



Enseñar la explotación de la tierra,
no la del hombre

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

DIAGNÓSTICO MINERAL DE BOVINOS LECHEROS
CON PICA

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

JOSÉ RICARDO ÁLVARES RODRÍGUEZ

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



Chapingo, Estado de México, mayo 2025



DIAGNÓSTICO MINERAL DE BOVINOS LECHEROS CON PICA

Tesis realizada por **José Ricardo Álvares Rodríguez** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

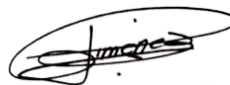
MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



Ph. D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR:



Dr. José Orlando Jiménez Páez

ASESOR:



M.C. Alvin Gustavo Carrillo Hurtado

CONTENIDO

CONTENIDO.....	ii
LISTA DE CUADROS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
DEDICATORIAS	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
DATOS BIOGRÁFICOS	viii
RESUMEN GENERAL	ix
GENERAL ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Pica.....	3
Historia	3
2.2 Pica en humanos	4
2.2.1 Deficiencias minerales	6
2.3 Pica en animales.....	7
2.3.1 Apetitos pervertidos	7
2.3.2 Factores causales.....	9
2.3.3 Deficiencias minerales	11
Fósforo	11
Hierro.....	13
Cobre.....	14
Zinc.....	15
Sodio	16
Yodo	17

Potasio.....	18
Selenio.....	19
2.3.4 Impacto de la pica en la salud de los animales	20
2.4 Literatura citada	21
3. DIAGNÓSTICO MINERAL DE BOVINOS LECHEROS CON PICA	25
Resumen.....	25
Introducción	26
Materiales y métodos	27
Resultados	28
Discusión	29
Conclusión.....	31
Literatura citada.....	32

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Probabilidad del estado fisiológico de las vacas para cada uno de los minerales estudiados.....	28
Cuadro 2. Concentración mineral en suero sanguíneo de vacas con pica en distintos estados fisiológicos	28
Cuadro 3. Concentración mineral del alimento.....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 y 2. Vacas en pastoreo consumiendo tierra.....	7
Figura 3. Grupo de vacas consumiendo tepetate	8
Figura 4. Vaca consumiendo tepetate	8
Figura 5. Vacas consumiendo heces y orina	9
Figura 6. Diagrama de las posibles implicaciones en la salud de animales con pica.....	20

DEDICATORIAS

A mi madre, Ana María, por su amor y cariño incondicional que siempre me ha brindado. Gracias por su apoyo, paciencia y dirección que han sido un pilar fundamental para lograr mis metas.

A mi hermana Elizabeth, por su cariño y apoyo incondicional; por su confianza y esmero en motivarme a mejorar siempre.

A mi abuela Elizabeth y tíos, Fermín, José Manuel, Alba y Marcos por sus consejos, cariño y apoyo desde la infancia.

A mis amigos, Miguel, Axel, Kassandra, Víctor y Ruth por acompañarme durante todo este recorrido y por estar en mis buenos y malos momentos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi *alma mater*, y al Departamento de Zootecnia por brindarme una excelente formación académica.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT), por el apoyo económico otorgado, el cual fue indispensable para poder culminar mis estudios de posgrado.

Al Ph.D. Maximino Huerta Bravo, por su amistad, dirección y conocimientos transmitidos durante esta etapa, pero, sobre todo, agradezco sinceramente su valiosa contribución en mi crecimiento personal y profesional.

Al Dr. José Orlando Jiménez Paez, M.C. Alvin Gustavo Carrillo Hurtado y M.P.A. Ruth Manzayani García Fuerte por sus aportaciones en el desarrollo de esta investigación.

Al M.C. Victor Arteaga Cabrera y Laboratorios Lapisa S.A. de C.V. por el apoyo económico brindado para la realización de esta investigación.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	José Ricardo Álvares Rodríguez
Fecha de nacimiento	08 de marzo del 2000
Lugar de nacimiento	Estado de México, México
CURP	AARR000308HMCLDCA2
Profesión	Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia
Cédula Profesional	13709984

Desarrollo académico

Maestría en Ciencias (2023-2024)	DEIS en Zootecnia Posgrado en Producción Animal Universidad Autónoma Chapingo
Licenciatura (2018-2022)	DEIS en Zootecnia Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN GENERAL

DIAGNÓSTICO MINERAL DE BOVINOS LECHEROS CON PICA

La pica es un desorden común y generalizado en todas las especies, incluyendo a los bovinos y se ha demostrado su existencia en todos los continentes. Se caracteriza por consumir sustancias y cuerpos extraños de poco o nulo valor nutritivo que muchas veces llegan a provocar alteraciones clínicas. La principal causa de este desorden son las deficiencias de minerales. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar las concentraciones de macro y microminerales en suero sanguíneo de vacas con pica. Se utilizaron vacas Holstein multíparas en distintos estados fisiológicos ($n = 45$; altas productoras, servidas, gestantes y frescas), las cuales se seleccionaron aleatoriamente para la obtención de muestras sanguíneas. También se recolectaron muestras de alimento y tepetate consumidos por los animales. Las determinaciones de cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K) y manganeso (Mn) se realizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica y para fósforo (P) por medio de espectrofotometría ultravioleta visible. El diseño experimental fue completamente al azar y el modelo estadístico incluyó el efecto del estado fisiológico y se analizó mediante el procedimiento GLM de SAS. Las vacas presentaron deficiencias en las concentraciones séricas de Zn, Na, K y P, y exceso de Mg, Mn y Ca. Se encontró efecto de estado fisiológico para P ($p < .0001$), Zn ($p = 0.041$), Fe ($p < .0001$), Mn ($p < .0001$) y Mg ($p = 0.034$). El alimento ofrecido presentó concentraciones más bajas que el requerimiento diario de zinc (32.8 - 44.6 mg/kg). En conclusión, las vacas gestantes tuvieron las concentraciones más bajas de hierro, potasio y fósforo. Los desbalances minerales son una causa sustentable que provocan pica, ocasionando ineficiencias productivas en los sistemas de producción donde se presenta.

Palabras clave: desorden, desbalances, deficiencia, estado fisiológico.

GENERAL ABSTRACT

MINERAL DIAGNOSIS OF DAIRY CATTLE WITH PICA²

Pica is a common and widespread disorder in all species, including cattle, and its existence has been proven on all continents. It is characterized by consuming substances and foreign bodies with little or no nutritional value that often cause clinical alterations. The main cause of this disorder is mineral deficiencies. Therefore, the objective of this study was to determine the concentrations of macro and microminerals in the blood serum of cows with pica. Multiparous Holstein cows in different physiological states ($n = 45$; high producers, inseminated, pregnant and fresh) were used; they were randomly selected to obtain blood samples. Samples of food and *tepetate* (a type of soil) consumed by the animals were also collected. The determination of mineral concentrations of copper (Cu), iron (Fe), zinc (Zn), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), potassium (K), and manganese (Mn) was performed by atomic absorption spectrophotometry; for phosphorus (P), the samples were analyzed by visible ultraviolet spectrophotometry. The experimental design was completely randomized and the statistical model included the effect of physiological state. It was analyzed using the SAS GLM procedure. The cows had deficiencies in Zn, Na, K, and P serum concentrations, and excesses of Mg, Mn, and Ca. Physiological state effects were found for P ($p < .0001$), Zn ($p = 0.041$), Fe ($p < .0001$), Mn ($p < .0001$), and Mg ($p = 0.034$). The feed offered presented levels below the zinc requirement in the diet (32.8 - 44.6 mg/kg). In conclusion, pregnant cows had the lowest iron, potassium and phosphorus serum concentrations. Mineral imbalances are a sustainable cause of pica, causing productive inefficiencies in the production systems where it occurs.

Key words: disorder, imbalances, deficiency, physiological state

Master of Science Thesis in Livestock Innovation, Graduate Program in Animal Production,
Universidad Autónoma Chapingo
Author: José Ricardo Álvares Rodríguez
Advisor: Maximino Huerta Bravo

1. INTRODUCCIÓN

Las deficiencias nutricionales, la baja sensibilidad de órganos gustativos (lengua y labios) y el hábito de masticar brevemente los alimentos en los primeros momentos de la alimentación, características de los bovinos, condicionan a estos animales a desarrollar aberraciones del apetito, llevándolos a una búsqueda no selectiva de alimentos y, por tanto, a la ingesta de cuerpos extraños (Martins et al., 2004).

La alotrofagia o pica es un desorden que puede presentarse en humanos y animales; se caracteriza por consumir, lamer o mordisquear objetos y sustancias no comestibles con poco o nulo valor nutritivo como madera, tierra, huesos y piedras, entre otros (McDowell & Arthington, 2005; Rossanigo et al., 2014).

De acuerdo con Öcal et al. (2008), la principal causa de la pica son las deficiencias de macrominerales (calcio, fósforo y magnesio) y microminerales (hierro, cobre, manganeso, selenio, zinc y cobalto). También se le asocia con parasitismo, obesidad, aburrimiento, deficiencias de sal, proteína y micronutrientes (Smith, 2015).

A pesar de que la pica es un desorden muy común y generalizado en todas las especies, existe poca información documentada al respecto, lo cual dificulta su detección y corrección. Es una anomalía silenciosa que afecta a la mayoría de los sistemas de producción pecuaria en México; por lo anterior, se busca documentar un caso particular de esta. El objetivo del presente proyecto de investigación es realizar un diagnóstico mineral de bovinos lecheros que presentan pica.

Este documento está compuesto por tres capítulos. En el Capítulo 2 se desarrolla la revisión de literatura, abordando el tema de la pica y su relación con las deficiencias minerales. En el Capítulo 3 se presenta un artículo derivado de esta

investigación, el cual fue enviado para su revisión y posible publicación en la revista Archivos Latinoamericanos de Producción Animal (ALPA).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Pica

La palabra “pica” fue el primer término asignado alrededor del siglo V d.C. a la tendencia caracterizada por antojos no alimentarios; refiriéndose así al consumo de sustancias u objetos distintos a los alimentos habituales y sin valor nutricional (Young, 2010). Se utilizó el nombre científico de la urraca común (*Pica pica*), debido a la similitud entre el comportamiento alimenticio natural de este animal (consumo no selectivo de sustancias y objetos) con las prácticas características de dicho desorden (Leung & Hon, 2019). Algunos otros términos utilizados para describir esta condición son: alotrofagia, caquexia africana, mal d'estomac, citta y malacia (Firyal, 2007; Young, 2010).

El consumo de sustancias no alimentarias incluye principalmente geofagia (consumo de tierra), amilofagia (consumo de almidón) y pagofagia (consumo de hielo) (Miao et al., 2015). Así mismo, se ha reportado también la ingesta de carbón, cenizas, papel, ropa, tiza, granos de café, cascarones de huevo y talco para bebé (Young, 2010).

Historia

La primera descripción sobre geofagia se encuentra plasmada en el libro de texto compilado por Hipócrates de Cos (460-377 a. C.), donde se menciona que, si una mujer embarazada presenta el deseo de comer tierra o carbón y lo hace, su hijo presentará el mismo comportamiento (Woywodt & Kiss, 2002).

El médico romano Sorano de Éfeso (98-138 d. C.) considerado como el padre de la ginecología, describió que la pica era un método de alivio de síntomas posteriores al embarazo y al apetito impredecible durante la gestación, además, señaló que la necesidad de consumir estas sustancias inusuales comenzaba alrededor del día 40 y persistía hasta el cuarto mes o más. Su principal

preocupación era que, al satisfacer sus antojos con este tipo de sustancias, podrían generarse daños al feto y al estómago (Walker et al., 1997).

Entre el siglo XV y XVIII, algunos escritores europeos realizaron investigaciones sobre las causas de la pica en niños, hombres y mujeres en donde consideraban diversos factores etiológicos como: herencia, obstrucción de vísceras, supresión de la menstruación, deficiencias nutricionales y trastornos mentales (Mitchell, 1968).

2.2 Pica en humanos

La pica es un problema ampliamente distribuido en todo el mundo y existen diversas explicaciones etiológicas respecto a su origen. Algunas de estas incluyen expectativas culturales, una respuesta ante el estrés, hambre y malestar gastrointestinal, deficiencias minerales (hierro, zinc, calcio, etc.) y como protección frente a toxinas y patógenos (Fawcett et al., 2016).

Es probable que el consumo de estas sustancias se realice como un tipo de tratamiento terapéutico, utilizado como desintoxicante, para la atenuación de problemas digestivos y para suplir deficiencias minerales, entre otros (Padilla y Miján de la Torre, 2006).

De acuerdo con Young (2010), la pica puede estar asociada con condiciones de salud tanto positivas como negativas; las positivas incluyen consumo de micronutrientes, alivio de malestares gastrointestinales y el impedimento del ingreso al torrente sanguíneo de sustancias químicas o patógenos dañinos.

Dentro de las condiciones negativas se encuentran; anemia provocada por deficiencia de hierro, intoxicación por metales pesados, daño al tracto gastrointestinal, aumento de peso durante la gestación, dolor abdominal, oclusión intestinal y desbalances de electrolitos (Borgna-Pignatti y Zanella, 2016; Young, 2010).

Otros de los efectos perjudiciales de este desorden son la reducción de la biodisponibilidad de micronutrientes esenciales, desplazamiento de alimentos e incluso puede resultar como vector de infección por geohelminthos, lesiones dentales, obstrucción intestinal, toxemia e hiperpotasemia (Khouabi et al., 2014; Lin et al., 2015).

Además de los riesgos a la salud ocasionados por la pica, es importante señalar que las poblaciones susceptibles corresponden a los grupos biológicamente más vulnerables: las mujeres embarazadas, los niños y los adolescentes (Padilla y Miján de la Torre, 2006; Young, 2010).

La presencia de pica durante la gestación es un fenómeno presente en todo el mundo (Fawcett et al., 2016). Estos mismos autores realizaron un metaanálisis para estimar la prevalencia de pica durante la gestación y el periodo posparto; sus resultados señalan que casi un tercio de las participantes (27.8 %) de los estudios incluidos en el metaanálisis presentaron pica durante el periodo gestacional y posparto.

En una investigación realizada por Khouabi et al. (2014), señalan que la mayor presencia de pica (17.5%) ocurrió durante el primer trimestre de la gestación, mientras que para el último tercio fue de solo 5.6 %. El 53.7 % del grupo de mujeres embarazadas con pica consumía hielo, 23.3 %; arcilla, 11.5 %; hielo y escarcha congelada; y el restante 11.5 % consumieron otro tipo de sustancias.

Aquellas mujeres gestantes con sensibilidad del olfato y del tracto superior pueden presentar una mayor tendencia a desarrollar pica, además de estar relacionada también con un comportamiento aprendido de algún miembro de la familia (Simpson et al., 2000).

La incidencia de pica en niños es mayor en infantes de entre 18 meses y 6 años de edad, siendo más vulnerables aquellos en clases socioeconómicas más bajas, migrantes y refugiados; dicha incidencia aumenta si sus hermanos o madre tienen pica (Leung & Hon, 2019). De igual forma estos autores mencionan que los niños con autismo, trastorno de déficit de atención e hiperactividad,

esquizofrenia, desorden obsesivo compulsivo y depresión es más usual que presenten pica.

2.2.1 Deficiencias minerales

Algunos estudios han demostrado una relación entre pica y deficiencia de hierro. Colman (1969), reportó que más de la mitad de los participantes de su estudio (18 de 25) tenían deficiencias de hierro y presentaban pagofagia, un tipo de pica. Asimismo, Lumish et al. (2014) evaluaron el estado del hierro y la prevalencia de pica en adolescentes embarazadas; las participantes con pica presentaron niveles significativamente más bajos de ferritina sérica, de hierro total en el cuerpo y de hepcidina (hormona reguladora del hierro) en comparación con aquellas sin pica. De las 158 adolescentes que participaron en este estudio, el 46 % presentaron pica. Las sustancias consumidas incluían: hielo (37 %), almidones (8 %), polvos (4 %) y jabón (3 %), el resto consumían algún otro tipo de sustancias.

Los neonatos de las mujeres que exhibieron pica durante la gestación tendieron a presentar menor peso, longitud y una menor circunferencia de la cabeza al nacimiento que aquellos con madres sin pica, aunque el análisis de los datos mostró que no había diferencias significativas entre ellos; asimismo, el grupo de mujeres con pica tuvieron niveles de hemoglobina más bajos durante los tres trimestres de la gestación que el grupo de mujeres sin pica (Khouabi et al., 2014)

Los niveles de zinc en plasma y cabello de niños con pica, anorexia y crecimiento retrasado fueron significativamente más bajos que en niños bien nutridos, lo cual indica que la deficiencia de zinc puede derivar en un retraso del crecimiento, reducción del apetito y presencia de pica en niños (Chen et al., 1985). También, Singhi et al. (2003) señalaron que niños con pica tuvieron niveles inferiores de hierro y zinc plasmático que el grupo control (sin manifestación de pica).

La pica se asocia significativamente con un mayor riesgo de presentar anemia y niveles bajos de hematocrito, hemoglobina y zinc plasmático; a pesar de que no se tiene muy clara la relación causal entre la pica y las deficiencias de

micronutrientes, la estrecha relación de estas es comparable con otras causas de deficiencias de micronutrientes que sí han sido reconocidas (Miao et al., 2015).

2.3 Pica en animales

2.3.1 Apetitos pervertidos

Los comportamientos alimenticios y apetitos inusuales en los animales son muy comunes. Entre estos predomina la manifestación de pica en alguna de sus variables: consumo de lana, pelo, plumas, heces, orina, etc. (Green, 1925). Uno de los más frecuentes es observar que animales carnívoros consuman pasto, lo cual es un signo justificado con el propósito de promover los movimientos peristálticos mediante el consumo de fibra (Green, 1925).

Algunos otros de los comportamientos alimenticios anormales en animales son: lamido de pelo (provocado por alguna infección parasitaria en la piel), coprofagia (ingesta de heces), infantofagia (consumo de crías por parte de las madres; conducta que puede presentarse principalmente en gatos, perros, cerdos y ratas), consumo de huevos en aves y osteofagia (deglución de huesos) (Green, 1925).



Figura 1 y 2. Vacas en pastoreo consumiendo tierra.



Figura 3. Grupo de vacas consumiendo tepetate.



Figura 4. Vaca consumiendo tepetate.

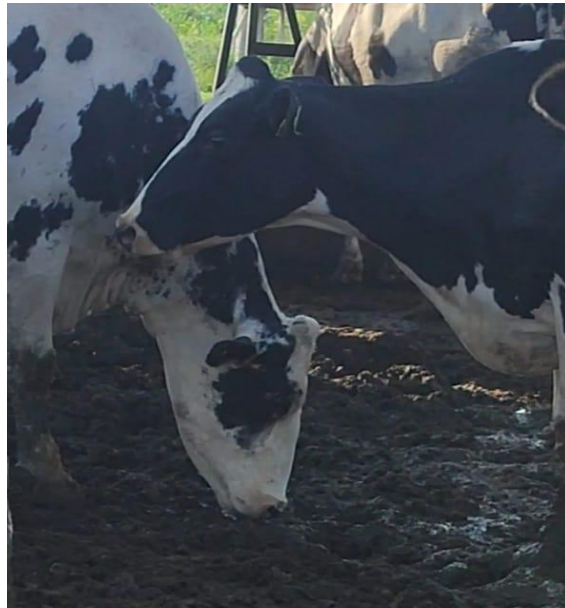


Figura 5. Vaca consumiendo heces y orina.

2.3.2 Factores causales

Aunque son múltiples las causas atribuibles a la manifestación de la pica, se le ha asociado intrínsecamente con deficiencias minerales (fósforo, cobalto, etc.), de proteína, de fibra, de sal y parasitismo (Constable et al., 2017; Yüksek et al., 2019). Si existe alguna deficiencia, los animales buscan satisfacerla mediante el consumo de materiales ajenos a su alimentación normal que pudieran contener dicho elemento faltante, lo cual los lleva a un consumo no selectivo de sustancias y objetos (Martins et al., 2004; Mitchell et al., 1976).

De igual forma, podría estar relacionado con otra serie de factores dentro de los que se encuentran el desequilibrio de ciertas proteínas, α -aminoácidos, vitaminas, oligoelementos y de la relación calcio-fósforo en la dieta (Yüksek et al., 2019). Igualmente se considera que la pica es una consecuencia del aburrimiento en animales confinados o simplemente un vicio (Chiezey, 2010).

Este desorden se observa en bovinos y búfalos, principalmente en la etapa de gestación y lactación, así como también en animales jóvenes (Firyal, 2007). En conejos y potros la coprofagia es una práctica normalizada, pues se cree que es un método de suplementación dietética o para mantener el equilibrio del microbiota intestinal (Constable et al., 2017). La geofagia es una respuesta a la presencia de artritis, enfermedades gastrointestinales, estrés (estrés térmico por ejemplo), y a envenenamiento por sustancias tóxicas en ratas (Burchfield et al., 1977).

Una conducta característica de intoxicación o envenenamiento en animales es la anorexia y la disminución en el consumo de alimento y agua, generalmente acompañado de pica (Mitchell et al., 1976). Mitchell et al. (1976) realizaron un estudio en el cual provocaron malestares gastrointestinales en ratas mediante la administración de distintas dosis de cloruro de litio y bulbo de *Drimia maritima* en polvo (utilizado como rodenticida) para posteriormente medir el consumo de arcilla y tierra. Ellos refieren que el consumo de arcilla es una estrategia utilizada por las ratas para aminorar los malestares gastrointestinales y la toxemia. Con base en sus resultados también concluyeron que el consumo de otras sustancias no nutritivas provoca la disminución en el consumo de alimento.

En ovinos, el consumo de lana es un hábito atribuido a deficiencias nutricionales, pero principalmente a la presencia de ectoparásitos, ya que en un intento por aliviar la comezón e irritación en la piel provocada por estos, los animales se muerden y la lana es arrancada y tragada parcialmente (Green, 1925). Este comportamiento es más frecuente en hembras que en machos (Reindhart, 2005).

En las aves ocurre algo similar con el consumo de plumas, pues también es causado por desbalances nutricionales, pero en este caso se le adjudica especialmente al ocio en gallinas confinadas y a los parásitos externos (Green, 1925).

La presencia de pica puede ser considerado un signo de cetosis subclínica en búfalas lactantes (Firyal, 2007). Melendez et al. (2007) atribuyen el consumo de arena (la cual era alcalina) en vacas lecheras como una manera de alcalinizar su

pH, pues su pH urinario se encontraba por debajo de 6, lo cual es considerado como una leve acidosis.

2.3.3 Deficiencias minerales

Los minerales son elementos importantes debido a su participación en el funcionamiento de casi el 50% de enzimas corporales, por esta razón, afectan el metabolismo de proteínas, aminoácidos, carbohidratos, lípidos, vitaminas, a la formación de tejido conectivo y la respuesta inmune (Huerta, 2016; Siciliano-Jones et al., 2008).

Las deficiencias minerales, particularmente de fósforo, magnesio, zinc, cobre, hierro, calcio, manganeso, potasio, cobalto y sodio son el principal factor predisponente de pica (Mosa et al., 2020; Tharwat & Al-Hawas, 2024). Cuando existen deficiencias minerales o de algún otro nutrimento, los animales consumen materiales no alimenticios que pudieran contener el elemento faltante buscando satisfacer dicha deficiencia (Mitchell et al., 1976).

Fósforo

El fósforo es un elemento crucial en el cuerpo para la producción de leche y la formación del esqueleto (Tharwat & Al-Hawas, 2024). El 80 % del fósforo corporal se localiza en dientes y huesos, mientras que alrededor del 20% restante se encuentra distribuido a través de los tejidos suaves, músculo y tejido nervioso. Además de la formación del esqueleto, también es esencial para el correcto funcionamiento de los microorganismos ruminales, principalmente aquellos encargados de la digestión de la celulosa, utilización de la energía de los alimentos, buferizantes de la sangre y otros fluidos, múltiples sistemas enzimáticos y el metabolismo de las proteínas (McDowell & Arthington, 2005).

Las plantas en crecimiento generalmente tienen concentraciones adecuadas de fósforo pero conforme madura su nivel disminuye pudiendo llegar a menos de

1 g kg⁻¹, provocando niveles inadecuados para cubrir los requerimientos de los animales que lo consumen. Animales en crecimiento que reciben niveles adecuados o excesivos de calcio pero inadecuados de fósforo presentan una marcada disminución en el consumo de alimento, baja ganancia diaria de peso y otros signos de hipofosfatemia (niveles de fósforo en sangre de 1.5 a 3.5 mg/dL); cuando los animales son alimentados con dietas bajas en calcio y fósforo pueden tener un crecimiento normal pero sus huesos estarán desmineralizados (McCaughan, 1992).

De acuerdo con McDowell & Arthington (2005), la falta de fósforo es la deficiencia mineral más común en el ganado bovino. Los desbalances de fósforo se manifiestan como raquitismo y retraso en el crecimiento de animales jóvenes, mientras que en los adultos pueden provocar osteomalacia, descenso de la producción láctea, baja fertilidad y pica (McCaughan, 1992). La baja fertilidad y productividad es causada especialmente por la falta de proteína y energía, derivado de la disminución en el consumo de alimento ya que la deficiencia de fósforo tiene un marcado efecto en el apetito (McCaughan, 1992).

La osteofagia es un signo característico de la hipofosfatemia (deficiencia de fósforo); este comportamiento alimenticio peculiar ha sido señalado como un “saber nutricional” debido a que el animal lame, mordisquea e ingiere huesos, material rico en fósforo, con el propósito de restaurar el equilibrio bioquímico de dicho elemento (Gordon et al., 1954).

Estos mismos autores, Gordon et al. (1954), realizaron un estudio en el que evaluaron el comportamiento alimenticio de bovinos y ovinos deficientes en fósforo; señalan que estos animales presentan un apetito pervertido específico por materiales con altos niveles de fósforo y lo asocian a tres posibles causas: 1) una simple cuestión de azar; 2) respuesta aprendida resultante de bienestar posterior a la selección de huesos; o 3) comportamiento de selección aprendido de otros animales.

Schild et al. (2021) estudiaron becerras que presentaban enflaquecimiento progresivo, debilidad, dificultad para caminar e incorporarse, moderado

engrosamiento de articulaciones, pica y osteofagia. Reportaron que estos signos clínicos y lesiones óseas son particulares del raquitismo, además, las bajas concentraciones de fósforo detectadas en suelo, forraje, sangre y huesos les permitió concluir que la causa principal de dicha enfermedad es la carencia crónica de fósforo, asociada a una deficiencia proteica.

Los resultados bioquímicos indicados por Mosa et al. (2020), muestran una disminución significativa ($p \leq 0.05$) en las concentraciones séricas de fósforo, hierro, cobre y glucosa en vacas con pica. Aytekin & Kalinbacak (2008) diagnosticaron niveles bajos de fósforo y cobre en suero de terneros que consumían tierra.

Bajos niveles de fósforo en el forraje y suelo coinciden con la deficiencia de este mineral en muestras sanguíneas de vacas con geofagia, lo cual se justifica como un intento de los animales por satisfacer sus requerimientos mediante el consumo de arena, de acuerdo con los resultados obtenidos por Smith et al. (2000).

Nikvand et al. (2018) identificaron que las concentraciones séricas de fósforo, potasio, hierro y cloro de vacas con pica fueron más bajas que los del grupo control (vacas sin pica) ($p < 0.05$), mientras que para las concentraciones de calcio, magnesio, sodio, zinc y cobre no hubo diferencias significativas entre ambos grupos ($p > 0.05$).

Hierro

El hierro es el elemento traza más abundante en el cuerpo; es un componente importante de muchas enzimas y está ampliamente involucrado en el transporte de oxígeno y de electrones, en el ciclo del ácido tricarboxílico, producción de hemoglobina y mioglobina, síntesis de ADN, diferenciación celular, expresión genética, entre otros (Deng et al., 2021; Suttle, 2010).

En el animal, el hierro existe principalmente unido a proteínas (hemoproteínas) como compuestos heme (hemoglobina o mioglobina), como enzimas heme (citocromos mitocondriales y microsomales, catalasa y peroxidasa) o como

enzimas no heme (transferrina y ferritina) (McDowell & Arthington, 2005). Se considera que es el segundo mineral más abundante en la superficie terrestre, la fuente más importante de consumo de hierro son el forraje, ensilaje y los suplementos minerales (Wysocka et al., 2020).

El principal signo clínico de la deficiencia de hierro es la anemia pero también pueden presentarse otros signos como: menor ganancia de peso, apatía, cansancio y agitación, reducción del apetito, atrofia de las papilas de la lengua y palidez de las mucosas visibles (McDowell & Arthington, 2005).

Aytekin et al. (2011), realizaron un estudio donde midieron concentraciones séricas de minerales y ciertos parámetros bioquímicos y hematológicos en caballos con pica. Sus resultados indican que el grupo de caballos con pica (grupo I) presentaron niveles de hemoglobina más bajos que el grupo control, caballos sin pica (grupo II), aunque no hubo diferencias significativas entre ambos ($p>0.05$).

Un caso similar fue descrito por Akgul et al. (2000), quienes señalan una disminución significativa de hemoglobina ($p<0.05$) en ovinos que presentaban alopecia y consumo de lana comparados con animales sin estos signos. Nikvand et al. (2018) reportaron también niveles más bajos de hierro sérico en vacas con pica que en las vacas del grupo control.

Cobre

El cobre se encuentra presente y es esencial para la actividad en múltiples enzimas, cofactores y proteínas (Suttle, 2010). El cobre es un elemento necesario para la respiración celular, la formación de los huesos, la función cardíaca, desarrollo del tejido conectivo, mielinización de la médula espinal, queratinización y pigmentación de los tejidos (McDowell & Arthington, 2005).

La deficiencia de este mineral en el ganado se representa por cambios en el color del pelaje, baja tasa de crecimiento, reducción en la producción de leche, diarreas, anormalidades en las articulaciones, fragilidad en los huesos y baja fertilidad, entre otros (McCaughan, 1992). En rumiantes, cuando existen excesos

de molibdeno y azufre en la dieta se generan molibdatos y tiomolibdatos, los cuales se enlazan al cobre provocando una disminución en su absorción y utilización; otros elementos que pueden afectar la biodisponibilidad de este elemento son el zinc, hierro, cadmio y plomo (Asín et al., 2021).

Akgul et al. (2000) y Castañeda (2003) reportaron niveles más bajos de cobre y zinc sérico en ovinos con alopecia e ingesta de lana que en animales sin esta sintomatología. Las concentraciones séricas de cobre y zinc aumentaron como respuesta a la suplementación de estos minerales en la dieta de acuerdo con lo reportado por Castañeda (2003).

Youde & Huaitao (2001) también determinaron niveles deficientes de cobre y azufre en ovinos y caprinos que consumían lana, además, indican cambios patológicos en la piel, músculo estriado, músculo cardíaco y en riñones derivados de este desorden, siendo estos cambios patológicos en la piel a lo que le atribuyen el impedimento en la formación de pelo y lana, provocando alopecia.

En caballos, Aytekin et al. (2011) señalan que las concentraciones de hierro y cobre en suero sanguíneo del grupo I (caballos con pica) fueron inferiores que las del grupo II (caballos sin pica) ($p < 0.05$); estos autores mencionan que la pica es un problema recurrente en caballos de 5 a 10 años de edad y que la deficiencia de hierro y cobre parece ser un factor determinante en la etiología de dicho desorden.

Zinc

El zinc es un nutriente esencial con numerosas funciones, principalmente debido a su participación en múltiples metaloenzimas que regulan procesos metabólicos, el crecimiento, maduración y reparación de tejidos; modula aspectos de la respuesta inmune y antiinflamatoria, y también juega un importante papel en la producción, almacenamiento y secreción hormonal (McDowell & Arthington, 2005; Suttle, 2010).

La deficiencia de zinc se caracteriza por la pérdida del apetito, retraso en el crecimiento, desórdenes reproductivos, deterioro del desarrollo del sistema

nervioso central, disminución en la cicatrización de heridas, alopecia y queratinización del pelo y lana (Deng et al., 2021; Hill & Shannon, 2019).

En un estudio, Nikulin & Kalyuzhny (2021) describieron algunas observaciones sobre vacas deficientes en yodo y zinc dentro de las cuales destacan: mastitis subclínica y clínica (64 y 22 % respectivamente), endometritis puerperal aguda (23.8 %), retención placentaria (8.8 % de las vacas paridas), abortos (2.4 %) miocardiodistrofia, síntomas de osteodistrofia, lesiones en la piel (paraqueratosis), caída de pelo y pica.

Bajas concentraciones séricas de cobre y zinc han sido reportadas en ovinos con alopecia y consumo de lana, lo cual indica que existe una relación entre la deficiencia de ambos minerales en la manifestación de esta sintomatología de acuerdo con lo reportado por Akgul et al. (2000) y Castañeda (2003).

Luna y Roldan (2013) realizaron un diagnóstico mineral en vacas lecheras e indican deficiencias de hierro y zinc en vacas lactantes, situación atribuida al estrés y altas temperaturas, pero en el caso específico del zinc lo relacionan a la alta demanda de este mineral durante la secreción de leche. Asimismo, Morales-Almaráz et al. (2021) indican bajos niveles de zinc en vacas lactantes en pastoreo y describen una relación positiva entre la producción de leche y el consumo de zinc, ya que, a menor consumo de concentrado (que incluía una fuente zinc), hubo un menor rendimiento en la producción de leche.

Sodio

El sodio y el cloro se encargan de mantener la presión osmótica, la regulación del equilibrio ácido-base, absorción de nutrientes, transmisión de impulsos nerviosos y de controlar el metabolismo del agua en el cuerpo (McDowell & Arthington, 2005; Suttle, 2010). El signo principal de la deficiencia de sodio en vacas lecheras es la pica o el ansia por la sal, condición que se manifiesta por el lamido de madera, sudor de otros animales, tierra y orina (Suttle, 2010).

Cuando la deficiencia de sodio es prolongada puede presentarse pérdida del apetito, menor tasa de crecimiento y producción de leche, si dicha deficiencia es

más prolongada, otros signos visibles podrían ser temblores musculares, languidez, incoordinación y arritmia cardíaca (McDowell & Arthington, 2005). Whitlock et al. (1975) indican que la poliuria y la polidipsia son otros signos característicos de hiponatremia en vacas lecheras. Luna y Roldan (2013) reportan que vacas gestantes y lactantes presentaron hiponatremia significativa ($p < 0.05$) en comparación con vacas en el periodo de transición; la mayor demanda de este elemento para la síntesis de leche es la principal causa a la cual atribuyen sus resultados.

En camellos que presentaban osteofagia, geofagia, litofagia y coprofagia, Dhaka et al. (2024) señalan una disminución en el número de bocados por hora de objetos no alimentarios del 79 y 81 % en el grupo A (camellos suplementados con una mezcla mineral) y grupo B (camellos suplementados con una mezcla mineral más sal común), respectivamente. Mencionan también que la ganancia de peso fue mayor en el grupo A y B en comparación con el grupo control, siendo el grupo B el que presentó el promedio más alto (12.50 ± 0.89); sugieren que la administración de 50 g diarios por animal de la mezcla mineral durante dos meses alivió satisfactoriamente los síntomas de pica.

Yodo

La única función conocida de este elemento es su participación en la síntesis de las hormonas tiroideas triyodotironina (T3) y tiroxina (T4). Estas hormonas juegan un papel importante en la termorregulación, metabolismo intermediario, reproducción, respuesta inmune, crecimiento y desarrollo, circulación sanguínea y función del músculo (McDowell & Arthington, 2005).

La deficiencia de yodo en rumiantes jóvenes se manifiesta por debilidad generalizada, bocio y crías ciegas, sin pelo o muertas, dependiendo del grado de severidad; en adultos hay presencia de bocio y la reproducción se afecta drásticamente debido a que las frecuencias de los estros se vuelven irregulares o son suprimidos (McDowell & Arthington, 2005).

Healy et al. (1972), determinaron concentraciones de yodo en suelo, forraje y heces de corderos ubicados en dos áreas distintas de un predio, parte alta y baja; indican que el forraje era bajo en yodo (<0.1 ppm) en ambas áreas, pero las heces de los corderos que se encontraban en la parte baja presentaban una cantidad muy baja de yodo en comparación con las heces colectadas en la parte alta (0.5 vs. 2 ppm), lo cual es atribuido al consumo de tierra y a las diferencias de concentraciones de yodo en el suelo entre dichas áreas. Finalmente, concluyeron que la tierra consumida era una fuente de yodo para los corderos ubicados en la parte alta, la cual previno la incidencia de bocio en estos animales, condición presente en los corderos en la zona baja.

La presencia de bocio también fue señalada por Nikulin & Kalyuzhny (2021) en vacas lecheras con niveles séricos de zinc y yodo más bajos que el rango normal. También indican el nacimiento de becerros prematuros muertos sin pelo.

Potasio

Es el principal catión intracelular y el tercer elemento más abundante en el cuerpo animal; es esencial para múltiples funciones corporales como el equilibrio osmótico, el ácido-base y el hídrico, además de su requerimiento en varios sistemas enzimáticos (McDowell & Arthington, 2005). La deficiencia de potasio en vacas lecheras se expresa con una reducción drástica en el consumo de alimento y agua, disminución en la producción de leche, bajas concentraciones plasmáticas del mineral, completa inanición, tetania y pica (McDowell & Arthington, 2005).

En un estudio realizado en novillos Hereford con distintos niveles de potasio en la dieta (0.27, 0.36, 0.51, 0.72 y 0.85 %), los síntomas de deficiencia fueron visibles en los grupos que recibían la dieta con 0.27 y 0.36 % de potasio, los cuales tenían niveles séricos promedio de 145 y 166 ppm, respectivamente, además de presentar inanición y pica, específicamente lamido e ingesta de pelo y madera (Devlin et al., 1969).

Nikvand et al. (2018) reportaron niveles séricos significativamente más bajos ($p<0.05$) en vacas con pica en comparación con vacas sin pica. Luna y Roldan (2013) indican niveles de potasio dentro del rango normal en todos los estados fisiológicos que evaluaron; gestantes (dos meses previos al parto), parto (15 días después del parto) y lactancia avanzada (dos meses postparto).

Selenio

El selenio es esencial para el crecimiento, reproducción, prevención de enfermedades, respuesta inmune y para la protección de la integridad de tejidos; en conjunto con la vitamina E, se encargan de proteger las membranas biológicas de la degeneración oxidativa (McDowell & Arthington, 2005). El principal signo de la deficiencia de selenio es la enfermedad del músculo blanco, pero también pueden presentarse otros como: becerros neonatos débiles, neumonía en becerros, baja ganancia de peso, disminución en la producción de leche, diarrea, retención placentaria, fertilidad disminuida, entre otros (McCaughan, 1992).

Ran et al. (2024) realizaron un diagnóstico mineral del hábitat de la gacela de Przewalski (*Procapra przewalskii*) para encontrar la causa de la incidencia de anemia microcítica en estos animales; dichos animales también presentaban emaciación, inapetencia, disquinesia y pica. Finalmente determinaron que el bajo contenido de selenio en el suelo aumentó la absorción de azufre en el forraje, esto a su vez generó deficiencias de cobre en las gazelas (debido al antagonismo entre estos elementos), contribuyendo así a la manifestación de anemia microcítica.

2.3.4 Impacto de la pica en la salud de los animales

La pica es considerada un problema importante para los productores y los encargados de la salud animal debido a su impacto en la salud y productividad del animal (Figura 6) y, por lo tanto, en la rentabilidad del hato (Tharwat & Al-Hawas, 2024).

Puede generar diversas consecuencias serías como canibalismo, envenenamiento, intoxicación, botulismo; obstrucción debido a la acumulación de lana, arena o fibra; perforación del esófago o algún otro componente del tracto gastrointestinal causada por el consumo de objetos punzantes (alambres, clavos y otros metales) y reticuloperitonitis (Constable et al., 2017).

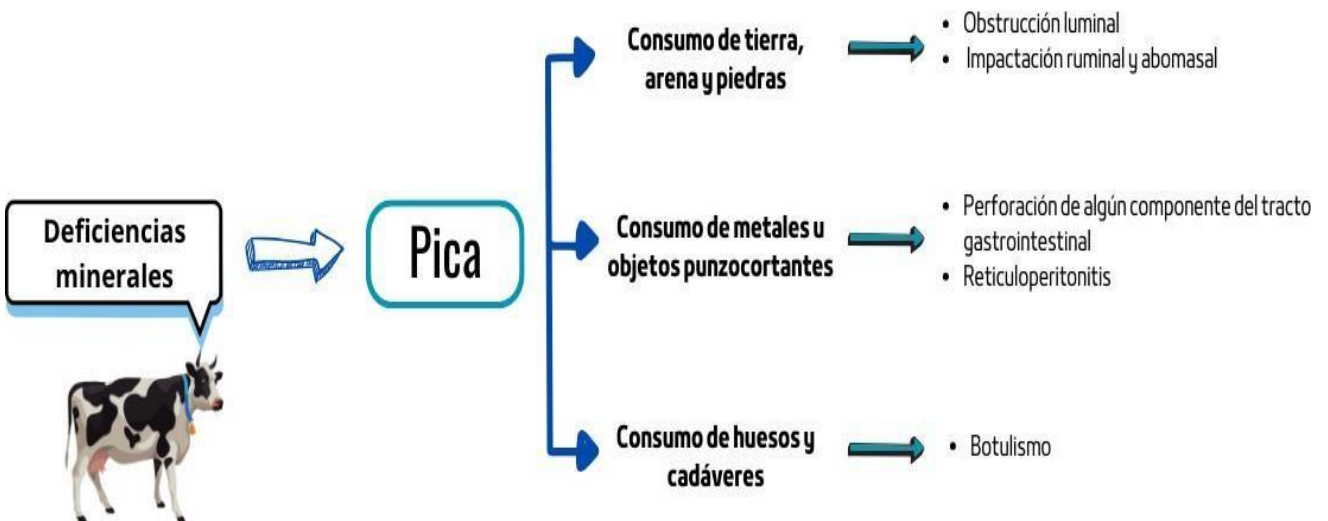


Figura 6. Diagrama de las posibles implicaciones en la salud de animales con pica.

2.4 Literatura citada

- Asín, J., Ramírez, G. A., Navarro, M. A., Nyaoke, A. C., Henderson, E. E., Mendonça, F. S., Molín, J., & Uzal, F. A. (2021). Nutritional wasting disorders in sheep. *Animals*, 11(2), 1–19. <https://doi.org/10.3390/ani11020501>
- Aytekin, I., Onmaz, A. C., Aypak, S. U., Gunes, V., & Kucuk, O. (2011). Changes in serum mineral concentrations, biochemical and hematological parameters in horses with pica. *Biological Trace Element Research*, 139(3), 301–307. <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8660-y>
- Borgna-Pignatti, C., & Zanella, S. (2016). Pica as a manifestation of iron deficiency. *Expert Review of Hematology*, 9(11), 1075–1080. <https://doi.org/10.1080/17474086.2016.1245136>
- Burchfield, S. R., Elich, M. S., & Woods, S. C. (1977). Geophagia in response to stress and arthritis. *Physiology and Behavior*, 19(2), 265–267. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(77\)90337-7](https://doi.org/10.1016/0031-9384(77)90337-7)
- Castañeda, J. M. (2003). Evaluación de dietas en ovinos con problemas de alopecia e ingestión de lana. [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma Chapingo.
- Chen, X. C., Yin, T. A., He, J. S., Ma, Q. Y., Han, Z. M., & Li, L. X. (1985). Low levels of zinc in hair and blood, pica, anorexia, and poor growth in Chinese preschool children. *The American journal of clinical nutrition*, 42(4), 694–700. <https://doi.org/10.1093/ajcn/42.4.694>
- Deng, Q., Wang, Y., Wang, X., Wang, Q., Yi, Z., Xia, J., Hu, Y., Zhang, Y., Wang, J., Wang, L., Jiang, S., Li, R., Wan, D., Yang, H., & Yin, Y. (2021). Effects of dietary iron level on growth performance, hematological status, and intestinal function in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 99(1), 1–11. <https://doi.org/10.1093/jas/skab002>
- Devlin, T. J., Roberts, W. K., & St Omer, V. V. (1969). Effects of dietary potassium upon growth, serum electrolytes and intrarumen environment of finishing beef steers. *Journal of Animal Science*, 28(4), 557–562. <https://doi.org/10.2527/jas1969.284557x>
- Dhaka, M., Choudhary, S., Tuteja, F., Siyak, S., & Kachhawaha, J. (2024). Common salt supplemented with mineral mixture provides rapid symptomatic relief in pica-affected camels. *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry*, 9(1), 395–398. <https://doi.org/10.22271/veterinary.2024.v9.i1f.894>
- Fawcett, E. J., Fawcett, J. M., & Mazmanian, D. (2016). A meta-analysis of the worldwide prevalence of pica during pregnancy and the postpartum period. *International Journal of Gynecology and Obstetrics*, 133(3), 277–283. <https://doi.org/10.1016/j.ijgo.2015.10.012>

- Firyal, S. 2007. Pica (depraved appetite; allotrophagia) in domestic animals and man. *Pakistan Veterinary Journal* 27(4): 208-210.
- Gordon, J. G., Tribe, D. E., & Graham, T. C. (1954). The feeding behaviour of phosphorus-deficient cattle and sheep. *The British Journal of Animal Behaviour*, 2(2), 72–74. [https://doi.org/10.1016/S0950-5601\(54\)80035-9](https://doi.org/10.1016/S0950-5601(54)80035-9)
- Healy, W. B., Crouchley, G., Gillett, R. L., Rankin, P. C., & Watts, H. M. (1972). Ingested soil and iodine deficiency in lambs. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 15(4), 778–782. <https://doi.org/10.1080/00288233.1972.10421631>
- Hill, G. M., & Shannon, M. C. (2019). Copper and zinc nutritional issues for Agricultural Animal Production. *Biological Trace Element Research*, 188(1), 148–159. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1578-5>
- Leung, A. K. C., & Hon, K. L. (2019). Pica: a common condition that is commonly missed - an update review. *Current Pediatric Reviews*, 15(3), 164–169. <https://doi.org/10.2174/1573396315666190313163530>
- Lumish, R. A., Young, S. L., Lee, S., Cooper, E., Pressman, E., Guillet, R., & O'Brien, K. O. (2014). Gestational iron deficiency is associated with pica behaviors in adolescents. *Journal of Nutrition*, 144(10), 1533–1539. <https://doi.org/10.3945/jn.114.192070>
- Martins, a M. C. R. P. F., Leme, M. C. M., Portugal, M. a S. C., Baldassi, L., & Margatho, L. F. F. (2004). Presença de corpos estranhos não habituais no aparelho digestório dos bovinos. *Arquivos Do Instituto Biológico*, 71(1), 83–87.
- McCaughan, C. J. (1992). Treatment of mineral disorders in cattle. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 8(1), 107–145. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30762-3](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30762-3)
- McDowell, L. R., & Arthington, J. D. 2005. Minerals for grazing ruminants in tropical regions. University of Florida IFAS, 90.
- Miao, D., Young, S. L., & Golden, C. D. (2015). A meta-analysis of pica and micronutrient status. *American Journal of Human Biology*, 27(1), 84–93. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22598>
- Mitchell, D., Wells, C., Hoch, N., Lind, K., Woods, S. C., & Mitchell, L. K. (1976). Poison induced pica in rats. *Physiology and Behavior*, 17(4), 691–697. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(76\)90171-2](https://doi.org/10.1016/0031-9384(76)90171-2)
- Mitchell, W. M. (1968). Pica in adults. *California Medicine*, 109(2), 156–158. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5614-7_2641
- Morales-Almaráz, E., Vieyra-Alberto, R., Domínguez-Vara, I. A., López-González, F., Arriaga-Jordán, C. M., & Sánchez-Torres, J. E. (2021). Perfil mineral sérico de vacas Holstein en lactación en sistemas mixtos de estabulación-

pastoreo. *Agronomía Mesoamericana*, 32(1), 45–62.
<https://doi.org/10.15517/am.v32i1.41333>

- Mosa, A. H., Albayati, O. A. S. S., & Hamzah, K. J. (2020). Clinical diagnosis and therapeutic study of pica in Iraqi local cows. *Plant Archives*, 20, 1478–1482.
- Nikulín, I., & Kalyuzhny, I. (2021). Clinical symptoms of iodine and zinc deficiency in dairy cows. *BIO Web of Conferences*, 32, 1–7.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/20213204005>
- Nikvand, A. A., Rashnavadi, M., & Tabandeh, M. R. (2018). A study of pica in cattle in Iran. *Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research*, 23, 15–18. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2017.10.006>
- Öcal, N., Gökçe, G., Gücüş, A. I., Uzlu, E., Yağci, B. B., & Ural, K. (2008). Pica as a predisposing factor for traumatic reticuloperitonitis in dairy cattle: Serum mineral concentrations and hematological findings. In *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 7, (6), 651–656.
- Padilla, F. V., & Miján De La Torre, A. (2006). La pica: retrato de una entidad clínica poco conocida. *Nutr Hosp.* 21(5), 557–566.
http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112006000800001&lng=es&tlng=es
- Ran, Y., Li, Y., & Shen, X. (2024). Studies of a naturally occurring selenium-induced microcytic anemia in the Przewalski's gazelle. *Animals* 14(7), 111.
<https://doi.org/10.3390/ani14071114>
- Rossanigo, C. E., Frasinelli, C. A., & Bengolea, A. (2014). Pica en vacas en parición confinadas con silo de autoconsumo y agua de bebida de bajo tenor salino. *Revista Argentina de Producción Animal*, 34(1), 45–75.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1512.8569>
- Schild, C., Boabaid, F., Olivera, L., & Saravia, A. (2021). Osteomalacia as a result of phosphorus deficiency in beef cattle grazing subtropical native pastures in Uruguay. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 33(5), 1018-1022.
[10.1177/10406387211025828](https://doi.org/10.1177/10406387211025828)
- Siciliano-Jones, J. L., Socha, M. T., Tomlinson, D. J., & DeFrain, J. M. (2008). Effect of trace mineral source on lactation performance, claw integrity, and fertility of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 91(5), 1985–1995.
<https://doi.org/10.3168/jds.2007-0779>
- Simpson, E., Mull, J. D., Longley, E., & East, J. (2000). Pica during pregnancy in low-income women born in México. *Western Journal of Medicine*, 173(1), 20–24. <https://doi.org/10.1136/ewj.173.1.20>
- Singhi, S., Ravishanker, R., Singhi, P., & Nath, R. (2003). Low plasma zinc and iron in pica. *Indian Journal of Pediatrics*, 70(2), 139–143.
<https://doi.org/10.1007/BF02723740>

- Smith, J. W., Adebawale, E. A., Ogundola, F. I., Taiwo, A. A., Akpavie, S. O., Larbi, A., & Jabbar, M. A. (2000). Influence of minerals on the aetiology of geophagia in periurban dairy cattle in the derived savannah of Nigeria. *Tropical Animal Health and Production*, 32(5), 315–327. <https://doi.org/10.1023/A:1005269107863>
- Tharwat, M., & Al-Hawas, A. (2024). The syndrome of pica or depraved appetite in small ruminants: a mini-review. *International Journal of Veterinary Science*, 13(3), 341–348. <https://doi.org/10.47278/journal.ijvs/2023.095>
- Whitlock, R. H., Kessler, M. J., & Tasker, J. B. (1975). Salt (sodium) deficiency in dairy cattle: polyuria and polydipsia as prominent clinical features. *Cornell Vet.*, 65(4), 512–526.
- Woywodt, A., & Kiss, A. (2002). Geophagia: the history of earth-eating. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 95, 143–146.
- Wysocka, D., Snarska, A. & Sobiech, P. (2020). Iron in cattle health. *Journal of Elementology*. 25(3), 1175-1185. 10.5601/jelem.2020.25.2.1960
- Youde, H., & Huaitao, C. (2001). Studies on the pathogenesis of shimaos zheng (fleece-eating) in sheep and goats. *Veterinary Research Communications*, 25(8), 631–640. <https://doi.org/10.1023/A:1012739129271>
- Young, S. L. (2010). Pica in pregnancy: New ideas about an old condition. *Annual Review of Nutrition*, 30, 403–422. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.012809.104713>
- Yüksek, V., Ekici, P., Dede, S., Çetin, S., Usta, A. (2019). Profiles of serum protein fractions pre-treatment and post-treatment in lambs with pica disorder. *Turkish Journal of Veterinary Research* 3(2), 67–71.

3. Diagnóstico mineral de bovinos lecheros con pica

José Ricardo Álvares-Rodríguez¹ Ruth Manzayani García-Fuerte¹ Victor Arteaga Cabrera² José Orlando Jiménez Paez³ Alvin Gustavo Carrillo Hurtado¹ Maximino Huerta Bravo¹

¹Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, México

²Laboratorios Lapisa S.A. de C.V., División de Nutrición Animal, México

³synBios, México

*Autor para la correspondencia: ricardoalvares117@gmail.com

José Ricardo Álvares-Rodríguez: ORCID <https://orcid.org/0009-0001-9108-0362>

Ruth Manzayani García-Fuerte: ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4370-1934>

Victor Arteaga Cabrera: ORCID <https://orcid.org/0009-0003-7524-0623>

José Orlando Jiménez Paez: ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2187-6381>

Alvin Gustavo Carrillo Hurtado: ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6882-6517>

Maximino Huerta Bravo: ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9150-8971>

Mineral diagnosis of dairy cattle with pica

Abstract. Pica is a common and widespread disorder in all species, including cattle, and its existence has been proven on all continents. It is characterized by consuming substances and foreign bodies with little or no nutritional value that often cause clinical alterations. The main cause of this disorder is mineral deficiencies. Therefore, the objective of this study was to determine the concentrations of macro and microminerals in the blood serum of cows with pica. Multiparous Holstein cows in different physiological states ($n = 45$) were used, they were randomly selected to obtain blood samples. Samples of food and tepetate consumed by the animals were also collected. The determination of mineral concentrations of copper (Cu), iron (Fe), zinc (Zn), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), potassium (K) and manganese (Mn) were performed by atomic absorption spectrophotometry; for phosphorus (P), the samples were analyzed by visible ultraviolet spectrophotometry. It was detected that cows had deficiencies in serum concentrations of Zn, Na, K and P, and excesses of Mg, Mn and Ca. Physiological state effects were found for P ($p < .0001$), Zn ($p = 0.041$), Fe ($p < .0001$), Mn ($p < .0001$), and Mg ($p = 0.034$). The feed offered presented levels below the zinc requirement in the diet (32.8 - 44.6 mg/kg). In conclusion, mineral imbalances are a sustainable cause of pica, causing productive inefficiencies in the production systems where it occurs.

Keywords: disorder, imbalances, excess, deficiency, physiological state

Resumen. La pica es un desorden común y generalizado en todas las especies, incluyendo a los bovinos y se ha demostrado su existencia en todos los continentes. Se caracteriza por consumir sustancias y cuerpos extraños de poco o nulo valor nutritivo que muchas veces llegan a provocar alteraciones clínicas. La principal causa de este desorden son las deficiencias de minerales. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar las concentraciones de macro y microminerales en suero sanguíneo de vacas con pica. Se utilizaron vacas Holstein multíparas en distintos estados fisiológicos ($n = 45$), las cuales se seleccionaron aleatoriamente para la obtención de muestras sanguíneas. También se recolectaron muestras de alimento y tepetate consumidos por los animales. Las determinaciones de cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K) y manganeso (Mn) se realizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica y para fósforo (P) por medio de espectrofotometría ultravioleta visible.

¹ Este capítulo se envió a la revista de Archivos Latinoamericanos de Producción Animal

El diseño experimental fue completamente al azar y el modelo estadístico incluyó el efecto del estado fisiológico y se analizó mediante el procedimiento GLM de SAS. Se detectó que las vacas presentan deficiencias en las concentraciones séricas de Zn, Na, K y P, y exceso de Mg, Mn y Ca. Se encontró efecto de estado fisiológico para P ($p<.0001$), Zn ($p=0.041$), Fe ($p<.0001$), Mn ($p<.0001$), y Mg ($p=0.034$). El alimento ofrecido presentó concentraciones más bajas que el requerimiento diario de zinc (32.8 - 44.6 mg/kg). En conclusión, las vacas gestantes tuvieron las concentraciones más bajas de hierro, potasio y fósforo. Los desbalances minerales son una causa sustentable que provocan pica, ocasionando ineficiencias productivas en los sistemas de producción donde se presenta.

Palabras claves: desorden, desbalances, exceso, deficiencia, estado fisiológico

Diagnóstico mineral de bovinos leiteiros com pica

Resumo. A Pica é uma doença comum e generalizada em todas as espécies, incluindo bovinos, e a sua existência foi comprovada em todos os continentes. Caracteriza-se pelo consumo de substâncias e corpos estranhos com pouco ou nenhum valor nutricional que muitas vezes provocam alterações clínicas. A principal causa deste distúrbio são as deficiências minerais. Portanto, o objetivo deste estudo foi determinar as concentrações de macro e microminerais no soro sanguíneo de vacas com pica. Foram utilizadas vacas holandesas multíparas em diferentes estados fisiológicos ($n = 45$), selecionadas aleatoriamente para obtenção de amostras de sangue. Também foram coletadas amostras de alimentos e tepetate consumidos pelos animais. A determinação das concentrações dos minerais cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), potássio (K) e manganês (Mn) foram realizadas por absorção atômica. espectrofotometria; para o fósforo (P), as amostras foram analisadas por espectrofotometria no ultravioleta visível. Foi detectado que as vacas apresentavam deficiências nas concentrações séricas de Zn, Na, K e P, e excessos de Mg, Mn e Ca foram encontrados para P ($p<0,0001$), Zn ($p=0,041$), Fe. ($p<0,0001$), Mn ($p<0,0001$) e Mg ($p=0,034$). A ração oferecida apresentou níveis abaixo da exigência de zinco na dieta (32,8 - 44,6 mg/kg). Concluindo, os desequilíbrios minerais são uma causa sustentável da pica, causando ineficiências produtivas nos sistemas de produção onde ocorre.

Palabras claves: desorden, desequilíbrios, exceso, deficiências, estado fisiológico

Introducción

La pica es una conducta anormal presente en algunos animales y humanos caracterizada por lamer, mordisquear y consumir objetos y sustancias como huesos, tierra, piedras, madera, entre otros (McDowell & Arthington, 2005; Firyal, 2007). Dicho desorden puede presentarse en cualquier etapa fisiológica, siendo más susceptibles los animales gestantes y lactantes, esto es debido al cambio en los requerimientos nutricionales y aunado también a la baja sensibilidad de los órganos gustativos de los bovinos (Martins et al., 2004; Firyal, 2007). Puede ser ocasionada por diversos factores como: alteraciones nutricionales, aburrimiento, cambios hormonales, estrés y

parasitosis (Elshahawy & Aly, 2016; Nikvand et al., 2018; Williams et al., 2022).

La principal causa de la pica son las deficiencias de macrominerales y microminerales; calcio, fósforo, hierro, cobre, selenio y zinc (Öcal et al., 2008).

Además, el hábito de comer lana en ovinos se ha asociado a deficiencias minerales, en particular de cobre, zinc y cobalto (Mosa et al., 2020). Whitlock et al. (1975), sugieren que las deficiencias de sodio y fósforo en los alimentos son causas probables de la pica en animales de producción. El consumo de tierra y piedras es una respuesta directa a la alimentación con forrajes de bajo contenido mineral (Wallisdevries, 1996).

Algunas de las consecuencias derivadas de la pica pueden ser: reticuloperitonitis traumática provocada por la ingesta de objetos filosos, problemas digestivos; atonía ruminal y obstrucción y botulismo (Smith et al., 2000; Radostits et al., 2007; Braun et al., 2020). Este último provocado por el consumo de huesos o cadáveres contaminados con *Clostridium botulinum* (Wallisdevries, 1996; Huerta, 2016).

A pesar de que es un desorden muy frecuente y generalizado en todas las especies existe poca información documentada al respecto, lo cual dificulta su detección y corrección. Por ello, el objetivo de esta investigación fue realizar un diagnóstico mineral de ganado lechero estabulado con consumo generalizado de tepetate.

Materiales y métodos

El diagnóstico mineral se realizó en un sistema de producción de leche intensivo ubicado en la localidad de Jaltomate, municipio de Aguascalientes, Aguascalientes, México 21° 52' 47" N, 102° 17' 45" W. El clima es semiseco templado con lluvia en verano, la temperatura media anual es de 18.6 °C (INEGI, 2021).

Manejo de muestras sanguíneas

Se tomaron muestras sanguíneas de vacas Holstein (n=45) en distintos estados fisiológicos; altas productoras (≥ 40 kg de producción diaria de leche) (n=12), recién inseminadas (n=10), gestantes (n=20) y recién paridas (n=3). Los animales fueron seleccionados al azar, pero considerando un registro previo de aquellos que presentaban pica y sobre todo los que fueron detectados en el momento del muestreo. Las muestras se obtuvieron mediante venopunción extrayendo 10 mL muestra⁻¹, siguiendo los procedimientos descritos por Fick et al. (1979). Estas muestras se colocaron en tubos Vacutainer sin anticoagulante y se centrifugaron a 2500 rpm durante 15 minutos para la obtención de suero sanguíneo, el cual se almacenó a -4 °C hasta su análisis en laboratorio.

Manejo de muestras de alimento

Se colectaron muestras de alimento ofrecido y de algunos otros ingredientes de la dieta. Las muestras se secaron en una estufa de aire forzado a 60°C hasta temperatura constante durante 48 horas, posteriormente se molieron. Se determinó materia seca (MS), proteína cruda (PC) y cenizas mediante análisis proximal (AOAC, 1990). Las cenizas fueron solubilizadas y diluidas para las determinaciones de minerales.

Análisis de laboratorio

Las determinaciones de concentraciones minerales en suero y alimento de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y Mn se realizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica. La concentración de P de las muestras se determinó por medio de espectrofotometría ultravioleta visible, en ambas siguiendo la metodología descrita por Fick et al. (1979).

Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar. Los datos se analizaron con el procedimiento GLM de SAS. El modelo estadístico incluyó los siguientes parámetros:

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

Donde: Y_{ij} = variable dependiente (minerales), μ = media global, S_j = efecto fijo (estado fisiológico) y e_{ij} = error residual. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey.

Resultados

El estado fisiológico de las vacas afectó las concentraciones del hierro, zinc, magnesio, manganeso, potasio y fósforo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Probabilidad del estado fisiológico de las vacas para cada uno de los minerales estudiados.

	Cobre	Hierro	Zinc	Magnesio	Manganeso	Calcio	Sodio	Potasio	Fósforo
	Pr > F								
Estado fisiológico	0.1122	<.0001	0.0459	0.0344	<.0001	0.2320	0.4452	0.0464	<.0001

Las vacas estaban deficientes en las concentraciones séricas de zinc (0.66 mg L⁻¹), sodio (1915.64 mg L⁻¹), potasio (147.50 mg L⁻¹) y fósforo (39.24 mg L⁻¹). También se detectaron vacas con exceso de hierro (3.54 mg L⁻¹), magnesio (41.10 mg L⁻¹), manganeso

(8.79 mg L⁻¹) y calcio (60.39 mg L⁻¹) (Cuadro 2). Esto de acuerdo con los rangos normales establecidos por Kvar & Larsson (1978) y Puls (1988).

Cuadro 2. Concentración mineral en suero sanguíneo de vacas con pica en distintos estados fisiológicos.

Mineral (mg L ⁻¹)	Estado fisiológico				EEM ^v	Rango normal ^u
	Altas productoras ^z	Servidas ^y	Gestantes ^x	Frescas ^w		
Cobre	0.99	0.88	0.89	0.92	0.04	0.8-1.5
Hierro	4.89 ^a	3.46 ^b	2.72 ^b	3.85 ^{ab}	0.26	1.3-2.5
Zinc	0.75	0.64	0.61	0.71	0.05	0.8-1.4
Calcio	57.65	58.54	63.15	59.07	2.99	37.6-48.8*
Magnesio	38.08	37.31	44.80	41.15	2.80	18-30
Sodio	1719.83	2029.10	1927.90	2239.00	216.91	3100-3450
Potasio	154.48 ^{ab}	150.12 ^b	119.82 ^b	295.00 ^a	36.37	160-215
Manganeso	9.17 ^a	8.98 ^a	8.40 ^{ab}	9.23 ^a	0.12	0.006-0.070
Fósforo	51.73 ^a	47.73 ^a	27.91 ^b	36.52 ^{ab}	5.07	40-60
Relación Sodio: Potasio	14.01	19.41	22.58	9.00	3.86	14.4:1-21.6:1

^{a b} Medias en la misma fila sin literal en común son diferentes (p≤0.05).

^z = producción láctea de 40 litros o más, ^y = recién inseminadas, ^x = diagnóstico de gestación confirmado,

^w = recién paridas, ^v = error estándar de la media y ^u = rango normal de acuerdo con Puls, 1988.

*Rango normal de calcio inorgánico de acuerdo con Kvar & Larsson, 1978.

El contenido de zinc y potasio en el alimento fue más bajo que el requerimiento diario para vacas lecheras: 58-66 mg/kg y 9700-11000 mg/kg,

respectivamente. Asimismo, presentó niveles en exceso de hierro y magnesio, sobrepasando de manera importante el requerimiento diario (21

mg/kg y 1800 mg/kg, respectivamente); las concentraciones del resto de los minerales en el

alimento cumplían con los requerimientos señalados por el NASEM (2021) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Concentración mineral del alimento.

Muestra	Cobre (mg/kg)	Hierro (mg/kg)	Zinc (mg/kg)	Magnesio (mg/kg)	Potasio (mg/kg)	Manganeso (mg/kg)
Alimento C4 ^z	27.0	310	32.8	3470	8570	180
Alimento C5 ^y	28.4	568	31.1	3320	14900	230
Alimento C7 ^x	31.6	441	44.6	3560	7950	220
Alimento C8 ^w	33.5	490	42.4	2930	5010	250
Ensilado de maíz	14.4	1890	14.1	2570	4720	260
Núcleo proteico	102.1	293	219.5	3950	8040	280
Maíz rolado	5.3	49.2	20.1	1940	4690	270
Tepetate	5.4	3142	14.8	1410	2630	340

^z = alimento disponible en el corral número 4

^y = alimento disponible en el corral número 5

^x = alimento disponible en el corral número 7

^w = alimento disponible en el corral número 8

Discusión

Luna y Roldan (2013) realizaron determinaciones minerales en vacas lecheras en distintos estados fisiológicos; detectaron deficiencias de zinc y sodio en las vacas gestantes y lactantes, resultados similares a los encontrados en esta investigación y que puede ser atribuible al bajo contenido de zinc en el alimento y a la alta demanda de sodio para la síntesis de leche. Las vacas lecheras con pica tienen deficiencia de sodio y esta deficiencia les provoca polidipsia y poliuria, signo reportado por Whitlock (1975).

La deficiencia de zinc es generalizada en todos los estados fisiológicos; altas productoras (0.75 ± 0.05 mg L⁻¹), servidas (0.64 ± 0.05 mg L⁻¹), gestantes (0.61 ± 0.05 mg L⁻¹) y frescas (0.71 ± 0.05 mg L⁻¹).

En estudios realizados con caballos que tienen pica se encontró una deficiencia de zinc (0.42 ± 0.1 μmol/L) (Zheng Li et al., 2020). Kadhim et al. (2021) encontraron niveles deficientes de zinc (46.97 ± 0.32 g/dL) en ovejas con baja condición corporal, desnutridas y con pica.

Para Akgül et al. (2000), la pica está relacionada con deficiencias de fósforo, cobre, sodio y zinc debido a las concentraciones encontradas en ovinos con pica; fósforo (6.00 ± 0.65 mg/dl), cobre (0.82 ± 0.04 mg/dL), sodio (147.37 ± 6.26 mg/dL) y zinc (0.73 ± 0.11 mg/dL). Akgül et al. (2000) y Castañeda (2003) mencionan que las deficiencias de cobre y zinc en ovinos son la causa de alopecia y consumo de lana en estos animales.

En un diagnóstico mineral de vacas con pica, Mosa et al. (2020) encontraron concentraciones de $205 \pm 17 \text{ mg L}^{-1}$ de potasio, fósforo $34.5 \pm 8.9 \text{ mg L}^{-1}$ y calcio $91.2 \pm 6.9 \text{ mg L}^{-1}$; ellos atribuyen que la pica es un desorden en el cual se debe de considerar la relación calcio-fósforo en la dieta y su efecto del fósforo en esta, misma situación que define Nikvand et al. (2018), diagnosticando hipofosfatemia en vacas con pica ($1.82 \pm 0.7 \text{ mg/dL}$).

El grupo de vacas con mayor deficiencia en fósforo son las vacas gestantes ($27.91 \pm 5.07 \text{ mg L}^{-1}$) y las frescas ($36.52 \pm 5.07 \text{ mg L}^{-1}$) (Cuadro 1). Franco-Schafer et al. (2022) reportaron niveles de fósforo de $3.71 \pm 1.40 \text{ mg/dl}$ en vacas gestantes, lo cual indica una deficiencia de este mineral. Asimismo, Albornoz et al. (2017) reportaron concentraciones séricas de fósforo de vacas gestantes ($6.02 \pm 0.12 \text{ mg/dl}$) y lactantes ($5.30 \pm 0.09 \text{ mg/dl}$), ambos grupos fueron categorizados como deficientes para la región, sin embargo, no concuerda con lo sugerido por Puls (1998) con relación al nivel crítico de deficiencia.

El fósforo es un mineral de suma importancia para todas las funciones metabólicas, para el crecimiento, la reproducción y en la producción de leche; para los animales gestantes resulta relevante cuidar los requerimientos de este mineral debido a que se puede desarrollar hipofosfatemia (Barrios et al., 2010). Jackson et al. (2023) describen cómo durante la última etapa de la gestación existe demasiada movilización de fósforo, considerando los requerimientos hasta un tercio mayor.

De acuerdo con los resultados encontrados, el grupo de vacas altas productoras presentan mayores concentraciones de hierro ($4.89 \pm 0.26 \text{ mg L}^{-1}$), situación diferente de las vacas gestantes ($2.72 \pm 0.26 \text{ mg L}^{-1}$) y vacas servidas ($3.46 \pm 0.26 \text{ mg L}^{-1}$).

Se estima que estos niveles de hierro entran en la categoría de exceso, pero considerando que los animales estaban consumiendo tepetate el cual presenta alta concentración de este mineral (3142 mg/kg) (Cuadro 3), se podría atribuir a lo anterior las concentraciones elevadas de hierro en el suero sanguíneo.

Albornoz et al. (2017) indicaron que los niveles de magnesio en vacas Holstein gestantes fue de $2.56 \pm 0.015 \text{ mg/dL}$; siendo mucho más bajos que lo encontrado en este estudio puesto que el grupo con las concentraciones más bajas fueron las vacas servidas con 37.31 mg L^{-1} . Algunos ingredientes de la dieta ofrecida son ricos en magnesio; ensilado de maíz (2570 mg/kg), núcleo proteico (3950 mg/kg) y maíz roado (1940 mg/kg) (Cuadro 3), siendo esta la posible causa de los niveles séricos elevados. Para Sánchez (2014), los niveles de magnesio interfieren con la concentración de potasio y su absorción, lo cual coincide con el estado de los animales analizados.

La concentración de zinc en el ensilado de maíz utilizado para la alimentación de las vacas presenta niveles más bajos de zinc y potasio que los reportados por Morales-Almaráz et al. (2021), (18 ppm y 0.66%), respectivamente. También, el ensilado de maíz muestra exceso de hierro (1890 mg/kg), comparado con el valor obtenido (111 ppm) por Morales-Almaráz et al. (2021).

Cuadro 4. Contenido de materia seca (MS), cenizas y proteína cruda (PC) de la dieta completa de vacas lecheras.

Muestra	MS (%)	Cenizas (%)	PC (%)
Alimento C4 ^a	95.6	9.7	16.4
Alimento C5 ^b	95.6	10.3	18.9
Alimento C7 ^c	95.5	11.4	17.6
Alimento C8 ^d	95.7	11.2	19.2
Ensilado de maíz	95.4	20.3	4.5
Núcleo proteico	96.3	13.9	35.3
Maíz roado	95.9	1.6	8.2

^a= alimento disponible en el corral número 4

^b= alimento disponible en el corral número 5

^c= alimento disponible en el corral número 7

^d= alimento disponible en el corral número 8

El porcentaje de proteína cruda (4.5%) (Cuadro 4) detectada en el ensilado de maíz es más bajo que el promedio señalado por Joaquín et al. (2022) (8.2 %).

El porcentaje de proteína cruda del maíz roado (8.2 %) y su nivel de Zn (20.1 mg/kg) se encuentran dentro de los rangos mencionados por Alvarado et al. (2009) y NASEM (2021).

Conclusión

Los animales analizados presentaban deficiencias de fósforo, zinc, potasio y sodio y, excesos de hierro, manganeso y magnesio. Las vacas diagnosticadas mostraban signos característicos de deficiencias

minerales: consumo de tepetate y orina, decoloraciones en pelo y alopecia. En conclusión, los desbalances de nutrimentos pueden provocar pica.

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

Aprobación del Comité de Experimentación Animal: No requerido

Contribuciones de los autores: **José Ricardo Álvares-Rodríguez:** investigación, conceptualización, metodología, escritura y edición del manuscrito. **Ruth Manzayani García-Fuerte:** análisis de información, escritura y edición del manuscrito. **Maximino Huerta Bravo:** adquisición de fondos, conceptualización, análisis de información y supervisión. **José Orlando Jiménez Paez:** supervisión. **Victor Arteaga Cabrera:** adquisición de fondos y supervisión. **Alvin Gustavo Carrillo Hurtado:** supervisión.

Agradecimientos: Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada y al Laboratorio de Nutrición en Rumiantes del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

Financiación: Esta investigación recibió fondos por parte de Laboratorios Lapisa S.A. de C.V.

Literatura citada

- Akgül, Y., Agaoglu, Z.T., Kaya, A. & Salin, T., 2001. The relationship between the syndromes of wool eating and alopecia in Akkaraman and Morkaraman sheep fed corn silage and blood changes (haematological, biochemical and trace elements). *Israel Journal of Veterinary Medicine*. 56(1): 12–16.
- Albornoz, L., Albornoz, J. P., Cruz, J. C., Fidalgo, L. E., Espino, L., Morales, M. y Verdes, J. M., 2017. Estudio comparativo de los niveles de calcio, fósforo y magnesio durante el parto en vacas lecheras en diferentes sistemas de producción en Uruguay y España. *Veterinaria (Montevideo)*, 53(205), 1-1. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S1688-48092017000100001&script=sci_arttext
- Alvarado, C., Anrique, R. y Navarrete, S., 2009. Effect of including extruded, rolled or ground corn in dairy cow diets based on direct cut grass silage. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(3), 356-365.
- Association of Official Analytical Chemists. 1990. *Official methods of analysis* (15th ed.). Arlington; Association of official analytical chemists, Inc.
- Barrios, M., Sandoval, E., Camacaro, O. y Borges, J., 2010. Importancia del fósforo en el complejo suelo-animal. *Mundo Pecuario*, 6(2), 151-156. https://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/231-fosforo_suelo_animal.pdf
- Braun, U., Gerspach, C., Ohlerth, S., Warislohner, S., & Nuss, K., 2020. Aetiology, diagnosis, treatment and outcome of traumatic reticuloperitonitis in cattle. *Veterinary Journal*, 255, 105424. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2020.105424>
- Castañeda, J. M. (2003). Evaluación de dietas en ovinos con problemas de alopecia e ingestión de lana. [Tesis de Maestría]. Universidad Autónoma Chapingo.
- Elshahawy, I., & Aly, M., 2016. Some studies on deviated appetite (pica) in cattle. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*, 51(1), 97. <https://doi.org/10.5455/ajvs.241117>
- Fick, K. R., McDowell, L. R., Miles, P. H., Wilkinson, N. S., Furik, J. D., Conrad, J. H., & Valdivia, R., 1979. *Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales*. Florida, USA: Universidad de Florida.
- Firyal, S., 2007. Pica (depraved appetite; allotrophagia) in domestic animals and man. *Pakistan Veterinary Journal* 27(4): 208-210.
- Franco-Schafer, S., Rangel-Tapia, G. y Jaén-Torrijos, M., 2022. Parámetros hematológicos y bioquímicos en bovinos de leche y cría en Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (35), 13-29. <http://200.46.165.126/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/593>
- Huerta B., M., 2016. Alimentación y suplementación mineral. Sitio Argentino de Producción Animal. Engormix. produccion-animal.com.ar
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2021. División geoestadística municipal y población total por municipio. <https://en.www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/>

- Jackson, D., Dixon, R., Quigley, S., Schatz, T., Rolfe, J., Corbett, E., English, B., Sullivan, M., Chudleigh, F., Wellington, M., Callaghan, M. & Perry, L., 2023. Phosphorus management in cattle in northern Australia. Meat & Livestock Australia Limited.
- Joaquín, S., Rocandio, M., Álvarez, P., Hernández, F. J., Limas, A. G. y Garay, J. R., 2022. Rendimiento y valor nutritivo del forraje y ensilado de maíces nativos en condiciones subtropicales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(5), 873-881.
- Kadhim Al-Wasmee, A. K., & Gharby, W. A., 2021. Clinical and biochemical studies of some minerals deficiencies in well nourished Awassi ewes compared with poor conditions in Babylonian government. *Biochemical and Cellular Archives*, 21(1), 819-823.
- Kvart, C. & Larsson, L., 1978. Studies on ionized calcium in serum and plasma from normal cows. Its relation to total serum calcium and the effects of sample storing. *Acta Vet. Scand.*, 19 (4), 487-496.
- Luna, M.L., y Roldan, V.P., 2013. Perfil mineral en bovinos lecheros de Santa Fe, Argentina. *Revista Veterinaria*, 24(1), 47-52.
<http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S166968402013000100010&script=sciarttex&tlng=en>
- Martins, A. M. C. R. P. F., Leme, M. C. M., Portugal, M. A. S. C., Baldassi, L., & Margatho, L. F. F., 2004. Presença de corpos estranhos no habituais no aparelho digestório dos bovinos. *Arquivos Do Instituto Biológico*, 71(1), 83-87.
- McDowell, L. R., & Arthington, J. D. 2005. Minerals for grazing ruminants in tropical regions. University of Florida IFAS, 90.
- Morales-Almaráz, E., Vieyra-Alberto, R., Domínguez-Vara, I. A., López-González, F., Arriaga-Jordán, C. M., y Sánchez-Torres, J. E., 2021. Perfil mineral sérico de vacas Holstein en lactación en sistemas mixtos de estabulación-pastoreo. *Agronomía Mesoamericana*, 32(1), 45-62.
- Mosa, A. H., Albayati, O. A. S. S., & Hamzah, K. J., 2020. Clinical diagnosis and therapeutic study of pica in Iraqi local cows. *Plant Archives*, 20: 1478-1482.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2021. Nutrient requirements of dairy cattle: eighth revised edition. Washington, DC: The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/25806>.
- Nikvand, A. A., Rashnavadi, M. & Tabandeh, M. R., 2018. A study of pica in cattle in Iran. *Journal of Veterinary Behavior*, 23, 15-18. ISSN 1558-7878,
<https://doi.org/10.1016/j.jveb.2017.10.006>.
- Öcal, N., Gökçe, G., Gücüş, A. I., Uzlu, E., Yağci, B. B., & Ural, K., 2008. Pica as a predisposing factor for traumatic reticuloperitonitis in dairy cattle: Serum mineral concentrations and hematological findings. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 7, (6), 651-6.

- Puls, R. 1988. Mineral levels in animal health: diagnostic data. Sherpa International.
- Radostits, O. M., Gay, C. C., Hinchcliff, K. W. & Constable, P. D. 2007. Veterinary medicine: textbook of diseases of cattle, horses, sheep, pigs and goats. 10th Ed., W. B. Saunders Co., Philadelphia, USA.
- Sánchez, J. M., y Saborío-Montero, A., 2014. Hipocalcemia e hipomagnesemia en un hato de vacas Holstein, Jersey y Guernsey en pastoreo. *Agronomía Costarricense*, 38(2), 55-65.
- Smith, J. W., Adebawale, E. A., Ogundola, F. I., Taiwo, A. A., Akpavie, S. O., Larbi, A. & Jabbar, M. A. (2000). Influence of minerals on the aetiology of geophagia in periurban dairy cattle in the derived savannah of Nigeria. *Tropical Animal Health and Production*, 32(5), 315–327. <https://doi.org/10.1023/A:1005269107863>
- Wallisdevries, M. F., 1996. Nutritional limitations of free-ranging cattle: the importance of habitat quality. *Journal of Applied Ecology*, 33(4), 688-702. <https://doi.org/10.2307/2404940>
- Whitlock, R. H., Kessler, M. J., & Tasker, J. B., 1975. Salt (sodium) deficiency in dairy cattle: polyuria and polydipsia as prominent clinical features. *Cornell Vet.*, 65(4), 512–526.
- Williams, F., Gibbs, S., & Addo, A. S., 2022. The assessment and management of pica in people with intellectual disability. *BJPsych Advances*, 28(6), 383–392. <https://doi.org/10.1192/bja.2022.24>
- Zheng, L., Qingchao, L., Yuwei, H., Liang, D., & Haiying, L., 2020. A study of serum mineral, antioxidant capacity, and hematobiochemical parameters in horses with pica in China, *Journal of Veterinary Behavior*, 37, 81-85. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2020.04.004>