

ARTÍCULOS ORIGINALES

Determinación de la concentración de calcio, fósforo y magnesio en el periparto de vacas lecheras en Manizales, Colombia

Alejandro Ceballos¹, MVZ, MSc; Néstor A Villa¹, MVZ, MSc; Tania E Betancourth¹, MVZ; Diana V Roncancio¹, MVZ.

¹Departamento de Salud Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia.
aleceballos@ucaldas.edu.co

(Recibido: 2 diciembre, 2002; aceptado: 13 marzo, 2004)

Resumen

Con el objeto de determinar en vacas lecheras la concentración de Ca, P y Mg desde la cuarta semana preparto hasta la octava semana postparto, se tomaron muestras de sangre en 30 vacas de 6 rebaños lecheros de Manizales, Colombia. Cada dos semanas se tomaron entre 5 y 10 mL de sangre con y sin anticoagulante, mediante venopunción coccígea. Se determinó la concentración de Ca, P y Mg por colorimetría. Los resultados se presentan mediante estadística descriptiva y las comparaciones entre los grupos se realizaron mediante análisis de varianza. La concentración promedio de Ca fue 2.40 ± 0.11 , no observándose diferencias según la cantidad de leche producida, pero se encontraron según la semana productiva ($p < 0.05$). La concentración media de P fue 2.27 ± 0.64 mmol/L y 1.91 ± 0.44 mmol/L en las vacas de baja y alta producción, respectivamente ($p < 0.05$). La concentración de Mg fue 0.83 ± 0.04 mmol/L, no se observaron diferencias entre los grupos ($p > 0.05$). Los valores para Ca y Mg en vacas lecheras del Viejo Caldas son compatibles con un adecuado balance metabólico mineral para el periparto, mientras que los valores de P señalan altos consumos del mineral en la dieta, lo que requiere evaluaciones posteriores.

Palabras clave: *bovinos, macrominerales, preparto, postparto.*

Introducción

Colombia es un país tropical que sustenta su producción de leche en el trópico bajo con sistemas de producción doble propósito con genes europeos y en el trópico alto con lecherías especializadas basadas en bovinos europeos, especialmente Holstein Friesian (1, 11).

La producción de leche en el país se ha incrementado 3.4 veces en los últimos 23 años al pasar de 1594 millones de litros a 5850 millones en el 2001. Dicho incremento induce un aumento en la incidencia de enfermedades metabólicas o de la producción (3, 6, 23), las cuales suponen un freno a la industria láctea

dadas las pérdidas económicas por el descenso en la producción, que sólo es una parte en la evaluación total de las pérdidas por éstas y otras enfermedades (28). Los desequilibrios minerales no escapan a este fenómeno, ya que aunque se encuentran en los tejidos, deben ser suministrados en la ración dado que no pueden ser sintetizados por el organismo (21, 23).

Debe considerarse que un buen manejo de la nutrición mineral consiste en aportar la cantidad necesaria según los requerimientos de la vaca, lo que puede ser factible de evaluar mediante su determinación

en diferentes tejidos en el animal y saber así, si el aporte es suficiente o no (21, 22, 23). Entre las enfermedades metabólicas asociadas con desequilibrios minerales cabe destacar la hipocalcemia, también conocida como Paresia Puerperal o mal llamada Fiebre de Leche, trastorno que suele presentarse poco después del parto y que se caracteriza por una severa hipocalcemia, hipofosfatemia y parálisis muscular, y en los casos graves, coma y muerte del animal (10, 14, 18). Es importante destacar que la hipocalcemia es causada por un desequilibrio entre el egreso de calcio en el calostro en relación con las reservas extracelulares, en conjunto con una inadecuada respuesta por parte de los tejidos a la acción de las hormonas reguladoras del metabolismo del calcio (16).

En cuanto al fósforo, existen en el mundo extensas áreas deficientes en este mineral, especialmente en las zonas tropicales y subtropicales. La ingestión insuficiente de fósforo se ha relacionado con una baja fertilidad por una aparente disfunción de los ovarios determinando la disminución, inhibición o irregularidad en la presentación del celo (21). En las vacas, la deficiencia de este elemento puede producir una baja en la producción de leche (21); sin embargo, en los últimos años se han realizado varios estudios donde se destaca el riesgo de la sobrealimentación con fósforo en vacas lecheras y su impacto económico y en el medio ambiente (8, 26).

De otra parte, la concentración foliar de magnesio en los pastos de zonas lecheras en Colombia se encuentra en bajas concentraciones (Ceballos A, datos sin publicar), las que no son suficientes para satisfacer el requerimiento de bovinos en pastoreo según lo indicado (22). Un aporte insuficiente unido a los egresos por producción de leche, la interacción antagónica con otros minerales y por la presencia de factores que interfieren su absorción, puede causar deficiencias de magnesio especialmente en el inicio de la lactancia (19, 20, 25).

Por lo anterior, el final del período seco así como el inicio de la lactancia en la vaca, se caracterizan por una serie de alteraciones en el metabolismo mineral donde la hembra está obligada a adaptar su metabolismo para mantenerse en equilibrio y disminuir los factores asociados con la presentación de enfermedades metabólicas. El conocimiento de las alteraciones bioquímicas propias de este período, permitirá evaluar el riesgo potencial del desarrollo de estos trastornos.

En consideración a lo anterior, el objetivo de este estudio descriptivo fue determinar la concentración de algunos de los principales indicadores del metabolismo de macrominerales en el período seco y en el inicio de la lactancia en vacas productoras de leche de Manizales, Colombia.

Materiales y métodos

Ubicación

Se seleccionaron seis explotaciones lecheras ubicadas en el área rural del municipio de Manizales, Colombia (5° 4' LN y 75° 3' LO). Tres de las fincas se ubicaban por debajo de los 1200 msnm (zona baja) y el resto se encontraban por encima de los 2000 msnm (zona alta), ambas con un régimen bimodal de pluviosidad y sequía. La temperatura promedio en la zona baja fluctuaba entre 20°C y 24°C, y en la zona alta entre 15°C y 17°C, la humedad relativa era superior al 80% y la pluviosidad promedio fluctuaba entre 1200 y 2000 mm/año, respectivamente.

El sistema productivo de los rebaños estaba clasificado como lechería especializada en pastoreo intensivo mas suplementación o lechería especializada en pastoreo extensivo mejorado (24). En la zona baja no había una raza predominante, clasificándose los animales como un mestizaje de diferentes razas, con una producción promedio de 15 litros/vaca/día, mientras que en la zona alta la raza predominante fue Holstein con un promedio de producción diario de 24 litros/vaca. El número de ordeños por día fue de dos en todos los predios. Los pastos que se encontraron en las praderas fueron: Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), Azul orchoro (*Bromus catharticus*), Riqueza (*Anthoxatum odoratum*) y Rye grass (*Lolium sp*), en zona alta, y Estrella (*Cynodon sp*), Puntero (*Hyparrhenia rufa*), Brachiaria (*Brachiaria sp*) y Guinea (*Panicum maximum*), en zona baja. Los pastos se utilizaban bajo el sistema de pastoreo directo rotacional. Los animales eran suplementados con alimentos concentrados importados a la explotación según su producción. En todas las fincas se suministraba sal mineralizada a voluntad, donde se encontró que su contenido promedio de calcio, fósforo y magnesio era 14.0%, 8.0% y 0.3%, respectivamente; en algunos de los predios ubicados en zonas altas, se utilizaban sales mineralizadas con un bajo contenido de calcio, fósforo (inferior a 6%) y un mayor contenido de magnesio (2%). El suministro de agua era permanente y a voluntad.

Animales

En cada una de las fincas se seleccionó un grupo de animales conformado por cinco vacas durante el período preparto, considerándolo cuatro semanas antes del parto. Las vacas se encontraban en una condición corporal adecuada según la escala de 1 a 5 y estaban clínicamente sanas según la evaluación de las variables fisiológicas (temperatura, frecuencia respiratoria y pulso).

Muestras

Se tomaron muestras de sangre mediante venopunción coccígea cada dos semanas hasta la octava semana postparto (+8), se obtuvieron 10 mL de sangre con anticoagulante (asociación fluoruro de sodio/oxalato de potasio) e igual cantidad de sangre sin anticoagulante. Las muestras fueron remitidas dentro de las siguientes 12 horas al Laboratorio de Patología Clínica Veterinaria de la Universidad de Caldas. Las muestras fueron centrifugadas a 3000 rpm por 15 minutos para separar el suero o el plasma, el que se envasó en tubos de reacción debidamente rotulados y se conservaron a -20°C hasta su posterior análisis.

Análisis

Los métodos analíticos, así como las unidades empleadas se describen en la tabla 1. La exactitud de cada método se determinó mediante la utilización de un suero control comercial (Multisuero Control Bovino®, Laboratorios Randox, Irlanda del Norte, UK). La precisión se determinó con un suero control preparado en el laboratorio.

Análisis estadístico

Se determinaron los valores promedio (\bar{X}), desviación estándar (DE), rango e intervalo de confianza (IC) al 95%, además el coeficiente de variación (CV) para cada variable. Las comparaciones entre grupos se realizaron mediante análisis de varianza, determinando como fuentes de variación, la cantidad de leche producida y la semana productiva en la cual se encontrara la vaca. Se fijó un nivel de significancia $p < 0.05$ (32).

Se obtuvo la frecuencia de presentación de predios con grupos de vacas que presentaron valores promedio para calcio, fósforo y magnesio inferiores o superiores

Tabla 1. Método analítico y unidades empleadas para la determinación de calcio, de fósforo y de magnesio en bovinos lecheros.

Variable	Unidades (SIU)*	Método analítico
Calcio	mmol/L	Azul de metiltimol
Fósforo	mmol/L	Fosfomolibdato/UV
Magnesio	mmol/L	Calmagita

* SIU: Sistema internacional de unidades

al valor promedio referencial citado por Kaneko *et al* (16) y Wittwer *et al* (30), quienes señalan los siguientes rangos como referenciales para cada metabolito analizado, calcio: 2.0 – 2.6 mmol/L, fósforo: 1.1 – 2.3 mmol/L, y magnesio: 0.7 – 1.1 mmol/L.

Resultados

El rango, el promedio (\bar{X}) y la desviación estándar (DE) para la concentración de calcio, fósforo y magnesio en vacas de baja y alta producción para cada uno de los grupos de los rebaños lecheros de ambas zonas del municipio de Manizales se presentan en la tabla 2.

La concentración de calcio presentó variaciones según la semana con relación al momento del parto; así, en las vacas de baja producción (15 L/vaca/día) se presentaron variaciones entre las semanas -4 (preparto) y +6 (postparto), y entre las semanas +2 y +6 ($p < 0.05$), mientras que en las vacas de alta producción (24 L/vaca/día) se encontraron variaciones para el mismo mineral entre las semanas +4 y +8 ($p < 0.05$) (véase Figura 1). Por el contrario, las variaciones en la concentración sérica de calcio no fueron significativas ($p > 0.05$) según la cantidad de leche producida en los sistemas productivos mencionados (véase Tabla 2).

No se observaron predios con grupos de vacas, tanto en preparto como en postparto, con valores promedio fuera del rango señalado como referencial para la concentración sérica de calcio.

Con respecto a la concentración de fósforo, el promedio y la DE, así como el rango, se pueden observar en la tabla 2, encontrándose diferencias significativas según la cantidad de leche producida ($p < 0.05$). Por el contrario, la fosfatemia no presentó diferencias según el estado productivo de la vaca dentro de cada grupo; en la figura 2 se aprecia como

Tabla 2. Valores promedio (\bar{X}), desviación estándar (DE) y rango para la concentración sanguínea preparto y posparto de calcio, de fósforo y de magnesio en vacas lecheras de seis rebaños de Manizales, Colombia y agrupadas según la cantidad de leche producida.

	Preparto		Postparto	
	$\bar{X} \pm DE$	Rango	$\bar{X} \pm DE$	Rango
Baja producción (15 L/día):				
Calcio (mmol/L)	2.41±0.10 ^a	2.2 – 2.6	2.39±0.10 ^b	2.2 – 2.7
Fósforo (mmol/L)	2.38±0.61 ^a	1.3 – 3.8	2.22±0.65 ^a	1.0 – 3.9
Magnesio (mmol/L)	0.82±0.03	0.8 – 0.9	0.83±0.05	0.7 – 0.9
Alta producción (24 L/día):				
Calcio (mmol/L)	2.42±0.11	2.1 – 2.7	2.40±0.12	2.2 – 2.7
Fósforo (mmol/L)	1.90±0.46 ^b	1.1 – 2.9	1.92±0.44 ^b	1.2 – 2.9
Magnesio (mmol/L)	0.84±0.04	0.7 – 0.9	0.83±0.03	0.8 – 0.9

^{a, b} Letras diferentes entre grupos (p<0.05)

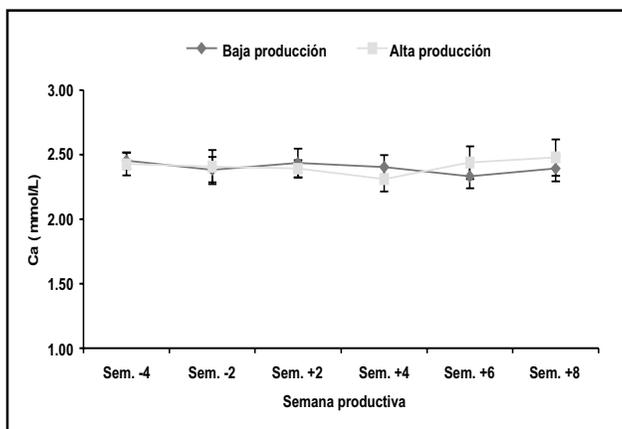


Figura 1. Concentración de calcio ($\bar{X} \pm DE$) en vacas de baja y alta producción desde cuatro semanas antes hasta ocho semanas después del parto en 30 vacas de seis rebaños lecheros del municipio de Manizales, Colombia.

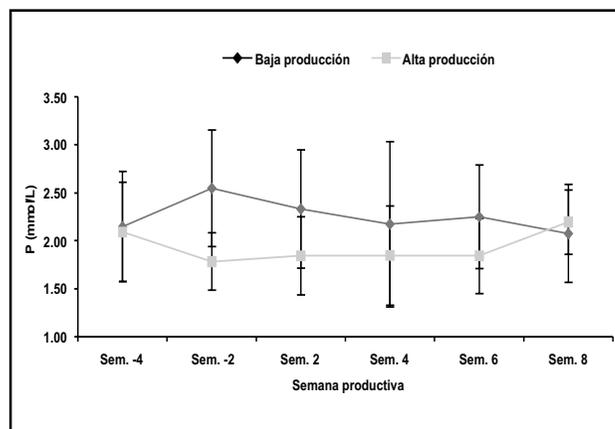


Figura 2. Concentración de fósforo ($\bar{X} \pm DE$) en vacas de baja y alta producción (p<0.05) desde cuatro semanas antes hasta ocho semanas después del parto en 30 vacas de seis rebaños lecheros del municipio de Manizales, Colombia.

en las vacas clasificadas como de baja producción de leche, la fosfatemia disminuyó desde la semana -2 hasta la semana +8, presentando un leve incremento en la semana +6 (p>0.05), mientras que en las vacas de alta producción la fosfatemia disminuyó desde la semana -4 hasta la semana +6 donde presentaron un incremento, alcanzando un promedio superior a los demás observados (p=0.11).

No se presentaron predios con grupos de vacas con valores de fósforo inferiores a 1.1 mmol/L. No obstante, fueron encontrados dos predios (2/3)

localizados en zona baja y con producciones bajas de leche, con grupos de vacas con una fosfatemia promedio superior a 2.3 mmol/L, mientras que en el grupo de vacas de zona alta y alta producción, sólo se observó un predio (1/3) con grupos de vacas con valores de fósforo elevados. Además, se encontró en los mismos predios, tanto en zona baja (2/3) como en zona alta (1/3), grupos de vacas postparto con valores promedio elevados para la concentración de fósforo.

La concentración de magnesio no presentó diferencias significativas entre los grupos estudiados,

bien sea según la semana productiva o la cantidad de leche producida ($p > 0.05$) (véanse Tabla 2 y Figura 3). Igualmente, no se observaron predios con grupos de vacas, tanto en preparto como en postparto, con valores promedio por fuera del rango señalado como referencial para la concentración de magnesio en bovinos.

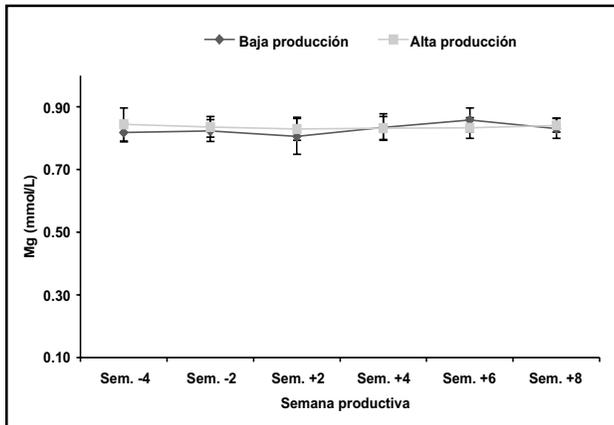


Figura 3. Concentración de magnesio ($\bar{X} \pm DE$) en vacas de baja y alta producción desde cuatro semanas antes hasta ocho semanas después del parto en 30 vacas de seis rebaños lecheros del municipio de Manizales, Colombia.

Discusión

La concentración sérica promedio de calcio se encontró dentro del rango reportado por la literatura (16, 30) como referencial, asimismo los valores eran coincidentes con los resultados de otros estudios (14) realizados durante el mismo período productivo considerado en este trabajo. El periparto de la vaca lechera, en especial el período que ha sido denominado de transición, se caracteriza por cambios endocrinos que buscan mantener los niveles séricos de calcio dentro de un estrecho margen (10, 13), lo que está reflejado en una variación mínima en la concentración promedio del mineral en ambos grupos de vacas y en los períodos productivos estudiados (CV máximo: 5.5%).

Hay diferentes mecanismos homeostáticos que tratan de mantener la calcemia dentro de un margen estrecho, con el objeto de evitar la hipocalcemia repentina que caracteriza el inicio de la lactancia, dentro de estos mecanismos se tiene la adaptación de la absorción intestinal regulada en parte por el flujo de alimentos al intestino (14); el aumento de la resorción ósea, mediado por la hormona paratiroidea (PTH), y el aumento de la 1,25 dihidroxicolecalciferol (vitamina

D_3) con el consecuente mejoramiento de la absorción intestinal (14, 16, 27). No obstante, aunque el calcio cuenta con estos mecanismos de regulación homeostática, sus niveles séricos también pueden verse afectados por la concentración del mineral en la dieta (10, 13, 16).

Pese a lo anterior, la concentración sérica de calcio presentó diferencias según la semana productiva en el grupo de vacas de baja (15 L/vaca/día) o alta (24 L/vaca/día) producción ($p < 0.05$), (véase Figura 1). Lo anterior está relacionado con la inestabilidad de los mecanismos encargados de la regulación metabólica de la calcemia en los primeros días después del parto, caracterizados por una hipocalcemia repentina que alcanza su nadir en el día 10 después del parto, pese a que la vaca puede presentar valores séricos de PTH y vitamina D_3 adecuados (11). Se ha señalado que una posible causa para este fenómeno es la incapacidad de la vaca para regular la calcemia por la presencia de factores como un bajo consumo de magnesio y la alta concentración de potasio en los forrajes disponibles para las vacas en pastoreo (15).

El promedio de la concentración de fósforo fue similar a los valores reportados en otros estudios realizados con bovinos lecheros en el Viejo Caldas (7), encontrándose que la concentración sérica de fósforo fue inferior en las vacas de alta producción ($p < 0.05$), (véase Figura 2). Lo anterior guarda relación con un mayor egreso del mineral a través de la leche y a un requerimiento mayor en las vacas con producciones elevadas comparado con vacas de producciones inferiores (22). Además, los suplementos minerales utilizados en los predios clasificados como de alta producción de leche, se caracterizaban por un bajo contenido de fósforo, ya que los forrajes presentaban una concentración adecuada según el requerimiento para bovinos en pastoreo (22), mientras que los predios con baja producción promedio emplean suplementos con fósforo sin considerar el contenido de este mineral en los forrajes (véase Tabla 3).

Pese a la observación de valores promedio similares a los descritos en otros trabajos realizados en Caldas, al considerar como referencial el rango descrito por Wittwer *et al* (30), se presentaron algunos predios con grupos de vacas preparto y postparto cuya fosfatemia era elevada. Además, la variación en la concentración de fósforo fue alta, encontrando hasta un 39% en las vacas de baja producción, variación que fue superior a la observada en las vacas de alta producción (véase Figura 2). Una mayor variación en la concentración

Tabla 3. Concentración (% en base seca) de calcio, de fósforo y de magnesio observada en cuatro predios lecheros de la zona de Manizales, Colombia*.

Tipo de forraje	Calcio	Fósforo	Relación Ca:P	Magnesio
Kikuyo	0.39	0.33	1.2	0.26
Asoc. Kikuyo - Rye grass	0.49	0.45	1.1	0.30
Asoc. Tanzania - Estrella	0.53	0.76	0.7	ND
Asoc. Tanzania - Puntero	0.41	0.43	1.0	ND
Estrella	0.60	0.30	2.0	ND

* Laboratorio de bromatología de la Universidad de Caldas.

sérica de algunos indicadores bioquímicos nutricionales (p.e. macrominerales), es un reflejo de la acción de diversos factores que pueden inducir cambios en su concentración sérica, lo que significa que el indicador tiene entonces un menor grado de regulación homeostática y reflejaría, en mejor forma, el balance nutricional comparado con otros indicadores regulados homeostáticamente (p.e. calcio) (12). La variación en la fosfatemia es un reflejo de las diferencias en el manejo nutricional en cada rebaño, ya que fue posible observar en cada uno de los predios estudiados, suplementos concentrados y minerales diferentes en cuanto a su contenido de fósforo y su forma de utilizarlos. Estos resultados son coincidentes con otros reportes donde se señala que la concentración sérica de fósforo puede variar por diversos factores; entre otros, según el estado productivo (2, 4, 14), la cantidad de leche producida (15, 22) y el contenido del mineral en los alimentos (2, 17), ya que fue posible observar que la concentración foliar de fósforo en algunos de los predios estudiados era superior a la concentración requerida para la dieta de bovinos lecheros (22).

Actualmente, se está discutiendo si el contenido de fósforo utilizado en las raciones para rumiantes es el adecuado, ya que la eliminación fecal por parte de los mismos es una fuente importante de contaminación medioambiental (17, 31). La utilización de dietas con concentraciones inferiores de fósforo se ha demostrado que no afectan significativamente el consumo de materia seca o la cantidad de leche producida (17). Por lo anterior, se podría señalar que en los rebaños de baja producción, según la concentración sérica de fósforo observada (véase Tabla 2), el aporte de fósforo dentro del sistema productivo era superior a los requerimientos nutricionales para el tipo de vacas que había en esas explotaciones, favoreciendo así una

mayor eliminación de este mineral en la materia fecal con el consecuente efecto medioambiental.

La concentración de magnesio no presentó diferencias en cuanto a la producción de leche o la semana productiva en las vacas en los grupos de baja y alta producción (véase Tabla 2). Los valores promedio fueron concordantes con los reportados en otros estudios (7, 16, 25), además estaban dentro del rango referencial para este mineral (30). Los promedios observados en los grupos eran compatibles con un consumo adecuado en la ración; no obstante, las vacas de la mayoría de las explotaciones lecheras en el Viejo Caldas están expuestas a la presencia de diferentes factores que interfieren con la absorción del magnesio, coeficiente que de por sí es bajo en rumiantes adultos; entre otros factores, se tiene la deficiencia de carbohidratos fermentables (20), el exceso en la concentración de nitrógeno no proteico en los forrajes (9, 20), y uno de los factores que más incide sobre el metabolismo del magnesio es el exceso de potasio y fósforo de la dieta (9, 17, 20).

A diferencia de los resultados obtenidos en este estudio, en otros trabajos realizados en el Laboratorio de Patología Clínica Veterinaria de la Universidad de Caldas, se han encontrado valores bajos para la concentración sérica de magnesio en vacas lecheras que están expuestas, bien sea, a bajos consumos de magnesio o al influjo de alguno de los factores descritos anteriormente que interfieren su absorción (5).

El forraje es la principal fuente nutricional de los bovinos en los sistemas productivos basados en pastoreo (29). En este estudio, las explotaciones fueron clasificadas como lechería especializada en pastoreo intensivo más suplementación o lechería especializada

en pastoreo extensivo mejorado (24), lo que indica que la concentración mineral de los forrajes estaría determinando en parte su aporte en las vacas objeto del estudio, influyendo así en las concentraciones observadas en sangre (2, 4). La suplementación con productos importados a las explotaciones contribuye a incrementar el consumo de los minerales estudiados, lo que permite lograr una concentración dentro del rango de referencia indicado (7,13, 30).

Los resultados de este estudio y bajo las condiciones en que fue realizado, permiten concluir que las concentraciones de calcio y magnesio se mantuvieron dentro del rango referencial, lo que indica que en el periparto en vacas clínicamente sanas, tanto el aporte como el mecanismo homeostático que regula su concentración sanguínea, son adecuados y permiten concentraciones séricas compatibles con un balance metabólico nutricional óptimo en la vaca. Sin embargo,

es necesario realizar en estudios posteriores una evaluación de otros indicadores del metabolismo del magnesio, ya que pese a observar valores dentro de la referencia, se sabe por observaciones no publicadas que en las lecherías de la región del Viejo Caldas, hay factores que interfieren con su metabolismo, como son la deficiencia de energía, el exceso de nitrógeno no proteico y el contenido de fósforo y potasio de los forrajes.

La concentración de fósforo en algunos grupos presentó valores elevados que señalan un aporte superior al requerimiento según el estado productivo de la vaca, lo que indica la necesidad de realizar estudios posteriores que permitan determinar cuál es la magnitud del exceso en el consumo y su efecto sobre el metabolismo de otros minerales, sobre la producción y fertilidad de la vaca, y en el medio ambiente.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a los propietarios de las ganaderías que participaron en la investigación, a la empresa PROAGRO Ltda. y a la Vicerrectoría de Investigaciones y Postgrados de la Universidad de Caldas, por su colaboración para la realización de este estudio. Financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones y postgrados de la Universidad de Caldas.

Summary

Calcium, phosphorus and magnesium levels before and after calving in dairy cows from Manizales, Colombia.

To evaluate the concentration of Ca, P and Mg in periparturient dairy cows, blood samples were taken in 30 cows from 6 milk dairy farms located in Manizales, Colombia. The farms were placed either low altitude or high altitude zone. Samples were taken every two weeks from each selected cow. The concentration of Ca, P, and Mg were determined by colorimetric methods. The results were presented using descriptive statistical methods, and comparisons among groups were made by an ANOVA test, significance level was set at $p < 0.05$. Mean Ca concentration was 2.40 ± 0.11 , differences according to milk production were not observed ($p > 0.05$), but between dry and lactating cows were ($p < 0.05$). The average of P was 2.27 ± 0.64 mmol/L, and 1.91 ± 0.44 mmol/L for low milk production and high milk production, respectively ($p < 0.05$). The concentration of Mg was 0.83 ± 0.04 mmol/L, it was similar between groups ($p > 0.05$). Serum Ca and Mg concentrations were compatible with an adequate homeostatic situation for the cows of this study, however in Viejo Caldas there are many factors contributing to diminish Mg absorption. The level of P was high according to national and international reference values, suggesting that P supplementation in these farms was excessive, but this hypothesis requires further evaluation.

Key words: bovine, macrominerals, prepartum, postpartum.

Referencias

1. Baena D. Metodologías estadísticas para la investigación en fincas : Tipificación y Caracterización. Palmira, Publicación Universidad Nacional de Colombia, 1984. 181p.
2. Bertoni L. Guida all'interpretazione del profili metabolici. Perugia, Italy, Università degli Studi di Perugia, 1999. 135p.
3. Bremmer DR, Bertics SJ, Grummer R. Differences in activity of hepatic microsomal tryglyceryde concentration in early lactation. J Dairy Sci 1992; 75:1914-22.
4. Calamari L, Bertoni G, Maianti MG, Cappa V. Sull'utilità di nuovi parametric ematochimici nella valutazione del profilo metabolico delle lattifere. Zoot Nutr Anim 1989; 15:191-10.
5. Ceballos A. Desequilibrios Minerales de Bovinos en Pastoreo y su efecto sobre la Salud y Producción Bovina. En: III Seminario Internacional: Competitividad en Leche y Carne, Medellín, Colombia. 2002. 369p.
6. Ceballos A, López L, Villa NA, Gómez PM, Vélez M. Variación de los indicadores bioquímicos del balance de energía según el estado productivo en bovinos lecheros de Manizales, Colombia. Rev Col Cienc Pec 2002; 15:13-25.
7. Ceballos A, Villa NA, Bohórquez A, Quiceno J, Jaramillo M, *et al.* Análisis de los resultados de perfiles metabólicos en lecherías del trópico alto del eje cafetero colombiano. Rev Col Cienc Pec 2002; 15:26-35.
8. Chase L. Update on phosphorus in dairy cattle nutrition. In: Proceedings of Advanced Dairy Nutrition, Cornell University, Ithaca, USA. 2000. 33p.
9. Contreras PA. Magnesio: metabolismo en vacas y sus efectos en la salud y la producción de los rebaños. En: XXV Jornadas Uruguayas de Buiatría y IX Congreso Latinoamericano de Buiatría, Paysandú, Uruguay, 1997.
10. Corbellini CN. Etiopatogenia y control de hipocalcemia e hipomagnesemia en vacas lecheras. En: Seminario Internacional sobre Deficiencias Minerais em Rumiantes, Porto Alegre. Brasil, 1998.
11. Durán CV. Investigación en sistemas de producción pecuaria en el trópico. En: Memorias del Curso-Taller Internacional, Palmira, Colombia. 1984.
12. Herdt T. Variability characteristics and test selection in herd-level nutritional and metabolic profile testing. Vet Clin North Am: Food Anim Pract 2000; 16:387-403.
13. Horst RL, Goff JP, Reinhardt TA. Calcium and vitamin D metabolism in the dairy cow. J Dairy Sci 1994; 77:1936-51.
14. Hove K. Cyclic changes in plasma and the calcium homeostatic endocrine system of the post parturient dairy cow. J. Dairy Sci 1986; 69:2072-81.
15. Goff H. Pathophysiology of calcium and phosphorus disorders. Vet Clin North Am: Food Anim Pract 2000; 16:319-37.
16. Kaneko JJ, Harvey JW, Bruss ML. Clinical biochemistry of domestic animals, 5th ed, San Diego, Academic Press. 1997. 932p.
17. Knowlton KF, Herbein JH. Phosphorus partitioning during early lactation in dairy cows fed diets varying in phosphorus content. J Dairy Sci 2002; 85:1227-36.
18. Lincoln SD, Lane VM. Serum Ionized calcium concentration in clinically normal dairy cattle, and changes associated with calcium abnormalities. J Am Vet Med Ass 1990; 97:1471-74.
19. Lloyd LE. Fundamentos de nutrición, 2^a ed, Zaragoza, España, Editorial Acribia. 1982. 464p.
20. Martens H, Schweigel M. Pathophysiology of grass tetany and other hypomagnesemias: implications for clinical management. Vet Clin North Am: Food Anim Pract 2000; 16: 339-68.
21. Mc Donald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA. Nutrición Animal, 5^a ed, Zaragoza, España. Editorial Acribia. 1997. 395p
22. National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle, 7th ed, Washington DC, National Academy Press. 2001. 381p.
23. Payne JM. Metabolic and nutritional diseases of cattle, Oxford, UK, Blackwell Scientific Publications. 1989. 149p.
24. Rivera B, Vargas JE, Arcila CP, Márquez R, Pérez JF, *et al.* Propuesta para la clasificación de sistemas de producción de leche: el caso de la

- zona de influencia de Manizales. Rev Sist Prod 1999; 10:83-103.
25. Sandoval GL, Dellamea S, Pochon DO, Campos MV. Calcio, fósforo, magnesio y fosfatasa alcalina en vacas lecheras de una región subtropical suplementadas con óxido de magnesio. Rev Vet Méx 1998; 29:131-36.
 26. Satter LD, Wu Z. Phosphorus nutrition of dairy cattle – what's new ?. In: Proceedings of Advanced Dairy Nutrition, Cornell University, Ithaca, USA. 2000. 9p.
 27. Szenci O, Chew BP, Brydl E. Total ionized calcium in parturient dairy cows and their calves. J Dairy Sci 1994; 77:1100-05.
 28. Van Saun, R. Periodo de transición: consecuencias sanitarias y reproductivas, Oregon, USA, Publicación ocasional Oregon State University. 2002. 32p.
 29. Van Soest P. Nutritional ecology of the ruminant, 2^d ed, Ithaca, USA, Cornell University Press. 1994. 476p.
 30. Wittwer F, Heuer G, Contreras PA, Böhmwald H. Valores bioquímicos clínicos sanguíneos de vacas cursando con decúbito en el sur de Chile. Arch Med Vet 1993; 25: 83-88.
 31. Wu, Z, Ishler, V. Reducing dietary phosphorus in the dairy herd. University Park, USA, Publication of Penn State University. 2000. 11p.
 32. Zar JH. Biostatistical analysis, 3^d ed, Upper Saddle River, USA, Prentice Hall. 1996. 662p.