



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA
POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIAGNÓSTICO MINERAL DE BOVINOS CON INCIDENCIA DE
PAPILOMATOSIS

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

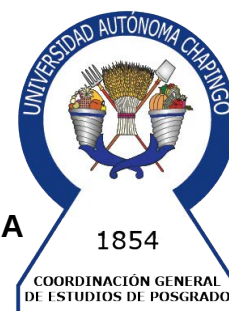
Presenta:

FERNANDO CERÓN MOLINA

Bajo la supervisión de: **Maximino Huerta Bravo, Ph.D.**



Chapingo, estado de México, mayo 2021.



APROBADA

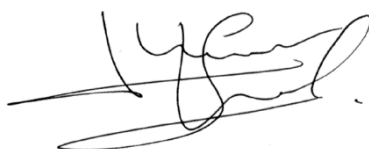


DIAGNÓSTICO MINERAL DE BOVINOS CON INCIDENCIA DE PAPILOMATOSIS

Tesis realizada por **FERNANDO CERÓN MOLINA**, 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:



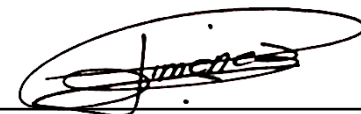
Ph.D. Rodolfo Ramírez Valverde

ASESOR:



Ph.D. Agustín Ruiz Flores

ASESOR:



Dr. José Orlando Jiménez Páez

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	IV
LISTA DE FIGURAS.....	V
DEDICATORIAS	VII
AGRADECIMIENTOS.....	VIII
DATOS BIOGRÁFICOS.....	X
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Ganadería en Tamaulipas.....	3
2.2 Importancia de los minerales en la nutrición animal.....	3
2.3 Macro y microminerales.....	5
2.4 Funciones de los minerales.....	6
2.5 Deficiencias de los minerales en el ganado.....	10
2.6 Toxicidad de minerales en el ganado.....	13
2.7 Requerimientos de minerales.....	16
2.8 Alotrofagia.....	18
2.9 Interacciones entre minerales.....	18
2.10 Diagnostico mineral.....	22
2.11 Fuentes de minerales.....	24
2.11.1 Agua.....	24
2.11.2 Suelo.....	24
2.11.3 Forrajes.....	24
2.11.4 Alimentos concentrados.....	25
2.12 Biodisponibilidad.....	25
2.13 Problemas asociados a la suplementación mineral.....	27
2.14 Tipos de suplementación mineral.....	28
2.14.1 Suplementación indirecta.....	28
2.14.2 Suplementación directa.....	29
2.15 Minerales y sistema inmune.....	30

2.16	Papilomatosis bovina.....	32
2.16.1	Distribución geográfica.....	34
2.16.2	Transmisión del papilomavirus.....	34
2.16.3	Control de la papilomatosis.....	35
2.16.4	Papilomatosis bovina y sistema inmune.....	36
2.17	Literatura citada.....	36
3.	DIAGNÓSTICO MINERAL DE BOVINOS CON INCIDENCIA DE PAPILOMATOSIS.....	48
3.1	Resumen.....	48
3.2	Abstract.....	49
3.3	INTRODUCCIÓN.....	50
3.4	Materiales y métodos.....	51
3.4.1	Localización.....	51
3.4.2	Colecta y procesamiento de muestras.....	53
3.4.3	Muestras de agua.....	53
3.4.4	Muestras de forraje.....	54
3.4.5	Muestras de suero sanguíneo.....	55
3.5	Análisis de laboratorio.....	56
3.6	Análisis estadístico.....	56
3.7	Resultados y discusión.....	57
3.7.1	Minerales en agua.....	57
3.7.2	Minerales en forraje.....	58
3.7.3	Minerales en suero sanguíneo.....	62
3.7.4	Efecto de las interacciones de Rancho*Verrugas.....	64
3.8	Conclusiones.....	71
3.9	Literatura citada.....	72

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Absorción almacenamiento y excreción de algunos minerales.....	9
Cuadro 2. Signos de deficiencia de minerales en bovinos para carne.....	12
Cuadro 3. Signos de toxicidad de minerales en bovinos para carne.....	14
Cuadro 4. Requerimientos y máximos tolerables de minerales para bovinos productores de carne.....	17
Cuadro 5. Forma química de minerales en plantas.....	26
Cuadro 6. Tipos de virus y tumores que causan.....	33
Cuadro 7. Concentración de minerales en agua de bebida y niveles máximos tolerables (mg L^{-1}) para ganado en Hidalgo, Tamaulipas.....	58
Cuadro 8. Concentración de minerales (mg kg^{-1}) en alimentos de tres ranchos de Hidalgo, Tamaulipas.....	59
Cuadro 9. Niveles de significancia de rancho, verrugas y su interacción para las concentraciones de minerales en suero sanguíneo de bovinos de Hidalgo, Tamaulipas.....	62
Cuadro 10. Concentración de minerales (mg kg^{-1}) en suero sanguíneo del ganado en ranchos de Hidalgo, Tamaulipas.....	63
Cuadro 11. Concentración mineral en suero sanguíneo (mg L^{-1}) de bovinos con y sin verrugas en tres ranchos de Hidalgo, Tamaulipas.....	64
Cuadro 12. Concentración mineral en suero sanguíneo (mg L^{-1}) de hembras y machos bovinos de tres ranchos de Hidalgo, Tamaulipas.....	66

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Efecto de la disminución del estado de los minerales en el rendimiento animal, adaptado de Connie (2005).....	4
<i>Figura 2.</i> Curva teórica de dosis-respuesta, adaptado de O'Dell y Sude (1997).....	11
<i>Figura 3.</i> Curva teórica de concentración de minerales esenciales en dieta, adaptado de NRC (2005).....	15
<i>Figura 4.</i> Curva teórica de concentración de minerales no esenciales en dieta, adaptado de NRC (2005).....	15
<i>Figura 5.</i> Representación gráfica del efecto de la fertilización en la concentración y rendimiento de plantas, adaptado de Reid & Horvath (1980).....	29
<i>Figura 6.</i> Animales con presencia de verrugas. A) Vaca con incidencia moderada de verrugas en cabeza, cuello y lomo. B) Vaca con presencia severa de papilomas en cabeza y cuello principalmente, las llagas que genera la incidencia de papilomatosis severa presentan proceso infeccioso. C) Becerro con una baja incidencia de verrugas en cabeza y cuello. D) Moderada incidencia de verrugas en escroto.....	52
<i>Figura 7.</i> Predio ubicado en el municipio de Hidalgo, Tamaulipas. Debido a las condiciones el manejo se realizó en campo inmovilizando algunos animales de manera manual.....	53
<i>Figura 8.</i> Zonas comunes de consumo de agua. A) Becerro bebiendo agua del abrevadero común. B) Becerros bebiendo agua del arroyo local.....	54
<i>Figura 9.</i> Toma de muestra sanguínea vía coccígea.....	55
<i>Figura 10.</i> Corral de manejo que se utilizó para obtener las muestras de sangre de los animales que se encontraban en el centro de acopio. A) Toro con diarrea líquida y purulenta B) Toretes saludables sin evidencia de verrugas.....	56

<i>Figura 11.</i> Interacción del efecto Rancho*Verrugas para calcio.....	65
<i>Figura 12.</i> Interacción del efecto Rancho*Verrugas para magnesio.....	65
<i>Figura 13.</i> Interacción del efecto Rancho*Verrugas para sodio.....	66

DEDICATORIAS

A mis padres, María de Lourdes Molina Aguirre y Fernando Cerón Campos, por el amor y apoyo que me han brindado durante toda la vida, a ellos les debo todo lo que soy.

A mi hijo Fernando Gerardo Cerón Almeraya, por ser la persona más importante y a quien más amo. A ti hijo mío, te dedicaré mi vida entera.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado durante el periodo de mis estudios de Maestría en Ciencias.

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi alma mater, con quien estaré eternamente agradecido por brindarme las herramientas para trabajar por el campo mexicano.

Al Posgrado en Producción Animal de la Universidad Autónoma Chapingo, por ser el paso más importante en mi carrera profesional.

A mis profesores, amigos y gente que me apoyo en mi paso por el posgrado.

...yo voy por la vida haciendo lo que amo, como cuando vas de pesca, no importa cuántos peces saques del agua, el placer es pescar...

Rodolfo Mederos

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Fernando Cerón Molina
Fecha de nacimiento	18 de octubre de 1991
Lugar de nacimiento	Coacalco de Berriozábal
CURP	CEMF911018HMCRLR06
Profesión	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

Desarrollo académico

Maestría en Ciencias (2019-2020)	Posgrado en Producción Animal Universidad Autónoma Chapingo
Licenciatura (2013-2016)	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia Universidad Autónoma Chapingo
Bachillerato (2006-2009)	Escuela Preparatoria Oficial No. 99

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Algunos minerales son esenciales para la salud y la productividad de los animales, tienen funciones nutricionales y bioquímicas bien definidos (National Research Council [NRC], 2005). Se reconocen 17 minerales esenciales para el ganado cuyas interacciones con la productividad son complejas (National Research Council [NRC], 2016). Los minerales desempeñan funciones específicas en reacciones enzimáticas, hormonales y celulares (Yasothai, 2014). Por esta razón, afecta el metabolismo de proteínas, aminoácidos, carbohidratos, lípidos, vitaminas y sus derivados, lo cual repercute directamente en la reproducción, producción de leche, crecimiento e inmunidad (Huerta, 2010).

Evaluar el estado mineral de los rumiantes se realiza para conocer las causas de un rendimiento inferior a la expectativa, en consecuencia, permite determinar las deficiencias o toxicidades existentes (Kincaid & Cronrath, 1983). Los forrajes son la principal fuente de minerales del ganado en pastoreo (Reid & Horvath, 1980). En muchas ocasiones los forrajes tropicales no satisfacen completamente los requerimientos minerales del ganado (McDowell & Arthington, 2005) y en general no reciben atención, pero su efecto potencial en la productividad no debe ignorarse (Corah, 1996), ya que algunos minerales inciden en la inmunidad y pueden incrementar la susceptibilidad a enfermedades en el ganado (Spears, 1995).

La Papilomatosis Bovina (PB) es una enfermedad infectocontagiosa viral, crónica, de carácter tumoral benigno y de naturaleza fibroepitelial, caracterizada por la formación de tumores (papilomas o verrugas) en piel y en mucosas (Catroxo, Martins, Petrella, Souza, & Nastari, 2013). La presencia de esta enfermedad en los hatos ganaderos causa importantes pérdidas económicas, además, animales afectados presentan dificultad en la comercialización, debido al aspecto desagradable y el deterioro de las pieles para ser utilizadas en la industria (Valencia, Payan, Appel, & Salazar, 2013).

La inmunosupresión tiene un papel importante en el progreso tumoral de la PB (Salib & Farghali, 2011), y los minerales en la prevención de infecciones en la

piel y cicatrización (Russell, 2001). El muestreo sanguíneo frecuentemente se usa para determinar el estado mineral de los animales (Herdt & Hoff, 2011), el análisis de agua y plantas se utiliza para determinar deficiencias y toxicidades de minerales (McDowell & Arthington, 2005).

En el capítulo 2 se presenta una revisión de literatura, en la cual se expone acerca de la ganadería en el estado de Tamaulipas, la importancia de los minerales, su clasificación, funciones, requerimientos, deficiencias y toxicidades. También se expone acerca de las interacciones entre los minerales, fuentes y biodisponibilidad, sistema inmune y aspectos importantes de la PB.

En el capítulo 3 se exponen los resultados de un diagnóstico mineral realizado a bovinos en condiciones de pastoreo con incidencia de PB en tres diferentes ranchos del municipio de Hidalgo, estado de Tamaulipas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Ganadería en Tamaulipas

El estado de Tamaulipas posee 3.64 % del inventario nacional de ganado bovino, ocupa el décimo tercer lugar a nivel nacional (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2019), ya que aportó el 2.12 % de la producción de carne de bovino en el 2018 (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta [SIACON], 2018). La ganadería en el estado está sostenida principalmente por los recursos forrajeros naturales que se producen en su extensión territorial, el 58 % del estado presenta un clima cálido subhúmedo (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2007).

En el estado existen alrededor de 74,668 unidades de producción de bovinos en una superficie de 5,729,461 ha donde se realiza actividad pecuaria, de las cuales el 71.22 % están cubiertas de pastos naturales, agostaderos o enmontada (INEGI, 2007). La actividad ganadera está fuertemente relacionada con la presencia de pastos naturales, así como praderas cultivadas y la disponibilidad de granos y esquilmos agrícolas. El municipio de Hidalgo es de los principales municipios donde predomina la selva baja caducifolia. La exportación de ganado a Estados Unidos de América es la actividad más importante del sector ganadero abarcando cerca del 67 % de la producción total, y la actividad ganadera se realiza en todos los municipios del estado (INEGI, 2007).

2.2 Importancia de los minerales en la nutrición animal

Los minerales son elementos inorgánicos naturales, entre sus principales funciones destaca la de ser un componente fundamental para la conservación y salud de los seres vivos, ya que su presencia resulta determinante para la actividad de las células (Tarbuck & Lutgens, 2005). Al igual que las vitaminas son micronutrientes, debido a las pequeñas cantidades que el cuerpo requiere de estos componentes (Gharibzahedi & Jafari, 2017). No proporcionan energía, pero tienen importantes funciones en diversas actividades del organismo (Soetan, Olaiya, & Oyewole, 2010).

La deficiencia de estos componentes bioactivos puede dar lugar a la incidencia de abundantes trastornos (Gharibzahedi & Jafari, 2017) y síntomas, que pueden indicar que las condiciones clínicas del animal se deben a deficiencias alimenticias, y a su vez a un posible deterioro en la función del sistema inmune (Connie, 2005; Figura 1). Los minerales deben ingerirse para su transporte al sitio de acción, y convertidos en su forma fisiológicamente activa para ser biodisponibles (Spears, 1994).

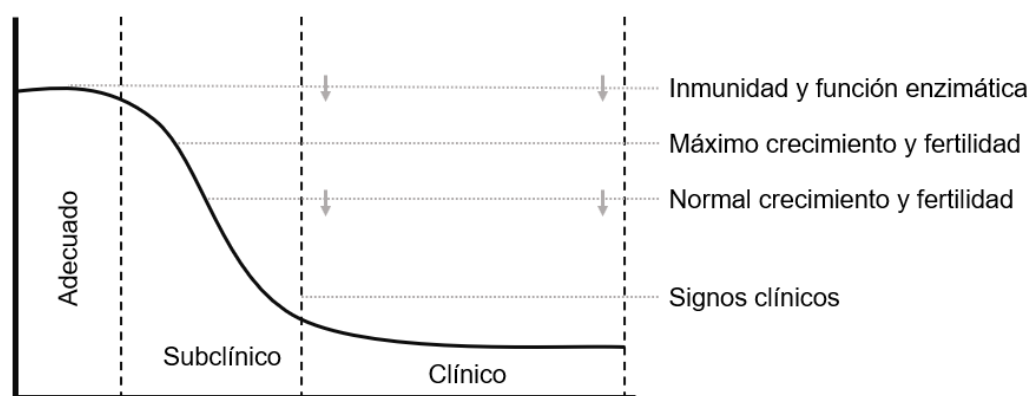


Figura 1. Efecto de la disminución del estado mineral en el rendimiento animal, adaptado de Connie (2005).

Los minerales son necesarios para mantener las funciones del organismo, optimizar el crecimiento, la reproducción, estimular la respuesta del sistema inmune y por lo tanto determinantes en la salud (Suttle, 2010). La óptima nutrición, con niveles adecuados de minerales, garantiza la función adecuada del organismo (López, 2012); sin embargo, las condiciones ambientales, prácticas de manejo, tipo de forraje, genética, estado fisiológico y nivel de producción hacen que cada sistema de producción posea diferentes necesidades respecto a los requerimientos minerales de los animales (Greene, 2000).

Es difícil justificar el requerimiento para algunos minerales de la misma manera como se hace con la energía, proteína o aminoácidos, ya que las estimaciones se basan en el nivel mínimo requerido para evitar un síntoma de deficiencia y no necesariamente promueven la productividad (Close, 2003). Los minerales no reciben un grado de atención como la energía y la proteína en alimentación de

ganado en pastoreo; sin embargo, su impacto en la productividad no debe subestimarse. Estos elementos se requieren en bajas cantidades, por tal motivo, algunos productores los consideran un componente insignificante en la dieta, generalmente tienen un bajo impacto en comparación con la energía y proteína en el rendimiento económico, pero no deben omitirse (Corah, 1996); no obstante, se debe poner mayor importancia si los requerimientos de energía y proteína son inadecuados (McDowell, 1996).

Los minerales cumplen funciones específicas en aspectos de producción y reproducción de los animales, ya que participan en reacciones bioquímicas como parte de enzimas y diversos procesos fisiológicos, incluyendo el sistema inmune ya que está influenciado por la disponibilidad de los nutrientes o la falta de estos (Sales, 2017). Por más de tres décadas, los científicos han investigado el uso de varias estrategias nutricionales para asegurar el funcionamiento del sistema inmune del ganado, adicionalmente a la suplementación mineral, las vitaminas, los lípidos, formas y concentraciones de aminoácidos han sido evaluados extensamente (Carroll & Forsberg, 2007).

2.3 Macrominerales y microminerales

Los minerales representan una pequeña porción del peso corporal de los animales, aproximadamente un 4 %, y son divididos en dos grupos de acuerdo con los niveles diarios requeridos. Los macrominerales son elementos cuyo requisito diario es superior, como en los casos de; calcio, fósforo, sodio, potasio, cloro, magnesio y azufre. Los microminerales son elementos cuyo requisito es inferior como; hierro, cobre, zinc, manganeso, yodo, molibdeno, selenio, flúor, bromo, cromo, cobalto, silicio, arsénico, boro y níquel (Tolonen, 1990). Cuando ocurre una deficiencia, el rendimiento reproductivo y otros parámetros de producción de los rumiantes en pastoreo pueden afectarse (Corah, 1996).

Los macrominerales se requieren en mayores concentraciones, usualmente se expresan en porcentaje de la dieta o gramos por cabeza por día. Los microminerales, o minerales traza, se requieren en menor proporción que los macrominerales, los requerimientos en el alimento típicamente se expresan en

partes por millón (ppm) o miligramos por kilogramo (mg K^{-1}) y desempeñan principalmente funciones fisiológicas (Ward & Lardy, 2005). Los suelos alcalinos son más abundantes en microminerales que los suelos ácidos y en general es más común la fertilización con macrominerales (McDowell, 1996).

2.4 Funciones de los minerales

Las plantas son la principal fuente de sustancias nutritivas utilizadas por el ganado para construir tejidos; a pesar de la gran variedad de condiciones naturales las plantas utilizadas en la agricultura y los animales usualmente tienen la misma composición elemental. A altas temperaturas la materia orgánica de los tejidos de plantas y animales deja como remanente las cenizas, los elementos que forman parte de las cenizas de las que se han eliminado las impurezas se conocen como minerales o elementos inorgánicos (Georgievskii, Annenkov, & Samokhin, 1982). Suttle (2010) describió cuatro funciones generales para los minerales:

1. Estructurales. Los minerales pueden formar componentes estructurales del cuerpo como órganos y tejidos, por ejemplo; minerales como el calcio, fósforo, magnesio, flúor y silicio contribuyen a la formación de huesos y dientes; el fósforo y sulfuro en la proteína de los músculos. Los minerales como el zinc y fósforo contribuyen a la estabilidad de moléculas y membranas.
2. Fisiológicas. Se encuentran minerales en los fluidos y tejidos corporales como electrolitos, que ayudan a mantener la presión osmótica, balance ácido-base, transmisión de impulsos nerviosos, permeabilidad de la membrana e irritabilidad de tejidos.
3. Catalíticas. Los minerales pueden actuar como catalizadores enzimáticos en sistemas hormonales, también como componentes integrales específicos de la estructura de metaloenzimas o activadores específicos de algún sistema. El número de la variedad de metaloenzimas identificadas se ha incrementado en las décadas más recientes.

4. Reguladoras. En años recientes, los minerales se han identificado como reguladores de la replicación y diferenciación celular, por ejemplo, el calcio tiene influencia en la transducción y el zinc influye en la transcripción celular. El yodo constituye parte fundamental de la tiroxina.

A continuación, se mencionan algunos minerales y sus principales funciones en el animal:

Calcio

El Ca es el mineral más abundante en el cuerpo, aproximadamente el 98 % pertenece a las funciones estructurales formando parte de huesos y dientes, el restante 2 % se distribuye en fluido extracelular y tejidos blandos, además desempeña funciones vitales como la coagulación sanguínea, permeabilidad de la membrana, contracción muscular, transmisión de impulsos nerviosos, regulación cardíaca, secreción hormonal y la activación de un gran número de enzimas (NRC, 2016).

Magnesio

Del total de magnesio presente en el cuerpo entre 65 y 70 % se encuentra en los huesos, un 15 % en los tejidos blandos y solo 1 % en el líquido extracelular. Se conocen más de 300 enzimas que se activan por el magnesio, el elemento es esencial para el complejo ATP y todos sus procesos biológicos incluyendo la glucólisis, transporte de membrana, formación de AMP cíclico y transcripción del código genético. También participa en el mantenimiento del potencial eléctrico entre membranas del músculo y transmisión del impulso eléctrico del sistema nervioso (NRC, 2016).

Sodio

El sodio es vital para mantener la presión osmótica, controlar el balance de agua y regular el balance ácido-base, además desempeña una función en la contracción muscular, impulsos nerviosos, transporte de glucosa y aminoácidos.

También es un electrolito del fluido corporal e incide directamente en el metabolismo del agua (NRC, 2016).

Potasio

El potasio es uno de los elementos más abundantes en el cuerpo y el catión más importante en el fluido intracelular, es importante en el balance ácido-base, regulación de la presión osmótica, balance de agua, contracción muscular, impulsos nerviosos, un gran número de reacciones enzimáticas, y para el balance iónico de otros minerales como sodio, calcio y magnesio (NRC, 2016).

Fósforo

Aproximadamente 80 % del fósforo se encuentra en los dientes y huesos; por tanto, es un mineral indispensable para la formación de estos, el remanente (20 %) se encuentra principalmente en células sanguíneas, músculos y tejidos del sistema nervioso. Además, en tejidos blandos es indispensable para la replicación celular, siendo componente del ADN y el ARN. También desempeña un papel fundamental en la utilización de la energía como componente del Adenosín trifosfato (ATP), Adenosín difosfato (ADP) y Adenosín monofosfato (AMP), metabolismo de las proteínas, balance ácido-base y osmótico. Además, es fundamental para el crecimiento y el metabolismo de los microorganismos del rumen, especialmente de los que digieren la celulosa (NRC, 2016).

Cobre

El cobre se requiere en la respiración celular, formación de huesos, apropiada función cardíaca, formación de tejidos conectivos, mielinización de la médula espinal, queratinización y pigmentación de algunos tejidos, parte esencial de algunas metaloenzimas como citocromo oxidasa, superóxido dismutasa, ceruloplasmina y tirosinasa. Además, tiene gran influencia en el correcto funcionamiento del sistema inmune, la respuesta inflamatoria, y una apropiada producción de neutrófilos y fagocitos (McDowell & Arthington, 2005).

Zinc

El zinc es componente de un gran número de enzimas y la activación de otras. Las enzimas que requieren zinc se encuentran relacionadas con el ácido nucleico, proteínas y el metabolismo de carbohidratos (McDowell & Arthington, 2005). Además, se requiere para el correcto funcionamiento del sistema inmune y de diversas hormonas (NRC, 2016).

Hierro

Más del 50 % del hierro se encuentra en la hemoglobina, es vital para el crecimiento. Es un componente esencial de las proteínas relacionadas con el transporte de oxígeno como mioglobina y citocromos. También es componente de enzimas vitales para los mamíferos durante la lactancia y el amamantamiento (NRC, 2016).

Las condiciones ambientales, prácticas de manejo, tipo de forraje, genética, el estado fisiológico y nivel de producción hacen que cada sistema de producción sea diferente respecto a los requisitos minerales (Greene, 2000). En el Cuadro 1 se presentan los sitios donde se lleva a cabo la absorción de los minerales, así como el sitio donde se almacenan y la vía por la cual son excretados.

Cuadro 1. Absorción almacenamiento y excreción de algunos minerales.

Mineral	Absorción	Almacenamiento	Excreción
Ca	Toma lugar en el duodeno mediante difusión. Requiere Vitamina D y una adecuada proporción de Ca:P.	De 98 a 99 % en huesos.	Principalmente en heces y en menor medida por orina.
Mg	A lo largo del tracto digestivo, principalmente en la porción retículo-rumen.	De 60 a 70 % en huesos.	La principal vía es mediante la orina, además de heces y leche.
Na	El sitio principal de absorción es la primera	Principalmente en fluidos y tejidos. También en huesos.	Principalmente en orina como sal, también en

	porción del intestino delgado y el rumen.		heces, sudoración y leche.
K	A través de todo el tracto digestivo incluyendo el rumen, omaso, intestino grueso y delgado.	Principalmente en músculos, pero no se almacena fácilmente.	Se excreta mayormente en orina y en menor medida en heces. También en leche.
P	Toma lugar en el duodeno mediante difusión. Requiere Vitamina D y una adecuada proporción de Ca:P.	Entre 80 y 85 % es almacenado en huesos.	En heces principalmente si es una dieta a base de forrajes y en orina si la dieta es con base en alimento concentrado.
Cu	Es absorbido principalmente en intestino delgado y solo de 1 a 3 % en rumiantes.	El hígado es el órgano principal de almacenamiento.	En heces mayormente.
Zn	Rumen e intestino delgado.	Extensamente distribuido, principalmente en hígado, páncreas y riñones.	Heces y en menor medida en orina.
Fe	A través de todo el tracto digestivo, principalmente en el duodeno y yeyuno.	Hígado, músculos, sangre, riñones y médula.	Heces, orina, sudor y pelaje. Por medio de una hemorragia se puede ocasionar una importante pérdida.

Adaptado de McDowell & Arthington, 2005.

2.5 Deficiencias de minerales en ganado

La desnutrición comúnmente se acepta como una de las más importantes limitaciones en la ganadería en pastoreo de países tropicales; sin embargo, numerosos investigadores han observado que el ganado a veces se deteriora, a pesar del abundante suministro de alimento (McDowell & Arthington, 2005). La mayoría de las deficiencias minerales naturales en herbívoros están asociadas con regiones específicas y directamente relacionadas con las características del suelo y forraje, y sujetas a la cantidad de suplementos minerales brindados al ganado (Sharma, Joshi, & Kaur, 2006). Los forrajes que crecen en suelos tropicales pueden ser altamente deficientes en minerales indispensables para el ganado y se deben de proveer estos minerales en las dietas para promover una

producción eficiente del ganado (McDowell & Arthington, 2005). La deficiencia de minerales reduce la efectividad de los programas de vacunación debido a la reducción de la habilidad del sistema inmune del animal para responder a la vacuna (Spears, 1995).

La continua ingestión de dietas deficientes, desequilibradas o excesivamente altas en un mineral induce a cambios en la forma o concentración de ese mineral en los tejidos o fluidos del animal y puede estar por encima o debajo de los límites tolerables, ocasionando trastornos fisiológicos y estructurales, que varían de acuerdo con el elemento, el grado y la duración de la deficiencia (o toxicidad) (Suttle, 2010). El efecto fisiológico de un elemento mineral esencial depende de la concentración de la dieta, desde la deficiencia hasta la baja toxicidad y la ingesta extremadamente alta, ya que el objetivo de la ciencia nutricional es lograr una ingesta en niveles seguros y adecuados (O'Dell & Sunde, 1997; Figura 2).

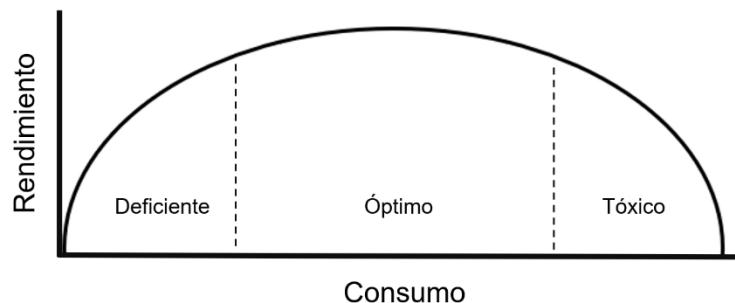


Figura 2. Curva teórica de dosis-respuesta, adaptado de O'Dell y Sunde (1997).

Aun cuando muchos problemas ocasionados por deficiencias minerales son reversibles, varios no lo son y afectan toda la vida del animal, especialmente cuando suceden durante la gestación (Huerta, 2010).

Las deficiencias de microminerales en ganado se dividen comúnmente en dos categorías (Arthington, 2006):

Primaria. Una deficiencia resultante del consumo de un micromineral esencial a niveles inadecuados para soportar las funciones fisiológicas asociadas con ese elemento.

Secundaria. Una deficiencia resultante del consumo de un elemento que antagoniza la absorción previa o posterior de un micromineral que hace que el elemento sea incapaz de soportar las funciones fisiológicas asociadas con ese elemento.

En el Cuadro 2 se presentan algunos signos de deficiencias de minerales.

Cuadro 2. Signos de deficiencia de minerales en bovinos para carne.

Mineral	Signos de deficiencia
Ca	Rigidez, letargo, temblor de los cuartos traseros y debilidad de las piernas, huesos rotos o débiles, hipocalcemia de la preñez en vacas lecheras, terneros nacidos muertos, retención placentaria. Raquitismo y lento crecimiento en animales jóvenes, osteomalacia en animales adultos.
Mg	En terneros produce excitabilidad, anorexia, hiperemia, convulsiones, espuma en la boca, salivación profusa, calcificación de tejidos blandos, falta de apetito y espasmos musculares, además hiperestesia y falta de coordinación. En ganado lechero hipomagnesemia de la preñez, muerte repentina.
Na	Los signos de deficiencia de sodio son poco específicos, pero se puede contemplar la reducción en el consumo de alimento, alotrofagia (pica), reducción del crecimiento y pelaje reseco.
K	Reducción de ganancia de peso, alotrofagia, pelaje opaco y áspero, debilidad, bajo consumo de agua, inanición y ansiedad.
P	Reducción en la eficiencia alimenticia y crecimiento, disminución del apetito, baja tasa de concepción, baja producción de leche, huesos débiles y frágiles. Letargo, anormalidades en huesos, alotrofagia y fiebre de leche.
Cu	Anemia, reducción del crecimiento, anormalidades en el crecimiento y coloración del pelaje, falla cardíaca, huesos frágiles, diarrea y problemas reproductivos caracterizados por retraso del estro o estros reprimidos, baja calidad del semen, úlceras abomasales, inhabilidad de succión en terneros, falta de coordinación, rigidez, anomalías óseas,

	baja queratinización de pesuñas manifestada como pododermatitis y supresión del sistema inmune.
Zn	Reducción del crecimiento, falta de apetito, baja conversión alimenticia, salivación excesiva, bajo crecimiento testicular, alopecia, patas hinchadas, lesiones abiertas en piel, lesiones paraqueratoticas cerca de cabeza, cuello, boca, fosas nasales y problemas en la cicatrización.
Fe	Anemia, falta de apetito, baja ganancia de peso, apatía, membranas de mucosas pálidas, atrofia de papilas en la lengua, falta de resistencia a parásitos y en becerros reducción de la respuesta inmune.

Adaptado de NRC (2016) y Puls (1988).

2.6 Toxicidad de minerales en el ganado

Todos los minerales, esenciales y no esenciales pueden ser tóxicos (Huerta, 2016). Los efectos adversos de los minerales dependen de la intensidad de la exposición y van desde efectos sutiles en el proceso homeostático, a trastornos irreversibles y muerte (NRC, 2005). El umbral de toxicidad de cada mineral depende de su forma química, absorción entérica, metabolismo, duración en el consumo por el animal, los niveles de otros minerales en dieta o agua y el estado fisiológico del animal (NRC, 2005). Los animales en condiciones de pastoreo son más propensos a signos de toxicidad o deficiencias resultantes de interacciones minerales, para el caso de animales en confinamiento que consumen dietas balanceadas no deben de existir problemas metabólicos relacionados a toxicidades o interacciones entre minerales, a menos que se tenga un consumo excesivo o se haya cometido algún error en la suplementación (Henry & Miles, 2000). En el Cuadro 3 se presentan algunos signos de toxicidad de minerales que afectan al ganado para carne.

Cuadro 3. Signos de toxicidad de minerales en bovinos para carne.

Mineral	Signos de toxicidad
Ca	Altas concentraciones de calcio se toleran bien por el ganado, sin embargo, puede ocasionar osteopetrosis, anquilosis vertebral y deposiciones de calcio en músculo cardíaco.
Mg	Las altas concentraciones pueden ocasionar diarreas con sangre, baja digestibilidad, letargo y pérdida de peso.
Na	Altos niveles de sal limitan el consumo de materia seca y pueden ocasionar sed, vómito, diarrea, dolor abdominal, poliuria, salivación excesiva, espasmos musculares, parecía y convulsiones. Además, es un posible factor que influye en edema de ubre.
K	Reducción del consumo de alimento, insuficiencia cardíaca, disminución de la ganancia diaria de peso. En ganado lechero produce edema en ubre.
P	Huesos débiles, cálculos urinarios, reducción en el consumo de alimento y falla cardíaca.
Cu	El hígado puede acumular concentraciones de cobre después de una intoxicación, pero los síntomas pueden ser depresión hemolisis, metahemoglobinemia, hemoglobinuria, ictericia, necrosis en tejidos blandos y muerte repentina. Además, puede ser precursor de enfermedades respiratorias.
Zn	El ganado tolera niveles superiores de zinc a su requerimiento; sin embargo, algunos signos pueden ser disminución en el consumo y la eficiencia alimenticia lo cual se traduce en una reducción de peso. En casos extremos de contaminación con zinc puede ocasionar pancreatitis.
Fe	Diarrea, acidosis metabólica, hipotermia, reducción en el consumo de alimento y reducción de producción de leche.

Adaptado de NRC (2016) y Puls (1988).

Las relaciones entre las concentraciones de minerales en la dieta y la salud animal son muy diferentes para minerales esenciales y no esenciales. Para minerales esenciales (Figura 3) las cantidades crecientes de un mineral en la dieta son altamente beneficioso (hasta cierto punto), en concentraciones muy altas o bajas son perjudiciales para la salud.

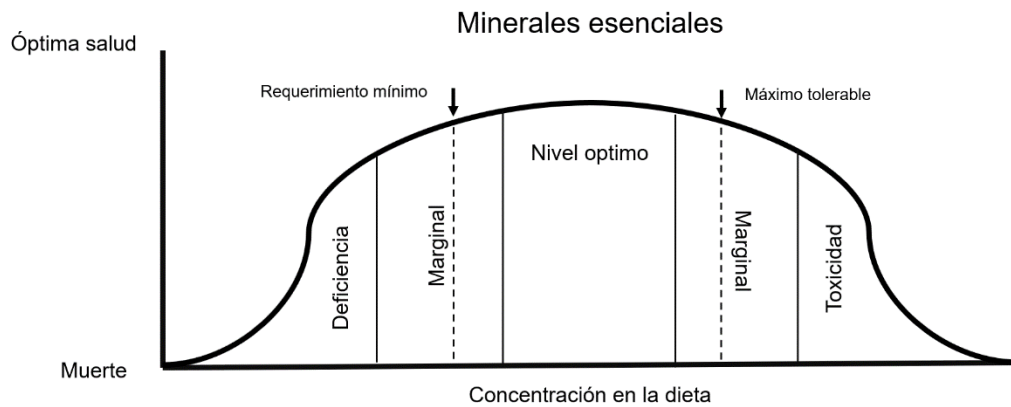


Figura 3. Curva teórica de concentración de minerales esenciales en dieta, adaptado de NRC (2005).

Para el caso de los no esenciales (Figura 4), los niveles bajos se toleran sin efectos perjudiciales pero las concentraciones altas se vuelven perjudiciales.

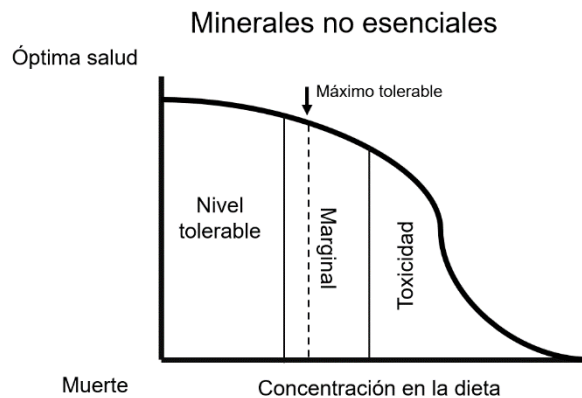


Figura 4. Curva teórica de concentración de minerales no esenciales en dieta, adaptado de NRC (2005).

2.7 Requerimientos de minerales

Las necesidades nutrimentales de los rumiantes varían considerablemente de acuerdo con la especie, raza, edad, estado fisiológico y ambiente (Underwood et al., 2015). El requerimiento mineral varía entre elementos, especie y nivel de producción, pero la principal determinante por lo general es la cantidad de pérdida a través de las heces, orina y secreciones digestivas que no fueron absorbidas (Suttle, 2010). La forma química en la que el mineral está presente en la dieta determina la eficiencia de la absorción (McDowell & Arthington, 2005).

Los minerales deben absorberse en el tracto gastrointestinal y generalmente se asume que, una vez absorbido, el elemento está disponible para su almacenamiento o para su uso en los procesos por parte del animal (Ammerman et al., 1995). Ciertas cantidades de minerales son requeridas incluso en animales en mantenimiento, para reemplazar la pérdida inevitable a través de las heces en forma de células de la mucosa intestinal, secreciones digestivas y microorganismos (Suttle, 2010).

Todos los minerales, esenciales y no esenciales pueden ser tóxicos cuando se rebasa el nivel máximo tolerable por el animal, las toxicidades minerales cada vez son más frecuentes, debido a la contaminación del aire, suelo, agua, alimentos y control de calidad inadecuado (Huerta, 2016). El requisito mineral neto se determina por el contenido mineral de la ganancia de peso, en minerales como calcio y fósforo disminuye en medida que los animales maduran por la porción correspondiente de los huesos (Suttle, 2010). Factores como el nivel de producción, edad, raza y ambiente afectan los requerimientos de los minerales (McDowell & Arthington, 2005). En el Cuadro 4 se muestran los requerimientos y los niveles máximos tolerables de algunos minerales para ganado de carne.

Cuadro 4. Requerimientos y máximos tolerables de minerales para bovinos productores de carne.

Mineral	Requerimiento ¹	Máximo tolerable ²
<i>Macrominerales</i>		
Calcio (%)	0.38 – 0.81	1.5
Magnesio (%)	0.10	0.6
Sodio (%)	0.06 – 0.08	4.5
Potasio (%)	0.60	2.0
Fósforo (%)	0.35 – 0.45	0.6
<i>Microminerales</i>		
Cobre (mg kg ⁻¹)	10	40
Zinc (mg kg ⁻¹)	30	500
Hierro (mg kg ⁻¹)	50	500

¹ National Research Council (NRC, 2016).

² National Research Council (NRC, 2005).

El desarrollo de suplementos minerales para satisfacer los requerimientos del ganado de carne en pastoreo conlleva un reto debido a: 1) cambios en los requerimientos de los animales debido a nivel de producción, 2) diferencias en el suministro de minerales en el forraje y 3) métodos rentables para suministrar minerales que aseguren la ingesta y la biodisponibilidad de estos (Green, 1999).

Los minerales afectan a los microorganismos del aparato digestivo, responsables de digerir más del 90 % del almidón, son los fermentadores exclusivos de celulosa, hemicelulosa y pectina, aportan entre 50 y 90 % de los requerimientos de la proteína del animal, y completan las necesidades de vitamina B (Huerta, 2010). Las dietas de rumiantes usualmente son altas en fibras, una considerable porción de la fibra es digerida por la fermentación microbiana del rumen, sin embargo, la asociación de minerales con las fracciones de fibra en el tracto gastrointestinal puede alterar la biodisponibilidad de un mineral (Spears, 2003).

2.8 Alotrofagia

El término descende del griego “*allotrios*”: extraño y “*phagos*”: comer. Es un síntoma, no una enfermedad, el cual se manifiesta como desorden alimenticio o un apetito depravado caracterizado por la ingesta persistente y compulsiva de materiales no comestibles. Este trastorno es también conocido como cissa, pellacia, malacia, geomania y “pica”. Existen diferentes formas de alotrofagia dependiendo del elemento ingerido en mayor proporción como tierra (geofagia), pelo o lana (tricofagia), piedras (litofagia), madera (lignogafia) y huesos (osteofagia) (Cardona, Montes, & Martínez, 2017). Aunque la alotrofagia es un síntoma multicausal la principal causa es la deficiencia o desbalance de minerales (Firyal, 2007; McDowell & Arthington, 2005). A pesar de ser un síntoma, de acuerdo con el tipo de alotrofagia y la intensidad, puede causar alta morbilidad o mortalidad. Dentro de las complicaciones relacionadas se incluyen los trastornos electrolíticos, la obstrucción y el daño del tracto digestivo por algunos tipos de pica (Campuzano, 2011).

2.9 Interacciones entre minerales

El NRC (2016) menciona que se requieren 17 minerales para el ganado de engorda, los cuales pueden estar en cantidades variables, suficientes o inadecuadas, ya que la interacción de algunos minerales puede alterar la biodisponibilidad de otros. El metabolismo de un mineral no debe considerarse por sí solamente, debido a la dinámica de otros elementos (Georgievskii et al., 1982). La importancia nutritiva de un mineral no solo es determinada por el rol fisiológico específico del elemento, también tiene la capacidad de interactuar con otros elementos en formas que pueden ser benéficas o perjudiciales en la salud animal. Algunas interacciones entre minerales tienen un potencial importante (Suttle, 1975).

Las interacciones entre minerales son una de las principales causas de variación en la biodisponibilidad de minerales que influyen en el valor nutritivo de la dieta (Bao, Choct, Iji, & Bruerton, 2010). Rumiantes en pastoreo son más propensos a mostrar síntomas de toxicidad o deficiencias, resultado de las interacciones

minerales (Henry & Miles, 2000). La biodisponibilidad de los minerales en la dieta es variable y difícil de predecir debido a que la disponibilidad de cada mineral puede verse afectada por la fuente del mineral y la interacción entre los diferentes componentes de la dieta (Herdt, Rumbelha, & Braselton, 2000).

La interacción de dos o más minerales puede afectar la biodisponibilidad drásticamente, de manera positiva (sinergia) o negativa (antagónica), las altas concentraciones de elementos antagónicos pueden desencadenar simultáneamente la biodisponibilidad de otros elementos (O'Dell & Sunde, 1997). El exceso de un mineral puede impedir la absorción o el transporte de otro, posiblemente por la competencia de espacio en la mucosa intestinal (Herdt & Hoff, 2011). La suplementación de minerales debe de incluir un margen de seguridad para tomar en cuenta la presencia de antagonismo (López, Prieto, Miranda, Castillo, Hernández, & Benedito, 2004).

El consumo de las cantidades necesarias de suplementos minerales no puede garantizarse por cada individuo dentro de un rebaño de ganado en pastoreo y en consecuencia los problemas que surgen de las interacciones todavía se observan en las condiciones del campo (Henry & Miles, 2000). Se sabe desde hace mucho tiempo que los macronutrientes impactan en el funcionamiento del sistema inmune, por ejemplo, el debilitamiento del sistema inmune ocurre cuando hay un agotamiento de proteínas, dando como resultado un bajo recuento de glóbulos blancos. Más recientemente, la ciencia ha develado mecanismos que ayudan a comprender la relación entre micronutrientes (vitaminas y minerales) y sistema inmune. Es evidente que los micronutrientes pueden mejorar la resistencia contra las enfermedades y puede redirigir la respuesta en beneficio del huésped (Alpert, 2017).

Calcio

El calcio y el fósforo tienen una interacción directa. La deficiencia de magnesio reduce la movilización de calcio. El exceso de magnesio, fósforo y azufre reducen la absorción de calcio. El exceso de calcio reduce la absorción de hierro, magnesio, manganeso, yodo y zinc, imposibilitando la absorción de otros

elementos. Las vacas con hipocalcemia son más susceptibles a la intoxicación por aluminio (Puls, 1988).

Magnesio

Alteraciones en la dieta o en sangre de calcio, fósforo y potasio pueden alterar el metabolismo del magnesio (Littledike & Goff, 1987). El magnesio tiene una importante interacción con enzimas, cationes a través del epitelio ruminal (Martens, Leonhard-Marek, Rontgen, & Stumpff, 2018). Tiene un rol importante en la activación de vitamina D. La baja concentración de magnesio reduce la movilización de calcio. Los animales con tetania generalmente presentan una asintomática hipomagnesemia. Altas concentraciones de potasio, aluminio o sodio reducen la absorción de magnesio a nivel intestinal y altas concentraciones de fósforo reducen su biodisponibilidad (Puls, 1988). El alto contenido de potasio en los forrajes durante las épocas críticas del año puede ser antagonista a la absorción y utilización de magnesio. La deficiencia de magnesio disminuye la retención de potasio y puede resultar en la deficiencia de este elemento (McDowell & Arthington, 2005).

Sodio

El exceso de potasio puede presentar o agravar una deficiencia de sodio y predisponer a los rumiantes a la fiebre de leche (McDowell & Arthington, 2005). El sodio en la orina incrementa con la deficiencia de cloro. Altas concentraciones de sodio reducen la concentración sérica de calcio y magnesio. El incremento dietario de potasio incrementa los requerimientos de sodio (Puls, 1988). Interactúa con el potasio y cloro para mantener la presión osmótica, así como la regulación ácido-base. En animales pastoreados en praderas altamente fertilizadas con potasio, se deprimen los niveles de sodio (McDowell & Arthington, 2005).

Potasio

Altas concentraciones de potasio en la dieta reducen la absorción de magnesio, pero incrementan la absorción de calcio y sodio. Altas temperaturas incrementan

los requerimientos de potasio. Los niveles de calcio y magnesio decrecen con un aumento en la concentración dietaria de potasio. El potasio en la saliva incrementa con la deficiencia de sodio (Puls, 1988). Pasturas fertilizadas con potasio incrementan los niveles de potasio para el animal, pero disminuyen la disponibilidad de calcio y magnesio (McDowell & Arthington, 2005).

Fósforo

El fósforo requiere un adecuado nivel de calcio para metabolizarse (Littledike & Goff, 1987). Sin embargo, el exceso de calcio forma fosfatos insolubles, haciendo al fósforo indisponible para absorberse (Spears, 2003). Altos niveles de calcio y fósforo en la dieta sugieren que puede afectar la biodisponibilidad del magnesio (McDowell & Arthington, 2005). El metabolismo y requerimiento de fósforo se afectan por la disponibilidad de calcio, magnesio, aluminio, manganeso, hierro y zinc. La absorción del fósforo se estimula por la vitamina D (Puls, 1988). En climas tropicales, altas cantidades de hierro y aluminio en el suelo incrementan la deficiencia de fósforo, reduciendo la disponibilidad para las plantas y eventualmente en los animales pastoreados (McDowell & Arthington, 2005).

Cobre

La biodisponibilidad del cobre se afecta con la sinergia del efecto del molibdeno y selenio, también por elevadas cantidades de calcio, cobalto, hierro, mercurio, manganeso, fósforo y zinc. El cobre es más biodisponible en forraje seco que en forraje deshidratado. La alimentación con altos niveles de proteína reduce la biodisponibilidad del cobre. El cobre influye en la movilización de hierro. Altas cantidades de plomo reducen la concentración de cobre en el hígado. El hierro se acumula en el hígado durante las deficiencias de cobre (Puls, 1988). El azufre y molibdeno interactúan en el rumen para formar tiomolibdatos que forman complejos insolubles con el cobre que son bajamente absorbidos (Suttle, 1991).

Zinc

El exceso de zinc reduce el metabolismo del calcio y viceversa. El cobalto reduce la absorción de zinc. El cobre y hierro son medianamente antagonistas del zinc.

La deficiencia del zinc inhibe la utilización de la vitamina A (Puls, 1988). Está bien establecido que existen complejas interacciones antagonistas entre cadmio, cobre y zinc, probablemente por la competencia entre los sitios de unión de metalotioneína (López, Benedito, Miranda, Castillo, Hernández, & Shore, 2000). El zinc desempeña importantes interacciones con otros minerales como magnesio y cobre que desempeñan un papel fundamental en hormonas (McDowell & Arthington, 2005).

Hierro

Una alta concentración de hierro puede inducir deficiencias de cobalto, cobre, manganeso, selenio y zinc. La deficiencia de hierro incrementa la absorción de cadmio, cobalto, manganeso, plomo y zinc. Fiebres elevadas disminuyen la concentración de hierro sérico. Altas concentraciones de cobre, manganeso, fósforo y vitamina E inducen intoxicación por hierro. La intoxicación con plomo incrementa la concentración de hierro en el hígado. Altas concentraciones de manganeso reducen la concentración de hierro en hígado y páncreas (Puls, 1988). La presencia de hierro reduce la absorción intestinal de aluminio al disminuir la liberación de este en la sangre desde las células de la mucosa (NRC, 2005). El hierro y el cobalto interactúan en la mucosa intestinal y son mutuamente antagónicos (Thomson, Valberg, & Sinclair, 1971).

2.10 Diagnóstico mineral

El método tradicional para evaluar el estado nutricional del ganado es analizar el alimento, calcular consumo de nutrientes y compararlo con los requisitos de la literatura; sin embargo, esto tiene desventajas para el ganado que no se encuentra en confinamiento (Maas, 2007). Una parte importante del diagnóstico mineral es el método y los criterios que se utilizarán (Kincaid, 1999; Mills, 1987).

El medio más específico para diagnosticar una deficiencia o toxicidad de minerales es mediante pruebas en animales. Este tipo de pruebas a menudo no son prácticas desde una perspectiva de campo, debido a los costos de las pruebas individuales y requisitos de las muestras. La cuantificación directa a

partir de tejidos animales o sangre puede proporcionar un indicador confiable del estado mineral general del ganado (Hall, 2006). La sangre es frecuentemente analizada con el objetivo de determinar el estado mineral de los animales y es deseable ante la posibilidad de evaluar el estatus mineral de la dieta, debido a lo impráctico que resulta determinar la composición y cantidad de consumo de la dieta de animales en pastoreo libre (Herdt & Hoff, 2011).

La sangre completa usando anticoagulantes, como el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) o la heparina, es una muestra apropiada para el análisis de selenio, manganeso y zinc. El suero es un espécimen apropiado para cobre, yodo, hierro, zinc, manganeso, calcio, magnesio y fósforo. Los nutrientes minerales en las muestras de sangre no son particularmente sensibles a la degradación; por lo tanto, el manejo de rutina y la refrigeración son todo lo que se necesita en la mayoría de los casos (Maas, 2007). La utilidad del análisis de sangre para la evaluación de la nutrición mineral depende del mineral que se desea evaluar, la técnica de recolección y la selección de animales para la prueba (Herdt, Rumbelha, & Braselton, 2000). La evaluación de la concentración de minerales no siempre es la más apropiada cuando existen cambios repentinos de dieta (o los nutrientes) o la suplementación existente (Judson & McFarlane, 1998). Herdt et al. (2000) mencionan cuales son las fuentes de variación para la interpretación adecuada de las concentraciones de minerales que requieren conocimiento de factores de variabilidad fisiológica:

- Variación biológica aleatoria
- Variación genética
- Variación circadiana o prandial
- Variación asociada con el estado fisiológico
- Variación asociada con el estado patológico
- Variación debido al muestreo o la técnica de toma de muestra
- Variación analítica
- Variación ambiental

2.11 Fuentes de minerales

2.11.1 Agua

El agua por naturaleza contiene compuestos minerales y orgánicos disueltos, en concentraciones variables en el tiempo, procedentes del lavado o disolución de las rocas y de la degradación de la materia orgánica (De la Lanza & Gómez, 1999). Normalmente el agua no es la mayor fuente de minerales y ocasionalmente contiene algunos elementos en concentraciones tóxicas (McDowell & Arthington, 2005). Se han considerado sistemas para dosificar minerales de manera soluble en el agua, con algunas limitaciones, lo cual es un método efectivo para asegurar la ingesta de minerales asumiendo que solo existe una fuente de agua, además la presencia de sal en el agua disminuye su consumo (McDowell, 1996).

2.11.2 Suelo

La diferencia en los niveles de minerales entre la roca madre y el suelo son debidos a procesos ocurridos en la formación del suelo, por ejemplo, la eluviación e iluviación (Reid & Horvath, 1980). Las deficiencias y toxicidades son muy dependientes de la composición del suelo (Greene, 2000). Las deficiencias minerales que más comúnmente ocurren en herbívoros son asociadas a regiones específicas debido a las características del suelo. El incremento en el rendimiento de los cultivos remueve minerales del suelo de manera tan rápida que frecuentemente genera deficiencias (McDowell, 1996). Los rumiantes en pastoreo inevitablemente consumen cantidades considerables de suelo, consecuencia natural del pastoreo (Reid & Horvath, 1980) y al consumo deliberado de suelo se le denomina geofagia, es considerado una forma de “pica” y puede ser síntoma de deficiencia de diferentes minerales (Cardona, Montes, & Martínez, 2017).

2.11.3 Forrajes

El ganado en pastoreo recibe su principal fuente de minerales del forraje y los forrajes solo toman una fracción de los minerales del suelo (Reid & Horvath,

1980). Los minerales en los forrajes dependen de diversos factores como tipo de suelo, especie de forrajes, estado de maduración, rendimiento, manejo del forrajes y clima (McDowell, 1996). Suelos pobremente drenados resultan en una mejor extracción de microminerales mediante los forrajes (McDowell & Arthington, 2005). Conforme a la planta madura la concentración de minerales decae debido al proceso de dilución natural y la traslocación de los elementos al sistema radicular, así como el grado de lignificación y contenido de proteína, especialmente en la temporada seca, de tal modo que en la temporada húmeda cuando la demanda de energía y proteína son satisfechas el ganado tiene una mayor demanda de minerales (McDowell & Arthington, 2005).

2.11.4 Alimentos concentrados

A menudo los forrajes por sí solos no proporcionan todos los minerales ni las cantidades necesarias que el ganado requiere (Green, 1999). Para mantener la producción de manera eficiente es necesario considerar el nivel de producción, raza, edad, sexo y factores ambientales como temperatura (Corah, 1996). Muchas variables deben ser consideradas al momento de diseñar un suplemento mineral (McDowell & Arthington, 2005), el desarrollo de suplementos minerales para satisfacer los requerimientos de animales en pastoreo a menudo es complejo debido a; cambios en los requerimientos de los animales, diferencias en el suministro de minerales de los forrajes y la adaptación de métodos que aseguren la ingesta y biodisponibilidad adecuadas que sean rentables (Green, 1999). Los minerales tradicionalmente son adicionados a los alimentos concentrados como sales inorgánicas (Spears, 1996).

2.12 Biodisponibilidad

La eficiencia de la producción y el mantenimiento de la salud en animales requiere que los nutrientes esenciales sean brindados en cantidad apropiada y en formas biológicamente utilizables. La biodisponibilidad se define como el grado en que un ingrediente consumido de una fuente particular es absorbido en una forma que pueda ser utilizado en el metabolismo del animal, también conocido como; disponibilidad biológica, bioactividad, biopotencial y bioeficiencia

(Ammerman et al., 1995). El mineral debe ser absorbido por el tracto gastrointestinal y generalmente se asume que una vez absorbido el elemento está disponible para ser almacenado y usado en los diversos procesos fisiológicos, sin embargo, no de la misma manera dependiendo de la especie (Ammerman et al., 1995). La biodisponibilidad de diversos minerales (principalmente microminerales) difiere significativamente entre rumiantes y no rumiantes (Spears, 2003).

La biodisponibilidad de los minerales en los forrajes para rumiantes puede ser afectada por la distribución del mineral en el mismo forraje y la forma química en que esté presente sin embargo existe poca información al respecto (Spears, 1994). En el Cuadro 5 se presentan las formas químicas más comunes como se encuentran los minerales en plantas.

Cuadro 5. Forma química de minerales en plantas.

Mineral	Forma química
Ca	Fosfato de calcio, oxalato de calcio y unido a la pectina y lignina
Mg	En la clorofila y unido a la lignina
Na	Ion sodio
K	Ion potasio
P	Fosfato inorgánico, RNA, fosfolípidos, ester de fosfato y ácido fítico
Cu	Neutral o complejos inorgánicos
Zn	Complejos aniónicos
Fe	Porfirinas, complejos aniónicos e hidróxido férrico

Adaptado de Spears (1994).

El requisito para la absorción del mineral es liberar la forma mineral del forraje en forma soluble. Los minerales deben ser absorbidos en forma iónica, complejos solubles o quelados, dependiendo de cada mineral, pero los minerales no son absorbidos cuando están unidos a sustancias insolubles o complejos que no pueden ser degradados (Spears, 1994).

La concentración de un tejido individual puede o no reflejar las concentraciones minerales biológicamente disponibles, generalmente los análisis de minerales no identifican la forma química de los mismos (Hall, 2006). Determinar la concentración de minerales en forrajes es relativamente simple, sin embargo, es difícil determinar precisamente la biodisponibilidad de los minerales presentes (Kincaid & Cronrath, 1983; Spears, 1994). Existe una considerable diferencia en la disponibilidad de un mineral que se provee respecto a la fuente mineral que se ofrece (McDowell, 1996).

Las variaciones en la biodisponibilidad de las fuentes de alimento deben tomarse en consideración cuando se evalúa o formulan dietas o suplementos minerales (McDowell & Arthington 2005; McDowell, 1996). Además, la absorción de los minerales también depende de factores ligados al animal como edad, estado fisiológico, estado sanitario y de nutrición (Ciria, Villanueva, & Ciria, 2005). La absorción aparente es usada en la evaluación de las fuentes de ciertos minerales y se define como el consumo total menos la excreción del elemento, usualmente se expresa en porcentaje.

$$\text{Absorción aparente} = \frac{\text{consumo} - \text{total excretado}}{\text{consumo}} \times 100$$

La diferencia entre la ingesta y la excreción representa la extracción del elemento en el tracto gastrointestinal, pero no considera la excreción del elemento resultado de la abrasión de las células de la mucosa intestinal o la excreción del elemento por el tracto intestinal y es limitado para elementos como el calcio, fósforo, zinc, magnesio y cobre, para los cuales el tracto gastrointestinal es su vía principal de excreción (Ammerman et al., 1995).

2.13 Problemas asociados a la suplementación mineral

Corah (1996) identifica cuatro problemas clave asociados con la suplementación de minerales:

1. Los requisitos de minerales en los animales no están claramente definidos y rara vez en las dietas del ganado se modifican estos requisitos para adaptarse al nivel de productividad del hato.
2. Existe una considerable variabilidad en el nivel de los minerales encontrados en los forrajes y los factores que influyen en esta variabilidad están poco documentados.
3. Existe una gran variabilidad en el contenido de minerales en las premezclas comerciales y a menudo es difícil obtener esta información precisa.
4. El modo de acción de cómo los minerales pueden afectar la reproducción, producción y función del sistema inmune no está claramente definido y se requiere investigación.

La predicción de requerimientos dietéticos específicos es difícil de evaluar en ambientes de pastoreo debido a varios factores. Los principales factores que determinan el requerimiento dietético incluyen la utilización de minerales de forrajes, interacción entre minerales y etapa o el nivel de producción (Greene, 2000).

2.14 Tipos de suplementación mineral

2.14.1 Suplementación indirecta

Los métodos indirectos de suplementación mineral incluyen el uso de fertilizantes que contienen minerales, alterar del pH del suelo y fomentar el establecimiento de especies forrajeras de las cuales se tenga conocimiento de un mejor aprovechamiento de ciertos minerales. Incrementar el pH del suelo puede incidir en el aprovechamiento de minerales como selenio y molibdeno, pero disminuye el aprovechamiento del cobre y cobalto. El contenido de P y K de los forrajes puede ser aumentado en ambientes donde existen condiciones climáticas que promuevan la absorción de los minerales (Greene, 2000).

La aplicación foliar de Mg y otros minerales como Cu, Co y Zn puede mejorar el consumo de estos minerales por el ganado, esto también se ha demostrado con la aplicación foliar de Se; sin embargo, la fertilización mineral solo debe practicarse para mejorar las características de producción del forraje o el rendimiento de materia seca en los cultivos, los cambios en la concentración mineral de las plantas alteran el crecimiento y en altas concentraciones el rendimiento (Reid & Horvath, 1980), como se ilustra en la Figura 5. La fertilización mineral no es un método eficiente de incrementar el consumo mineral en el ganado. Si después de la fertilización con minerales para maximizar la fertilidad del suelo e incrementar el contenido en forrajes, el suministro mineral sigue siendo inadecuado, los métodos alternativos (directos) para aumentar la ingesta serán más económicos (Greene, 2000).

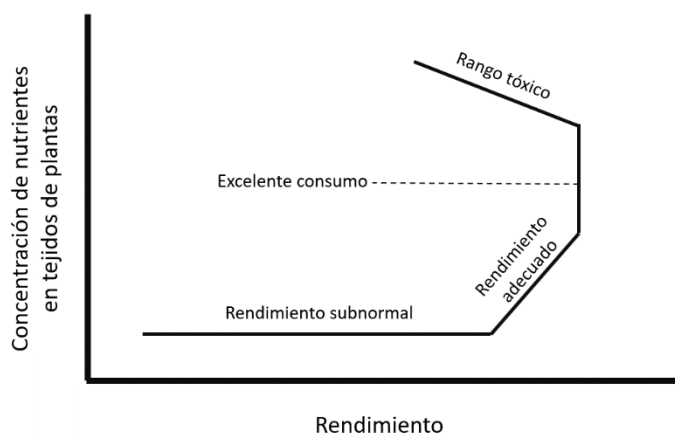


Figura 5. Representación gráfica del efecto de la fertilización en la concentración y rendimiento de plantas, adaptado de Reid & Horvath (1980).

2.14.2 Suplementación directa

Los métodos de suplementación mineral directos incluyen la adición de minerales al agua, administración vía oral, inyecciones, bolos ruminales, suplementación directa en el alimento y libre acceso a los minerales. La suplementación oral única es una forma efectiva de proveer minerales al ganado, pero no es completamente práctica ya que pasaran rápidamente por el tracto digestivo con poco tiempo para

ser absorbidos. La suplementación continua será más efectiva. La dosificación oral de minerales mediante bolos es recomendable para proveer microminerales específicos y no es recomendado para la suplementación de macrominerales debido al tamaño del bolo (Greene, 2000).

La suplementación mineral mediante el agua tiene mucha variación de consumo entre animales comparado con otros métodos además depende de que los animales no tengan acceso a diversas fuentes de agua. Proveer minerales en alimentos proteínicos o energéticos asegura el consumo de los minerales con ciertas variaciones, además los alimentos de esta naturaleza proveen minerales por sí mismos y puede ser poco económico. La suplementación mineral a libre acceso es otro método con una gran variación entre animales (Greene, 2000).

2.15 Minerales y sistema inmune

La inmunidad es el estado de resistencia, natural o adquirida, que poseen los organismos frente a acciones de microorganismos o sustancias extrañas (Real Academia Nacional de Medicina [RANM], 2012). Existe una compleja interacción entre micronutrientes, función inmune y resistencia a enfermedades en el ganado (Spears, 2000). El proceso de defensa inmune involucra uno de los sistemas más complejos de interacciones celulares y moleculares conocidos y por lo tanto es uno de los más difíciles de estudiar (Suttle & Jones, 1989). Diversos minerales han demostrado tener influencia en la respuesta del sistema inmune (Carroll & Forsberg, 2007; Ciria et al., 2005; Galyean, Perino, & Duff, 1999; Spears, 1995). Cuando el suministro de micronutrientes es limitado, la utilización de estos da prioridad a procesos más críticos para la supervivencia (Spears, 2000).

Los minerales modulan la respuesta del sistema inmune principalmente por su rol crítico en la actividad enzimática, una deficiencia o exceso de un mineral puede alterar las actividades del sistema inmune (Carroll & Forsberg, 2007). Las alteraciones en la función inmune en respuesta a una deficiencia o una suplementación de minerales (o vitaminas) depende de la función específica del nutriente y de una prioridad relativa del sistema inmune del elemento en cuestión. La falta de respuesta en la función inmune al estado disminuido de un mineral

específico no debe interpretarse como una implicación de que el nutriente no está involucrado en el sistema inmune (Weiss & Spears, 2008).

La concentración de diversos minerales debe de ser incrementada en dietas de recepción para compensar la baja ingesta de alimento por estrés. Adicionalmente algunos minerales, más notablemente zinc, cobre, cromo y selenio, se han identificado como nutrientes esenciales en dietas de recepción por su potencial efecto en el sistema inmune (Galyean et al., 1999). La deficiencia de minerales puede tener un efecto perjudicial en el correcto funcionamiento del sistema inmune debido a alteraciones en aspectos específicos de la inmunidad, incluyendo la respuesta de anticuerpos, mediadores celulares de la inmunidad y la actividad de las células NK (del inglés *Natural Killer*) (Carroll & Forsberg, 2007).

La deficiencia de cobre es asociada con la incapacidad de diversos procesos metabólicos, incluyendo funciones del sistema inmune. Estudios in vitro han revelado que la deficiencia de cobre puede afectar varias células del sistema inmune, ya que participa en procesos enzimáticos propios de la ceruloplasmina y cuproenzimas por tal motivo tiene un rol esencial en el combate de infecciones virales y bacterianas (Gengelbach, Ward, Spears, & Brown, 1997). La actividad oxidativa y antiinflamatoria de la ceruloplasmina es directamente proporcional a la concentración sérica de cobre (Borges et al., 2005).

La actividad antimicrobial de los neutrófilos con una deficiencia de cobre disminuye en comparación de los suplementados (Boyne & Arthur, 1986). La suplementación de cobre mantiene los niveles plasmáticos del mismo durante una infección y reduce el pico de la infección de bacterias, así como el conteo de células somáticas en leche (Scaletti, Trammell, Smith, & Harmon, 2003). Y en el caso de papilomatosis, la aplicación parental de cobre tuvo efectos curativos en animales con verrugas de tipo pedunculadas (Franco et al., 2007).

Los minerales como el zinc y cobre forman parte de la estructura proteica de la enzima superóxido dismutasa (SOD) (Jaramillo et al., 2005; Miller, Brzezinska-Slebozinska, & Madsen, 1993), la deficiencia de estos elementos provoca en bovinos atrofia del bazo y del timo, linfopenia, especialmente de linfocitos B,

monocitosis y disminución de la capacidad fagocítica y lítica de los neutrófilos, afecta a las células T y B, los neutrófilos, macrófagos y por lo tanto la producción de anticuerpos (Cerone, Sansinanea, Streitenberger, García, & Auza, 2000). La suplementación dietética de zinc, cobre y manganeso son requeridos por enzimas antioxidantes como la SOD (Miller et al., 1993).

La inmunidad mediada por células también se ve afectada por la deficiencia de zinc (Sherman, 1992). La adición de zinc en ganado para la recuperación del sistema inmune tiene un efecto rápido, y su bajo nivel en el animal puede agravar la concentración de otros elementos (Miller, 1970).

2.16 Papilomatosis Bovina

Es una enfermedad viral infectocontagiosa que se presenta en bovinos, son más susceptibles los becerros, afecta a diversas especies particularmente a los ovinos, caprinos, porcinos, equinos y cérvidos (Jelínek & Tachezy, 2005). Se caracteriza por la presencia de papilomas en la piel, ya sea agrupado o con apariencia de racimos carnosos o dispersos (Abu-Samra, Aziz, & Homeida, 1982). Son tumores benignos de naturaleza fibroepitelial, generalmente nombradas verrugas, pueden estar presentes en una gran porción del hato y se presentan en cualquier parte del cuerpo (Venkatesan, Tamilmahan, Selvaraj, Sivakumar, & Ponnusamy, 2018), aparecen con mayor frecuencia en la superficie de la cabeza, cuello, tetas, ubre, mucosa genital externa y la parte superior del tracto gastrointestinal (Arslan et al., 2018).

La clasificación de este grupo diverso de virus, que incluyen importantes patógenos humanos, se ha debatido durante décadas (De Villiers, Fauquet, Broker, Bernard, & zur Hausen, 2004). Los diferentes tipos genotipos de papilomavirus bovino se relacionan con un tipo específico de lesión (Vázquez, Escudero, Doménech, Gómez-Lucía, & Benítez, 2012). Se han clasificado en dos subgrupos: A y B (Campo, 1995) que pertenecen a seis tipos diferentes de virus de papilomatosis bovina que se han identificado; VPB1, VPB2 y VPB5 (Subgrupo A) causan fibropapilomas cutáneos, mientras que VPB3, VPB4 y VPB6

(Subgrupo B) causan papilomas escamosos (Jelínek & Tachezy, 2005), como se muestra en la Cuadro 6.

Cuadro 6. Tipos de virus y tumores que causan.

Subgrupo	Tipo de VPB	Tumor que causa
A	VPB 1	Fibropapilomas en zonas perigenitales
	VPB 2	Fibropapilomas en piel, Fibropapilomas en boca
	VPB 5	Fibropapilomas en tetas y ubres
B	VPB 3	Papilomas en piel
	VPB 4	Papilomas en boca
	VPB 6	Papilomas en tetas y ubre

Adaptado de Campo (1995)

En estudios histopatológicos los papilomas muestran un crecimiento epitelial con hiperplasia, mostrando acantosis (epidermis engrosada) e hiperqueratosis, con tendencia al crecimiento en formaciones tubulares de queratina, se observa vacuolización nuclear en la coilocitosis, con núcleos vacíos, mientras que en la fibropapilomatosis se observa la presencia de proliferaciones exofíticas de epidermis y dermis subyacente, con un crecimiento excesivo de fibroblastos del tejido conjuntivo, en contraste con los papilomas, tienen menor proporción de tejido dérmico y mayor tejido epitelial (Vázquez et al., 2012).

Los papilomas surgen con mayor regularidad después de los 12 meses de edad y más frecuentemente observados en animales jóvenes (Campo, Jarret, O'Neil, & Barron, 1994). Las lesiones tienen una típica apariencia de verrugas que van desde 1 mm hasta 500 mm (Jelínek & Tachezy, 2005). La incidencia generalmente aparecerá cuando la infección es severa, puede producir pérdida de peso, cuando las lesiones aparecen en la ubre se puede presentar una papilomatosis secundaria (Borzacchiello & Roperto, 2008). La observación de la típica proliferación de papilomas o verrugas es la forma más común de diagnosticar (Vázquez et al., 2012). El DNA del papilomavirus se puede encontrar en sangre, orina, leche, saliva (Underwood et al., 2015) y semen congelado (Silva et al., 2011). La incubación tiene un periodo de 1 a 6 meses y en algunos casos la enfermedad es autolimitada (Underwood et al., 2015).

2.16.1 Distribución geográfica

Las infecciones originadas por VPB se ha descrito en todo el mundo, aunque no todos los tipos presentan la misma prevalencia. Los genotipos VPB 1 y 2 son los más distribuidos en todo el mundo, principalmente en Brasil y Japón, siendo Brasil el único país donde se ha descrito todos los tipos de VPB (Vázquez et al., 2012). En México se presenta con mayor incidencia en zonas semidesérticas y tropicales, aumentando en la época de verano, debido a la proliferación de insectos (Cantu, 2014). Las lesiones benignas generalmente persisten, lo que puede llevar a un alto riesgo de evolucionar a cáncer (Borzacchiello & Roperto, 2008; Nicholls & Stanley, 2000).

En México no existen informes científicos y/o reportes epidemiológicos sobre la distribución del virus de la PB. La PB se considera un grave problema que impide la exportación de ganado a Estados Unidos, lo que resulta en pérdidas económicas de hasta el 30 % del valor del animal. Específicamente en Tamaulipas, uno de los principales productores y exportadores de ganado bovino en México, esta enfermedad representa un serio problema con hatos de hasta 40 % de prevalencia, causando pérdidas por muertes y también disminuyendo en un 5 % la exportación, además de continuar generando nuevos brotes de la enfermedad (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP], 2016).

2.16.2 Transmisión del papilomavirus

La transmisión del virus puede ser por contacto directo de un animal infectado con otro o mediante fómites (Valencia et al., 2013), también al momento de la copula (Campo et al., 1994) el estrés por manejo, instalaciones o desnutrición se han relacionado como un factor detonante de la PB (Borzacchiello & Roperto, 2008). Campo et al. (1994) mencionan que posiblemente el virus puede ser transmitido mediante insectos hematófagos y roedores. Cuando los papilomas se localizan en las pezuñas, espacio interdigital, cojinetes y talones son causa de dolor agudo y pueden provocar desde cojeras hasta postración (Vázquez et al., 2012). Algunos animales pueden presentar una desaparición de las verrugas de

manera espontánea (Jelínek & Tachezy, 2005), sin embargo, en ocasiones los animales inmunocomprometidos pueden no ser capaces de eliminar la infección, por lo que se vuelve persistente y las lesiones se extienden (Vázquez et al., 2012).

La detección de VPB1, 2 y 4 en el útero, líquido amniótico y placenta se ha relacionado con la posible transmisión vertical del virus, además podría ser causa de abortos o anomalías en el feto (Vázquez et al., 2012). Siegsmund, Wayss y Amtmann (1991) comprobaron que el VPB ingresa más fácilmente en la piel que ha sufrido irritación mecánica, lo cual es más rápido aunado a una inmunosupresión (Campo et al., 1994). Animales con verrugas que no involucionan o se desprenden pueden presentar necrosis (Vázquez et al., 2012).

2.16.3 Control de la papilomatosis

La papilomatosis bovina presenta dificultades en el control, son múltiples los tratamientos que se han sugerido pero la efectividad reportada de estos ha sido variable, aun mas, la efectividad de algunos tratamientos alternativos propuestos no se ha valorado experimentalmente. La presencia de esta enfermedad en los hatos ganaderos causa importantes pérdidas económicas ya que en animales con lesiones extensas presentan pérdida del estado general debido a la frecuente invasión bacteriana secundaria de papilomas traumatizados, aquellos que se asientan en pezones dificultan el ordeño y en algunos casos causan pérdida parcial o total de la glándula mamaria. Además, los animales afectados presentan dificultad en la comercialización, debido al aspecto desagradable y el deterioro de las pieles para utilizarse en la industria (Valencia et al., 2013).

Diversos tratamientos se han utilizado para disminuir y controlar la incidencia de PB, tales como remoción quirúrgica mediante la cauterización con nitrato de plata (Abu-Samra et al., 1982), remoción quirúrgica de las verrugas (Salib & Farghali, 2011) autovacunas preparadas con tejido infectado (Rodríguez et al., 2015; Sreeparvathy, Harish, & Anuraj, 2011), vacuna contra Newcastle por sus propiedades antineoplásicas e inmunoestimulantes (Avki, Turutoglu, Simsek, & Unsal, 2004), ivermectina (Börkücü, Atalay, Kibar Çam, & Atasever, 2007),

tratamientos homeopáticos que contienen bismuto y antimonio como el extracto de Thuja (*Cupressaceae sp.*) (Peña et al., 2005) y haciendo uso de látex de higo (*Ficus carica*) (Hemmatzadeh, Fatemi, & Amini, 2003).

2.16.4 Papilomatosis bovina y sistema inmune

La infección de un huésped con un virus puede resultar en el desarrollo de una infección aguda, seguida de una recuperación o no y la eliminación completa del virus del huésped (Maglennon & Doorbar, 2012). La formación de tumores ocurre en ausencia de cualquier indicación clínica de infección y es posible que el virus este latente en los animales (Campo et al., 1994).

Estudios inmunohistoquímicos utilizando anticuerpos contra Ki-67 y antígeno PCNA (del inglés, *proliferating cell nuclear antigen*) han sido una importante herramienta para evaluar la proliferación celular in situ, dichos marcadores de proliferación han sido ampliamente utilizados en la clasificación de tumores (Wrobel, Bickel, & Kujat, 1996). Özsoy, Özyildiz y Güzel (2011) demostraron que anticuerpos de PCNA y Ki-67 son marcadores confiables para la detección de proliferación celular en el caso de VPB.

Los animales que presentaron PB son susceptibles a una reaparición si se encuentra comprometido el sistema inmune (Campo et al., 1994). Las hembras son más susceptibles al contagio y la persistencia de PB (Özsoy et al., 2011; Salib & Farghali, 2011).

2.17 Literatura citada

Abu-Samra, M. T., Aziz, M. A., & Homeida, A. M. (1982). Clinical observations on bovine papillomatosis (Warts). *British Veterinary Journal*, 138(2), 138-144.

Alpert, P. T. (2017). The role of vitamins and minerals on the immune system. *Home Health Care management & Practice*, 29(3), 199-202.

Ammerman, C. B., Baker, D. H., & Lewis, A. J. (1995). *Bioavailability of Nutrients for Animals: Amino Acids, Minerals and Vitamins*. California, USA: Academic Press.

- Arslan, H. H., Tarhan, D., Cenesiz, S., Alkan, F. A., Ozcan, U., Arslan, E. T., Barutcu, U. B., & Or, M. E. (2018). Evaluation of trace element levels and antioxidant metabolism in cattle with cutaneous papillomatosis. *Acta Scientiae Veterinariae*, 46(1551), 1-5.
- Arthington, J. D. (2006). Trace mineral nutrition and immune competence in cattle. *Florida Ruminant Nutrition Symposium*. Symposium held in Best Western Gateway Grand, Gainesville, Florida, USA.
- Avki, S., Turutoglu, H., Simsek, A., & Unsal, A. (2004). Clinical and immunological effects of Newcastle disease virus vaccine on bovine papillomatosis. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 98(1-2), 9-16.
- Bao, Y. M., Choct, M., Iji, P. A., & Bruerton, K. (2010). Trace mineral interactions in broiler chicken diets. *British Poultry Science*, 51(1), 109-117.
- Borges, A. S., Amorim, R. M., Kuchembuck, M. R. G., Araújo, R. S., Silva, S. B., Silva, H. F., Benesi, F. J., Mirandola, R., & Morgano, M. (2005). Correlação entre a atividade sérica da ceruloplasmina e os teores sérico e hepático de cobre em novilhas Nelore. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 57(2), 150-155.
- Börkücü, M. K., Atalay, O., Kibar, M., Çam, Y., & Atasever, A. (2007). Ivermectin is an effective treatment for bovine cutaneous papillomatosis. *Research in Veterinary Science*, 83(3), 360–363.
- Borzacchiello, G., & Roperto, F. (2008). Bovine papillomaviruses, papilloma, and cancer in cattle. *Veterinary Research*, 39(45), 1-19.
- Boyne, R., & Arthur, J. R. (1986). Effects of molybdenum on iron induced copper deficiency on the viability and function of neutrophils from cattle. *Research in Veterinary Science*, 41(3), 417-419.
- Campo, M. (1995). Infection by bovine papillomavirus and prospects for vaccination. *Trends in Microbiology*, 3(3), 92-97.

- Campo, M. S., Jarret, W. F. H., O'Neil, W., & Barron, R. J. (1994). Latent papillomavirus infection in cattle. *Research in Veterinary Science*, 56(2), 151-157.
- Campuzano, M. G. (2011). Pica: el síntoma olvidado. *Medicina & Laboratorio*, 17(11), 533-552.
- Cantu, C. A. 2014. Estudio epidemiológico del virus de papiloma bovino, caracterización y alternativas de producción de una vacuna multivalente en Tamaulipas. *Sistema de Información de Fundaciones Produce*. Recuperado de <http://www.producetamaulipas.net/protocolos/2013/4.-Estudio-Produccion-Vacuna.%20Antonio%20Cantu%20Covarrubias.pdf>
- Cardona, A. J., Montes, V. D. y Martínez, M. M. (2017). Diagnóstico de alotrofia en bovinos del departamento de Sucre Colombia. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 9(2),141-146.
- Carroll, J. A., & Forsberg N. E. (2007). Influence of stress and nutrition on cattle immunity. *Veterinary Clinics*, 23(1), 105-149.
- Catroxo, M. H. B, Martins, A. M. C. R. P. F., Petrella, S., Souza, F., & Nastari, B. D. B. (2013). Ultrastructural study of bovine papillomavirus during outbreaks. *International Journal of Morphology*, 31(2), 777-784.
- Cerone, S., Sansinanea, A., Streitenberger, S., García, C., & Auza, N. (2000). Bovine monocyte-derived macrophage function in induced copper deficiency. *General Physiology Biophysics*, 19(1), 49-58.
- Ciria, C. J., Villanueva, M. R., & Ciria, G. J. (2005). Avances en nutrición mineral en el ganado bovino. *IX Seminario de Pastos y Forrajes*. Simposio llevado a cabo en Valladolid, España.
- Close, W. H. (2003). Trace mineral nutrition of pigs revisited: meeting production and environmental objectives. *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia*, 14, 133-123.

- Connie, K. L. (2005). Role of trace minerals in animal production. *Nutrition Conference sponsored by Department of Animal Science*. Tennessee, USA.
- Corah, L. (1996). Trace mineral requirements of grazing cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 59, 61-70.
- De la Lanza, E. G., & Gómez, A. S. (1999). Fisicoquímica del agua y cosecha de fitoplancton en una laguna costera tropical. *Ciencia Ergo Sum*, 6, 147-153.
- De Villiers, E., Fauquet, C., Broker, T. R., Bernard, H., & zur Hausen, H. (2004). Classification of papillomaviruses. *Virology*, 324(1), 17-27.
- Firyal, S. (2007). Pica (Depraved Appetite; Allotrophagia) in domestic animals and man. *Pakistan Veterinary Journal*, 27(4), 208-210.
- Franco, d. L. A., Rodríguez, D. V., Machado, S. M. A., Guimarães, F. L., Soares, F. M. C., Elias, R. R., de Moura, M. I., Karine, S. L., & Jorge, D. P. H. (2007). Efecto del etilenodinitrilo tetracetato de calcio y cobre y del lactobionato de cobre parenteral en el tratamiento de la papilomatosis cutánea bovina. *Técnica Pecuaria en México*, 45(3), 289 – 297.
- Galyean, M. L., Perino, L. J., & Duff, G. C. (1999). Interaction of cattle health/immunity and nutrition. *Journal of Animal Science*, 77(5), 1120-1134.
- Gengelbach, G. P., Ward, J. D., Spears, J. W., & Brown, T. T. (1997). Effects of copper deficiency and copper coupled with high dietary iron or molybdenum on phagocytic cell function and response of calves to a respiratory disease challenge. *Journal of Animal Science*, 75, 1112-1118.
- Georgievskii, V. I., Annenkov, B. N., & Samokhin, V. T. (1982). Mineral Nutrition of Animals. UK: Butterworths.
- Gharibzahedi, S. M. T., & Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 119-132.

- Greene, L. W. (1999). Designing mineral supplementation of forage programs for beef cattle. *American Society of Animal Science*, 1-9.
- Greene, L. W. (2000). Designing mineral supplementation of forage programs for beef cattle. *Journal of Animal Science*, 77(Suppl. E), 1-9.
- Hall, J. O. (2006). Appropriate methods of diagnosing mineral deficiencies in cattle. *Dairy Nutrition Conference*. Utah, USA.
- Hemmatzadeh, F., Fatemi, A., & Amini, F. (2003). Therapeutic effects of fig tree latex on bovine papillomatosis. *Journal of Veterinary Medicine Series B*, 50(10), 473-476.
- Henry, P. R., & Miles, R. D. (2000). Interactions among the trace minerals, *Ciencia Animal Brasileira*, 1(2), 95-105.
- Herd, T. H., & Hoff, B. (2011). The use of blood analysis to evaluate trace mineral status in ruminant livestock. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 27(2), 255-283.
- Herd, T. H., Rumbelha, W., & Braselton, E. W. (2000). The use of blood analyses to evaluate mineral status in livestock. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 16(3), 423-444.
- Huerta, B. M. (2010). Alimentación y suplementación mineral. *1er. Simposium de Salud y Producción de Bovinos de Carne en la Zona Norte-Centro de México*. Simposio llevado a cabo en Aguascalientes, México.
- Huerta, B. M. (2016). Efecto de los minerales con los parámetros productivos y reproductivos de ovinos. *8 Congreso internacional del borrego y la cabra*. Simposio llevado a cabo en Hidalgo, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2007). *El Ganado Bovino en Tamaulipas, Censo agropecuario 2007*, México.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2009). *Prontuario de información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. México.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). (2016). PCR para la detección del papilomavirus bovino. México.
- Jaramillo, S., Alonso, V. N., Felipe, P. A., Beatriz, G. A., Tabares, P., & Ceballos, A. (2005). Actividad sanguínea de superóxido dismutasa y glutatión peroxidasa en novillas a pastoreo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(11), 1115-1121.
- Jelínek, F., & Tachezy, R. (2005). Cutaneous papillomatosis in cattle. *Journal of Comparative Pathology*, 132(1), 70-81.
- Judson, G. J., & McFarlane, J. D. (1998). Mineral disorders in grazing livestock and the usefulness of soil and plant analysis in the assessment of these disorders. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38(7), 707-723.
- Kincaid, R. L. (1999). Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. *Journal of Animal Science* 77(Suppl. E), 1-10.
- Kincaid, R. L., & Cronrath, J. D. (1983). Amounts and distribution of minerals in Washington forages. *Journal of Dairy Science*, 66(4), 821-824.
- Littledike, E. T., & Goff, J. (1987). Interactions of calcium, phosphorus, magnesium, and vitamin D that influence their status in domestic meat animals. *Journal of Animal Science*, 65, 1727-1743.
- López, A. M. (2012). Trace minerals and livestock: Not too much not too Little. *International Scholarly Research Network*. Lugo, España.
- López, A. M., Benedito, L. J., Miranda, M., Castillo, C., Hernández, J., & Shore, R. F. (2000). Arsenic, cadmium, lead, copper, and zinc in cattle from Galicia, NW Spain. *The Science of the Total Environment*, 246(23), 237-248.

- López, A. M., Prieto, M. F., Miranda, M., Castillo, C., Hernández, J., & Benedito, J. L. (2004). Interactions between toxic (As, Cd, Hg and Pb) and nutritional essential (Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn) elements in the tissues of cattle from NW Spain. *BioMetals*, 17(4), 389-397.
- Maas, J. (2007). Diagnostic considerations for evaluating nutritional problems in cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 23, 527-539.
- Maglennon, G. A., & Doorbar, J. (2012). The biology of papillomavirus latency. *The Open Virology Journal*, 2(4), 190-197.
- Martens, H., Leonhard-Marek, S., Rontgen, M., & Stumpff, F. (2018). Magnesium homeostasis in cattle: absorption and excretion. *Nutrition Research Reviews*, 31(01), 114-130.
- McDowell, L. R. (1996). Feeding minerals to cattle on pasture. *Animal Feed Science and Technology*, 60, 247-271.
- McDowell, L. R., & Arthington, J. D. (2005). Minerals for grazing ruminants in tropical regions. 4th Ed. Florida, USA: Mosaic.
- Miller, J. K., Brzezinska-Slebodzinska, E., & Madsen, F. C. (1993). Oxidative stress, antioxidants, and animal function. *Journal of Dairy Science*, 76(9), 2812-2823.
- Miller, W. J. (1970). Zinc nutrition of cattle: A review. *Journal of Dairy Science*, 53(8), 1123-1135.
- Mills, C. F. (1987). Biochemical and physiological indicators of mineral status in animals: copper, cobalt, and zinc. *Journal of Animal Science*, 65(1), 1702-1711.
- Nicholls, P. K., & Stanley, M. A. (2000). The immunology of animal papillomaviruses. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 73(2), 101-127.

- NRC (National Research Council). (2005). Mineral Tolerance of animals. 2nd Ed. Washington, USA: Academies Press.
- NRC (National Research Council). (2016). Nutrient Requirements of Beef Cattle. 8th Ed. Washington, USA: Academies press.
- O'Dell, B. L., & Sunde, R. A. (1997). Mineral-ion interaction as assessed by bioavailability and ion channel function. *Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements*. New York, USA.
- Özsoy, Ş. Y., Özyildiz, Z., & Güzel, M. (2011). Clinical, pathological and immunohistochemical findings of bovine cutaneous papillomatosis. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 58, 161-165.
- Peña, R. F. I., Marín, S. A., Camacho, E. A., Avello, O. E., Arce, G. M. A. y Pérez, G. C. G. (2005). Thuja (200 ch, 1000 ch) en el tratamiento de la papilomatosis bovina. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 6(6), 1-6.
- Puls, R. (1988). Mineral levels in Animal health diagnostic data. Sherpa International. Canada.
- RANM (Real Academia Nacional de Medicina). (2012). Diccionario de términos médicos. Editorial Médica Panamericana, Zaragoza: España.
- Reid, R. L., & Horvath, D. J. (1980). Soil chemistry and mineral problems in farm livestock. *Animal Feed Science and Technology*, 5(2), 95-67.
- Rodríguez, V. R. I., Guillermo, C. L., Gutiérrez, R. E. J., Castro, C. M. J., Chi, M. M. O., Tzab, N. R., & Castro, M. J. M. (2015). Papilomatosis bovina en el trópico mexicano: presentación clínica y control. *Bioagrociencias*, 8(1), 45-52.
- Russell, L. (2001). The importance of patients' nutritional status in wound healing. *British Journal of Nursing*, 10(6) 42-49.
- Sales, Z. F. (2017). Importancia de los minerales para la alimentación de bovinos en Magallanes. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias*, 77, 1-4.

- Salib, F. A., & Farghali, H. A. (2011). Clinical, epidemiological, and therapeutic studies on bovine papillomatosis in Northern Oases, Egypt in 2008. *Veterinary World*, 4(2), 53 – 59.
- Scaletti, R. W., Trammell, D. S., Smith, B. A., & Harmon, R. J. (2003). Role of dietary copper in enhancing resistance to *Escherichia coli* mastitis. *Journal of Dairy Science*, 86(4), 1240-1249.
- Sharma, P. K., Joshi, C., & Kaur, H. (2006). Status of serum mineral and biochemical parameters in cattle of organized farms and unorganized farms of western Uttar Pradesh. *Asian Journal of Animal and Veterinary*, 1(1), 33-41.
- Sherman, A. R. (1992). Zinc, copper, and iron nutriture and immunity. *The Journal of Nutrition*, 122(3), 604-609.
- SIACON (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta) 2018. Producción ganadera En: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2019). Bovino para carne, población ganadera 2010 – 2019. En: <https://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera-136762>
- Siegsmund, M., Wayss, K., & Amtmann, E. (1991). Activation of latent papillomavirus genomes by chronic mechanical irritation. *Journal of General Virology*, 72(11), 2787-2789.
- Silva, M. A. R., Pontes, N. E., Da Silva, G. M. K., Guerra, P. M. M., & Freitas C. A. (2011). Detection of bovine papillomavirus type 2 DNA in commercial frozen semen of bulls (*Bos Taurus*). *Animal Reproduction Science*, 129(3-4), 146-151.
- 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.

- Spears, J. W. (1994). Minerals in forage. En Fahey, C. G. (Ed.) *Forage Quality, Evaluation and Utilization* (pp. 281-317). Nebraska. USA.
- Spears, J. W. (1995). Improving cattle health through trace mineral supplementation. Symposium of Range Beef Cow. Nebraska, USA.
- Spears, J. W. (1996). Organic trace minerals in ruminant nutrition. *Animal Feed Science Technology*, 58, 151-163.
- Spears, J. W. (2000). Micronutrients and immune function in cattle. *Proceedings of the Nutrition Society*, 59, 587-594.
- Spears, J. W. (2003). Trace Minerals Bioavailability in Ruminants. *The Journal of Nutrition*, 133(5), 1506-1509.
- Sreeparvathy, M., Harish, C., & Anuraj, K. S. (2011). Autogenous vaccination as a treatment method for bovine papillomatosis. *Journal of Livestock Science*, 2, 38-40.
- Suttle, N. F. (1975). Trace elements interactions in animals. In D. J. D. Nicholas and A. R. Egan. *Trace Elements in Soil Plant Animal Systems*. New York, USA: Academic Press.
- Suttle, N. F. (1991). The interactions between copper, molybdenum and sulphur in ruminant nutrition. *Annual Review of Nutrition*, 11(1), 112-140.
- Suttle, N. F. (2010). *Mineral Nutrition of Livestock*. USA: CABI.
- Suttle, N. F., & Jones, D. G. (1989). Recent developments in trace element metabolism and function: trace elements, disease resistance, and immune responsiveness in ruminants. *The Journal of Nutrition*. 119(7), 105-116.
- Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la tierra*. Madrid, España: Pearson Educación S. A.
- Thomson, A. B. R., Valberg, L. S., & Sinclair D. G. (1971). Competitive nature of the intestinal transport mechanism for cobalt and iron in the rat. *The Journal of Clinical Investigation*, 50, 2384-2394.

- Tolonen, M. (1990). Vitamins and Minerals in Health and Nutrition. Cambridge, England: Woodhead.
- Underwood, W. J., Blauwiel, R., Delano, M. L., Gillesby, R., Mischler, S. A., & Schoell, A. (2015). Biology and Diseases of ruminants (Sheep, Goats and Cattle). In: J. G. Fox, G. M. Otto, M. T. Whary, L. C. Anderson, & K. R. Pritchett-Corning (Eds). P. 623-694. Laboratory Animal Medicine. USA.
- Valencia, H, C, E, Payan, M. J., Appel U. A. V., & Salazar, A. H. (2013). Valoración de la eficiencia del cobre contra la papilomatosis bovina en el departamento de Cauca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario Industrial*, 11(1), 218-224.
- Vázquez, D. R., Escudero, D. C., Doménech, G. A., Gómez-Lucía, D. E. y Benítez, R. L. (2012). Papilomatosis bovina: epidemiología y diversidad de papilomavirus bovinos. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 6(2), 19-57.
- Venkatesan, M., Tamilmahan, P., Selvaraj, P., Sivakumar, M., & Ponnusamy, P. (2018). Udder papillomatosis associated interferences for machine milking in a rural dairy farm. *International Journal of Livestock Research*, 8(7), 238-243.
- Ward, M., & Lardy, G. (2005). Beef cattle mineral nutrition. Extension Service, North Dakota AS, USA: NDSU Extension Service.
- Weiss, W. P., & Spears, J. W. (2008). Vitamin and trace mineral effects on immune function of ruminants. In: K. Sejrsen, T. Hevelplund, & M. O. Nielsen (Eds.). Ruminant Physiology. *Wageningen Academic Publishers*, 473-487.
- Wrobel, K. H., Bickel, D., & Kujat, R. (1996). Immunohistochemical study of seminiferous epithelium in adult bovine testis using monoclonal antibodies against Ki-67 protein and proliferating cell nuclear antigen (PCNA). *Cell and Tissue Research*, 283(2), 191-201.

Yasothai, R. (2014). Importance of mineral on reproduction in dairy cattle.
International Journal of Science, Environment and Technology, 3(6), 2051-2057.

3. DIAGNÓSTICO MINERAL DE BOVINOS CON INCIDENCIA DE PAPILOMATOSIS

3.1 Resumen

Los minerales son uno de los principales factores nutricionales limitantes en la ganadería, ya que están asociados con la producción, reproducción e inmunidad de los animales. El objetivo de este estudio fue determinar el perfil mineral de bovinos con incidencia de papilomatosis en tres ranchos del municipio de Hidalgo, Tamaulipas, México. Se determinaron las concentraciones de cobre, hierro, zinc, calcio, magnesio, sodio y fósforo en agua, forraje y suero sanguíneo al término de la temporada de lluvias. La concentración de los minerales se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica excepto para fósforo, donde se utilizó espectrofotometría UV/visible. El modelo estadístico para las concentraciones de minerales en agua incluyó el efecto de fuente de agua. El modelo para las concentraciones de minerales en el forraje incluyó el efecto del rancho. El modelo para las concentraciones de minerales en suero sanguíneo consideró los efectos fijos de rancho, verrugas, interacción rancho*verrugas y sexo de los animales. Sólo el agua que los animales bebían del arroyo tuvo altas concentraciones de potasio. El forraje del rancho 2 no satisface los requerimientos de calcio y magnesio de los animales y el forraje de los ranchos 2 y 3 no satisface los requerimientos de sodio, fósforo y cobre. Se concluye que existen deficiencias de magnesio, fósforo y cobre en todos los animales, y altas concentraciones de sodio. Existe deficiencia de zinc en animales sin verrugas, pero no en aquellos con ellas. Los animales con presencia de verrugas tuvieron una concentración de zinc mayor a los animales que no presentaban verrugas.

Palabras clave: minerales, papilomatosis, zinc

MINERAL DIAGNOSIS OF BOVINE WITH PAPILLOMATOSIS

3.2 Abstract

Minerals are one of the most limiting nutritional factors in livestock since they are directly associated with reproduction, growth, and immunity. The objective of this study was to determine the mineral profile of cattle with papillomatosis in three ranches in the municipality in Hidalgo, Tamaulipas, Mexico. The concentrations of copper, iron, zinc, calcium, magnesium, sodium, and phosphorus in water, forage, and blood serum were measured at the end of the rainy season. All minerals were determined by atomic absorption spectrophotometry except phosphorus, where UV/visible spectrophotometry was used. The statistical model for mineral concentrations of water included the fixed effect of the source of water. The model for forage mineral concentrations included the fixed effect of the ranch. The model for blood serum considered the effect of ranch, warts, interaction ranch*warts, and the sex of the animal. Only the water that the animals drank from the stream contained high concentrations of potassium. The ranch 2 forage was below the animals' calcium and magnesium requirements, and the forage of ranches 2 and 3 was below the requirements for sodium, phosphorus, and copper. It is concluded that there are magnesium, phosphorus, and copper deficiencies in animals with and without warts, zinc deficiency in animals without warts, high sodium concentrations in animals with and without warts. The animals with warts had a higher zinc concentration than the animals that did not present.

Key words: minerals, papillomatosis, zinc.

3.3 Introducción

En Tamaulipas la ganadería de bovinos en condiciones de pastoreo es una actividad ampliamente difundida en el medio rural, el estado ocupa el décimo tercer lugar a nivel nacional (INEGI, 2019). La ganadería esta sostenida principalmente por los recursos forrajeros. Existen aproximadamente 70,000 unidades de producción en más de 5 millones de hectáreas cubiertas por pastos nativos (INEGI 2007).

Los minerales son elementos inorgánicos que entre sus principales funciones destaca la de ser un componente fundamental para los seres vivos (Tarbuck & Lutgens, 2005). Al igual que las vitaminas son micronutrientes, debido a las pequeñas cantidades que el cuerpo requiere (Gharibzahedi & Jafari, 2017). Los minerales deben ser convertidos en su forma fisiológicamente activa para ser biodisponibles (Spears, 1994). La deficiencia o exceso de estos componentes puede dar lugar trastornos y síntomas perjudiciales (Gharibzahedi & Jafari, 2017; Connie, 2005).

El requerimiento mineral varía entre elementos, especie y nivel de producción (Suttle, 2010). La forma química en la que el mineral está presente en la dieta determina la eficiencia de la absorción (McDowell & Arthington, 2005). Ciertas cantidades de minerales son requeridas incluso en animales en mantenimiento (Suttle, 2010). Todos los minerales pueden ser tóxicos cuando se rebasa el nivel máximo tolerable, las toxicidades minerales cada vez son más frecuentes, debido a la contaminación del aire, suelo, agua, alimentos y control de calidad inadecuado (Huerta, 2016).

Existe una compleja interacción entre micronutrientes y sistema inmune (Spears, 2000). Diversos minerales han demostrado tener influencia en la respuesta del sistema inmune (Carroll & Forsberg, 2007; Ciria et al., 2005; Galyean, Perino, & Duff, 1999; Spears, 1995). Los minerales modulan la respuesta del sistema inmune principalmente por su rol critico en la actividad enzimática (Carroll & Forsberg, 2007). Las alteraciones en la función inmune en respuesta a una

deficiencia o una suplementación de minerales dependen de la función específica del nutriente (Weiss & Spears, 2008).

La papilomatosis bovina (PB) es una enfermedad viral infectocontagiosa (Jelínek & Tachezy, 2005), que se caracteriza por la presencia de papilomas en la piel (Abu-Samra, Aziz, & Homeida, 1982), los cuales son tumores benignos de naturaleza fibroepitelial, generalmente nombradas verrugas, y pueden estar presentes en cualquier parte del cuerpo (Venkatesan, Tamilmahan, Selvaraj, Sivakumar, & Ponnusamy, 2018), aparecen con mayor frecuencia en la superficie de la cabeza, cuello, tetas, ubre, mucosa genital externa y la parte superior del tracto gastrointestinal (Arslan et al., 2018). La presencia de esta enfermedad en los hatos ganaderos causa importantes pérdidas económicas, además, animales afectados presentan dificultad en la comercialización, debido al aspecto desagradable y el deterioro de las pieles para ser utilizadas en la industria (Valencia, Payan, Appel, & Salazar, 2013).

El método más común para evaluar el estado nutricional del ganado es analizar el alimento y compararlo con los requisitos de la literatura (Maas, 2007). El medio más específico para diagnosticar una deficiencia o toxicidad de minerales es mediante pruebas en animales (Hall, 2006). El muestreo sanguíneo es una buena alternativa para determinar el estado mineral de los animales (Herbt & Hoff, 2011), por tales motivos el objetivo de este estudio fue determinar el perfil mineral de bovinos en tres ranchos en el municipio de Hidalgo, estado de Tamaulipas, que muestran un cuadro clínico persistente de PB.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Localización del área del estudio

La investigación se realizó en tres ranchos del municipio de Hidalgo estado de Tamaulipas, el clima de la región es semicálido subhúmedo con lluvias en verano, con humedad media de 43 % y con una precipitación anual entre 600-1100 mm, la temperatura oscila entre 14 y 16 °C. Los suelos predominantes en el municipio son leptosol (32.3) y calcisol (23 %) (INEGI, 2009).

Se tomaron muestras de sangre en tubos con anticoagulante, vía punción coxígea a 15 animales de diferente sexo y edad que presentaban signos evidentes externos de papilomatosis (verrugas) y a 15 animales sanos que no presentaban signos externos de papilomatosis (Figura 6).

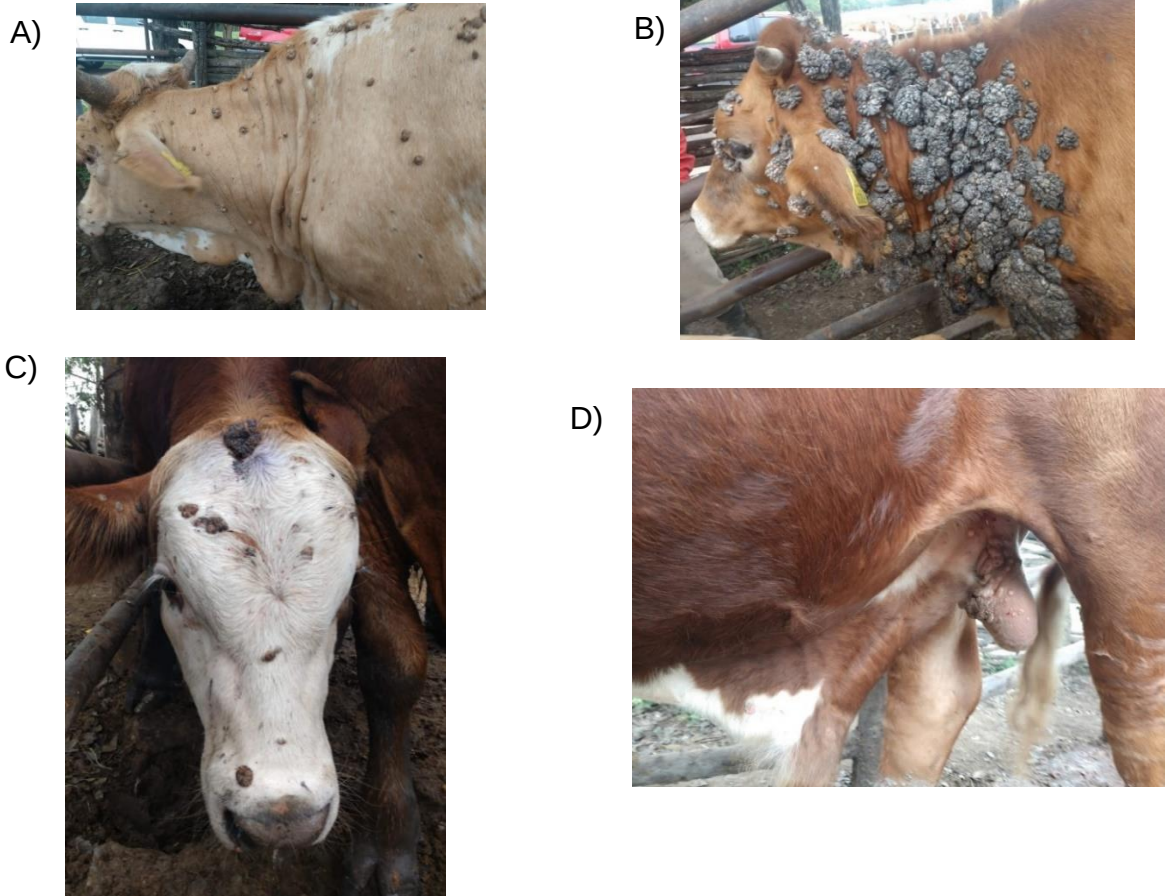


Figura 6. Animales con presencia de verrugas. A) Vaca con incidencia moderada de verrugas en cabeza, cuello y lomo. B) Vaca con presencia severa de papilomas en cabeza y cuello principalmente, las llagas que genera la incidencia de papilomatosis severa presentan proceso infeccioso. C) Becerro con una baja incidencia de verrugas en cabeza y cuello. D) Moderada incidencia de verrugas en escroto.



Figura 7. Predio ubicado en el municipio de Hidalgo, Tamaulipas. Debido a las condiciones el manejo se realizó en campo inmovilizando algunos animales de manera manual.

3.4.2 Colecta y procesamiento de muestras

Los predios donde se colectaron las muestras son un gremio ejidal perteneciente al municipio de Hidalgo, Tamaulipas, y son proveedores de un acopiador de ganado local.

3.4.3 Muestras de agua

El agua se colectó en botellas de plástico convencionales previamente lavadas y desmineralizadas (500 mL aproximadamente). Se identificó cada una al momento de tomar la muestra directamente de tres fuentes, del bebedero del centro de acopio y las otras del arroyo donde el ganado acostumbra a beber; dichas muestras se mantuvieron congeladas hasta el momento del análisis el cual se realizó de acuerdo con el método 3005A de la Environmental Protection Agency (EPA, 1992).



Figura 8. Zonas comunes de consumo de agua. A) Becerro bebiendo agua del abrevadero común. B) Becerros bebiendo agua del arroyo local.

3.4.4 Muestras de forraje

Las muestras de forraje fueron recolectadas mediante la técnica “Hand Plucking”, la cual simula la selección del forraje que el animal consume habitualmente, en cinco zonas de cada potrero, cuatro cercanas a la periferia del predio y una en el centro, las muestras fueron manejadas de acuerdo con la metodología propuesta por Fick et al. (1979). Se tomó una muestra del alimento de iniciación y de finalización para analizar su concentración de minerales.

Las muestras de forraje se almacenaron en bolsas de papel, para ser introducidas en una estufa de aire forzado a 60°C durante 48 h para posteriormente disminuir el tamaño de partícula en un molino tipo Wiley con una criba de acero inoxidable del calibre 1 (diámetro de 1 mm). De cada muestra molida se tomó aproximadamente 3 g para incinerarse a 500 °C durante 8 horas, Las cenizas fueron solubilizadas y digeridas como lo indica el método de Fick et al. (1979).

3.4.5 Muestras de suero sanguíneo

El muestreo se realizó en un centro de acopio local y dos potreros de ganaderos de la región. La sangre se colectó en tubos al vacío con EDTA mediante punción coccígea o yugular, un aproximado de 15 mL por animal. Las muestras se centrifugaron a 3,000 rpm durante 15 min para separar el suero el cual se extrajo para ser colocado en tubos de ensayo, los cuales se transportaron en una hielera con refrigerantes y eventualmente se congeló a -20°C hasta su análisis en laboratorio.

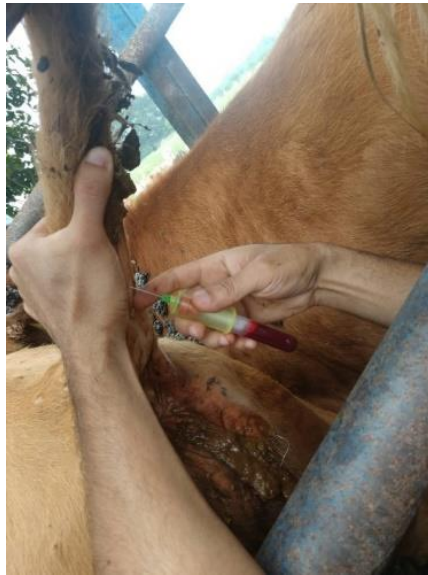


Figura 9. Toma de muestra sanguínea vía coccígea.



Figura 10. Corral de manejo que se utilizó para obtener las muestras de sangre de los animales que se encontraban en el centro de acopio. A) Toro con diarrea líquida y purulenta B) Toretas saludables sin evidencia de verrugas.

3.5 Análisis de laboratorio

Las concentraciones de cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) se midieron mediante espectrofotometría de absorción atómica siguiendo la metodología descrita por Fick et al. (1979) usando un espectrofotómetro de absorción atómica (AAnalyst® 700, PerkinElmer). La concentración de fósforo se determinó por la metodología de colorimetría mediante un espectrofotómetro de luz ultravioleta visible (UV/VIS) modelo Lambda 2 de PerkinElmer® usando la metodología descrita por Fick et al. (1979).

3.6 Análisis estadístico

Las variables respuesta analizadas para cada componente del muestreo fueron las concentraciones de calcio, magnesio, sodio, potasio, fósforo, cobre, zinc y hierro del agua, forraje y suero sanguíneo.

El modelo estadístico utilizado para el análisis de agua fue:

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

donde: Y_{ij} fue la concentración de cada mineral en la i -ésima fuente, μ fue la media general, F_i fue el efecto fijo de la i -ésima fuente (arroyo y bebedero) y e_{ij} es el efecto aleatorio asociado con la j -ésima repetición en la i -ésima fuente. Se asumió que el error siguió una distribución normal con media cero y varianza σ^2_ϵ .

El modelo estadístico utilizado para el análisis de forraje fue:

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

donde: Y_{ij} fue la concentración de cada mineral en el i -ésimo rancho, μ fue la media general, R_i fue el efecto fijo del i -ésimo rancho (rancho 1, 2 y 3) y e_{ij} es el efecto aleatorio asociado con la j -ésima repetición en el i -ésimo rancho. Se asumió que el error siguió una distribución normal con media cero y varianza σ^2_ϵ .

El modelo estadístico utilizado para el análisis de suero sanguíneo fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + V_j + (RV)_{ij} + S_k + e_{ijkl}$$

donde: Y_{ijkl} fue la concentración de cada mineral en el i -ésimo rancho del j -ésimo tipo de animal y del k -ésimo sexo, μ fue la media general, R_i fue el efecto fijo del i -ésimo rancho, V_j fue el efecto fijo del j -ésimo tipo de animal (con y sin verrugas), $(RV)_{ij}$ fue el efecto de la interacción rancho por verrugas, S_k fue el efecto del k -ésimo sexo (macho y hembra) y e_{ijkl} es el efecto aleatorio asociado con la l -ésima repetición en el k -ésimo sexo del animal, j -ésimo tipo de animal del i -ésimo rancho. Se asumió que el error siguió una distribución normal con media cero y varianza σ^2_ϵ .

3.7. Resultados y discusión

3.7.1 Minerales en agua

Las concentraciones de calcio, sodio, potasio, fósforo y hierro fueron similares ($p>0.05$) en el agua del bebedero y en la del arroyo, mientras que el magnesio y cobre fueron mayores ($p<0.05$) en el agua del bebedero que en el agua del arroyo. Solo el potasio en el agua del arroyo se encuentra por arriba de la concentración máxima tolerable por el ganado de acuerdo con Puls (1988). El

zinc no fue detectado por el equipo, probablemente debido a que su concentración es baja (Cuadro 7).

Cuadro 7. Concentración de minerales en agua de bebida y niveles máximos tolerables (mg L⁻¹) para ganado en Hidalgo, Tamaulipas.

Mineral	Fuente de agua		Máximo tolerable ¹
	Bebedero	Arroyo	
	n = 5	n = 10	
Calcio	69.14 ^a	43.39 ^a	1000
Magnesio	9.00 ^a	8.20 ^b	1000
Sodio	23.62 ^a	7.43 ^a	800
Potasio	14.84 ^a	34.44 ^a	20
Fósforo	0.50 ^a	0.58 ^a	0.7
Cobre	0.024 ^a	0.017 ^b	1
Zinc	*	*	8
Hierro	0.11 ^a	0.12 ^a	0.40

^{a, b} Medias sin una letra en común en fuente de agua son diferentes ($p < 0.05$).

¹ Nivel máximo tolerable de minerales, adaptado de Puls (1988).

El agua contiene minerales disueltos en concentraciones variables (De la Lanza & Gómez, 1999), una medición realizada en una época del año diferente puede generar resultados distintos. El agua no es la principal fuente de minerales para el ganado (McDowell & Arthington, 2005) y ocasionalmente puede contener algunos elementos en concentraciones tóxicas como las reportadas por Puls (1988). Para el caso del potasio, que es superior al máximo nivel tolerable, no se reportó ningún signo de toxicidad como los mencionados en el NRC (2016).

3.7.2 Minerales en forraje

En el rancho 1, el cual es un centro de acopio de ganado, solo se evaluaron las muestras del alimento de iniciación y finalización, así como el rastrojo molido de maíz que se brinda a los animales, sin compararse con el resto de las muestras

de forraje de los otros ranchos. En los ranchos 2 y 3, donde se pastorea el ganado hasta alcanzar el peso deseado, se colectaron diez muestras de forraje y se compararon las concentraciones de minerales entre ellos. Las concentraciones de calcio, magnesio, potasio y cobre fueron menores ($p<0.05$) en el rancho 2, mientras que la concentración de hierro fue menor ($p<0.05$) en el rancho 3. El calcio y magnesio presentes en los forrajes del rancho 2 no satisfacen los requerimientos mínimos requeridos por el ganado de acuerdo con McDowell y Arthington (2005), mientras que el sodio, fósforo y cobre no satisfacen los requerimientos mínimos requeridos por el ganado en los ranchos 2 y 3. El rastrojo ofrecido en el rancho 1 es deficiente en calcio, magnesio, sodio, fósforo y cobre. El Alimento de iniciación y finalización solo es deficiente en fósforo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Concentración de minerales (mg kg^{-1}) en alimentos de tres ranchos de Hidalgo, Tamaulipas.

Mineral	Rancho 1			Rancho 2 Forrajes	Rancho 3 Forrajes	Concentración mineral mínima requerida en el forraje ¹
	Alimento iniciación	Alimento finalización	Rastrojo molido de maíz			
Calcio	11284	9680	2215	2900 ^b	4413 ^a	3000
Magnesio	4404	2606	903	985 ^b	2179 ^a	2000
Sodio	1006	1807	68	97 ^a	110 ^a	600
Potasio	11697	14923	8754	15101 ^b	20838 ^a	6000-8000
Fósforo	74	73	70	61 ^a	45 ^a	2500
Cobre	18	20	1.6	2.4 ^b	3.9 ^a	10
Zinc	129	121	26	38 ^a	39 ^a	30
Hierro	237	252	223	59 ^a	39 ^b	30

^{a, b} Medias sin una letra en común en concentración de minerales del alimento o forraje son diferentes ($p<0.05$).

¹ Concentración mineral mínima en el forraje requerida por el ganado McDowell & Arthington (2005).

Los forrajes son la principal fuente de minerales para los animales que se encuentran en un sistema de producción extensivo (Reid & Horvath, 1980). Las concentraciones de minerales en los forrajes dependen de diversos factores (McDowell, 1996), a pesar de que se realizó el muestreo en una ubicación geográfica similar se encontraron diferencias en las concentraciones de minerales, diferentes factores como el tipo de suelo, especie de forraje, estado

de maduración, manejo previo o captación del agua del terreno pudieron influir (Reid & Horvath, 1980).

Los forrajes fueron colectados después de la época de lluvias y se encontraban frescos, sin evidencia de marchitez y al momento de la floración, aunque los forrajes generalmente son adecuados en calcio (Spears, 1994) el rastrojo molido de maíz y el forraje del Rancho 2 mostraron concentraciones de calcio por debajo del mínimo requerido por el ganado. Green, Pinchak, y Heitschmid (1987) reportan que el nivel de calcio es superior en tejido vivo que en tejido muerto. Los forrajes de ambos ranchos están compuestos principalmente de gramíneas; sin embargo, las leguminosas son quienes generalmente presentan mayores concentraciones de calcio (Spears, 1994).

El suelo en la región es predominantemente profundo y arcilloso (INEGI, 2007). Barker y Pilbeam (2007) mencionan que suelos que tienden a ser arcillosos generalmente tienen altas concentraciones de magnesio, lo cual es contrastante con lo reportado en el presente estudio pues el rastrojo molido de maíz y el forraje del Rancho 2 muestran niveles de magnesio por debajo del mínimo requerido por el ganado, aunque Green, Pinchak, y Heitschmid (1987) mencionan que el magnesio es superior en tejido vivo. La deficiencia de magnesio es problemática en la temporada de partos debido a la hipomagnesemia o tetania del pasto (Barnes, Varner, Blankenship, Fillinger, & Heineman, 1990).

El sodio se encuentra por debajo de los niveles mínimos requeridos por el ganado en el rastrojo molido de maíz y en los forrajes del Rancho 1 y 2. Los suelos arcillosos generalmente presentan un pH alcalino (Segura, Gutiérrez, Ortiz, & Gómez, 2000). Shabala (2012) menciona que los suelos ácidos, frecuentemente son bajos en iones básicos como el sodio. Los alimentos de iniciación y finalización del rancho 1 presentan concentraciones adecuadas de sodio, probablemente debido a la inclusión de sal común la cual es un excelente vehículo para adición de microminerales; además, los rumiantes tienen una preferencia por los alimentos salados y pueden consumir más de la que requieren (Spears, 1994).

El potasio fue uno de los minerales que supera los niveles mínimos requeridos por el ganado, quizás por la mejor capacidad de las gramíneas (forraje predominante) para la remoción de potasio en comparación con las leguminosas (Vallejos, 1986), además pudo influir el estado joven de los forrajes al momento del muestreo, ya que el nivel de este mineral decrece con la madurez del forraje (Ammerman, Moore, Henry, Miller, & Martin, 1982).

Los alimentos de iniciación, finalización, el rastrojo y los forrajes de los dos ranchos muestran una clara deficiencia en fósforo. Los suelos deficientes en fósforo son ampliamente difundidos y los forrajes producidos en ellos son deficientes en dicho mineral (Spears, 1994). La deficiencia de fósforo en ganado en pastoreo ha sido descrita como la deficiencia más prevalente en el mundo (McDowell, 1992).

El cobre fue deficiente en el rastrojo molido de maíz y los forrajes de los ranchos 1 y 2, pero no en los alimentos de iniciación y finalización, posiblemente por su adición en la ración. Ammerman et al. (1982), Spears (1994) y Kubota (1983) mencionan que la edad del forraje influye en la concentración de cobre, el cual disminuye con la maduración. Regularmente los rumiantes en pastoreo requieren suplementación de cobre (Kubota, 1983). Spears (1994) menciona que en suelos alcalinos el cobre puede disminuir, así como otros minerales, siendo los micro minerales los más afectados. Regularmente las leguminosas tienen mayores concentraciones de cobre que las gramíneas (Kubota, 1983; Spears, 1994).

Solo el rastrojo molido de maíz mostró una concentración de zinc inferior a la mínima requerida por el ganado. Los forrajes de los ranchos 2 y 3 muestran unos niveles de zinc superiores al mínimo requerido por el ganado. Filipovic, Stanic, Kajic, Mandic, y Vasilj (2019) mencionan al zinc como uno de los problemas más difundidos en el mundo de deficiencias de suelos y plantas. El zinc es uno de los microminerales que disminuye conforme a la edad del forraje (Ammerman et al., 1982). Nielsen (2012), en un caso contrario, menciona que suelos altos en fósforo disminuyen la solubilización de zinc, lo cual puede resultar en una deficiencia de zinc en las plantas.

Los forrajes tropicales son altos en hierro (McDowell & Arthington, 2005), posiblemente razón por la cual ningún forraje en ningún rancho muestra niveles inferiores a los mínimos requeridos por el ganado. El hierro es otro de los minerales que decrece con la madurez del forraje (Ammerman et al., 1982). Los alimentos de iniciación y finalización mostraron altas concentraciones de hierro, quizás por la adición de alguna fuente del mineral en la dieta.

3.7.3 Minerales en suero sanguíneo

En el Cuadro 9 se presenta el nivel de significancia de Rancho*Verrugas y su concentración sobre las concentraciones de minerales en suero sanguíneo de bovinos. Las concentraciones de calcio, magnesio, sodio, potasio, fósforo, cobre fueron afectadas por el rancho ($p \leq 0.05$), mientras que las concentraciones de zinc y hierro no. Las concentraciones de calcio y zinc fueron afectadas por las concentraciones de calcio y zinc ($p < 0.05$). La interacción Rancho*Verrugas afectó las concentraciones de calcio, magnesio y sodio ($p < 0.05$).

Cuadro 9. Niveles de significancia de rancho, verrugas y su interacción para las concentraciones de minerales en suero sanguíneo de bovinos de Hidalgo, Tamaulipas.

Variable	Efectos principales		Interacción	Covariable sexo
	Rancho	Verrugas	Rancho*Verrugas	
Calcio	0.05	0.03	0.03	0.69
Magnesio	<0.01	0.20	0.02	0.35
Sodio	0.02	0.25	0.006	0.62
Potasio	<0.01	0.33	0.62	0.92
Fósforo	<0.01	0.46	0.54	0.58
Cobre	<0.01	0.57	0.88	0.51
Zinc	0.76	0.03	0.849	0.22
Hierro	0.88	0.29	0.94	0.89

Las concentraciones de calcio, zinc y hierro sanguíneo fueron similares en el ganado de los tres ranchos ($p>0.05$).

La concentración de magnesio en suero sanguíneo de animales en el rancho 1 fue menor ($p<0.05$) que en los ranchos 2 y 3. Las concentraciones de sodio y potasio en suero sanguíneo de los animales en los ranchos 1 y 2 fueron menores ($p<0.05$) que en el rancho 3. La concentración de fósforo en suero sanguíneo de los animales en el rancho 3 fue menor ($p<0.05$) que en los ranchos 1 y 2. Las concentraciones de cobre en suero sanguíneo de los animales en los ranchos 2 y 3 fueron menores ($p<0.05$) que en el rancho 1.

Los animales del rancho 1 muestran deficiencias en concentraciones de magnesio, fósforo y cobre. Los animales del rancho 2 muestran deficiencias de fósforo, cobre y zinc. Los animales del rancho 3 muestran deficiencias de calcio, fósforo, cobre y zinc. Los animales de todos los ranchos muestran concentraciones elevadas de sodio y solo los animales del rancho 3 muestran concentraciones elevadas de potasio en suero sanguíneo (Cuadro 10).

Cuadro 10. Concentración de minerales (mg kg^{-1}) en suero sanguíneo del ganado en ranchos de Hidalgo, Tamaulipas.

Mineral	Rancho 1	Rancho 2	Rancho 3	ESM ^z	Intervalo adecuado ²
Calcio	87 ^a	87 ^a	73 ^a	5.07	80 – 110
Magnesio	15.9 ^b	19.7 ^a	19.5 ^a	1.04	18 – 35
Sodio	4346 ^b	4937 ^b	6050 ^a	335	3105 – 3450
Potasio	175 ^b	168 ^b	226 ^a	7.42	160 - 200
Fósforo	36 ^a	31 ^a	23 ^b	2.39	45 – 60
Cobre	0.73 ^a	0.19 ^b	0.33 ^b	0.06	0.8 – 1.5
Zinc	0.82 ^a	0.76 ^a	0.74 ^a	0.08	0.8 – 1.4
Hierro	2.19 ^a	2.03 ^a	2.04 ^a	0.25	1.3 – 2.5

^{a, b} Medias sin una letra en común en suero sanguíneo del ganado de los tres ranchos son diferentes ($p<0.05$).

^z ESM = Error estándar de la media.

² Intervalo de concentración adecuado en suero sanguíneo de ganado bovino (Puls, 1988).

Las concentraciones de calcio, magnesio, potasio, fósforo, cobre y hierro en suero sanguíneo fueron similares ($p>0.05$) en los animales con y sin verrugas. La concentración de sodio fue superior ($p<0.05$) en los animales sin verrugas. La concentración de zinc en animales con verrugas fue superior ($p<0.05$). Las concentraciones de calcio, potasio y hierro se encuentran dentro del rango adecuado para los animales con y sin verrugas. El zinc de los animales con verrugas se encuentra dentro del rango adecuado. El magnesio, fósforo y cobre fueron deficientes en el caso de animales con y sin verrugas (Cuadro 11).

Cuadro 11. Concentración mineral en suero sanguíneo (mg L^{-1}) de bovinos con y sin verrugas en tres ranchos de Hidalgo, Tamaulipas.

Mineral	Bovinos		ESM ^y	Intervalo adecuado ²
	Sin verrugas	Con verrugas		
Calcio	80 ^a	89 ^a	3.74	80 – 110
Magnesio	17.1 ^a	17.7 ^a	0.77	18 – 35
Sodio	5244 ^a	4292 ^b	246	3105 – 3450
Potasio	178 ^a	186 ^a	5.47	160 - 200
Fósforo	31 ^a	34 ^a	1.76	45 – 60
Cobre	0.49 ^a	0.58 ^a	0.05	0.8 – 1.5
Zinc	0.67 ^b	0.93 ^a	0.06	0.8 – 1.4
Hierro	2.0 ^a	2.3 ^a	0.18	1.3 – 2.5

^{a, b} Medias sin una letra en común en suero sanguíneo del ganado con o sin verrugas son diferentes ($p<0.05$).

^y ESM = Error estándar de la media

² Intervalo de concentración adecuado en suero sanguíneo de ganado bovino (Puls, 1988).

3.7.4 Efecto de las interacciones de Rancho*Verrugas

La interacción Rancho*Verrugas fue significativa para concentración de calcio. En el rancho 2 la concentración de calcio se incrementa con la presencia de las verrugas.

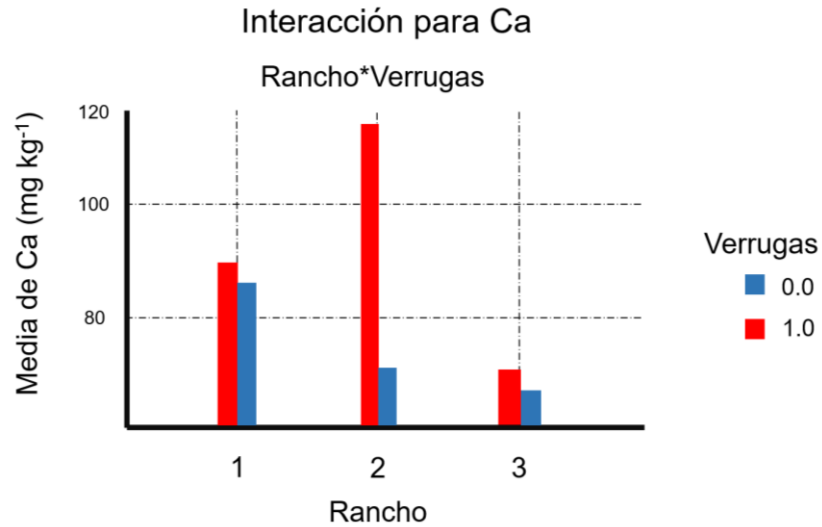


Figura 11. Interacción del efecto Rancho*Verrugas para calcio.

Existe una interacción para el efecto de rancho*Verrugas en relación con la concentración de magnesio. El rancho 2 la concentración de magnesio se incrementa con la presencia de las verrugas.

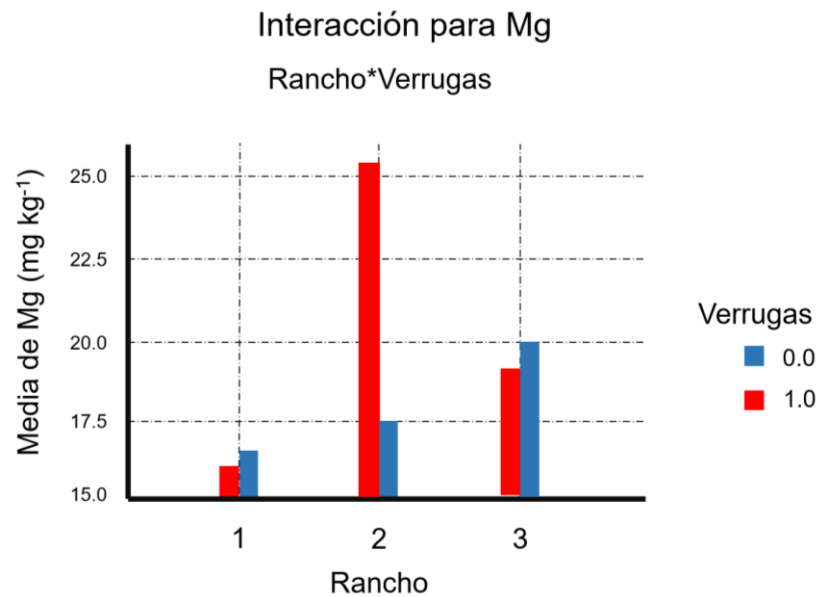


Figura 12. Interacción del efecto Rancho*Verrugas para magnesio.

Existe una interacción para el efecto de Rancho*Verrugas para la concentración de sodio. Los resultados indican que para los ranchos 1 y 2 la presencia de

verrugas se reduce con las concentraciones de sodio, en contraste con el rancho 3 donde la presencia de verrugas se incrementa con la concentración de sodio.

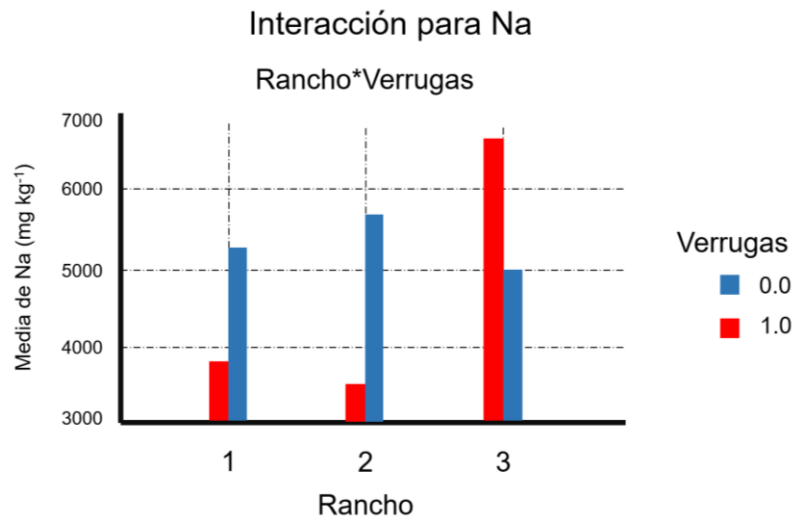


Figura 13. Interacción del efecto Rancho*Verrugas para sodio.

Las concentraciones de magnesio, fósforo y cobre fueron deficientes en hembras y machos, mientras que la concentración de zinc fue menor en machos. La concentración de sodio es elevada en hembras y machos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Concentración mineral en suero sanguíneo (mg L^{-1}) de hembras y machos bovinos de tres ranchos de Hidalgo, Tamaulipas.

Mineral	Hembra	Macho	Intervalo adecuado ²
Calcio	83	86	80 – 110
Magnesio	17.0	17.9	18 – 35
Sodio	4556	5011	3105 – 3450
Potasio	177	188	160 - 200
Fósforo	34.1	31.6	45 – 60
Cobre	0.51	0.56	0.8 – 1.5
Zinc	0.86	0.72	0.8 – 1.4
Hierro	2.08	2.18	1.3 – 2.5

² Intervalo de concentración adecuado en suero sanguíneo de ganado bovino (Puls, 1988).

Los animales del rancho 1 eran alimentados con rastrojo molido de maíz deficiente en calcio y dos dietas (iniciación y finalización) altas en calcio, motivo por el cual la concentración de dicho mineral en suero sanguíneo se encuentra dentro de un rango adecuado. De manera contrastante, la concentración de calcio del forraje del rancho 2 es menor al mínimo requerido y el calcio en suero sanguíneo de los animales del mismo rancho se encuentra dentro del intervalo adecuado en suero sanguíneo. Caso similar en la concentración de calcio del forraje del rancho 3 que supera el mínimo requerido por el ganado y el nivel de calcio de los animales del mismo rancho se encuentra por debajo del intervalo adecuado de calcio en suero sanguíneo. Quizá por la variación debida al muestreo y variación ambiental del experimento (Herdt et al., 2000) o por la permanencia que tenía el ganado en cada predio.

Solo el forraje del rancho 2 mostró deficiencia de magnesio; sin embargo, los animales muestran un nivel óptimo del mineral en suero sanguíneo. Los animales del rancho 1, los cuales son alimentados con rastrojo (deficiente en magnesio) y alimento de iniciación y finalización son los únicos que muestran una deficiencia de magnesio en suero sanguíneo.

Todos los animales mostraron elevadas concentraciones de sodio en suero sanguíneo, por encima del intervalo sugerido por Puls (1988), sin mostrar signos de toxicidad como los mencionados en el NRC (2016). La hidratación cumple un papel fundamental al momento del muestreo de sangre ya que puede incidir en la concentración de los minerales ya sea de sangre u orina (Hall, 2006).

Los animales de los ranchos 1 y 2 mostraron niveles óptimos de potasio de acuerdo con Puls (1988). Los animales del rancho 3 mostraron niveles superiores, sin mostrar signos de toxicidad como los mencionados en el NRC (2016). La concentración de potasio en los alimentos y rastrojo del rancho 1 y forrajes de los ranchos 2 y 3 mostraron niveles superiores de las mínimas requeridas por el ganado.

Todos los animales de los tres ranchos muestran deficiencia de fósforo en suero sanguíneo, lo cual coincide con los niveles de fósforo de todos los alimentos, el

rastrojo y los forrajes de todos los ranchos, que se encuentran por debajo del mínimo requerido por el ganado (McDowell & Arthington, 2005), sin reportar signos de deficiencia de fósforo como los mencionados en el NRC (2016).

Los animales del rancho 1 muestran concentraciones de cobre en suero sanguíneo por debajo del intervalo adecuado (Puls, 1988), dichos animales eran alimentados con alimento de iniciación y finalización, sin embargo, solo el alimento de finalización satisface los niveles de cobre mínimos requeridos por el ganado, la alimentación se complementaba con rastrojo molido de maíz el cual es deficiente en cobre. Los animales del rancho 2 y 3 muestran concentraciones de cobre en suero sanguíneo bajas, lo cual coincide con la baja concentración del mineral presente en los forrajes de los que se alimentaban.

Los animales del rancho 1 tuvieron una concentración de zinc adecuada en suero sanguíneo, posiblemente gracias a la suplementación de dicho mineral en los alimentos de iniciación y finalización que cuentan con una concentración de zinc superior a la mínima requerida por el ganado. En contraste, los animales del rancho 2 y 3 que muestran una concentración de zinc baja en suero sanguíneo, se alimentaban con forrajes que tenían una concentración de dicho mineral arriba del mínimo requerido por el ganado, pero cuya utilización puede ser limitada por diversos factores, como un estado deficiente de cobre (Puls, 1988).

Todos los animales de los tres ranchos muestran una concentración de hierro dentro del intervalo adecuado en suero sanguíneo, acorde con todas las fuentes de alimentación de los animales, donde se reportan concentraciones de hierro por arriba del mínimo requerido por el ganado.

Las concentraciones de calcio para animales con y sin verrugas se encuentran dentro del intervalo adecuado en suero sanguíneo. El calcio desempeña actividades fundamentales para el sistema inmune, como el incremento intracelular de calcio, en la activación de células inmunes, ya que cuando una célula inmunitaria, como un linfocito, encuentra un agente extraño en su superficie, desencadena la liberación de calcio, esto comienza un proceso por el

cual el linfocito producirá anticuerpos y péptidos bactericidas (entre otros) para detener el agente extraño (Goff, 2008).

Aunque las concentraciones de magnesio se encuentran por debajo de la mínima concentración requerida por el ganado para animales con y sin verrugas, no se reportan signos de deficiencia de magnesio como los reportados por el NRC (2016). Algunos factores como la alta concentración de potasio en la dieta de los animales reducen la absorción de magnesio (Spears, 1994). El padecimiento más regular asociado a la baja concentración de magnesio en la dieta del animal es la hipomagnesemia o tetania del pasto (Barnes et al., 1990; Spears, 1994).

Las concentraciones de sodio en suero sanguíneo de animales con y sin verrugas se encuentran por arriba del intervalo adecuado; sin embargo, los animales con verrugas muestran una menor ($p < 0.05$) concentración de sodio que los animales sin verrugas. No se reporta ningún animal con signos de toxicidad por sodio como los reportados por el NRC (2016) y el exceso de sodio no se asocia a padecimientos relacionados con el sistema inmune.

Algunos estudios sugieren que la inclusión del potasio en dietas de recepción de ganado ayuda a reducir la mortalidad (Hutcheson, 1988). Debido al nivel superior al mínimo requerido por el ganado presente en todos los forrajes y alimentos analizados, se refleja una concentración óptima del mineral en suero sanguíneo.

A pesar de que el fósforo se encuentra por debajo del mínimo requerido por el ganado, pocos estudios explican el impacto del mineral de la dieta en las funciones de las células inmunitarias y algunas son la proliferación de linfocitos, actividad fagocitaria, respuesta de los anticuerpos, número de leucocitos y otros parámetros en sangre o tejidos relacionados con el sistema inmune (Heyer et al., 2015).

El cobre tiene una gran influencia en el correcto funcionamiento del sistema inmune, la respuesta inflamatoria y una apropiada producción de neutrófilos y fagocitos (McDowell & Arthington, 2005), también afecta a varias células del sistema inmune, pues participa en procesos enzimáticos propios de la

ceruloplasmina y cuproenzimas desempeñando un papel esencial en el combate de infecciones virales (Gengelbach, Ward, Spears, & Brown, 1997). Aunque los animales con y sin verrugas muestran concentraciones de cobre inferiores al intervalo adecuado no son diferentes, pero puede ser un indicador de que un hato es propenso a diversas enfermedades. En un estudio donde evaluaron el estado mineral, el efecto antioxidante y la presencia de papilomatosis bovina en 21 animales (10 control y 11 infectados), Arslan et al. (2018) reportaron no encontrar diferencia significativa en la concentración de cobre de los animales control y los infectados con papilomatosis.

El zinc es requerido para el correcto funcionamiento del sistema inmune (Corah, 1996; NRC, 2016) también desempeña un papel fundamental en el crecimiento de animales en engorda, evidencia de su importancia en el sistema inmune (Corah, 1996). Las altas concentraciones de calcio, como las presentes en los alimentos de este estudio, también pueden afectar la concentración sérica de zinc (Spears, 2003). Las concentraciones en suero sanguíneo de zinc incrementan durante algunos procesos como el estrés causado por algunas enfermedades (Wegner, Ray, Lox, & Stott, 1972). Una moderada disminución del zinc en suero sanguíneo parece no tener efecto perjudicial en la salud del huésped y puede actuar como medida protectora al disminuir la capacidad de prosperar de los agentes infecciosos (Sugarman, 1983).

El zinc estimula una diversidad de eventos que incluyen la respuesta antiviral y producción de metaloenzimas ligadas al zinc que poseen funciones antivirales. La aplicación del zinc puede disminuir enfermedades virales crónicas (Sugarman, 1983). El papel del zinc como antiviral se puede dividir en dos categorías; 1) suplementación para mejorar la actividad antiviral, 2) inmunitaria e inhibidor de la replicación viral (Read, Obeid, Ahlenstiel, & Ahlenstiel, 2019). El zinc es esencial ya que es parte de muchas metaloenzimas que ayudan a regular numerosos aspectos del metabolismo celular incluyendo la cicatrización (Sugarman, 1983), quizá razón por la cual los animales con papilomas presentan un nivel superior de zinc.

El zinc tiene un rol específico en el proceso de la división celular y un papel fundamental en la división celular de los linfocitos que dependen de la división celular después del estímulo del antígeno (Arthington, 2006). Arslan et al. (2018) no reportaron una diferencia significativa en la concentración de zinc de los animales control y los infectados con papilomatosis.

El hierro se encuentra en concentraciones adecuadas en animales con y sin verrugas, quizá por los adecuados niveles del mineral presentes en el forraje. Los animales adultos rara vez muestran deficiencias de hierro (Graham, 1991).

Arslan et al. (2018) realizaron una evaluación de cromo, cobre, hierro, magnesio, manganeso, selenio, zinc, arsénico, boro, níquel, silicio y cobalto en animales con y sin papilomatosis. Los animales del estudio realizado por Arslan et al. (2018) mostraron diferencias en las concentraciones séricas de selenio, inferiores en los animales con presencia de verrugas, mencionando la importancia del selenio en la salud de la piel. También reportan concentraciones superiores en níquel y silicio, clasificándolos como tóxicos para el ganado y precursores de papilomatosis y cáncer.

3.8 Conclusiones

El agua de bebida del arroyo tiene concentraciones de potasio superiores al nivel máximo tolerable por el ganado.

Los alimentos de iniciación y finalización son deficientes en fósforo. El rastrojo molido de maíz solo satisface los requerimientos de hierro. Los forrajes en ambos ranchos tienen adecuadas concentraciones de potasio, zinc y hierro. Solo los forrajes en el rancho 3 brindan un nivel adecuado de calcio y magnesio. Los forrajes de los ranchos 2 y 3 son deficientes en sodio y fósforo.

Los animales muestreados en los tres ranchos tienen una adecuada concentración de potasio y hierro en suero sanguíneo. Los animales del rancho 1 son deficientes en magnesio, fósforo y cobre. Los animales del rancho 2 son deficientes en fósforo, cobre y zinc. Los animales del rancho 3 son deficientes en calcio, fósforo, cobre y zinc. Existe un excedente de potasio en los animales del

rancho 3 y excedente generalizado de sodio en los animales de los 3 ranchos, posiblemente debido a la deficiencia generalizada de cobre y zinc.

Los animales con y sin verrugas muestran concentraciones bajas de magnesio, fósforo y cobre en suero sanguíneo y altas concentraciones de sodio. Los animales sin verrugas muestran una concentración deficiente de zinc en suero sanguíneo e inferior a su concentración en animales con verrugas, posiblemente por efecto de diversos procesos fisiológicos de defensa del animal contra el virus y la actividad de funciones enzimáticas de cicatrización en presencia de laceraciones en la piel de los animales.

3.9 LITERATURA CITADA

Abu-Samra, M. T., Aziz, M. A., & Homeida, A. M. (1982). Clinical observations on bovine papillomatosis (Warts). *British Veterinary Journal*, 138(2), 138-144.

Ammerman, C. B., Moore, J. E., Henry, S. M., Miller, S. M., & Martin, F. G. (1982). Effect of age and sample preparation on mineral concentration of Bermudagrass Hay. *Journal of Dairy Science*, 65(7), 1329-1333.

Arslan, H. H., Tarhan, D., Cenesiz, S., Alkan, F. A., Ozcan, U., Arslan, E. T., Barutcu, U. B., & Or, M. E. (2018). Evaluation of trace element levels and antioxidant metabolism in cattle with cutaneous papillomatosis. *Acta Scientiae Veterinariae*, 46(1551), 1-5.

Arthington, J. D. (2006). Trace mineral nutrition and immune competence in cattle. *Florida Ruminant Nutrition Symposium*. Symposium held in Best Western Gateway Grand, Gainesville, Florida, USA.

Barners, T. G., Varner, L. W., Blankenship, L. H., Fillinger, T. J., & Heineman, S. G. (1990). Macro and trace mineral content of selected south Texas deer forages. *Journal of Range Management*, 43(3), 220- 223.

Carroll, J. A., & Forsberg N. E. (2007). Influence of stress and nutrition on cattle immunity. *Veterinary Clinics*, 23(1), 105-149.

- Ciria, C. J., Villanueva, M. R., & Ciria, G. J. (2005). Avances en nutrición mineral en el ganado bovino. *IX Seminario de Pastos y Forrajes*. Simposio llevado a cabo en Valladolid, España.
- Connie, K. L. (2005). Role of trace minerals in animal production. *Nutrition Conference sponsored by Department of Animal Science*. Tennessee, USA.
- Corah, L. (1996). Trace mineral requirements of grazing cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 59, 61-70.
- De la Lanza, E. G., & Gómez, A. S. (1999). Fisicoquímica del agua y cosecha de fitoplancton en una laguna costera tropical. *Ciencia Ergo Sum*, 6, 147-153.
- Fick, K. R., McDowell L. R., Miles, P. H., Wilkinson, N. S., Funk, J. D., Conrad, J. H., & Valdivia, R. (1979). Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales 2nd Ed. *Universidad de Florida*. Gainesville, USA.
- Galyean, M. L., Perino, L. J., & Duff, G. C. (1999). Interaction of cattle health/immunity and nutrition. *Journal of Animal Science*, 77(5), 1120-1134.
- Gengelbach, G. P., Ward, J. D., Spears, J. W., & Brown, T. T. (1997). Effects of copper deficiency and copper coupled with high dietary iron or molybdenum on phagocytic cell function and response of calves to a respiratory disease challenge. *Journal of Animal Science*, 75, 1112-1118.
- Gharibzahedi, S. M. T., & Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 119-132.
- Goff, J. P. (2008). Transition cow immune function and interaction with metabolic diseases. *West Central Cooperative, Tri-State Dairy Nutrition Conference*, 45-57.
- Graham, T. W. (1991). Trace element deficiencies in cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 7(1), 153-215.

- Hall, J. O. (2006). Appropriate methods of diagnosing mineral deficiencies in cattle. *Dairy Nutrition Conference*. Utah, USA.
- Herd, T. H., Rumbelha, W., & Braselton, E. W. (2000). The use of blood analyses to evaluate mineral status in livestock. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 16(3), 423-444.
- Heyer, C. M. E., Weiss, E., Schmucker, S., Rodehutsord, M., Hoelzle, L. E., Mosethin, R., & Stefanski, V. (2015). The impact of phosphorus on the system and the intestinal microbiota with special focus on the pig. *Nutrition Research Reviews*, 28, 67-82.
- Huerta, B. M. (2016). Efecto de los minerales con los parámetros productivos y reproductivos de ovinos. *8 Congreso internacional del borrego y la cabra*. Simposio llevado a cabo en Hidalgo, México.
- Hutcheson, D. P. (1988). Nutrient requirements of diseased stressed cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 4(3), 523-530.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2007). *El Ganado Bovino en Tamaulipas, Censo agropecuario 2007*, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2009). *Prontuario de información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. México.
- Jelínek, F., & Tachezy, R. (2005). Cutaneous papillomatosis in cattle. *Journal of Comparative Pathology*, 132(1), 70-81.
- Kubota, J. (1983). Copper status of United States soils and forage plants. *Agronomy journal*, 75(6), 913-918.
- Maas, J. (2007). Diagnostic considerations for evaluating nutritional problems in cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 23, 527-539.

- McDowell, L. R. (1996). Feeding minerals to cattle on pasture. *Animal Feed Science and Technology*, 60, 247-271.
- McDowell, L. R. (1992). Minerals in animal and human nutrition. USA: Academies Press
- McDowell, L. R., & Arthington, J. D. (2005). Minerals for grazing ruminants in tropical regions. 4th Ed. Florida, USA: Mosaic.
- Nielsen, F. H. (2012). History of zinc in agriculture. *Advances in Nutrition*, 3(6), 783-789.
- NRC (National Research Council). (2016). Nutrient Requirements of Beef Cattle. 8th Ed. Washington, USA: Academies press.
- Puls, R. (1988). Mineral levels in animal health diagnostic data. Sherpa International. Canada.
- Read, S. A., Obeid, S., Ahlenstiel, C., & Ahlenstiel, G. (2019). The role of zinc in antiviral immunity. *Advances in Nutrition*, 2019(1), 1-15.
- Reid, R. L., & Horvath, D. J. (1980). Soil chemistry and mineral problems in farm livestock. *Animal Feed Science and Technology*, 5(2), 95-67.
- Segura, C. M. A., Gutiérrez, M. C., Ortiz, S. C., & Gómez D. D. J. (2000). Suelos arcillosos de la zona oriente del estado de México. *Terra Latinoamericana*, 18(1), 35-44.
- Shabala, S. 2012. Plant stress physiology. CABI: Australia.
- Spears, J. W. (1994). Minerals in forage. En Fahey, C. G. (Ed.) *Forage Quality, Evaluation and Utilization* (pp. 281-317). Nebraska. USA.
- Spears, J. W. (1995). Improving cattle health through trace mineral supplementation. Symposium of Range Beef Cow. Nebraska, USA.
- Spears, J. W. (2000). Micronutrients and immune function in cattle. *Proceedings of the Nutrition Society*, 59, 587-594.

- Spears, J. W. (2003). Trace Minerals Bioavailability in Ruminants. *The Journal of Nutrition*, 133(5), 1506-1509.
- Suttle, N. F. (1975). Trace elements interactions in animals. In D. J. D. Nicholas and A. R. Egan. Trace elements in Soil Plant Animal systems. New York, USA: Academic Press.
- Sreeparvathy, M., Harish, C., & Anuraj, K. S. (2011). Autogenous vaccination as a treatment method for bovine papillomatosis. *Journal of Livestock Science*, 2, 38-40.
- Suttle, N. F. (2010). Mineral Nutrition of Livestock. USA: CABI.
- Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). Ciencias de la tierra. Madrid, España: Pearson Educación S. A.
- Vallejos, A. (1986). Niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en la producción de forraje de *Brachiaria decumbens*. *Pasturas Tropicales*, 8(1), 15-17.
- Venkatesan, M., Tamilmahan, P., Selvaraj, P., Sivakumar, M., & Ponnusamy, P. (2018). Udder papillomatosis associated interferences for machine milking in a rural dairy farm. *International Journal of Livestock Research*, 8(7), 238-243.
- Wegner, T. N., Ray, D. E., Lox, C. D., & Stoot, G. H. (1972). Effect of stress on serum zinc and plasma corticoids in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 56(6), 748-752.
- Weiss, W. P., & Spears, J. W. (2008). Vitamin and trace mineral effects on immune function of ruminants. In: K. Sejrsen, T. Hevelplund, & M. O. Nielsen (Eds.). Ruminant Physiology. *Wageningen Academic Publishers*, 473-487.