

Relación calcio, fosforo, magnesio y selenio sobre la reproducción en vacas lecheras durante el periodo de transición

Calcium, phosphorus, magnesium and selenium relationship on reproduction in dairy cows during the transition period

Elmer Camilo Portilla D¹ ; Bernardo Jose Reyes B^{1*} ;
Jose Alberto Cardona-Álvarez¹ ; Donicer Monter-Vergara² .

¹Universidad de Córdoba, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Ciencias Pecuarias, Grupo de Investigación MEGA, Montería, Colombia.

²Universidad de Sucre. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Zootecnia. Sincelejo, Colombia.

*Correspondencia: jacardonaalvarez@correo.unicordoba.edu.co

Recepción: 18 febrero 2021 | Aprobación: 25 septiembre 2021 | Publicación: 10 noviembre 2021

RESUMEN

El período de transición es una etapa de cambios significativos tanto hormonales como metabólicos ya que pasa de un período de deposición de grasas durante la preñez tardía a uno de movilización de tejidos previo al comienzo de la lactación. Este período (tres semanas previas y tres posteriores al parto) es un cambio dramático para el animal, donde se producen los mayores desbalances energéticos y metabólicos. Durante la lactación temprana aumenta la actividad lipolítica en la vaca lechera, ya que el grado de lipólisis depende del potencial genético para la producción de leche y de la severidad del balance energético negativo (BEN). La mayoría de los desórdenes minerales en la vaca lechera ocurren en el periparto, y están directamente relacionados con el manejo nutricional durante el período seco, particularmente en las últimas semanas previas al parto. Se ha encontrado que la carencia o desequilibrio de minerales en el suelo se refleja en el valor nutritivo de los pastos y esto es una de las causas de la baja productividad y de los problemas de reproducción del ganado vacuno; esto se manifiesta en una tasa de concepción no mayor a 45%, un porcentaje de abortos que puede alcanzar al 10% y una edad y peso al primer servicio y al primer parto que están fuera de los valores eficientes para una ganadería productiva.

Palabras clave: Leche; minerales; lactación; ganado.

ABSTRACT

The transition period is a stage of significant hormonal and metabolic changes as it goes from a period of fat deposition during late pregnancy to one of tissue mobilization prior to the beginning of lactation. The transition period (three weeks before and three after calving) is a dramatic change for the animal, where the greatest energy and metabolic imbalances occur. During early lactation, lipolytic activity increases in the dairy cow, since the degree of lipolysis depends on the genetic potential for milk production and the severity of the negative energy balance (NEB). Most dairy cow mineral disorders occur in the peripartum and are directly related to nutritional management during the dry period, particularly in the last weeks before calving. It has been found that the lack or imbalance of minerals in the soil is reflected in the nutritional value of the pastures and this is one of the causes of the low productivity and reproductive problems of cattle; This is manifested in a conception rate of no more than 45%, a percentage of abortions that can reach 10% and an age and weight at the first service and at the first delivery that are outside the efficient values for a productive livestock.

Keywords: Milk; minerals; lactation; cattle.

Como citar (Vancouver).

Portilla DEC, Reyes BB, Cardona-Álvarez JA, Monter-Vergara D. Relación calcio, fosforo, magnesio y selenio sobre la reproducción en vacas lecheras durante el periodo de transición. Rev Colombiana Cienc Anim. Recia. 2021; 13(2):e889 <https://doi.org/10.24188/recia.v13.n2.2021.889>

INTRODUCCION

El período de transición es una etapa de cambios significativos tanto hormonales como metabólicos ya que pasa de un período de deposición de grasas durante la preñez tardía a uno de movilización de tejidos previo al comienzo de la lactación. Si los requerimientos energéticos no son satisfechos en el parto, la vaca está predispuesta a una serie de eventos que llevan a desórdenes metabólicos esto afecta la productividad (1). Al igual que los altos requerimientos energéticos que implica el inicio de la lactación, la vaca lechera también tiene altos requerimientos de minerales (fundamentalmente calcio, fósforo y magnesio) durante este período, debido a la continua excreción de estos en la leche. Cuando el organismo se ve incapacitado de satisfacer dichos requerimientos, se presentan algunas patologías como hipocalcemia, cetosis, acidosis, retención de placenta, metritis, mastitis (2).

Es por esta razón que se necesita en primera instancia identificar donde se encuentran las deficiencias para nutrir a los animales y de esa forma utilizar métodos que permitan determinar el grado de desequilibrio metabólico, con el fin de realizar los ajustes de la alimentación acorde al rendimiento de la vaca lechera, en las diferentes fases del ciclo reproductivo, para que esta sea capaz de soportar no solamente un nivel alto de producción lechera, sino también el mantenimiento de un buen estado general y un óptimo estado reproductivo y de salud (3). Dadas estas condiciones, el aporte nutricional de los minerales se ve reflejado directamente en el desempeño reproductivo y esto a su vez impacta los índices de producción de cada ganadería; sin embargo, está condicionada a factores propios de cada sistema como como lo es calidad y tipos de suelo, pasturas, pastoreo, sanidad entre otros.

Producción de Leche. A pesar de las interrupciones del mercado causadas por la pandemia de COVID-19, la producción mundial de leche, mostro resistencia, creciendo ligeramente en 2020. Sin embargo, las exportaciones mundiales de productos lácteos se dirigen hacia una contracción, en medio de la vacilante demanda de importación. En América del Sur, se pronostica que la producción de leche disminuirá en un 1,1% de toneladas, y las contracciones anticipadas en Brasil, Uruguay y Colombia se compensarán parcialmente con un ligero aumento esperado en Argentina.

En Brasil, la caída de la producción se originó en un clima un tanto inestable, que causó estrés por calor en algunas partes del país, reduciendo la producción de leche. El sector también se está viendo afectado negativamente por la baja rentabilidad de las fincas y los altos precios de los alimentos para animales, especialmente el concentrado, que estimulan el descarte del ganado lechero. En Uruguay y Colombia, las sequías y las altas temperaturas están afectando la disponibilidad de pastos y alimentos para animales y afectando negativamente la producción. Por el contrario, en Argentina, se espera que el clima más favorable respalde la recuperación de la producción. (4). En la figura 1, se observa la distribución de la producción de leche de vaca en algunos países altamente productores en los últimos 7 años y su relación de incremento comparativo entre 2018y 2019.

Producción de leche de vaca en el mundo

(Toneladas x 1000)

País	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	±% en 2018
Asia	114.627	121.181	129.565	135.473	147.124	155.809	158.130	+ 1,49%
unión Europea	138.313	143.284	146.201	147.709	148.814	151.322	152.505	+ 0,78%
Norteamérica	99.084	101.277	102.779	104.807	106.730	107.906	108.267	+ 0,33%
América Central del Sur y el Caribe	79.941	81.029	81.522	78.675	92.448	97.024	96.245	-0,80%
Europa (otros - extra UE)	73.675	74.933	75.117	73.358	74.569	74.866	75.330	+ 0,62%
Asia - Sureste	49.595	51.737	46.844	45.764	45.488	45.734	47.219	+ 3,25%
África	35.918	35.872	35.596	36.312	36.330	37.360	36.352	-2,70%
Oceanía	29.015	30.889	31.451	31.716	30.727	30.704	28.757	-6,34%
Asia - Medio Oriente	13.912	14.540	11.994	12.329	12.990	12.989	13.096	+ 0,83%
Mundo	634.078	654.740	661.069	666.142	695.220	713.713	715.902	
±% sobre el año anterior		+3,26	+0,97	+0,77	+4,37	+2,66	+0,37	

Última actualización: 15-09-2021

Figura 1. Producción de Leche de vaca a nivel mundial.

Fuente: https://www.clal.it/en/?section=produzioni_popolazione_world

Producción de Leche en Colombia. En Colombia, encontramos dos sistemas de producción dedicados a la producción de leche. La lechería especializada, ubicada generalmente en trópico alto, es aquella donde la vaca es ordeñada sin ternero al pie y el ternero macho es descartado usualmente a los pocos días de nacido. Las vacas, generalmente puras o con un alto porcentaje de genes proveniente de razas europeas, son suplementadas con alimentos balanceados; por lo que la productividad de leche es alta. El sistema de doble propósito, es aquel donde el ternero macho es levantado y vendido

después del destete y la vaca es ordeñada con el ternero al pie. Su alimentación se fundamenta en sistemas extensivos a base de pasturas con una baja productividad de leche y carne. Generalmente se encuentran ubicados en trópico bajo, en regiones con altas temperaturas y lejos de los mercados (5). El inventario por orientación del hato en el 2018, puede ser observado en la figura 2.

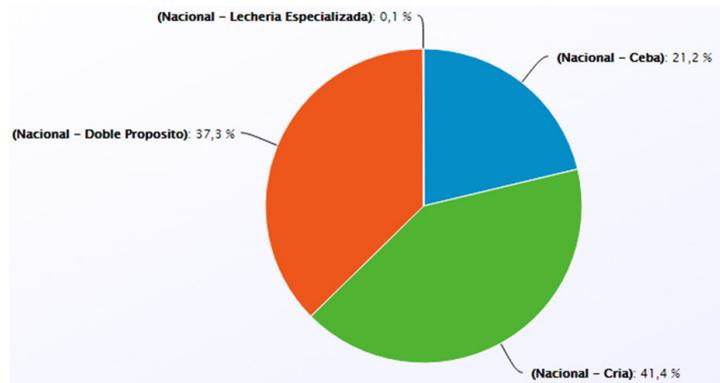


Figura 2. Orientación del hato ganadero en Colombia-2018, número de bovinos de acuerdo a la orientación de su producción.

Fuente: <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/inventario-ganadero>

Es importante resaltar que la importación de material genético de ganado holandés para América Latina produjo un aumento en la producción lechera, permitiendo atender las necesidades inmediatas de los productores. Sin embargo, el desempeño productivo y reproductivo de estos animales no siempre alcanza los niveles esperados, debido a la influencia de factores ambientales como las condiciones climatológicas, nutricionales y de manejo (6).

Las plantas forrajeras más utilizadas en América tropical están dentro del género *Brachiaria*, las especies *B. brizantha*, *B. decumbens*, *B. humidicola* y *B. ruziziensis*, son ampliamente conocidas y poseen excelentes cualidades forrajeras (7).

Periodo de transición. El período de transición (tres semanas previas y tres posteriores al parto) es un cambio dramático para el animal, donde se producen los mayores desbalances energéticos y metabólicos (8). Durante la lactación temprana aumenta la actividad lipolítica en la vaca lechera, ya que el grado de lipólisis depende del potencial genético para la producción de leche y de la severidad del balance energético negativo (BEN) (9). Generalmente en este periodo ocurre una disminución gradual del consumo de materia seca (MS) que comienza al inicio de dicho período, con un descenso dramático en la semana previa al parto, más precisamente en los últimos dos días (10). Los cambios que sufre la vaca en este período se pueden reflejar en la concentración de algunos constituyentes sanguíneos, los cuales pueden ser detectados a través del uso de perfiles metabólicos durante el período preparto y posparto (11).

Trastornos asociados a la alimentación. Al igual que los altos requerimientos energéticos que implica el inicio de la lactación, la vaca lechera también tiene altos requerimientos de minerales (fundamentalmente calcio, fósforo y magnesio) durante este período, debido a la continua excreción de estos en la leche. Cuando el organismo se ve incapacitado de satisfacer dichos requerimientos, se presentan algunas patologías (hipocalcemia, cetosis, acidosis, retención de placenta, metritis, mastitis). La mayoría de los desórdenes minerales en la vaca lechera ocurren en el periparto, y están directamente relacionados con el manejo nutricional durante el período seco, particularmente en las últimas semanas previas al parto (2). Los trastornos reproductivos se presentan con frecuencia después del parto. Algunos de los trastornos más comunes incluyen quistes ováricos, infecciones uterinas y placenta retenida. La decisión de tratar o eliminar vacas que exhiben uno o más de estos trastornos es un verdadero reto para el productor y existe una gran controversia entre veterinarios y productores, en relación con el impacto económico que pueden causar estos trastornos y el manejo más efectivo o la intervención terapéutica para tratarlos (12). Existen estudios donde se evalúa la hipótesis es que vacas con alta CC preparto producirían diferentes respuestas metabólicas durante el período de transición y lactancia temprana, predisponiendo a la presentación de resistencia a insulina, esto debido a que en sistemas de pastoreo hay cambios en la disponibilidad y composición de la pradera durante el año, y que vacas lecheras con diferentes reservas energéticas alrededor del parto presentan un comportamiento de ingestión heterogéneo (13).

Se ha encontrado que la carencia o desequilibrio de minerales en el suelo se refleja en el valor nutritivo de los pastos y esto es una de las causas de la baja productividad y de los problemas de reproducción del ganado vacuno; esto se manifiesta en una tasa de concepción no mayor a 45%, un porcentaje de abortos que puede alcanzar al 10% y una edad

y peso al primer servicio y al primer parto que están fuera de los valores eficientes para una ganadería productiva (14). Además, puede causar aberraciones en el apetito como la pica o malasia e incrementar el riesgo de ciertas enfermedades infecciosas como el botulismo. Las deficiencias de minerales es también responsable de la alta incidencia de fracturas de animales en los hatos. (15).

El estado de madurez del forraje es de importancia sobre el contenido de proteína y de minerales en las plantas, ya que durante la etapa inicial de crecimiento se presenta un alto contenido de minerales, contrario a la disminución gradual que se presenta a medida que la planta madura. Minerales como el P, Zn, Fe, Co y Mo son los que presentan mayor disminución durante el proceso fisiológico de crecimiento y maduración de la planta. Se ha encontrado disminución del cobre de 10 ppm a menos de 4 ppm en pastos que maduran, mientras que en el P la diferencia va de 0.25% a valores inferiores a 0.10% (16). Las deficiencias y desequilibrios de minerales en la nutrición animal afectan la producción, reproducción y salud de los rodeos al alterar la funcionalidad de biomoléculas y tejidos, el metabolismo y la fertilidad. Los minerales son nutrientes esenciales que representan aproximadamente el 5% del peso vivo del bovino. Han sido reconocidos más de veintiséis elementos que pueden ser clasificados en macro y microelementos u oligoelementos (17).

Las deficiencias de minerales, se clasifican en primaria, cuando es insuficiente la cantidad disponible en la dieta, y secundaria o condicionada, cuando ocurre por interacción o interferencia de otros elementos presentes en el alimento, que impiden la correcta absorción del mineral (18). En casos de carencias graves los signos son evidentes y aparecen pronto, mientras que en carencias leves los signos son poco claros y se manifiestan a través de los índices productivos y reproductivos, como disminución de la fertilidad, reducción de la tasa de crecimiento, etc. Esto frecuentemente dificulta el diagnóstico ya que puede confundirse con otras carencias nutricionales como déficit proteico, energético o vitamínico (19). El buen suministro de sales minerales en diferentes regiones tropicales ha incrementado el porcentaje de partos de 10 al 50% y han disminuido los abortos de 10% a valores menores de 1% (20).

Calcio. El calcio puede encontrarse en forma intercambiable y soluble, siendo la primera más frecuente en suelos más arcillosos como catión dominante en el complejo de cambio (65%), seguido de Mg (20%), K (5%) y H (10%). En la solución del suelo se encuentra en concentraciones muy bajas, en especial en suelos ácidos de las regiones tropicales. El Ca es absorbido por las raíces de las plantas en la forma iónica Ca^{2+} . Su absorción puede ser reducida por altas concentraciones de K^+ , Mg^{2+} y NH_4^+ , en la solución del suelo. (21). El exceso de Ca, al encontrarse como carbonato, produce inmovilización de algunos elementos en el suelo, como el Fe, B, Zn y Mn. Lo anterior es originado por el aumento del pH del suelo, que favorece la precipitación de dichos elementos. También puede provocar una inhibición de asimilación de K y Mg por competencia catiónica en los sitios de absorción (22).

En los animales el calcio es el elemento más abundante en el cuerpo, aproximadamente 98% sirve como componente estructural de los huesos y dientes, junto con el P representa más del 70% del total de los minerales del cuerpo (23). El 2% de este se encuentra distribuido en los tejidos blandos y con mayor concentración en el plasma sanguíneo, donde está involucrado en funciones vitales como excitabilidad neuromuscular, coagulación sanguínea, permeabilidad de membranas y la transmisión de los impulsos nerviosos (24). La concentración normal de Ca^{2+} en bovinos es de 2.0-2.6 mmol/L; estos valores permanecen constantes y guardan una íntima relación con la concentración de P sanguíneo que es de 1.1 – 2.3 mmol/L (25). La proporción entre Ca^{2+} y P está entre 1:1 y 2:1, ya que ésta es la relación aproximada de los dos minerales en los huesos y el mecanismo endocrino del animal tiende a conservar esta proporción (23).

Las demandas de Ca aumentan en la transición entre el parto y lo lactancia. La deficiencia súbita en este periodo (hipocalcemia) conlleva a la presentación de la fiebre de leche o vaca caída, que es más común en vacas lecheras que en vacas de carne. En la hipocalcemia, el tono muscular en el útero disminuye y se presentan partos prolongados y retención de placenta, así mismo, la involución uterina se retrasa y se presentan problemas de fertilidad posparto. Cuando la dieta se suplementa con grasa, los requerimientos se deben ajustar, debido a que estos aumentan. La relación Ca: P se debe mantener entre 1:1 y 5:1. La eficiencia de la absorción del Ca disminuye con la edad del animal; los jóvenes lo absorben con mayor eficiencia que los adultos (26).

Fosforo. El ciclo del P en los suelos representa solo una parte del que cumple en la naturaleza; es un elemento relativamente estable en los suelos, no presenta compuestos inorgánicos, como los nitrogenados que pueden ser volatilizados y altamente lixiviados. Esta gran estabilidad resulta de su baja solubilidad, lo que puede originar deficiencia en su disponibilidad para las plantas, a pesar de la continua mineralización de compuestos orgánicos en el suelo o de la meteorización de materiales primarios y secundarios; esto puede solucionarse con la aplicación de fosfatos al suelo, los cuales a su vez pueden sufrir procesos de fijación. Las plantas pueden absorber el P en dos formas diferentes: el ortofosfato primario ($H_2PO_4^-$) y el ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}). El P es utilizado como una fuente de energía muy importante en todos los procesos bioquímicos. De esta forma, la dinámica del P incluye una serie de reacciones y transformaciones con entradas y salidas. (27).

El fósforo constituye cerca del 1% del peso corporal del animal y aproximadamente 80% del fósforo corporal está presente en los huesos como fosfato de calcio (28). El resto se encuentra como fosfato orgánico en la membrana plasmática y en los componentes intracelulares como los ácidos nucleicos, el adenosín monofosfato y el adenosín trifosfato (29). Menos del 1% se encuentra en el líquido extracelular y se mide como fósforo inorgánico; su concentración varía de acuerdo con la edad, estado nutricional y especie (30).

Las deficiencias leves de fósforo en la dieta de la vaca lechera son muy adversas para la economía de la producción ya que se mantienen con síntomas mezclados que concluyen en una deficiencia severa en la economía del establo, No hay buena producción ni reproducción. Ha este hecho se ha exagerado la suplementación de fósforo en las ganaderías (26). En varios trabajos se reporta que la deficiencia severa de P causo problemas de fertilidad y reducción de los parámetros reproductivos. En casos de deficiencia, se reduce el consumo de alimento, lo que ocasiona deficiencia de proteína, energía y otros nutrientes; lo que puede afectar la reproducción. Se piensa que la baja ganancia de peso corporal en vacas con deficiencia de P es la principal causa de problemas reproductivos (31). En vacas de carne, la deficiencia de fósforo y proteína en conjunto afectan la presentación del primer calor posparto (26).

Magnesio. El Mg en el suelo aparece en forma iónica Mg^{2+} , en solución y como catión intercambiable. Hace parte de la estructura de las micas y minerales de arcilla del tipo 2:1, especialmente en suelos menos intemperizados, en los cuales es posible encontrar minerales que contienen este nutriente. El magnesio en el suelo se encuentra de varias formas: Contenido en minerales (primarios y secundarios), Intercambiable que representa la fracción sorbida al complejo de cambio arcillo húmico, En solución que se encuentra en pequeñas cantidades, pero hay una rápida reposición a partir de la fase de cambio (32). En los animales el magnesio es un mineral sin depósito corporal y cuyo nivel plasmático depende fundamentalmente de la ingesta diaria; el Mg plasmático también depende de la concentración de otros cationes como el Ca^{2+} y K^{+} puesto que compiten a nivel renal con los mismos mecanismos de reabsorción tubular (29). Su importancia fisiológica principal radica en la preservación del potencial eléctrico de la membrana en células excitables y además tiene importancia como cofactor de diversas enzimas (23). La concentración normal de magnesio total en plasma en los bovinos es de 0.7 – 1.1 mmol/L (25).

Este elemento funciona en la formación de complejos enzimáticos y en el control nervioso de la contracción muscular. Es un catión que está presente tanto dentro de la célula, como cofactor importantísimo de sistemas enzimáticos vitales en casi todas las rutas metabólicas, como fuera de ella. El magnesio extracelular es vital para mantener las funciones de los músculos la conducción nerviosa y la formación mineral en los huesos (26). La depleción del magnesio se agrava por menor aporte dietario, más pérdida por leche y presencia de factores que intervienen en su utilización (33). Dentro de otros desbalances metabólicos se puede producir hipocalcemia magnesio dependiente por disminución de los efectos de la hormona paratiroidea (débil reacción glandular) y de 1,25 dihidroxicolecalciferol en el hueso (34).

El magnesio generalmente no tiene un impacto directo en el estado reproductivo de los animales, ya que en el cuerpo permanece en una relación casi antagónica con el calcio y cualquier alteración en la homeostasis de Ca-P-Mg puede impartir cierta influencia en la reproducción. Además, la eficiencia reproductiva reducida encontró pérdida de apetito debido a la deficiencia de magnesio (35).

Selenio. El selenio (Se) es considerado uno de los elementos trazas más controversiales, pues a pesar de ser tóxico en dosis elevadas, su deficiencia se ha convertido en un problema global debido a su esencialidad para un adecuado funcionamiento del organismo, ya que es un componente estructural de la enzima Glutatión Peroxidasa (GSH-Px) y de otras selenoproteínas involucradas en la protección antioxidante (36).

El selenio forma parte de la estructura de la enzima glutatión peroxidasa, que se encarga de catalizar la reducción del peróxido de hidrógeno (H_2O_2), protegiendo la célula del daño causado por el estrés oxidativo (37). El estrés oxidativo predispone para la presentación de enfermedades como el edema de la urbe, hipocalcemia puerperal, retención de placenta, mastitis e infertilidad; además de alteraciones en el funcionamiento del sistema inmunitario (38). El requerimiento de Se para llevar a cabo los procesos metabólicos que se describen varía entre 3.6 y 7.2 mg/día para vacas adultas secas o lactantes (39). Se ha demostrado la importancia de la relación de Yodo y Selenio en la función tiroidea, se comprobó que los niveles deficientes de estos dos minerales en la gestación tardía de rumiantes, afectan de manera directa los niveles de la hormona tiroidea en los neonatos produciendo así una cría con mejor viabilidad. (40).

La importancia del Selenio en la reproducción bovina tiene efecto directo sobre las contracciones uterinas hacia el oviducto y ayuda al transporte espermático (41). En muchos estudios se ha reportado que la retención placentaria, metritis y ovarios quísticos en la vaca recién parida, se disminuye marcadamente con la suplementación de selenio (42). También se le relaciona con la reducción y prevalencia de mastitis (43). La suplementación con selenio y vitamina E tres

semanas antes del parto ha mostrado tener un efecto favorable en la eficiencia reproductiva, al disminuir la incidencia de retención de membranas fetales, incrementar el número de vacas preñadas al primer servicio, disminuir el número de servicios por concepción y disminuir el intervalo parto concepción (44).

En conclusión, es de suprema necesidad conocer todos los procesos fisiológicos dependientes de los minerales, entender su relación suelo-planta-animal, y así poder brindar a los animales los completos requerimientos para obtener valores positivos en la producción bovina.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

REFERENCIAS

1. Stockdale CR, Roche JR. A review of the energy and protein nutrition of dairy cows through their dry period and its impact on early lactation performance. *Aust J Agric Res.* 2002; 53:737-753. <https://doi.org/10.1071/AR01019>
2. Oetzel, GR. Management of dry cows for the prevention of milk fever and mineral disorders. *Vet Clinics North Am: Food Animal Practice.* 2000; 16(2):369-386. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30110-9](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30110-9)
3. Carizi-Cherobin V, Garzón PJP, Alvarado MJP, Marini P. Body condition and its relationship with milk yield, reproduction and metabolic profile in dairy cows of the Bolivian tropics. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú.* 2019; 30(1):107-118. <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i1.14459>
4. Quevedo W, Ortiz L, Sardán S, Rivera E, García D. Disponibilidad y consumo de agua para la ganadería bovina en el municipio de Mojocoya. *Revista Ciencia Tecnología e Innovación.* 2019; 17(20):133-142. http://www.scielo.org/bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2225-87872019000200009&lng=es&nrm=iso
5. Holmann F, Rivas L, Carulla J, Rivera B, Giraldo LA, Guzman S, et al. Evolution of Milk Production Systems in Tropical Latin America and its interrelationship with Markets: An Analysis of the Colombian Case. *Livestock Research for Rural Development.* 2003; 15(9):68. <http://www.lrrd.org/lrrd15/9/holm159.htm>
6. Cerón-Muñoz MF, Tonhati H, Costa CN, Rojas SD, Solarte PC. Interação genótipo-ambiente em bovinos da raça Holandesa brasileiros e colombianos. *Arch. Zootec.* 2004; 53:239-248. <https://www.redalyc.org/pdf/495/49520301.pdf>
7. CIAT. Annual Report 2000. Project IP. Tropical grasses and Legumes: Optimizing genetic diversity for multipurpose use. Centro Internacional de Agricultura Tropical: Cali, Colombia: 2000. http://ciat-library.ciat.cgiar.org/forrajes_tropicales/archives/AnnualReport2000.pdf
8. Draekley JK. Biology of dairy cows during the transition period: The Final Frontier? *J Dairy Sci.* 1999; 82:2259-2273. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75474-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75474-3)
9. McNamara JP, Hillers JH. Adaptations in lipid metabolism of bovine adipose tissue metabolism in lactogenesis and lactation. *J Lipid Res.* 1986; 27:150-157. [https://doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)38845-3](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)38845-3)
10. Grummer RR. Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *J Animal Sci.* 1995; 73(9):2820-2833. <https://doi.org/10.2527/1995.7392820x>
11. Manston R, Russell AM, Dew SM, Payne JM. The influence of dietary protein upon blood composition in dairy cows. *Vet Rec.* 1975; 96:497-502. <https://doi.org/10.1136/vr.96.23.497>

12. Fricke PM, Shaver RD. Manejando trastornos reproductivos en vacas lecheras. Instituto Babcock. Universidad de Wisconsin. 2001. <https://ganaderiasos.com/wp-content/uploads/2016/01/manejando-trastornos-reproductivos-en-vacas-lecheras1-1.pdf>
13. Barboza CS, Cucunubo LG, Smulders JP, Wittwer F, Noro M. Indicadores energéticos de vacas lecheras a pastoreo en período de transición y lactancia temprana con alta o moderada condición corporal preparto. *Revista Científica*. 2014; 24(1):73-82. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/15849>
14. Garmendia J. Los minerales en la Reproducción Bovina. Maracay, Venezuela: Universidad Central de Venezuela; 2006. https://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/34-minerales_en_reproduccion.pdf
15. Portillo MLA. Perfil bioquímico mineral en vacas cruzas de Cebú preñadas y vacias de un establecimiento de Caragatay (Paraguay). *Compendio de Ciencias Veterinarias*. 2020; 10(2):5-11. <https://revistascientificas.una.py/index.php/comp/article/view/1304>
16. Torrecilhas JA, San Vito E, Fiorentini G, de Souza Castagnino P, Simioni TA, Lage JF, Berchielli TT. Effects of supplementation strategies during the growing phase on meat quality of beef cattle finished in different systems. *Livestock Science*. 2021; 247:104465. <https://doi.org/10.1016/j.LIVSCI.2021.104465>
17. Bavera GA. Suplementación mineral con nitrógeno no proteico del bovino a pastoreo. Gráfica del Sur: Argentina; 2006. https://www.produccion-animal.com.ar/libros_on_line/79-Suplementacion_mineral_libro_completo.pdf
18. Rodríguez-Campos LA, Arroyo-Oquendo C, Blanco-Rojas F, Herrera-Muñoz JI, Molina-Coto R. Efecto de suplementos minerales orales e inyectables en el desarrollo morfológico de novillas cruzadas. *Nutrición Animal Tropical*. 2020. 14(2):1-22. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/43486>
19. Glauber C. Minerales y oligoelementos en bovinos: su rol en la salud. UBA: Argentina; 2008. https://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/91-minerales.pdf
20. McDowell LR, Conrad JH, Ellis GL, Loosli JK. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. Universidad de Florida; 1984. https://books.google.com.co/books/about/Minerales_para_rumiantes_en_pastoreo_en.html?id=of61AAAACAAJ&redir_esc=y
21. Sadeghian S, Díaz Marín C. Corrección de la acidez del suelo: alteraciones químicas del suelo. *Revista Cenicafé*. 2020; 71(1):7-20. <https://doi.org/10.38141/10778/1116>
22. Borges KLR, Hippler FWR, Carvalho MEA, Nalin RS, Matias FI, Azevedo RA. Nutritional status and root morphology of tomato under Cd-induced stress: comparing contrasting genotypes for metal-tolerance. *Scientia Horticulturae*. 2019; 246:518-527. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.023>
23. Jack H, Burke JL, Cranston L, Morel PCH, Knights M. The mineral content of some tropical forages commonly used in small ruminant production systems in the Caribbean-Part 2. *Tropical Agriculture*. 2021; 97(1). <https://journals.sta.uwi.edu/ojs/index.php/ta/article/view/7862>
24. Guyton A, Hall J. Tratado de fisiología médica. 12^a. Elsevier Saunders; 2010. <http://www.untumbes.edu.pe/bmedicina/libros/Libros10/libro125.pdf>
25. Tolentin LHO, Tolentino MLD, Dantas JB, Fonseca SS, Vaz AFM. Abordagens hematológicas e bioquímicas clínicas de fêmeas Nelore na nova fronteira agrícola brasileira. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2021; 73:791-798. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12319>
26. NRC. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Washington, D.C: National Academy Press; 2001. <https://doi.org/10.17226/9825>
27. Murrell T. Transformaciones de los nutrientes en el suelo. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INFOPOS). *Informaciones Agronómicas*. 2003; 49:1-4. [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/428A7BFC6E27E1A8852579A3007796F3/\\$FILE/Transformaciones%20de%20los%20nutrientes%20en%20el%20suelo.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/428A7BFC6E27E1A8852579A3007796F3/$FILE/Transformaciones%20de%20los%20nutrientes%20en%20el%20suelo.pdf)

28. Álvarez JL. Bioquímica nutricional y metabólica del bovino en el trópico. Editorial Universidad de Antioquia; Medellín, Colombia: 2001.
29. Cunningham JG, Bradley GK. Fisiología veterinaria. 4a ed. Elsevier Saunders; 2009. <http://www.untumbes.edu.pe/vcs/biblioteca/document/varioslibros/0441.%20Fisiolog%C3%ADa%20veterinaria.pdf>
30. Weiss W, Wyatt D. Macromineral digestion by lactating dairy cows: estimating phosphorus excretion via manure. J Dairy Sci. 2004; 87(7):2158-2166. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70035-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70035-1)
31. Holmes JHG. Phosphate deficiency in cattle on the sepik plains, Papua New Guinea. Trop Anim Health Prod. 1981; 13(1):169-176. <https://doi.org/10.1007/BF02237918>
32. Baquero JE. Los minerales en el suelo. Manejo de la nutrición mineral en sistemas ganaderos de los Llanos Orientales de Colombia. Corpoica: Bogotá, Colombia; 2012. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/12469>
33. Mora-Maldonado LE, Maldonado-Santoyo M, Padilla-Rizo B, Estrada-Monje A, Sánchez-Olivares G, Segoviano-Garfias JJ. Reciclado de subproductos de origen animal: Composición y valor nutritivo del pelo bovino hidrolizado hidrotérmicamente. Revista de Ciencias Ambientales. 2020; 54(2):92-110. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.54-2.5>
34. Norato JI, Araúz EE. Influencia de la bioestimulación hematopoyética mineral (fe, cu y co) y vitamínica (b1, b12) sobre el perfil sanguíneo postpartal en vacas holstein en lactación. Investigaciones Agropecuarias. 2020; 3(1): 30-50. <https://doi.org/10.48204/J.IA.V3N1A3>
35. Sharma R, Singh M, Kumar P, Sharma A. Mineral profile of abandoned cows suffering from anestrus. Indian J Animal Sci. 2020; 90(4):581-583. <http://epubs.icar.org.in/ejournal/index.php/IJAnS/article/view/104203>
36. Lyons MP, Papazyan TT, Surai PF. Selenium in food chain and animal nutrition: Lessons from nature. Asian-Aust J Anim Sci. 2007; 20(7):1135-1155. <https://doi.org/10.5713/ajas.2007.1135>
37. Rotruck JT, Pope AL, Ganther HE, Swanson AB, Hafeman DG, Hoekstra WG. Selenium: Biochemical role as a component of glutathione peroxidase. Science. 1973; 179:588-590. <https://doi.org/10.1126/science.179.4073.588>
38. Grasso PJ, Scholz RW, Erskine RJ, Eberhart RJ. Phagocytosis, bactericidal activity and oxidative metabolism of milk neutrophils from dairy cows fed selenium supplemented and selenium-deficient diets. Am J Vet Res. 1990; 51(2):269-274. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2405755/>
39. Langova L, Novotna I, Nemcova P, Machacek M, Havlicek Z, Zemanova M. y Chrast, V. Impact of Nutrients on the Hoof Health in Cattle. Animals. 2020; 10(10):1824. <https://doi.org/10.3390/ani10101824>
40. Rochinotti D, Balbuena O. Efecto de la nutrición sobre la eficiencia reproductiva en rodeos de carne. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA): Chaco, Argentina; 2003. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta - efecto de la nutricion sobre la eficiencia repr.pdf>
41. Van Emon M, Sanford C, McCoski S. Impacts of Bovine Trace Mineral Supplementation on Maternal and Offspring Production and Health. Animals. 2020; 10(12):2404. <https://doi.org/10.3390/ani10122404>
42. Miller J, Brzezinska-Slebodzinska E, Madsen F. Oxidative stress, antioxidants, and animal function. J Dairy Sci. 1993; 76:2812-2823. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77620-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77620-1)
43. Maddox JF, Reddy CC, Eberhart RJ, Scholz RW. Dietary selenium effects on milk eicosanoid concentration in dairy cows during coliform mastitis. Prostaglandins. 1991; 42(4):369- 378. [https://doi.org/10.1016/0090-6980\(91\)90085-T](https://doi.org/10.1016/0090-6980(91)90085-T)
44. Arechiga CF, Ortiz O, Hansen PJ. Effect of prepartum injection of vitamin E and selenium on postpartum reproductive function of dairy cattle. Theriogenology. 1994; 41(6):1251-1258. [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(94\)90482-X](https://doi.org/10.1016/0093-691X(94)90482-X)