

Calcio, fósforo, magnesio y fosfatasa alcalina en vacas lecheras de una región subtropical suplementadas con óxido de magnesio*

Gladis Lilia Sandoval**
Silvina Dellamea**
Daniel Osvaldo Pochon***
María Verónica Campos Vaca**

Abstract

Magnesium (Mg) is a mineral related to energetic metabolism. This study describes season oscillations of Mg levels, and other minerals in different productive phases in dairy cows from a subtropical area with low quality pasture in extended lands. Low serum Mg concentrations were detected specially in August and September, which are the months of less milk production. Seven animals were supplied with 20 g/day/cow of magnesium oxide for 77 days (spring-summer). The biochemistry assay and the productive test were performed in the treated group animals, and seven untreated cows were used as the control group, from July 1995 to May 1996 in the northeast of Entre Rios (540 km north from Buenos Aires, Argentina). Using the multivariate analysis (MANOVA), a significant season effect for Mg ($P < 0.001$) was found, as well as an important treatment-effect ($P < 0.05$). The remarkable variation in levels of calcium and phosphorous was the month-effect, probably associated to nutrition- and production requirements. The relation between minerals and different phases of milk production and supplementation are discussed in this study.

Key words: MAGNESIUM, MINERALS, MILK PRODUCTION, SUPPLEMENTATION, DAIRY COWS.

Resumen

El magnesio (Mg) es un mineral asociado al metabolismo energético. Este estudio describe oscilaciones estacionales de los niveles de Mg y otros minerales en diferentes fases productivas en vacas lecheras de una región subtropical con pasturas de mala calidad en grandes extensiones de terreno. Se detectaron bajas concentraciones de magnesio sérico, especialmente durante agosto y septiembre, época de menor producción de leche. Siete animales fueron suplementados en primavera-verano con 20 g/día/vaca de óxido de magnesio durante 77 días. Entre julio de 1995 y mayo de 1996, se efectuaron en aquellos controles bioquímicos y productivos y otras siete vacas se usaron como testigos, en el noreste de la provincia de Entre Ríos (a 540 km al norte de Buenos Aires, Argentina). Con un diseño en bloques y medidas repetidas en el tiempo, se comprobó por análisis multivariado de la variancia (MANOVA): para el catión Mg^{++} un efecto temporada

Recibido el 20 de marzo de 1997 y aceptado el 27 de octubre de 1997.

* Trabajo financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina.

** Cátedra de Química Biológica, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Nordeste, Sargento Cabral, 2139, 3400, Corrientes, Argentina.

*** Cátedra de Física Biológica, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional del Nordeste, Sargento Cabral 2139, 3400, Corrientes, Argentina.

muy significativo ($P < 0.001$) y también un importante efecto tratamiento ($P < 0.05$); para calcio y fósforo la variación destacable fue el efecto mes, asociado probablemente a la nutrición y a los requerimientos para producir. Se discuten las relaciones existentes entre los minerales y sus modificaciones a lo largo del año, según etapas de lactancia y suplementación.

Palabras clave: MAGNESIO, MINERALES, PRODUCCIÓN DE LECHE, SUPLEMENTACIÓN, BOVINOS LECHEROS.

Introducción

El rendimiento productivo se mide en términos del "trabajo químico"; por ejemplo, el requerido para la síntesis de proteína y grasa lácteas en la glándula mamaria, que necesita además un considerable trabajo osmótico (absorción de nutrimentos) y mecánico (bombeo sanguíneo). Los límites han sido relacionados con la regulación del metabolismo ruminal, el ingreso de alimento y el metabolismo intermedio.¹

El magnesio (Mg) se obtiene de los alimentos, su utilización a partir de fuentes vegetativas es inferior a la que se logra con el mineral proveniente de heno, alimentos secos o inorgánicos. Trabajos recientes en vacas lecheras cruce Holstein-Cebú estudiando absorciones parciales de minerales, sugieren que el retículo-rumen es el sitio más importante para la absorción de Ca^{++} y Mg^{++} , mientras que en los intestinos delgado y grueso ocurriría lo propio con fósforo y potasio.^{2,3} El Mg^{++} se absorbe por dos vías: 1) Paracelular: difusión electrogénica y 2) transcelular: a) por difusión electrogénica del Mg^{++} , y b) mediante un transportador que introduce 1 Mg^{++} y saca 2 H^+ . Estos H^+ se obtienen por la disociación de los ácidos grasos volátiles en la mucosa y la hidratación del CO_2 por la anhidrasa carbónica. El CO_3H^- va luego al rumen, en intercambio por cloruro.³ La absorción del Mg^{++} se ve interferida por numerosos factores como la presencia de ácidos orgánicos, excesos de K^+ y Ca^{++} o déficit de Na^+ .^{1,4,5}

El rol del ion Mg^{++} es muy amplio.^{6,7,8,9} El cofactor enzimático (enzimas respiratorias, ATPasas, fosfatasa alcalinas, colinacetilasa y colinesterasa, actomiosina muscular, deshidrogenasas, quinasas y carboxilasas), es necesario^{5,7,10,11} para la bomba que mantiene las concentraciones basales de Ca^{++} en el citoplasma (relajación muscular) y para la ATPasa- Mg^{++} de la bomba Na^+/K^+ y todos los transportes asociados a ella, como los empleados para la absorción de nutrimentos en el tubo digestivo (glucosa, aminoácidos). La homeostasis del Mg se ve alterada en varias circunstancias.

Situaciones de estrés como la exposición al calor ocasionan liberación de catecolaminas, entre otras hormonas, las cuales provocan hipomagnesemias.^{10,12} El mecanismo implicado incluye: 1) secuestro de Mg^{++} por lipólisis⁴ y 2) aumento de la permeabilidad celular con incrementos de sodio, cloruro y calcio, mermas de magnesio y potasio y retención de agua.¹⁰

Con la lipomovilización en los bovinos cae la tasa de magnesio sanguíneo al ser captado este ion por los adipocitos^{13,14} o quelado por ácidos grasos no esterifi-

cados.^{4,10,13} Los metabolismos de calcio y fosfatos inorgánicos serían claramente alterados en casos de hipomagnesemia.¹⁵ Se puede producir hipocalcemia magnesio dependiente por disminución de los efectos de la hormona paratiroidea (débil reacción glandular) y de 1,25 dihidroxicolecalciferol en hueso en ese momento.¹⁴

La depleción del magnesio se agrava por menor aporte dietario, más pérdidas por leche y presencia de factores que interfieren en su utilización.¹⁶

Vacas preñadas y en lactancia que tienen alta demanda de Mg¹⁷ expuestas a temperaturas elevadas, como las de zonas subtropicales, merman su productividad a causa de una disminución del consumo de alimento para equilibrar la temperatura corporal. Existen mecanismos compensatorios tendientes a mantener los balances energético, térmico, del agua, hormonal y mineral.^{10,18,19} El estrés calórico y la alcalosis respiratoria consecuente a la pérdida de CO_3H^- conducen a acidosis digestiva,¹⁸ que se complica por desbalances nutricionales y limita el funcionamiento ruminal, generando déficit energético.^{1,20} El suministro de reguladores del pH ruminal como el MgO y el CO_3H^- son benéficos en estas circunstancias.²¹

Administrado con el alimento, el MgO incrementa la digestión de la materia seca y se emplea para corregir la depresión de la grasa láctea observada en raciones restringidas en fibra.¹⁵ El mecanismo del magnesio en dosis de 20-50 g/día,²⁰ es dual, en el rumen y a nivel tisular.¹⁵ Otras formas de administración de magnesio (fumarato) se recomiendan como suplementos minerales antiestrés en ratas.¹⁰

En una experiencia anterior en ganado de cría de la zona en la que se suplementó con una mezcla mineral (con NaCl, Ca, P, Mg y otros) durante más de un año, se pudieron comprobar bajos promedios de magnesio sérico en vacas preñadas con cría (1.91 mg/dl), algunos registros subnormales de fósforo de 2.89 mg/dl y niveles no inferiores a 8 mg/dl de Ca en suero.²² En los primeros 90 días posparto de vacas Holando Argentino se describen incrementos de calcio, relación Ca-Pi y merma de la fosfatemia.²³

En el presente trabajo se reseñan variaciones de magnesio sérico en vacas lecheras (de zonas no tradicionales para esta explotación) según estaciones anuales y por etapas fisiológicas. Además, se describen los efectos de una suplementación con óxido de magnesio sobre las concentraciones séricas de magnesio, calcio, fósforo, actividad de fosfatasa alcalina y variables productivas.

Material y métodos

En la Colonia San Gustavo (Departamento La Paz, provincia de Entre Ríos, Argentina) al trabajar con 35 vacas lecheras Holando Argentino en producción se efectuó una selección según edad, estadio reproductivo (palpación rectal) y estados general y sanitario (utilizando pruebas de Huddleson y BPA para brucelosis, intradermorreacción para tuberculosis, Willis y HPG para parasitosis, palpación mamaria y prueba de California para mastitis).

Se integraron dos lotes: testigo (T) y suplementado (S), a siete animales de 3 a 7 años de edad; de cada uno se le tomaron muestras de sangre y leche posteriormente al ordeño y en forma periódica en diferentes estaciones del año.

Todas las vacas recibieron la misma alimentación en base a campo natural y praderas mejoradas. Durante los dos ordeños mecánicos diarios se les suministró en batea 3 kg de salvado de arroz o alimento balanceado para lecheras y al lote S se le adicionó 20 g/vaca/día de óxido de magnesio durante 77 días.

Se midió el volumen lácteo* y la grasa butirosa (GB, método de Gerber). Sobre las muestras de sangre y leche se cuantificaron por espectrometría variables pertenecientes al perfil mineral: magnesio (calmagita), calcio (cresolftaleincomplexona), fósforo (Baginski) y fosfatasa alcalina (método optimizado).

Con un diseño en bloques por épocas de parto y medidas repetidas en el tiempo, se comprobaron por análisis multivariado de la variancia (MANOVA) los efectos del tratamiento y de las variables independientes mes y etapas de lactancia.

Se exponen promedios (X), desviaciones estándar (DE), correlación (r), porcentajes (%), la significancia estadística de las diferencias y las de los coeficientes de correlación a niveles de 5% y 1 %, según valores de la Statistical Methods for Research Workers.

Los datos, estratificados por época de partos, se agruparon en dos diferentes formas: a) según etapas

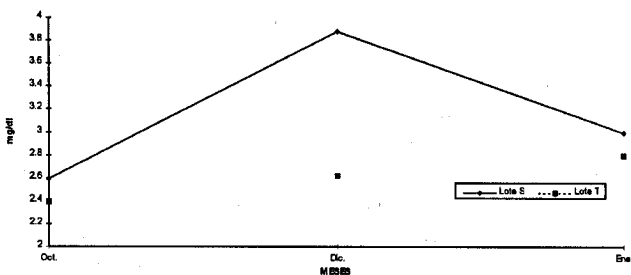


Figura 1. Concentración de magnesio sérico en animales suplementados (S) y testigos (T), previamente (Octubre=Oct.) y durante la suplementación (Dic.=40 y Ene.=77 días del inicio).

fisiológicas (posparto: 1 = Tres primeros meses, 2 = tres a seis meses, 3 = más de seis meses y 4 = vacas secas), y b) según temporadas del año (se indican en meses).

Resultados

La concentración sérica de Mg durante la lactancia mostró una tendencia en incremento, más oscilante en T y superando la media general (2.45 ± 0.82 mg/dl) en S y en T. Los valores más bajos de 1.20-1.56 mg/dl (0.50-0.64 mmol/litro) en ambos lotes se produjeron al primer mes posparto. También se presentaron valores bajos en vacas secas en primavera.

La temporada tuvo un efecto manifiesto sobre el mineral circulante en todos los animales bajo ensayo, que osciló entre 1.60 a 3.19 mg/dl sin considerar los meses de suplementación ($P < 0.01$). Los valores mínimos se registraron en agosto y septiembre.

Durante el suministro de Mg (Figura 1), existieron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las concentraciones séricas del catión en ambos lotes. En este periodo las DE revelaron que, mientras todos los animales suplementados superaron el promedio, los testigos mostraron algunos valores inferiores a 1.8 mg/dl.

Sin haber diferencias significativas, la calcemia (7.99 ± 1.27 mg/dl) fue en general más baja durante los meses de agosto y diciembre.

Como consecuencia de una mayor producción, el calcio sérico descendió en las etapas de lactancia en las que cada bloque de animales, según época de partos, alcanzó el pico de volumen. Según el periodo de los partos fueron en primavera, invierno u otoño, los descensos se produjeron en las etapas 1, 2 y 3 (Figura 2). Sólo incrementaron la producción en la etapa tres y prolongaron sus lactancias las vacas suplementadas con MgO, a diferencia de las testigos.

En las vacas T lactantes la calcemia correlacionó en forma inversa y muy significativa ($P < 0.01$) con la

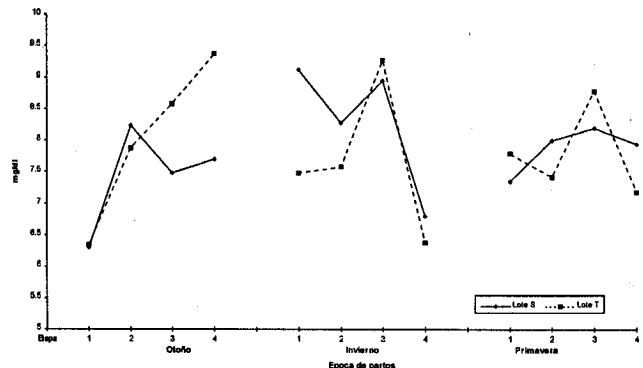


Figura 2. Concentración sérica de calcio en vacas suplementadas (S) y testigos (T), según época de partos y etapas fisiológicas.

* Lactómetro Waikato

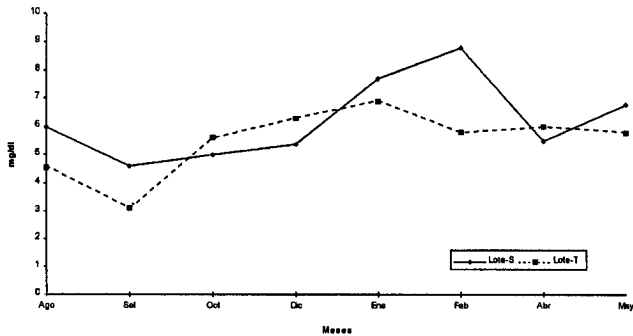


Figura 3. Variaciones estacionales de la concentración de fósforo sérico en las vacas que recibieron magnesio (S) y los testigos(T).

fosfatemia, así como en S ($P < 0.01$) y T ($P < 0.05$) lo hizo inversamente con la excreción de magnesio lácteo (mayores volúmenes).

La fosfatemia varió significativamente ($P < 0.05$) a lo largo del tiempo (Figura 3).

Durante la lactancia, tanto en S como en T, el fósforo sérico tendió a elevarse desde su valor previo y, sin encontrarse significancia, resultó más alto hacia el fin de las etapas 1 y 2 que en la etapa 3. En consecuencia, los valores promedio en vacas en producción fueron más elevados (5.45 ± 1.67 mg/dl) que durante el periodo seco.

Entre las concentraciones séricas y lácteas del mineral hubo una relación inversa, significativa en T ($P < 0.05$) y no en S. La concentración en leche fue paralela en ambos lotes y estuvo acorde con la excreción láctea del elemento ($P < 0.01$). Una correlación estrecha ($P < 0.01$) también se registró entre ALP y fósforo inorgánico lácteo en animales en producción del lote S, quienes tuvieron, en muchos casos, concentraciones séricas más altas de este último.

Considerando la concentración de fósforo inorgánico lácteo de todo el periodo (55.64 ± 22.55 mg/dl) y la producción de ambos lotes, se halló que la excreción del no metal con la leche se produjo a razón de 5.92 ± 2.72 g/día/vaca y correlacionó con el volumen de leche ($P < 0.05$) en forma directa en S y T.

En los animales seleccionados la producción de leche promedió 11.27 ± 4.11 litros/día/vaca con 3.39 ± 0.66 % de grasa butirosa, la lactancia se extendió a 10 meses.

Los volúmenes promedio en los animales bajo ensayo acompañaron a los de la producción total de esta explotación, siendo bajos en invierno, incrementándose en primavera-verano y con caídas bruscas hacia febrero. Entre ambos lotes se reflejó un paralelismo productivo altamente significativo ($P < 0.01$), excepto durante la suplementación.

En el lote S el volumen lácteo mostró una correlación directa y significativa ($P < 0.05$) con la magnesemia a lo largo del año. En estos animales la excreción de magnesio por leche correlacionó en forma muy significativa ($P < 0.01$) con sus concentraciones láctea y sérica ($P < 0.05$). En los testigos no ocurrió lo mismo debido a la merma de la excreción promedio y del volumen

($P < 0.05$), aunque las concentraciones de magnesio en suero y leche aumentaron.

A pesar del incremento de volumen en las vacas suplementadas, el porcentaje de grasa butirosa se elevó en ambos lotes en forma similar, en 15% aproximadamente desde octubre a enero.

Lo anterior sugiere una influencia del suministro de Mg sobre la producción, aunque en el análisis de la variancia se halló un valor poco significativo ($P < 0.06$) al evaluar el tratamiento.

La cantidad de leche producida también estuvo en relación con la calcemia y la actividad de la fosfatasa alcalina en S durante la suplementación ($P < 0.05$ y $P < 0.01$, respectivamente), aunque no en los testigos.

Discusión

Se ha indicado¹⁶ que las pérdidas de magnesio con la leche provocan mermas en los escasos depósitos. Las concentraciones del mineral en esta secreción son constantes en cada animal a valores de 9 a 16 mg/dl, registrándose⁸ pérdidas de hasta 3 g por día en vacas de alta producción. Esto último justificaría en parte la tendencia en aumento en la concentración sérica de magnesio que se observa a medida que merma el volumen de leche producido por día. Valores similares se registraron⁶ en leche de mercado de la provincia de Santa Fe (12.16 ± 2.61 mg/dl) y en experiencias hechas en numerosos países (10.70 a 14.6 mg/dl); concluyéndose que el magnesio aportado por la leche a la alimentación humana es insuficiente y debe suplirse con fuentes alternativas.

En los animales bajo ensayo existieron disminuciones del magnesio hemático de fines de invierno e inicios de primavera, que se correspondieron con restricciones alimentarias y menores producciones en la explotación.

Otros autores¹³ hallaron valores similares a los registrados en este trabajo al primer mes posparto, aunque en ese caso los animales pastaban una gramínea potencialmente tetanigénica en invierno y los valores fueron de 1.17 mg/dl (0.48 mmol/litro). En el periparto de vacas sin paresia puerperal,²⁴ transitorios aumentos de magnesio cursaron con simultánea disminución de la calcemia iónica y total.

El notorio efecto temporada fue anteriormente descrito en trabajos propios efectuados²² con ganado media sangre Cebú, donde se hallaron mermas en el magnesio sérico de vacas testigos a fines de invierno e inicios de primavera, en fase avanzada de preñez con ternero al pie, incrementándose a los 3-4 meses de comenzada la siguiente lactancia. En esos animales también se habían verificado significativas diferencias entre el lote que había sido suplementado con una mezcla mineral conteniendo Mg y el testigo. A pesar del aporte extra de magnesio, en esa oportunidad los valores más bajos se registraron a fines de invierno, en coincidencia con lo aquí descrito. La época es la misma en la que ocurren

brotos de tetania hipomagnesémica¹⁶ en zonas de climas más fríos, dichos episodios se controlan con suplementación mineral. Téngase en cuenta que la disponibilidad del magnesio en la dieta varía entre 10% a 40% en concentrados y forrajes secos, y 5% a 33% en el pasto.⁸

En el amplio rango dado como fisiológico²² de 1.50 a 4 mg/dl, no se incluyen las carencias crónicas^{4,5,8} que conducen a mermas productivas, aunque sin sintomatología clínica. En estos casos, autores clásicos han propuesto acciones preventivas que tiendan a mantener la concentración de Mg en suero dentro de valores de 2 a 5 mg/dl; ya que afirman que cantidades ligeramente inferiores durante periodos prolongados producen inapetencia, déficit energético y disminución de la producción de leche, probablemente coexistentes con calcificaciones metastásicas.⁸ Con excesos de potasio en la dieta de vacas en mitad de su lactancia se observaron menores absorciones de Mg⁺⁺ pero no de calcio, con consecuentes disminuciones en las concentraciones de Mg sérico, calcio lácteo y volumen de leche.²⁵

Del presente trabajo se infiere que la suplementación con magnesio en épocas de mayores requerimientos o menores aportes, representa en diferencias significativas entre animales suplementados y testigos, en favor de los primeros.

Similares variaciones de la calcemia que las aquí descritas acaecieron en ganado de cría de la zona,²² aunque en dichos resultados se observaron inferiores valores promedio por tratarse de animales productores de leche. En otras zonas se hallaron promedios de 9.90 ± 0.76 mg/dl¹⁷ y también disminuciones de la calcemia con el incremento de la producción de leche.

En animales mantenidos sobre pasturas tetanigénicas, descensos de los niveles plasmáticos de Mg se acompañaron de incrementos de la calcemia.¹³ Existe relación negativa de este último catión con el número de servicios en vacas repetidoras.¹⁸

Las oscilaciones de la fosfatemia se asemejaron a lo hallado en animales de cría,²² donde su concentración sérica fue inferior en invierno-primavera y mayor en verano-otoño. Se han descrito descensos de la fosfatemia en el periparto e incrementos hacia el pico de lactancia,¹³ éstos coinciden con los resultados aquí vertidos y con los registros obtenidos en animales cruce Cebú.²² Los valores promedio más elevados de las vacas en producción fueron más coincidentes con los descritos¹⁷ como normales para ganado lechero en la provincia de Buenos Aires (5 ± 0.7 mg/dl) e inferiores (6.85 mg/dl) a los que se obtuvieron en vacas lecheras de explotaciones intensivas mexicanas.¹⁸ Las concentraciones de fósforo inorgánico en suero lácteo son más bajas que las que resultaron⁶ para leche de mercado (91.71 ± 12.16 mg/dl), esta circunstancia representa en un menor aporte por litro para el consumo humano.

En cuanto a la producción, los porcentajes de GB son similares a los descritos^{1,20} para animales con estrés térmico en condiciones subtropicales, de 3.42 % cuando la temperatura se elevó de 3 a 36°C. Con mayor tasa

metabólica las vacas en producción liberan más calor; por su parte, y para reducir esta generación de calor corporal, los animales merman hasta en 25% el consumo de alimento, lo que repercute en la producción.²⁶ Actualmente se considera que la lactacia es mantenida por la hormona del crecimiento (STH o GH), la cual orienta el metabolismo hacia la producción de leche (correlacionando con ella positivamente, aunque negativamente con el ingreso de alimentos) favoreciendo la lipomovilización.^{1,20}

Los aumentos de la grasa butirosa —a pesar de los mayores volúmenes producidos por el lote S, especialmente en los animales con partos de otoño— constituyen el fundamento que apoyaría la afirmación de que en vacas suplementadas con MgO hay mayor llegada de triglicéridos desde las lipoproteínas a la glándula mamaria¹⁵; esa referencia corresponde a animales que recibían dietas restringidas en fibra.

En consecuencia, el planteamiento conduce a pensar que el suministro de MgO fue el responsable de los incrementos de volumen y manutención o elevación de los tenores de grasa butirosa en S, a pesar de que, en las condiciones del ensayo, el análisis de la variancia dio un valor poco significativo ($P < 0.06$). Se requieren posteriores repeticiones que corroboren o descarten esta presunción.

Todas las variables estudiadas tuvieron oscilaciones ligadas a la mayor o menor disponibilidad nutricia de la temporada, cuya influencia ha sido demostrada en otros trabajos,²⁷ existiendo diferencias significativas de magnesio y fósforo inorgánico en suero sanguíneo y lácteo. En cambio, las modificaciones de la calcemia y de la actividad de fosfatasa alcalina séricas tuvieron más relación entre sí y con la producción de leche.

Agradecimientos

Se agradece a Ricardo Tron y al doctor Eduardo Siboldi su valiosa colaboración, así como a los Laboratorios Alinex, Wiener y Boehringer, de Argentina, las donaciones efectuadas, a los alumnos auxiliares Raúl A. Caferatta y Sonia Ramírez la asistencia técnica, y finalmente, a Pedro A. Zeinsteger la traducción del Resumen.

Referencias

1. Giesecke D, Stangassinger M. Limits of metabolic performance in high-yielding dairy cows. *Anim Res Devel* 1982;16:95-102.
2. Dearaujo GGL, Dasilva JFC, Filho SCV, Ignezeleo M, Lombardi CT, Seara GS. Total and partial absorption of calcium, magnesium, phosphorus and potassium by lactating cows. *Rev Soc Bra (Set-Oct.)* 1994;23:773-781.

3. Remond D, Meschy FR. Boivin: metabolites, water and mineral exchanges across the rumen wall: mechanisms and regulation. *Ann Zootech* 1996;45:97-119.
4. Coles EH. *Veterinary clinical pathology*. 4th ed. Philadelphia: Saunders Co., 1986.
5. Underwood EJ. *Los minerales en la nutrición del ganado*. 2^a ed. Zaragoza, España: Acribia, 1983.
6. Freyre MR, Sbodio OA, Rozycki VR. Macroelementos en leche de mercado. *Orientación Láctea* 1987;70:23-31.
7. Herrera E. *Elementos de bioquímica*. México (DF): Nueva Editorial Interamericana, 1993.
8. Payne JM. *Enfermedades metabólicas de los animales*. Zaragoza, España: Acribia, 1982.
9. Gatica M. El rol del magnesio en animales de tambo. *Clín Prod Vet* 1993;11:15-16.
10. Gunter KD. Stress behaviour of animals and its effects on the mineral balance. *Anim Res Develop* 1988;26:16-33.
11. Murray RK, Granner DK, Mayes PA, Rodwell VW. *Bioquímica de Harper*. 12^{ava} ed. México (DF): El Manual Moderno, 1992.
12. Wittwer FG, Tadich N, Blowey R. Variaciones en las concentraciones de algunos parámetros sanguíneos en vacas productoras de leche durante las primeras semanas de lactancia. *Vet Méx* 1983;14:23-29.
13. Cseh SB, Fay JP, Casaro A. Changes in blood composition of pregnant cows during the onset of hypomagnesaemia. *Vet Rec* 1984;1:567-570.
14. Espinasse J. El síndrome de la vaca gorda - consecuencias clínicas de las anomalías del racionamiento energético y de la esteatosis. *Gaceta Vet Bs As* 1980;43:671-686.
15. Shimada Y. Low milk fat syndrome and magnesium oxide supplementation. *Magnes Res* 1991;4:177-184.
16. Contreras PA, Wittwer F, Ferrando A. Control de un brote de tetania hipomagnésica en una lechería mediante el empleo de una suplementación mineral magnésica. *Arch Med Vet* 1992;24:93-98.
17. Chiappe A, Capaul EG, L de Luca. Un potencial tratamiento preventivo de la paresia puerperal. *Rev Med Vet* 1989;70:128-133.
18. Gómez-Tagle-Zárate R. Evaluación del contenido mineral sérico y en pelo de vacas Holstein con problemas reproductivos (vacas repetidoras) en explotación intensiva. *Vet Méx* 1993;24:346-347.
19. Martens H, Rayssiguier Y. Digestive physiology and metabolism in ruminants. In: Ruckebusch, P, editor. Lancaster, MTP Press 1980;447.
20. Vagneur M. Relation nutrition fertilité chez la vache laitière. *Bull GTV* 1987;94:490.
21. Enjalbert F. Les lipides dans l'alimentation des ruminants. I. Principales sources et conséquences sur la digestion ruminale. *Rev Méd Vét* 1995;146:299-308.
22. Coppo JA, Perez OA, Sandoval GL, Scorza SH. Efectos de la suplementación mineral sobre el ionograma sérico (P-Ca-Mg-Cu-Fe) de bovinos de cría en la Provincia de Corrientes. *Therios* 1984;4:55-74.
23. Althaus RL, Tardivo PA, Perren LC, Flores A. Perfiles metabólicos en vacas lecheras Holando Argentina. Parte I: variación durante el periodo de lactancia. *Rev Med Vet* 1991;72:640.
24. Riond JL, Kocabagli N, Spichiger UE, Wanner M. The concentration of ionized magnesium in serum during the periparturient period of non-paretic dairy cows. *Vet Med Anim Health* 1995;19:195-203.
25. Fischer LJ, Dinn N, Tait RM, Shelford JA. Effect of level of dietary potassium on the abortion and excretion of calcium and magnesium by lactating cows. *Can J Anim Sci* 1994;74:503-509.
26. Mellado M. Respuesta fisiológica, producción de leche, eficiencia reproductiva y salud del ganado lechero expuesto a temperaturas ambientales elevadas. *Vet Méx* 1995;26:389-399.
27. Shrestha SL. Nutrición y fertilidad. Adaptación del trabajo del autor publicado en el Research Report 1985. *Orientación Láctea*, 1987;72:14-16.