2010; Karn, 2001; Perdomo *et al.*, 2017; Sales F., 2017; Sivertsen *et al.*, 2005; Van, 2018).

LITERATURA CITADA

- Aguilar Alínquer, B. (2014). El suelo de cultivo y las condiciones climáticas. Paraninfo.
- Albornoz, L; Albornoz, JP; Cruz JC; Fidalgo, LE; Espino L; Morales M; Ruprecht, G; Piaggio, J; Verdes, J. (2017). Comparative study of Calcium, Phosphorus and Magnesium levels during peripartum in dairy cows in different productive systems in Uruguay and Spain. In *Veterinaria (Montevideo)* (Vol. 53). Retrieved from http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-48092017000100001
- Allen, J. G., Masters, H. G., Peet, R. L., Mullins, K. R., Lewis, R. D., Skirrow, S. Z., & Fry, J. (1983). Zinc toxicity in ruminants. *Journal of Comparative Pathology*, 93(3), 363–377. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6886083>
- Arboleda, D; Tombe, A; Morales Velasco, S. (2013). Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117797>
- Barrios, M., Sandoval, E., Camacaro, O., & Borges, J. (2010). Importancia del fósforo en el complejo suelo-animal. *Mundo Precuario*, 6(2), 151–156. Retrieved from http://www.produccionbovina.com.ar/suplementacion_mineral/133-foforo_suelo.pdf
- Bhandari, B. M., Goswami, A., Garg, M. R., & Samanta, S. (2016). Study on minerals status of dairy cows and their supplementation through area specific mineral mixture in the state of Jharkhand. *Journal of Animal Science and Technology*, 58(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s40781-016-0124-2>
- Blanco-Penedo, I., López-Alonso, M., Miranda, M., Hernández, J., Prieto, F., & Shore, R. F. (2010). Non-essential and essential trace element concentrations in meat from cattle reared under organic, intensive or conventional production systems. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 27(1), 36–42. <https://doi.org/10.1080/02652030903161598>
- Cabrera Torres E.; Sosa Rubio, E., Castellanos Ruelas, A., Gutiérrez Baeza, A., & Ramírez Silva, J. (2009). Comparación de la

- concentración mineral en forrajes y suelos de zonas ganaderas del estado de Quintana Roo, México. In *Veterinaria México* (Vol. 40). Retrieved from Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México website: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0301-50922009000200006&script=sci_arttext&lng=en
- Campos C., A., Oleschko L., K., Etchevers B., J., & Hidalgo M., C. (2007). Exploring the effect of changes in land use on soil quality on the eastern slope of the Cofre de Perote Volcano (Mexico). *Forest Ecology and Management*, 248(3), 174–182. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2007.05.004>
- Campos Granados, C. (2016). El impacto de los micronutrientes en la inmunidad de los animales. *Nutrición Animal Tropical*, 9(1), 1. <https://doi.org/10.15517/nat.v9i1.18778>
- Castro Mendoza, I., Salinas Cruz, E., Reynoso Santos, R., López Martínez, J., & López Báez, W. (2010). Propiedades de los suelos cafetaleros en la Reserva de la Biósfera El Triunfo, Chiapas, México. In *Revista mexicana de ciencias agrícolas* (Vol. 7). Retrieved from Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias website: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000300607
- CONACYT. (2015). LIBRO TÉCNICO ESTADO DEL ARTE SOBRE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN GANADERÍA BOVINA TROPICAL. Retrieved from http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/15_13_27_CL_22.pdf
- Confalonieri, O. E., Moscuza, H., Rodríguez, E. M., & Passucci, J. A. (2016). Revista Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 63(1), 11–19. Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/remezvez/article/view/51537/52406>
- Costa e Silva, L. F., Valadares Filho, S. de C., Engle, T. E., Rotta, P. P., Marcondes, M. I., Silva, F. A. S., ... Tokunaga, A. T. (2015). Macrominerals and Trace Element Requirements for Beef Cattle. *PLoS One*, 10(12), e0144464. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144464>
- Dermauw, V., Lopéz Alonso, M., Duchateau, L., Du Laing, G., Tolosa, T., Dierenfeld, E., ... Janssens, G. P. J. (2014). Trace element distribution in selected edible tissues of zebu (*Bos indicus*) cattle slaughtered at Jimma, SW Ethiopia. *PLoS One*, 9(1), e85300. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085300>
- Docampo, R. (2014). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en la producción frutícola. *Inia*, 67, 81–89. Retrieved from <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1199/1/12822113111311309.pdf>
- Domínguez-Vara R; I., Olmos-Oropeza, G., Martínez-Montoya, J., Borquez-Gastelum, J., Palacio-Nuñez, J., Lugo de la Fuente, J., & Morales-Almaráz, E. (2013). Perfil e interrelación mineral en agua, forraje y suero sanguíneo de bovinos durante dos épocas en la Huasteca Potosina, México. In *Agrociencia* (Vol. 47). Retrieved from Colegio de Postgraduados website: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952013000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Domínguez-Vara R, Olmos-Oropeza I, Martínez-Montoya G, Borquez-Gastelum J, Palacio-Nuñez J, Lugo de la Fuente J, & Morales-Almaráz E. (2013). Perfil e interrelación mineral en agua, forraje y suero sanguíneo de bovinos durante dos épocas en la Huasteca Potosina, México. In *Agrociencia* (Vol. 47). Retrieved from Colegio de Postgraduados website: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952013000200002
- Fitri, Y. (2016). Seasonal Forage Availability, Nutrient Composition and Mineral Concentrations of Imported Breed Cattle at the Padang Mangatas Breeding Center for Beef Cattle in West Sumatra, Indonesia. *Pakistan Journal of Nutrition*. <https://doi.org/10.3923/pjn.2016.1034.1041>
- García J.; Cuesta M.; García R.; Quiñones R.; Figueredo J.; Faure R.; ... Mollineda A. (2010). Caracterización del contenido de microelementos en el sistema suelo-planta-animal y su influencia en la reproducción bovina en la zona central de Cuba. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193015664004>
- Gupta, U. C., & Gupta, S. C. (2014). Sources and Deficiency Diseases of Mineral Nutrients in Human Health and Nutrition: A Review. *Pedosphere*, 24(1), 13–38. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(13\)60077-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(13)60077-6)
- Hefnawy, A. E. G., & Tórtora-Pérez, J. L. (2010). The importance of selenium and the effects of its deficiency in animal health. *Small Ruminant Research*, 89(2–3), 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.042>
- Hill, G. M., & Shannon, M. C. (2019). Copper and Zinc Nutritional Issues for Agricultural Animal Production. *Biological Trace Element Research*, 188(1), 148–159. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1578-5>
- Huerta-Bravo, M., Lara Bueno, A., Rangel Santos, R., Rosa Arana, J. L. de la, Muñoz-González, J. C., Huerta-Bravo, M., ... Rosa Arana, J. L. de la. (2016). Revista mexicana de ciencias agrícolas. In *Revista mexicana de ciencias agrícolas* (Vol. 7). Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016001203315&script=sci_arttext#B33
- Huerta Bravo, M. (2015). Los macro y micro minerales en la nutrición de ovinos en Trópico. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/267966949>
- Iqbal Khan, Z., Ashraf, M., Elahi Valeem, E., Ahmad, K., & Danish, M. (2007). PASTURE CONCENTRATION OF MINERALS IN RELATION TO THE NUTRIENT REQUIREMENTS OF FARM LIVESTOCK. In *Pak. J. Bot* (Vol. 39). Retrieved from [http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/39\(6\)/PJB39\(6\)2183.pdf](http://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/39(6)/PJB39(6)2183.pdf)
- Iqbal, M. A., & Bamezai, R. N. K. (2012). Resveratrol Inhibits Cancer Cell Metabolism by Down Regulating Pyruvate Kinase M2 via Inhibition of Mammalian Target of Rapamycin. *PLoS ONE*, 7(5), e36764. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036764>
- José C Segura Correa. (1990). Comportamiento hasta el destete de un ható cebu comercial en el sureste de Mexico. Retrieved 30 June 2019, from <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/feedback/lrrd/lrrd2/1/mexico.htm>
- Karn, J. F. (2001). Phosphorus nutrition of grazing cattle: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 89(3–4), 133–153. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00231-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00231-5)
- Kumar, S., Pandey, A. K., Razzaque, W. A. A., & Dwivedi, D. K. (2011). Importance of micro minerals in reproductive: Performance of livestock. *Veterinary World*, Vol. 4, pp. 230–233. <https://doi.org/10.5455/vetworld.2011.230-233>
- López-Alonso, M. (2012). Trace Minerals and Livestock: Not Too Much Not Too Little. *ISRN Veterinary Science*, 2012, 1–18. <https://doi.org/10.5402/2012/704825>
- Martínez-González, J. M.-M. J. R.-A. G. (2006). Dual purpose cattle production systems and the challenges of the tropics of Mexico. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/28128771>
- Martínez-Trinidad, S., Cotler, H., Etchevers-Barra, J. D., Ordaz-Chaparro, V. M., & De León-González, F. (2008). Effect of Management on Soil Aggregation in a Tropical Dry Ecosystem. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v26n4/v26n4a2.pdf>
- May, E. F. V., Rubio, J. G. R., Ruelas, a F. C., Aguilar, M. H. Y., & Cabrera-Torres, E. J. (2011). Mineral content of forage species found in sheep farms in the state of Yucatán, México. *Contenido Mineral de Forrajes En Predios de Ovinocultores Del Estado de Yucatán*, 2(4), 465–475. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242011000400009
- McDowell L y Conrad J. (1974). Nutrición mineral traza en América Latina. Retrieved 18 June 2019, from <http://www.fao.org/3/X6512E/X6512E18.htm#ch18>

- Mehdi, Y., Hornick, J.-L., Istasse, L., & Dufrasne, I. (2013). Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules* (Basel, Switzerland), 18(3), 3292–3311. <https://doi.org/10.3390/molecules18033292>
- Molina-Rivera, M., Molina-Rivera, M., Olea-Perez, R., Galindo-Maldonado, F. A., & Arriaga-Jordán, C. M. (2019). LIFE CYCLE ASSESSMENT OF THREE TROPICAL LIVESTOCK SYSTEMS IN CAMPECHE, MEXICO: CASE OF STUDY. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22(1). Retrieved from <http://www.revista.coba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2774>
- Muñoz-González, J.; Huerta-Bravo, M.; Rangel-Santos, A.; Lara-Bueno, J. D. la R.-A. L. (2014). EVALUACIÓN MINERAL DE FORRAJES DEL TRÓPICO HÚMEDO MEXICANO. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(2), 211–219. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93931761018>
- Muñoz-González J., Huerta-Bravo, M., Lara Bueno, A., Rangel Santos, R., Rosa Arana, J., Muñoz-González, J. C., ... Rosa Arana, J. L. de la. (2016). Producción y calidad nutricional de forrajes en condiciones del Trópico Húmedo de México. In *Revista mexicana de ciencias agrícolas* (Vol. 7). Retrieved from Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias website: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016001203315&script=sci_arttext
- Muñoz-González, J. C. . H.-B. M. . R.-S. R. . L.-B. A. . D. la R.-A. J. L. (2014). EVALUACIÓN MINERAL DE FORRAJES DEL TRÓPICO HÚMEDO MEXICANO. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(2). Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/939/93931761018/index.html>
- National Academies of Sciences, Engineering, and M. (2016). *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, 8th Revised Edition. <https://doi.org/10.17226/19014>
- Orantes-Zebadúa, M. Á., Platas-Rosado, D., Córdova-Avalos, V., De los Santos-Lara, M. del C., & Córdova-Avalos, A. (2014). Ecosistemas y recursos agropecuarios. In *Ecosistemas y recursos agropecuarios* (Vol. 1). Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282014000100006
- Osorio-Miranda, M., Castelán-Estrada M., Gomez-Leyva, J. F., Salgado-García, S., & Hernández-Cuevas, L. (2013). HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES DE SUELOS DE SABANA EN TABASCO, MÉXICO. In *Tropical and Subtropical Agroecosystems* (Vol. 16). Retrieved from Universidad Autónoma de Yucatán website: <http://www.revista.coba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/1433/815>
- Perdomo, M., Peña, L., Carvajal, J., & Murillo, L. (2017). Relación nutrición-fertilidad en hembras bovinas en clima tropical. *Revista Electronica de Veterinaria*, Vol. 18, pp. 1–19. Retrieved from <https://www.mendeley.com/catalogue/relación-nutrición-fertilidad-en-hembras-bovinas-en-clima-tropical-1/>
- Pond, W. G., Church, D. C., & Pond, K. R. (2002). Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. Retrieved from <https://vidverpindhen.firebaseio.com/9681852990.pdf>
- Puccinelli, M., Malorgio, F., & Pezzarossa, B. (2017). Selenium Enrichment of Horticultural Crops. *Molecules* (Basel, Switzerland), 22(6). <https://doi.org/10.3390/molecules22060933>
- Rodríguez A y Banchemo G. (2007). Deficiencia de minerales en rumiantes. Retrieved from <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6864/1/revista-INIA-13-p.11-15.pdf>
- Ruiz, G. (2016). EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN MINERAL SOBRE EL DESARROLLO OVARICO Y FERTILIDAD EN NOVILLAS. Retrieved from <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/4389/1/41398.pdf>
- Salamanca, A. (2010). Suplementación de minerales en la producción bovina. *Revista Electronica de Veterinaria*, XI(9), 1–10. Retrieved from [http://www.veterinaria.org/revistas/redvet-http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090910.html](http://www.veterinaria.org/revistas/redvet-http://revista.veterinaria.orgVol.11,No09,septiembre/2010-http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090910.html)
- Sales F. (2017). Importancia de los minerales para la alimentación de bovinos en Magallanes. Retrieved from <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR40970.pdf>
- Santiago Figueroa I., Lara Bueno, A., Miranda Romero, L., Huerta Bravo, M., Krishnamurthy, L., & Muñoz-González, J. (2016). Composición química y mineral de leucaena asociada con pasto estrella durante la estación de lluvias. In *Revista mexicana de ciencias agrícolas* (Vol. 7). Retrieved from Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias website: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342016001203173&script=sci_arttext
- Sivertsen, T., Overnes, G., Osterås, O., Nymoen, U., & Lunder, T. (2005). Plasma vitamin E and blood selenium concentrations in Norwegian dairy cows: regional differences and relations to feeding and health. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 46(4), 177–191. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-46-177>
- Smart, M. E., Gudmundson, J., & Christensen, D. A. (1981). Trace mineral deficiencies in cattle: a review. *The Canadian Veterinary Journal = La Revue Veterinaire Canadienne*, 22(12), 372–376. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7039809>
- Soetan, K. O., Olaiya, C. O., & Oyewole, O. E. (2010). The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. *African Journal of Food Science*, 4(5), 200–222. Retrieved from <http://www.academicjournals.org/ajfs>
- Susmira, L., Chicco, C., & Ordoñez, J. (2009). Nutrición mineral en sistemas ganaderos de las sabanas centrales de Venezuela. In *Zootecnia Tropical* (Vol. 27). Retrieved from http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692009000100004
- Suttle, N. F., & Underwood, E. J. (Eric J. (2010). *Mineral nutrition of livestock*. CABI.
- Turriza, J., Castellanos, A., Rosado, G., Heredia, M., & Cabrera, E. (2010). Diagnóstico de la concentración mineral en tejido óseo de ovinos en pastoreo en el Estado de Yucatán, México. *Agrociencia*, 44(4), 471–480. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952010000400007
- Van, G. (2018). Vitamins and Minerals. *Current Developments in Nutrition*, 2(11). <https://doi.org/10.1093/cdn/nzy053>
- Varga, A., & Puschnier, B. (2012). Retrospective study of cattle poisonings in California: recognition, diagnosis, and treatment. *Veterinary Medicine (Auckland, N.Z.)*, 3, 111–127. <https://doi.org/10.2147/VMRR.S28770>
- Vivanco J., Bojórquez J., Murray C, Nájera, O., Flores, F., & Hernández, A. (2010). CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES SUELOS DE LA CUENCA DEL RÍO MOLOLOA, TEPIC, NAYARIT, MÉXICO. In *Cultivos Tropicales* (Vol. 31). Retrieved from El Instituto website: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000100005
- Vivas May, E., Rosado Rubio, J., Castellanos Ruelas, A., Heredia y Aguilar, M., & Cabrera-Torres, E. (2011). Contenido mineral de forrajes en predios de ovinocultores del estado de Yucatán. In *Revista mexicana de ciencias pecuarias* (Vol. 2). Retrieved from Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias website: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-11242011000400009&script=sci_arttext&tlng=pt
- White, P. J. (2016). Selenium accumulation by plants. *Annals of Botany*, 117(2), 217–235. <https://doi.org/10.1093/aob/mcv180>
- Yasothai, R. (2014). Importance of Vitamins on Reproduction in Dairy Cattle. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 3(6), 2105–2108. Retrieved from <http://krishikosh.egrnth.ac.in/handle/1/5810030645>