



Archivos de Medicina Veterinaria
ISSN: 0301-732X
archmv@uach.cl
Universidad Austral de Chile
Chile

Sepúlveda, P; Wittwer, F; Böhmwald, H; Pulido, RG; Noro, M
pH ruminal y balance metabólico de Mg en vacas lecheras en pastoreo suplementadas con óxido de
magnesio
Archivos de Medicina Veterinaria, vol. 43, núm. 3, 2011, pp. 241-250
Universidad Austral de Chile
Valdivia, Chile

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173022397006>

- How to cite
- Complete issue
- More information about this article
- Journal's homepage in redalyc.org

pH ruminal y balance metabólico de Mg en vacas lecheras en pastoreo suplementadas con óxido de magnesio

Ruminal pH and magnesium metabolic balance in dairy cattle on grazing and supplemented with magnesium oxide

P Sepúlveda^a, F Wittwer^b, H Böhmwald^b, RG Pulido^c, M Noro^b

^aEscuela de Graduados, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

^bInstituto de Ciencias Clínicas Veterinarias, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

^cInstituto de Ciencia Animal, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the influence of magnesium oxide (MgO) supplementation at different times and doses on ruminal pH and magnesium (Mg) metabolic balance in lactating dairy cows grazing on a permanent pasture. Four ruminal-fistulated Friesians cows were used. Animals were arranged in a 4x3 design, with 3-experimental periods in each experiment. After twenty days of pre-experimental period, measurement periods lasted 1 day and with an inter-experimental time of 3 days. MgO was given as oral drench after milking. Experiment-1: C = control, MS = 60 g/cow as morning-supplementation and ES = 60 g/cow as evening-supplementation. Experiment-2: C = control, MgO-60 = 2 doses 30 g/cow and MgO-90 = 2 doses 45 g/cow. Ruminal fluid and blood samples were obtained at 8:30, 10:30, 13:00, 17:30, 19:30, 22:00 and 02:30 hours to determine rumen pH, Mg, potassium (K) and ammonia-N (N-NH₃) concentrations and plasma Mg concentrations. In Experiment-1, pH decreased in C during the day, showing the lowest values in the afternoon, whereas in MS pH remained without variation during the day and in ES pH increased after the administration. In Experiment-2, MgO-60 kept pH without changes during the day. Ruminal-Mg concentrations increased in cows receiving ES (Experiment-1) and in cows receiving MgO-90 (Experiment-2). Magnesemia was greater in MS than C or ES (Experiment-1) and in cows supplemented (Experiment-2). K and N-NH₃ concentrations were similar among treatments in both experiments. It is concluded that 60g MgO, supplied as a single dose in the morning or as two doses of 30 g each in the morning and evening, respectively, increases ruminal pH of cows reducing the natural decline observed during the day and increasing magnesemia.

Palabras clave: pH ruminal, óxido de magnesio, pastoreo, vaca lechera.

Key words: ruminal pH, magnesium oxide, grazing, dairy cow.

INTRODUCCIÓN

El magnesio (Mg) es fundamental para numerosos procesos fisiológicos y bioquímicos en el organismo (Rosol y Capen 1997) y por esta razón no es sorprendente que su deficiencia se manifieste en una variedad de desórdenes en el bovino, como disminuciones en el consumo de alimento, fermentación ruminal (Ammerman y col 1971) y producción de leche (Wilson 1980), e incluso provocar la muerte producto del cuadro clínico de tetanía hipomagnesémica (Underwood y Suttle 1999). No se ha descrito un mecanismo hormonal que regule las concentraciones plasmáticas de Mg, por esto, si la cantidad de Mg excretada por la leche, orina y heces excede a la cantidad de Mg absorbido se produce el cuadro de hipomagnesemia (Martens y Schweigel 2000). Este cuadro es una de las alteraciones metabólicas que ocurre frecuentemente en sistemas de pastoreo de la zona sur de Chile, particularmente durante el periodo de primavera y otoño (Scandolo y col 2004).

La suplementación con Mg a vacas durante el periodo de la lactancia se ha convertido en una práctica rutinaria en la mayoría de los predios lecheros, siendo necesaria para prevenir problemas de salud y reducciones en la producción de leche de los animales del rebaño (Underwood y Suttle 1999). Una de las fuentes más usadas en la suplementación de vacas lecheras es el óxido de Mg (MgO) y se ha reportado que su utilización en dosis de 50 g/vaca/día es capaz de mantener la magnesemia dentro de límites fisiológicos (Wittwer y col 1997). El MgO además de ser una buena fuente de Mg es un alcalinizante ruminal y ha sido utilizado, en dosis mayores, para moderar el rápido aumento en la acidez del rumen cuando las vacas son alimentadas con elevadas cantidades de carbohidratos de rápida fermentación y aliviar la consecuente reducción en el apetito y la producción de leche (Thomas y Emery 1969, Jesse y col 1981, Thomas y col 1984, Erdman 1988). A diferencia de los antecedentes respecto a su utilización como fuente de Mg, la información disponible sobre su efecto y dosis a utilizar como fuente alcalinizante del pH ruminal en vacas en condiciones de pastoreo es escasa (Valentine y col 1993, Scandolo 2005).

Aceptado: 14.04.2011.

* Casilla 567, Valdivia, Chile; mirelanoro@gmail.com

El pH ruminal presenta variaciones durante el día (Bretschneider y col 2001, Kolver y de Veth 2002, Pulido 2010); es así como en un estudio realizado en el sur de Chile con vacas fistuladas mantenidas en pastoreo permanente se observó un valor máximo de 6,7 en horas de la mañana y un mínimo de 5,9 al final de la tarde (Scandolo y col 2007). Diversos estudios señalan que la solubilidad del Mg en el líquido ruminal es dependiente del pH en el rumen (Johnson y col 1988, Emanuele y Staples 1994, Dalley y col 1996), ya que su solubilidad disminuye cuando el pH aumenta sobre 6,5 y aumenta cuando el pH disminuye (Jittakhot y col 2004^b). Basado en estos antecedentes es posible inferir que para elaborar una estrategia de suplementación con Mg se debe considerar como un factor importante el horario de administración del mineral. En este sentido, y según los antecedentes de Scandolo y col (2007), el horario más adecuado sería entre las 11:00 y 17:00 horas. Considerando condiciones de suplementación prácticas para el personal a cargo del rebaño, se debería suplementar a los animales en el momento de la ordeña de la tarde, sin embargo, no existen antecedentes al respecto.

Por otra parte, es fundamental que el pH del líquido ruminal de las vacas esté dentro de valores que permitan una adecuada digestión de forrajes, siendo óptimo un pH de 6,35 (Kolver y de Veth 2002, Wales y col 2004). Como se mencionó anteriormente, el pH puede variar considerablemente durante el día y presentar valores sobre o bajo el óptimo estipulado. Se ha descrito que la digestibilidad ruminal *in vitro* del forraje disminuye a un pH < 5,8 (Kolver y de Veth 2002, Wales y col 2004) a causa de un efecto negativo sobre la digestión de la celulosa y en el desarrollo de bacterias celulíticas (Russell y Dombrowski 1980). A su vez, cuadros de acidosis ruminal subaguda (SARA) han sido diagnosticados en rebaños lecheros del sur de Chile, la mayoría de los casos asociados a problemas en el manejo nutricional de los animales (Noro y col 2010). Por lo tanto, el reducir las variaciones de pH ruminal en vacas a pastoreo podría dar oportunidad de mejorar la digestión de la materia orgánica por los microorganismos ruminantes, y consecuentemente la ingesta de materia seca y la producción de leche (Wales y col 2004). En este sentido, el efecto alcalinizante del MgO podría ser una alternativa eficiente y de bajo costo.

No se ha determinado si la utilización del MgO en vacas mantenidas en pastoreo podría, por una parte, mejorar el balance metabólico de Mg y, por otro lado, mantener el pH ruminal dentro de límites fisiológicos y con menores fluctuaciones durante el día. La presente investigación tuvo como objetivo determinar y comparar el efecto de una suplementación con MgO matutina o vespertina y en diferentes dosis sobre el pH ruminal y el balance metabólico de Mg de vacas lecheras en pastoreo de primavera.

MATERIAL Y MÉTODOS

ANIMALES Y ALIMENTACIÓN

Los ensayos fueron realizados en el predio experimental Vista Alegre de la Universidad Austral de Chile, ubicado a 9 km al norte de la ciudad de Valdivia, Región de Los Ríos, Chile, 39°48' LS y 73°13' LO, desde fines de octubre a inicios de diciembre del año 2008.

Se utilizaron cuatro vacas Frisón Negro fistuladas con cánulas ruminales permanentes, clínicamente sanas, con un peso promedio de 500 ± 50 kg, de 3 a 5 años de edad, entre su 3º a 5º mes de lactancia, con una producción de leche entre 25 a 30 L/día y con una condición corporal de 2,5 a 3,5 puntos (escala 1 a 5) (Ferguson y col 1994). Las vacas fueron mantenidas en pastoreo rotativo de praderas permanentes con predominio de *Lolium perenne* y *Bromus valdivianus*, y libre acceso a agua en potreros de 1 a 4 ha de superficie y con sistema de rotación en franjas asignadas dos veces al día. Además, cada animal recibió durante la ordeña de la mañana (8:00 h) y tarde (17:00 h) 2,5 kg de concentrado comercial para vaca en lactancia¹, sin un aporte adicional de sales minerales.

DISEÑO EXPERIMENTAL Y TRATAMIENTOS

El diseño experimental fue dividido en dos etapas. En la primera etapa (ensayo 1) se determinó el efecto de una suplementación matutina o vespertina con 60 g/día de MgO, y en la segunda (ensayo 2), el efecto de una suplementación con 60 g/día o 90 g/día de MgO. En ambos ensayos la suplementación se realizó con un suplemento mineral comercial de MgO granulado², el que fue suministrado a cada vaca con agua por vía oral.

Antes de iniciar los ensayos los animales pasaron por un período de adaptación, durante el cual permanecieron 20 días con una dieta control, constituida de forraje y concentrado. Luego se inició el ensayo 1 y posteriormente el ensayo 2, ambos de nueve días de duración. Entre ambos ensayos los animales permanecieron tres días sin suplementación de Mg. De esta manera, el experimento en total tuvo una duración de 41 días, incluido el período de adaptación.

Ensayo 1. Se utilizó un diseño de 4 x 3 (4 animales y 3 tratamientos), con 3 períodos experimentales de 1 día de duración cada uno y 3 días de descanso entre períodos. En cada período experimental las vacas recibieron tratamientos distintos (4 repeticiones por tratamiento), según lo descrito a continuación: *Tratamiento 1, control*: sin suplementación con MgO; *Tratamiento 2, suplementación matutina*: 60 g/vaca/día de MgO, suministrado posterior a la ordeña de la mañana (8:40 h); *Tratamiento 3, suplementación*

¹ Suralim Mega 2132. IANSAGRO. Quepe. Chile

² Agrícola Nacional, Chile.

vespertina: 60 g/vaca/día con MgO, suministrado posterior a la ordeña de la tarde (17:40 h).

Ensayo 2. Al igual que el ensayo 1, se utilizó un diseño de 4 x 3 (4 animales y 3 tratamientos), con 3 períodos experimentales de 1 día de duración cada uno y 3 días de descanso entre períodos. En cada periodo experimental las vacas recibieron tratamientos distintos (4 repeticiones por tratamiento), según lo descrito a continuación: *Tratamiento 1, control*: sin suplementación de MgO; *Tratamiento 2, MgO 60*: 60 g/vaca/día de MgO, suministrado mitad en la mañana (8:40 h) y mitad en la tarde (17:40 h); *Tratamiento 3, suplementación MgO 90*: 90 g/vaca/día de MgO, suministrado mitad en la mañana (8:40 h) y mitad en la tarde (17:40 h).

MUESTRAS Y ANÁLISIS

Líquido ruminal. Se obtuvieron 50 mL de líquido ruminal del saco caudoventral del rumen de forma manual a través de la cánula ruminal en siete oportunidades: a las 8:30 horas (previo a la administración de MgO), posteriormente a las 10:30, 13:00 y 17:30 horas (previo a la administración de MgO en la tarde) y a las 19:30, 22:00 y 2:30 horas del día siguiente. Inmediatamente se determinó el pH mediante un peachímetro portátil³. Para la determinación de Mg y potasio (K) se obtuvo una alícuota de líquido ruminal para ser centrifugada a 3.000 g durante 15 minutos y el sobrenadante obtenido se congeló a -20 °C en microtubos de 1,5 mL hasta su posterior análisis. Para la determinación de nitrógeno amoniacal (N-NH₃) se traspasaron 10 mL de muestra, previamente filtrada, a tubos con 0,1 mL de H₂SO₄ al 50% y se mantuvieron refrigerados. Luego, las muestras fueron transportadas al laboratorio dentro de tres horas desde su obtención y centrifugadas a 2.000 g durante 15 minutos a 4 °C, traspasando 1,5 mL del sobrenadante a microtubos y congeladas a -20 °C hasta su posterior análisis. Las concentraciones ruminales de Mg se determinaron mediante el empleo de un EAA⁴ y las concentraciones ruminales de K mediante fotometría de llama⁴ utilizando una dilución de 1:2.500 y 1:200 con cloruro de lantano (LaCl₃) al 0,1%, respectivamente. La concentración de N-NH₃ se determinó en duplicado mediante colorimetría⁵, utilizando la reacción de indofenol (Bal y col 2000). Los resultados fueron expresados en mmol/L.

Orina. Se obtuvieron muestras de 50 mL de orina por micción natural inducida mediante estimulación de la región subvulvar a las 8:30, 13:00, 17:30 y 22:00 horas. Inmediatamente se traspasó un volumen de 5 mL en tubos con 0,3 mL de HCl 6N y luego fueron centrifugadas a 270 g durante 10 minutos, traspasando 1,5 mL del sobrenadante a microtubos y congelados a -20 °C hasta su posterior

análisis. Para determinar las concentraciones de Mg y creatinina, las muestras se diluyeron 1:1.300 con LaCl₃ al 0,1% y 1:50 con agua, respectivamente. La concentración de Mg se determinó con un EAA⁴ y la de creatinina mediante colorimetría (Jaffé, Human[®]), utilizando un autoanalizador de bioquímica clínica⁶. Los resultados se expresaron en mmol/L. Además se determinó el clearance de Mg urinario o Mg-u corregido por creatinina (CUM) por la fórmula: CUM (mmol/L) = Mg-u (mmol/L) / creatinina-u (mmol/L) (Sutherland y col 1986).

Plasma. Muestras de sangre fueron obtenidas mediante venopunción yugular utilizando tubos heparinizados de 5 mL a las mismas horas de obtención de las muestras de líquido ruminal. Fueron centrifugadas a 270 g durante 10 minutos para la obtención de plasma, el que fue traspasado a microtubos y congelados a -20 °C hasta su posterior análisis. Se determinó la concentración de Mg por EAA⁴ utilizando una dilución de 1:100 con LaCl₃ al 0,1%. El resultado se expresó en mmol/L.

Alimento. Se obtuvieron dos muestras de pradera que correspondieron al día de inicio de cada ensayo y una muestra compuesta del concentrado. Cada muestra de pradera para digestibilidad correspondió a un corte sobre los 7 centímetros (altura de residuo postpastoreo), recolectando el mismo tipo de material que consumían las vacas. Se determinó materia seca (MS) (horno de ventilación y estufa), proteína bruta (PB) (Micro Kjeldahl), energía metabolizable (EM), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA), cenizas totales (combustión a 550 °C) y Mg y K (EAA)⁷. Sus valores se presentan en el cuadro 1.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos se analizaron mediante estadística descriptiva ($X \pm EE$). La normalidad se evaluó utilizando la prueba de Shapiro-Wilk y la homoscedasticidad por la prueba de Bartlett. Se utilizó un diseño lineal general de AOV/AOCV considerando el efecto de la hora del día de suplementación (ensayo 1) o dosis de MgO (ensayo 2); el efecto fijo del período de muestreo; el efecto de la interacción entre el suplemento y el período de muestreo; el efecto de la interacción entre el suplemento y el hora del día; considerando el efecto del animal como covariante. Las medias se contrastaron mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. Se utilizó un valor de $P < 0,05$ como criterio de aceptación de efectos estadísticamente significativos (Petrie y Watson 2006). El programa computacional utilizado fue el Statistix 8.0 para Windows (Analytical Software, Roseville, MN, USA) (Statistix 2003).

³ Peachímetro portátil HI 98127. HANNA Instruments.

⁴ Espectrofotómetro de absorción atómica Thermo Solaar[®].

⁵ Fotocolorímetro Hitachi 4020[®], Boehringer Mannheim.

⁶ MetroLab 2300[®], Wiener Lab.

⁷ Espectrofotómetro de absorción atómica Unicam 969[®].

Cuadro 1. Composición química de la pradera y del concentrado (en base a MS) otorgados a las vacas durante el estudio.

Chemical composition of the forage and concentrate (% of DM) offered to the cows during the experimental period.

Parámetro	Pradera		Concentrado
	Ensayo 1 (17/11/08)	Ensayo 2 (1/12/08)	
MS (%)	20,5	19,9	89,5
PB (%)	26,2	25,0	9,98
EM Mcal/kg MS	2,80	2,70	2,95
FDN (%)	38,4	41,2	9,67
FDA (%)	26,0	27,4	5,23
CT (%)	9,30	8,30	13,8
Mg (%)	0,20	0,20	0,25
K (%)	1,00	1,00	0,47

MS: materia seca; PB: proteína bruta; EM: energía metabolizable; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; CT cenizas totales; Mg: magnesio; K:potasio.

RESULTADOS

ENSAYO 1

pH ruminal. Las vacas que recibieron suplementación con MgO, matutina y vespertina, presentaron valores de pH ruminal superiores ($P < 0,05$) a las vacas controles (cuadro 2). Los animales que recibieron suplementación matutina mantuvieron los valores de pH ruminal sin variaciones durante el día ($P > 0,05$) y los con suplementación vespertina aumentaron su pH posterior a la suplementación ($P < 0,05$), manteniendo estos valores sin cambios hasta las 2:30 horas. Por el contrario, en las vacas controles se observó una disminución ($P < 0,05$) del pH ruminal en horas de la tarde, presentando los valores promedio más bajos (5,9) a partir de las 17:30 horas (figura 1).

Mg ruminal. Las concentraciones ruminales de Mg fueron superiores ($P < 0,05$) en los animales que recibieron

suplementación con MgO vespertina comparado con el tratamiento control o suplementación matutina (cuadro 2). Las vacas controles no presentaron variaciones durante el transcurso del día ($P > 0,05$) a diferencia de los animales que recibieron suplementación matutina, los que aumentaron sus concentraciones posterior a la suplementación ($P < 0,05$) para luego mantenerlas estables y similares al grupo control (figura 1). Las vacas que recibieron suplementación vespertina mostraron un aumento de las concentraciones posterior a la suplementación ($P < 0,05$), para luego disminuir en las horas posteriores (figura 1).

K y N-NH₃ ruminal. Las vacas que recibieron suplementación no presentaron diferencias ($P > 0,05$) en las concentraciones de K en relación a las vacas controles (cuadro 2). Sin embargo, se observaron diferencias ($P < 0,05$) entre los horarios de muestreo, presentando las menores concentraciones en horas de la mañana ($21,1 \pm 1,62$ mmol/L) y los mayores en horas de la tarde ($30,6 \pm 2,23$ mmol/L). Con respecto al N-NH₃, las vacas que recibieron suplementación no presentaron diferencias ($P > 0,05$) en las concentraciones en relación a las vacas controles (cuadro 2). Sin embargo, al igual que con el K, se observaron diferencias ($P < 0,05$) entre los horarios de muestreo, presentándose los menores valores a las 8:30 horas ($12,2 \pm 4,45$ mmol/L) y los mayores ($24,3 \pm 4,02$ mmol/L) entre las 17:30 y 19:30 horas.

Mg plasmático y CUM. La magnesemia fue superior en las vacas que recibieron suplementación matutina, si bien todos los valores se encontraron dentro de los límites fisiológicos (cuadro 2 y figura 2). No se observaron cambios ($P > 0,05$) en el CUM entre tratamientos (cuadro 2), sin embargo, se observó una tendencia a aumentar las concentraciones en las horas posteriores a la suplementación.

ENSAYO 2

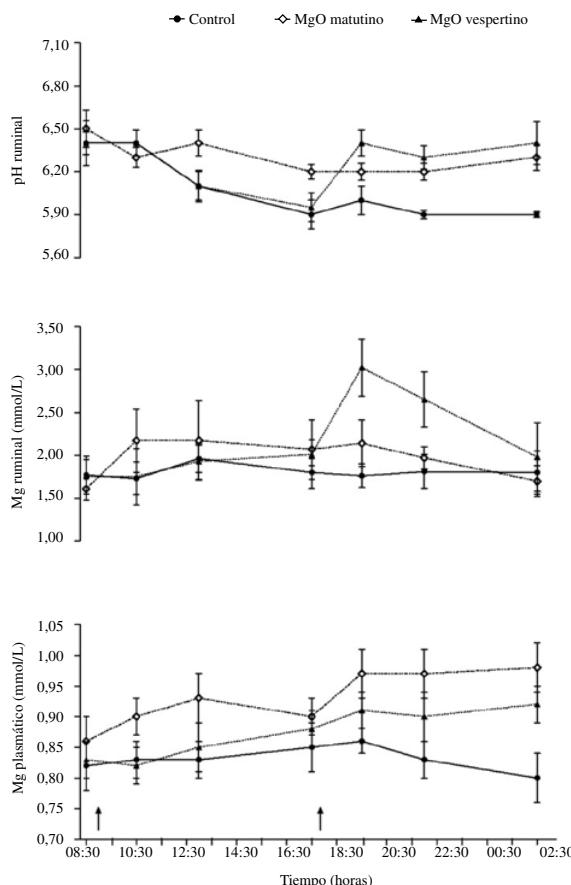
pH ruminal. Las vacas que recibieron suplementación con MgO, 60 y 90 g, presentaron valores de pH ruminal superiores ($P < 0,05$) a las vacas controles (cuadro 3) y

Cuadro 2. Valores ($X \pm EE$) de pH ruminal, concentraciones ruminales de potasio (K), magnesio (Mg) y nitrógeno amoniacoal (N-NH₃), concentración plasmática de Mg y de clearance urinario de Mg (CUM) en vacas lecheras a pastoreo con una suplementación matutina o vespertina de 60 g de óxido de magnesio (MgO) y controles.

Ruminal pH, potassium (K), magnesium (Mg) and ammonia-N (N-NH₃), concentrations, Mg plasma concentrations and urinary clearance of Mg ($X \pm EE$) from grazing cows with a morning or evening supplementation of 60 g of magnesium oxide (MgO) and controls.

Parámetro	Tratamientos			Valor de P	
	Control	MgO matutino	MgO vespertino	Entre tratamientos	Tratamiento x tiempo
pH líquido ruminal	$6,07 \pm 0,10^b$	$6,30 \pm 0,10^a$	$6,28 \pm 0,10^a$	0,0000	0,0028
Mg rumen (mmol/L)	$1,80 \pm 0,18^b$	$1,98 \pm 0,24^b$	$2,16 \pm 0,31^a$	0,0046	0,1119
K rumen (mmol/L)	$27,08 \pm 1,73^a$	$27,36 \pm 1,94^a$	$26,68 \pm 2,42^a$	0,8707	0,9415
N-NH ₃ (mmol/L)	$27,78 \pm 4,15^a$	$26,98 \pm 6,86^a$	$27,93 \pm 4,91^a$	0,7595	0,9341
Mg plasma (mmol/L)	$0,83 \pm 0,03^b$	$0,89 \pm 0,04^a$	$0,86 \pm 0,03^b$	0,0014	0,4508
CUM (mmol/L)	$2,94 \pm 0,53^a$	$3,18 \pm 0,53^a$	$2,90 \pm 0,50^a$	0,3088	0,1029

Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$).



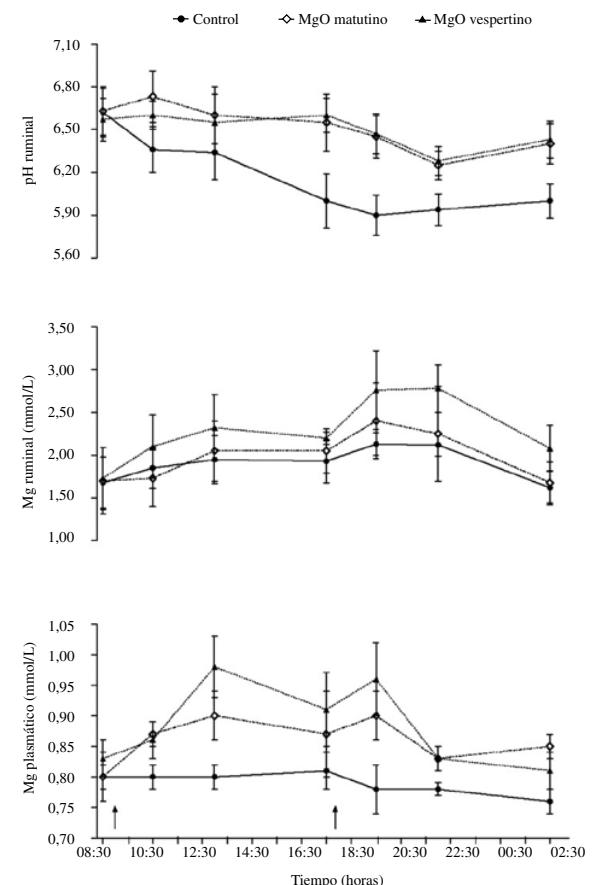
(↑) Indica los horarios de suplementación según tratamientos.

Figura 1. Variación ($X \pm EE$) de pH ruminal y de las concentraciones ruminales y plasmáticas de magnesio (Mg) desde las 8:30 a las 2:30 horas en vacas a pastoreo y con una suplementación matutina o vespertina de 60 g de óxido de magnesio (MgO).

Diurnal variation ($X \pm EE$) of ruminal pH and ruminal and plasma magnesium (Mg) concentrations between 8:30 and 2:30 hours in grazing cows with a morning or evening supplementation of 60 g of magnesium oxide (MgO).

mantuvieron los valores de pH ruminal sin variaciones durante el día ($P > 0,05$, figura 2). Al igual que en el Ensayo 1, en las vacas controles se observó una disminución ($P < 0,05$) del pH ruminal en horas de la tarde, presentando los valores más bajos a partir de las 19:30 horas (figura 2).

Mg ruminal. Las concentraciones de Mg ruminales fueron mayores en los animales que recibieron suplementación versus el control, siendo mayores ($P < 0,05$) en las vacas que recibieron una suplementación de 90 g de MgO (cuadro 3). A su vez, los animales control y los suplementados con 60g MgO mantuvieron constantes las concentraciones de Mg ruminales durante el transcurso del día ($P > 0,05$), en tanto que los animales que recibieron 90 g aumentaron ($P < 0,05$) sus concentraciones a las 19:30 horas, manteniendo altos valores hasta las 22:00 horas.



(↑) Indica los horarios de suplementación según tratamientos.

Figura 2. Variación ($X \pm EE$) de pH ruminal y de las concentraciones ruminales y plasmáticas de magnesio (Mg) desde las 8:30 a 2:30 horas en vacas mantenidas en pastoreo (control) y con una suplementación de 60 g o 90 g de óxido de magnesio (MgO).

Diurnal variation ($X \pm EE$) of ruminal pH and ruminal and plasma magnesium (Mg) concentrations between 8:30 and 2:30 hours in grazing cows supplemented with 60 g or 90 g of magnesium oxide (MgO).

K y $N-NH_3$. Al igual que en el ensayo 1, las vacas que recibieron suplementación presentaron concentraciones de K similares ($P > 0,05$) a las vacas controles (cuadro 3). Sin embargo, se observaron los menores valores en horas de la mañana ($24,4 \pm 3,77$ mmol/L) y los mayores en horas de la tarde ($40,0 \pm 2,23$ mmol/L) en todos los grupos ($P < 0,05$). Resultados similares se observaron en relación al $N-NH_3$, donde las concentraciones fueron semejantes entre los grupos ($P > 0,05$), presentándose los menores valores a las 8:30 ($23,9 \pm 3,46$ mmol/L) y los mayores entre las 19:30 y 22:00 horas ($33,9 \pm 4,24$ mmol/L).

Mg plasmático y CUM. La magnesemia fue superior ($P < 0,05$) en los animales que recibieron suplementación, si bien todos los valores se encontraron dentro de los límites fisiológicos (cuadro 3 y figura 2). El CUM del grupo MgO 90 fue superior ($P < 0,05$) comparado con el control, pero similar ($P > 0,05$) al grupo MgO 60 (cuadro 3).

Cuadro 3. Valores ($X \pm EE$) de pH ruminal, concentraciones ruminales de potasio (K), magnesio (Mg) y nitrógeno amoniacoal (N-NH₃), concentración plasmáticas de Mg y valores de clearance urinario de Mg (CUM) en vacas lecheras a pastoreo con una suplementación de 60 g o 90 g de óxido de magnesio (MgO) y controles.

Ruminal pH, potassium (K), magnesium (Mg) and ammonia-N (N-NH₃), concentrations, Mg plasma concentrations and urinary clearance of Mg ($X \pm EE$) from grazing cows with a supplementation of 60 g or 90 g of magnesium oxide (MgO) and controls.

Parámetro	Tratamientos			Valor de P	
	Control	MgO 60	MgO 90	Entre tratamientos	Tratamiento x tiempo
pH líquido ruminal	6,19 ± 0,15 ^b	6,51 ± 0,17 ^a	6,50 ± 0,13 ^a	0,0031	0,0626
Mg rumen (mmol/L)	1,90 ± 0,20 ^b	1,98 ± 0,24 ^{ab}	2,29 ± 0,27 ^a	0,0380	0,1485
K rumen (mmol/L)	27,78 ± 4,15 ^a	26,98 ± 6,86 ^a	27,93 ± 4,91 ^a	0,5295	0,4423
N-NH ₃ (mmol/L)	27,88 ± 3,02 ^a	30,40 ± 3,21 ^a	26,52 ± 4,12 ^a	0,5763	0,9949
Mg plasma (mmol/L)	0,79 ± 0,06 ^b	0,86 ± 0,08 ^a	0,87 ± 0,12 ^a	0,0006	0,0067
CUM (mmol/L)	2,34 ± 0,27 ^b	2,65 ± 0,29 ^{ab}	2,99 ± 0,36 ^a	0,0333	0,4013

Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$).

DISCUSIÓN

pH RUMINAL

La suplementación con MgO produjo un aumento en el pH ruminal promedio diario de las vacas tratadas en relación a las vacas controles de ambos ensayos, lo que se explica por el efecto neutralizante que posee esta fuente mineral sobre la acidez del contenido ruminal, aumentando así su pH (Schaefer y col 1982, Erdman 1988, Xin y col 1989, Christiansen y Webb 1990).

El pH ruminal promedio observado durante las horas de muestreo en los animales no suplementados (controles) varió desde 6,5 (a las 8:30 horas en el ensayo 1 y 2) a 5,9 (17:30 y 19:30 horas en los ensayos 1 y 2, respectivamente); estos resultados son similares a los descritos en otros trabajos para vacas en condiciones semejantes de manejo, donde los mayores valores se observan en horas de la mañana y los menores en horas de la tarde (Bretschneider y col 2001, Kolver y de Veth 2002, Scandolo y col 2007). Esto se debe en parte al patrón de pastoreo diurno de la vaca, a la periodicidad del consumo MS y, consecuentemente, a los períodos de rumia durante el día (Hinostra 2004, Wales y col 2004). La disminución del pH ruminal en vacas a pastoreo se produce cuando la ingesta de MS de alta digestibilidad es mayor (Williams y col 2001, Wales y col 2004), lo que provoca una mayor fermentación ruminal, producción de dióxido de carbono (CO₂) y ácidos grasos volátiles (AGVs), los cuales son los principales responsables de la acidificación ruminal (Kolver y de Veth 2002).

Los valores de pH del líquido ruminal de las vacas control contrastan con lo observado en las vacas que recibieron suplementación con MgO en ambos ensayos, donde los valores de pH se mantuvieron sobre 6,25 y sin variaciones significativas a lo largo de las horas posteriores a su administración. Sin embargo, las vacas que recibieron suplementación vespertina, al igual que las vacas controles,

alcanzaron valores de 5,9 previo a ser suplementadas (17:30 horas). Diversos estudios han demostrado la importancia del pH en la digestión de celulosa y se ha señalado que breves períodos de tiempo con pH inferiores a 6,0 no afectarían la digestión ruminal (Calsamiglia y col 2002); sin embargo, períodos más extensos (de varias horas) con pH < 6,2 (Hoover 1986, Calsamiglia y col 2002, Kolver y de Veth 2002) son desfavorables para la digestión de la fibra y la función del rumen. En las vacas controles de ambos ensayos y en las vacas que recibieron suplementación en horas de la tarde, si bien mostraron un promedio de pH ruminal durante el día superior a 6,1, hubo varias horas durante la tarde en que el pH fue de 5,9, lo que sugiere que la digestión de los forrajes en estos animales no fue del todo adecuada. La reducción en la digestión de fibra se debe a que las bacterias celulolíticas del rumen son sensibles al ácido (Plaizier y col 2008). Estas bacterias generalmente no toleran un pH bajo 6,0, el cual puede causar reducciones en la tasa de crecimiento y número de organismos celulolíticos y, consecuentemente, la digestión de la fibra (Hoover 1986, Shi y Weimer 1992, Russell y Wilson 1996). Se ha demostrado en estudios *in vitro* que la digestión de celulosa es inhibida por completo cuando el pH es menor de 5,2 (Stewart 1977). La disminución en la digestión de la fibra reduce el contenido energético neto de la dieta y puede presentar un impacto negativo sobre el consumo de alimento (Allen 2000). Wales y col (2004) indican que la digestibilidad del alimento y la producción de leche pueden ser incrementadas con estrategias de alimentación que minimicen la variación diurna de pH, manteniendo valores sobre 6,1 durante todo el día. En este sentido, el efecto de la suplementación con MgO en una sola dosis de 60 g en horas de la mañana (ensayo 1) o con dos dosis de 30 g o 45 g en la mañana y otra en la tarde (ensayo 2) fueron capaces de mantener estables y dentro de los límites fisiológicos el pH ruminal de las vacas durante todo el día. Estos resultados serían favorables al promover

una mayor estabilidad del ambiente del rumen en vacas lecheras en sistemas de pastoreo en las condiciones del presente trabajo.

CONCENTRACIONES RUMINALES DE Mg, N-NH₃ Y K

En ambos ensayos, la concentración de Mg ruminal en las vacas que recibieron MgO fue más elevada que en las vacas controles a las 2 horas posterior a la suplementación, indicando que la suplementación de Mg incrementa la concentración de Mg en el líquido ruminal postingesta, similar a lo informado en otros estudios (Dalley y col 1997, Jittakhot y col 2004^a). Al mismo tiempo, la concentración ruminal de Mg disminuyó a valores cercanos a los iniciales a las 8 horas posteriores a la suplementación conforme a lo descrito por (Xin y col 1989). Esto se relaciona con la mayor tasa de pasaje del forraje (Tafaj y col 2002) y con la ingesta de agua durante la alimentación, incrementando el flujo de los nutrientes hacia el duodeno (Xin y col 1989, Carter y Grovum 1990, Cole 2000), no estando influenciada por la concentración de K ruminal (Jittakhot y col 2004^b). Por otro lado, vacas sin suplementar no presentaron variaciones en las concentraciones ruminales de Mg durante el transcurso del día, manteniendo en promedio valores de 1,76 y 1,90 mmol/L en el ensayo 1 y 2, respectivamente. Estos resultados son inferiores a lo descrito por Scandolo y col (2007), quienes encontraron que el contenido promedio de Mg ruminal en horas de la noche (21:00 horas) alcanzó los 6,6 mmol/L, y además se encuentran levemente bajo los límites de 2,0 a 4,0 mmol/L establecido por Schweigel y col (2000).

La información obtenida en el ensayo 1 muestra que las vacas suplementadas con 60 g de MgO en horas de la tarde (suplementación vespertina) presentaron concentraciones ruminales promedio de Mg superiores a los animales controles y a los animales suplementados en horas de la mañana, alcanzando las mayores concentraciones a las 2 horas posteriores a su suplementación (19:30 horas) y manteniendo estos valores elevados por lo menos por 4,5 horas postsuplementación. Estudios han demostrado que las concentraciones de Mg en el líquido ruminal son mayores a medida que el pH disminuye, indicando que la solubilización es dependiente del pH ruminal (Johnson y col 1988, Emanuele y Staples 1994, Underwood y Suttle 1999). Johnson y col (1988) describen que las concentraciones de Mg ultrafiltrable en el líquido ruminal de vacas disminuyen de 6,0 mmol/L a 0,05 mmol/L cuando el pH ruminal aumenta de 5,6 a 7,2, y por otra parte, Dalley y col (1997) informan que la solubilidad *in vitro* de Mg en el líquido ruminal disminuye de un 80% a un 20% aproximadamente, cuando el pH aumenta de 5,0 a 7,0. Estos antecedentes permiten suponer que la diferencia encontrada en las concentraciones de Mg en el líquido ruminal en los animales que recibieron una suplementación matutina comparado con la vespertina, se asocia al elevado pH ruminal en horas de la mañana (6,5) versus

al de la tarde (5,9), debido probablemente a la mayor solubilización del Mg en horas de la tarde cuando el pH es más bajo. Esta misma tendencia se observó en el ensayo 2, en el tratamiento de 90 g de MgO en dos dosis, donde la suplementación de la mañana fue menos efectiva en aumentar las concentraciones de Mg en el rumen (de 1,73 mmol/L previo a la suplementación a 2,10 mmol/L posterior a la suplementación), a diferencia de lo observado en la suplementación de la tarde (de 2,20 mmol/L previo a la suplementación a 2,78 mmol/L posterior a la suplementación), a pesar de suplementar con dosis similares de 45 g de MgO en cada oportunidad.

La concentración de N-NH₃ en el líquido ruminal no se afectó por la suplementación, pero sí se observaron diferencias a lo largo del día con valores menores durante la mañana y mayores en la tarde. La concentración de N-NH₃ en el rumen es consecuencia de la concentración de amonio (NH₄⁺) y amoníaco (NH₃) en dependencia del pH ruminal (Visek 1968, Chalupa 1972, Fernández y col 2001). Cuanto más elevado es el pH ruminal mayor es la proporción de la forma no ionizada o libre (NH₃) y, cuanto más ácido es el pH ruminal mayor será la proporción de la forma ionizada (NH₄⁺) (Visek 1968), lo que coincide con lo observado en los animales sin suplementar. Un aumento repentino en la concentración de NH₄⁺ ruminal reduce la absorción de Mg (Martens y col 1988) y disminuye la concentración plasmática y urinaria de Mg (Head y Rook 1955). No obstante, este efecto solo es transitorio, ya que un aumento de NH₄⁺ ruminal sostenido en el tiempo no provoca alteraciones en el metabolismo del Mg, debido a la adaptación de la pared ruminal (Martens y Schweigel 2000). Sin embargo, las razones de este efecto depresor temporal del NH₄⁺ sobre la absorción de Mg y los mecanismos adaptativos de la pared ruminal aún son inciertas.

Las vacas de ambos ensayos presentaron elevadas concentraciones ruminales de K durante el día y, al igual que lo notado con el NH₄⁺, se observaron diferencias entre las horas de muestreo presentándose los menores valores en horas de la mañana y mayores en horas de la tarde, semejante a lo informado en otro trabajo en condiciones similares de manejo (Scandolo y col 2007). El K se encuentra en elevadas concentraciones en el rumen por ser un mineral 100% soluble (Emanuele y Staples 1994). La variación observada en las horas de muestreo se explica por el patrón de comportamiento de vacas lecheras a pastoreo, siendo el consumo de MS de pradera mayor en horas de la tarde (Amaral-Phillips y col 1997, Hinostroza 2004). Por otro lado, la concentración de K ruminal no fue afectada por la suplementación con Mg, similar a lo informado en otros estudios (Ram y col 1998, Jittakhot y col 2004^b). Se ha descrito que el alto contenido de K en la dieta afecta negativamente la absorción de Mg en los rumiantes (Tomas y Potter 1976, Greene y col 1983, Leonhard-Marek y Martens 1996, Martens y Schweigel 2000), informándose que concentraciones de K en la dieta superiores al 2,0 % MS disminuyen la absorción del mineral

(Sykes 1993). En las condiciones del presente trabajo el contenido de K en la pradera fue de un 1,0% MS y por lo tanto se puede asumir que no tuvo un efecto significativo sobre la absorción de Mg.

MAGNESEMIA Y CUM

Las vacas de ambos ensayos presentaron concentraciones plasmáticas de Mg dentro de los límites de referencia (0,7-1,1 mmol/L) señalado para bovinos en el sur de Chile (Wittwer y Böhmwald 1986). A su vez, las vacas suplementadas con MgO presentaron un incremento de la concentración de Mg plasmático dentro de las primeras horas de recibida la suplementación, para disminuir gradualmente en el transcurso de las horas, coincidiendo este aumento con el incremento observado en el CUM, similar a lo descrito en otros trabajos (van Ravenswaay y col 1989, Dalley 1994).

Se describe una elevada correlación ($r = 0,91$) entre la cantidad de Mg absorbido y la concentración de Mg plasmático (Jittakhot y col 2004a). En el ensayo 1 se observó que la magnesemia promedio del día en las vacas suplementadas en horas de la mañana fue mayor a la de las suplementadas en la tarde, pese a que se utilizó la misma dosis de 60 g y a que en estas últimas se observaron las mayores concentraciones de Mg en el rumen posterior a la suplementación. En el ensayo 2, en tanto, se observó que la magnesemia promedio del día fue mayor en las vacas suplementadas dos veces al día comparado con el grupo control. Cabe señalar que la absorción de los minerales no depende sólo de la concentración en la pastura o en el suplemento, sino también de la ingesta y de su disponibilidad (Towers 1982). Se ha descrito que la salida diaria de Mg desde el rumen se incrementa cuando el pH decrece, indicando que el pH ruminal y la absorción de Mg tienden a correlacionarse de manera inversa (Johnson y col 1988, Emanuele y Staples 1994). Esta situación podría explicar las menores concentraciones de Mg plasmático en los animales que recibieron suplementación vespertina, si bien todos se encontraron dentro del límite de referencia. Además, como se mencionó anteriormente, tanto el K como el NH_4^+ interfieren en la absorción del Mg y en este estudio se presentaron en mayores concentraciones en horas de la tarde.

Los resultados del trabajo permiten concluir que 60 g de MgO, suministrado como dosis única en la mañana o como dos dosis de 30 g cada una por la mañana y tarde, logra minimizar las fluctuaciones diarias de pH en el líquido ruminal e incrementar la magnesemia en vacas lecheras en sistemas de pastoreo.

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar una suplementación con óxido de magnesio (MgO) en diferentes horarios y dosis sobre el pH ruminal y balance metabólico de magnesio (Mg) en vacas lecheras en pastoreo.

Se utilizaron 4 vacas Frisonas Negro-Chileno con cánulas ruminales. El diseño experimental fue de 4×3 , con 3 períodos experimentales de 1 día de duración en cada ensayo y 3 días de descanso entre períodos. El MgO se suministró oralmente posterior al ordeño. *Ensayo-1*: C = control; SM = 60g/vaca como suplementación-matutina y SV = 60g/vaca como suplementación-vespertina. *Ensayo-2*: C = control, MgO-60 = 2-dosis 30g/vaca y MgO-90 = 2 dosis 45g/vaca. Se obtuvieron muestras de líquido ruminal y sangre a las 08:30, 10:30, 13:00, 17:30, 19:30, 22:00 y 02:30 horas, determinándose los valores de pH ruminal, concentraciones ruminales de Mg, potasio (K), N-amoniacal (N-NH_3) y Mg plasmático. En ensayo-1, el pH-ruminal disminuyó durante el día en C con valores más bajos durante la tarde, en SM no varió y en SV incrementó postsuplementación. En ensayo-2, MgO-60 mantuvo el pH-ruminal constante durante el día. Concentraciones de Mg-ruminal aumentaron en las vacas que recibieron SV (ensayo-1) y MgO-90 (ensayo-2). La magnesemia fue mayor en SM (ensayo-1) y en MgO-60 y MgO-90 (ensayo-2). Las concentraciones de K y N-NH_3 fueron semejantes entre grupos. Se concluye que 60 g de MgO, suministrado en la mañana como dosis única o en dos dosis de 30 g, minimiza las fluctuaciones diarias del pH ruminal e incrementa la magnesemia en vacas lecheras en pastoreo.

REFERENCIAS

- Allen MS. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cattle. *J Dairy Sci* 83, 1598-1624.
- Amaral-Phillips DM, RW Hemken, JC Henning, LW Turner. 1997. Pasture for dairy cattle: changes and opportunities. *Cooperative Extension Service*, University of Kentucky College of Agriculture. ASC N° 151.
- Ammerman CB, CF Chicco, JE Moore, PA Van Walleghem, LR Arrington. 1971. Effect of dietary magnesium on voluntary feed intake and rumen fermentations. *J Dairy Sci* 54, 1288-1293.
- Bal MA, RD Shaver, AG Jirovec, KJ Shinners, JG Coors. 2000. Crop processing and chop length of corn silage: effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J Dairy Sci* 83, 1264-1273.
- Bretschneider G, F Santini, J Fay, C Faverin. 2001. Effects of maize silage supplementation before lucerne grazing on the occurrence of bloat in cattle. *N Zel J Agric Res* 44, 241-251.
- Calsamiglia S, A Ferret, M Devant. 2002. Effects of pH and pH fluctuations on microbial fermentation and nutrient flow from a dual-flow continuous culture system. *J Dairy Sci* 85, 574-579.
- Carter RR, WL Grovum. 1990. A review of the physiological significance of hypertonic body fluids on feed intake and ruminal function: salivation, motility and microbes. *J Anim Sci* 68, 2811-2832.
- Cole NA. 2000. Changes in postprandial plasma and extracellular and ruminal fluid volumes in wethers fed or unfed for 72 hours. *J Anim Sci* 78, 216-223.
- Chalupa W. 1972. Metabolic aspects of nonprotein nitrogen utilization in ruminant animals. *Fed Proc* 31, 1152-1164.
- Christiansen ML, KE Webb. 1990. Nitrogen utilization and digestibility of amino acids by lamb fed a high-concentrate diet with limestone or magnesium oxide. *J Anim Sci* 68, 2095-2104.
- Dalley DE. 1994. Within herd variability in the mineral status of grazing dairy cows in early lactation. *Proc N Zel Soc Anim Prod* 54, 27-30.
- Dalley DE, AR Sykes, P Isherwood, AB Robson. 1996. Effect of ileal infusion of volatile fatty acids on feed intake and urinary magnesium excretion in sheep. *Quart J Exp Phys* 81, 655-663.
- Dalley DE, P Isherwood, AR Sykes, AB Robson. 1997. Effect of *in vitro* manipulation of pH on magnesium solubility in ruminal and caecal digesta in sheep. *J Agric Sci, Cambridge* 129, 107-111.
- Emanuele SM, CR Staples. 1994. Influences of pH and rapidly fermentable carbohydrate on mineral release in and flow from the rumen. *J Dairy Sci* 77, 2382-2392.

- Erdman RA. 1988. Dietary Buffering Requirements of the Lactating Dairy Cow: A Review. *J Dairy Sci* 71, 3246-3266.
- Ferguson JD, DT Galligan, N Thomsen. 1994. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *J Dairy Sci* 77, 2695-2703.
- Fernández J, T Sahlu, S Hart, M Potchoiba, H El Shaer, N Jacquemet, H Carneiro. 2001. Experimentally-induced subclinical hyperammonemia in dairy goats. *Small Rum Res* 42, 5-20.
- Greene LW, JP Fontenot, KE Webb Jr. 1983. Site of magnesium and other macromineral absorption in steers fed high levels of potassium. *J Anim Sci* 57, 503-510.
- Head MJ, JA Rook. 1955. Hypomagnesaemia in dairy cattle and its possible relationship to ruminal ammonia production. *Nature* 176, 262-263.
- Hinostroza GA. 2004. Efecto del tipo de carbohidrato en el concentrado sobre el consumo y comportamiento ingestivo en vacas lecheras en pastoreo primaveral. *Memoria de título*, Escuela de Agronomía, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Hoover WH. 1986. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *J Dairy Sci* 69, 2755-2766.
- Jesse BW, JW Thomas, RS Emery. 1981. Availability of magnesium from magnesium oxides particles of differing sizes and surfaces. *J Dairy Sci* 64, 197-205.
- Jittakhot S, JT Schonewille, H Wouterse, AWJ Uijttewaal, C Yuangklang, AC Beynen. 2004^a. Increasing magnesium intakes in relation to magnesium absorption in dry cows. *J Dairy Res* 71, 297-303.
- Jittakhot S, JT Schonewille, H Wouterse, C Yuangklang, AC Beynen. 2004^b. Apparent magnesium absorption in dry cows fed at 3 levels of potassium and 2 levels of magnesium intake. *J Dairy Sci* 87, 379-385.
- Johnson CL, SH Hellwoll, DA Aubrey Jones. 1988. Magnesium metabolism in the rumens of lactating dairy cows fed on spring grass. *Quart J Exper Phys* 73, 23-31.
- Kolver ES, MJ de Veth. 2002. Prediction of ruminal pH from pasture-based diets. *J Dairy Sci* 85, 1255-1266.
- Leonhard-Marek S, H Martens. 1996. Effects of potassium on magnesium transport across rumen epithelium. *Amer J Physiol* 271, G1034-G1038.
- Martens H, G Heggemann, K Regier. 1988. Studies on the effect of K, Na, NH4+, VFA and CO₂ on the net absorption of magnesium from the temporarily isolated rumen of heifers. *Zentralbl Vet. Reihe A* 35, 73-80.
- Martens H, M Schweigl. 2000. Pathophysiology of grass tetany and other hypomagnesemias. Implications for clinical management. *Food Anim Pract* 16, 339-368.
- Noro M, R Chihuailaf, F Wittwer. 2010. Diagnóstico de alteraciones ácido-básicas ruminales en vacas lecheras a pastoreo mediante ruminocentesis dorsal. En: Contreras PA, Noro M (eds). *Rumen: Morfofisiología, trastornos y modulación de la actividad fermentativa*. América, Valdivia, Chile, Pp 111-118.
- Petrie A, P Watson. 2006. *Statistics for Veterinary and Animal Science*. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.
- Plaizier JC, DO Krause, GN Gozho, BW McBride. 2008. Subacute ruminal acidosis in dairy cows: the physiological causes, incidence and consequences. *Vet J* 176, 21-31.
- Pulido R. 2010. Dinámica del nitrógeno amoniacoal y pH ruminal en vacas a pastoreo. En: Contreras PA, Noro M (eds). *Rumen: Morfofisiología, trastornos y modulación de la actividad fermentativa*. América, Valdivia, Chile, Pp 61-68.
- Ram L, JT Schonewille, H Martens, AT van't Klooster, AC Beynen. 1998. Magnesium absorption by wethers fed potassium bicarbonate in combination with different dietary magnesium concentrations. *J Dairy Sci* 81, 2485-2492.
- Rosol T, C Capen. 1997. Magnesium metabolism. In: Kaneko J, Harvey J, Bruss M (eds). *Clinical Biochemistry of Domesticated Animals*. Academic Press, Inc., San Diego, California, USA, Pp 674-696.
- Russell JB, DB Dombrowski. 1980. Effect of pH on the efficiency of growth by pure cultures of rumen bacteria in continuous culture. *Appl Environ Microbiol* 39, 604-610.
- Russell JB, DB Wilson. 1996. Why are ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH? *J Dairy Sci* 79, 1503-1509.
- Scandolo D, M Noro, H Böhmwald, P Contreras, F Wittwer. 2004. Análisis descriptivo de perfiles metabólicos de minerales realizados a rebaños lecheros en el sur de Chile entre 1986 a 2003. *XXIX Reunión Anual Sociedad Chilena de Producción Animal*, Villarrica, Chile, Pp 205-206.
- Scandolo D. 2005. Evaluación física, química y biológica de productos de magnesio para la suplementación de vacas lecheras a pastoreo. *Tesis de Magíster*, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Scandolo D, M Noro, H Böhmwald, PA Contreras, F Wittwer. 2007. Variación diurna del pH y de las concentraciones de magnesio y potasio del fluido ruminal en vacas lecheras a pastoreo. *Arch Med Vet* 39, 141-146.
- Schaefer DM, LJ Wheeler, CH Noller, RB Keyser, JL White. 1982. Neutralization of acid in the rumen by magnesium oxide and magnesium carbonate. *J Dairy Sci* 65, 732-739.
- Schweigl M, J Vormann, H Martens. 2000. Mechanism of Mg²⁺ transport in cultured ruminal epithelial cells. *Amer J Phys* 278, G400-G408.
- Shi Y, PJ Weimer. 1992. Response surface analysis of the effects of pH and dilution rate on *Ruminococcus flavefaciens* FD-1 in cellulose-fed continuous culture. *Appl Environ Microbiol* 58, 2583-2591.
- Statistix 8.0. 2003. User's Manual. Analytical Software, USA.
- Stewart CS. 1977. Factors affecting the cellulolytic activity of rumen contents. *Appl Environ Microbiol* 33, 497-502.
- Sutherland RJ, KC Bell, KD McSporran, GW Carthew. 1986. A comparative study of diagnostic tests for the assessment of herd magnesium status in cattle. *N Z Vet J* 34, 133-135.
- Sykes A. 1993. Hipomagnesemia en bovinos. *Primeras Jornadas Chilenas de Buiatría*, Osorno, Chile, Pp 117-148.
- Tafaj M, V Kolanec, A Maulbestsch, BH Steinga, D W. 2002. Influence of hay quality and concentrate level on digest passage in dairy cows. *XXII World Buiatrics Congress*, Hannover, Germany.
- Thomas J, RS Emery. 1969. Effects of sodium bicarbonate, magnesium oxide, and calcium hydroxide on milk fatty secretion. *J Dairy Sci* 52, 60-63.
- Thomas JW, RS Emery, JK Breaux, JS Liesman. 1984. Response of milking cows fed a high concentrate, low roughage diet plus sodium bicarbonate, magnesium oxide, or magnesium hydroxide. *J Dairy Sci* 67, 2532-2545.
- Tomas FM, BJ Potter. 1976. Interaction between sites of magnesium absorption in the digestive tract of the sheep. *Austr J Agric Res* 27, 437-446.
- Towers NR. 1982. Urinary magnesium - an indicator of magnesium status/intake? *Proceedings of the N Z Soc Anim Prod* 42, 167-168.
- Underwood EJ, NF Suttle. 1999. Magnesium. In: Underwood EJ, Suttle NF. *The mineral nutrition of livestock*. Chapter 6. CAB International, Oxford, UK, Pp 149-184.
- Valentine S, P Bartsch, P Carroll, I Chirnside. 1993. Effect of granulated magnesium oxide on the production and composition of milk by cows fed cereal grain and either conserved fodders or pasture. *Austr J Exp Agric* 33, 141-143.
- van Ravenswaay RO, PR Henry, CB Ammerman, RC Littell. 1989. Comparison methods to determine relative bioavailability of magnesium in magnesium oxides for ruminants. *J Dairy Sci* 72, 2968-2980.
- Visek WJ. 1968. Some aspects of ammonia toxicity in animal cells. *J Dairy Sci* 51, 286-295.
- Wales WJ, ES Kolver, PL Thorne, AR Egan. 2004. Diurnal variation in ruminal pH on the digestibility of highly digestible perennial ryegrass during continuous culture fermentation. *J Dairy Sci* 87, 1864-1871.
- Wilson GF. 1980. Effects of magnesium supplements on the digestion of forages and milk production of cows with hypomagnesemia. *Anim Prod* 31, 153-157.
- Williams YJ, GP Walker, WJ Wales, PT Doyle. 2001. Effect of pasture type and intake on the rumen pH of grazing dairy cows in spring. *Austr J Dairy Technol* 56, 13.
- Wittwer F, H Böhmwald. 1986. *Manual de Patología Clínica Veterinaria*. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

Wittwer F, PA Contreras, N Silva, H Böhmwald. 1997. Efecto de la suplementación con sales de magnesio en alimento y agua sobre el control de la tetania hipomagnesémica en rebaños Hereford. *Arch Med Vet* 29, 25-33.

Xin Z, BW Tucker, RW Hemken. 1989. Effect of reactivity and particle size of magnesium oxide on magnesium availability, acid-base balance, mineral metabolism, and milking performance of dairy cows. *J Dairy Sci* 72, 462-470.