

Indicadores sanguíneos y ruminales del balance de magnesio en vacas lecheras en pastoreo y suplementadas con óxido o quelato de magnesio

Blood and rumen indicators of magnesium balance in dairy cows on grazing and supplemented with magnesium oxide or magnesium chelate

Pilar Sepúlveda¹, Fernando Wittwer² y Mirela Noro^{3*}

¹Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Veterinaria. Escuela de Graduados, Programa de Doctorado Ciencias Veterinarias.

²Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Veterinarias. Instituto de Ciencias Clínicas Veterinarias. Casilla 567, Valdivia, Chile.

³Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Uruguiana, Brasil. *Correo electrónico: mirelanoro@gmail.com.

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar la suplementación con una fuente inorgánica de magnesio (MgO) versus una fuente orgánica de magnesio (MgQ) sobre el balance de magnesio (Mg) de vacas lecheras a pastoreo. Se utilizaron 34 vacas Holstein-Friesian, cuatro de las cuales tenían cánulas ruminales. El trabajo fue dividido en dos ensayos: Ensayo-1, se utilizaron las cuatro vacas canuladas y en tres períodos experimentales de un día de duración cada uno, donde se otorgaron los tratamientos sin suplementación (control); =30g/vaca de magnesio en forma de MgO y 30g/vaca de magnesio en forma de MgQ. Se obtuvo muestras de líquido ruminal y sangre en siete oportunidades durante el día (d) y se determinó pH ruminal, concentración ruminal de Mg, potasio, amonio y concentración de Mg plasmático. En muestras de orina se determinó el aclaramiento urinario de Mg (CUM). Ensayo-2, se utilizaron 30 vacas, las cuales fueron divididas en tres grupos de diez animales cada uno a las cuales se les dieron los mismos tratamientos (C, MgO y MgQ) por un período de 20 días y donde: 0-5d = período basal; 6-15d = período de suplementación y 16-20d = período post-suplementación. En el ensayo-1, la magnesemia media del día fue superior en las vacas suplementadas y en el ensayo-2 fueron similares entre tratamientos. El CUM fue similar entre tratamientos en ambos ensayos. En el ensayo-1, el MgQ incrementó las concentraciones ruminales de Mg a lo largo del d en comparación con el control y en el ensayo-2 fueron similares entre tratamientos. En ambos ensayos, el pH ruminal en MgQ fue inferior al MgO. Se determinó, tanto MgO y MgQ ejercen un efecto similar sobre el balance de Mg en vacas lecheras a pastoreo; además, el MgQ acidifica el pH del líquido ruminal.

Palabras clave: magnesemia, quelato de magnesio, óxido de magnesio, pastoreo, vaca lechera.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate magnesium supplementation from an organic source (MgO) versus an inorganic form (MgQ) on magnesium (Mg) balance in lactating dairy cows grazing on a permanent pasture at the end of spring. Thirty lactating Holstein cows and four ruminal-fistulated cows were used. Study was divided in two experiments: Experiment 1, fistulated cows were given Mg supplementation as an oral drench after morning and afternoon milkings, without supplementation (Control) 30g/cow of Mg as MgO and 30g/cow of Mg as MgQ. Ruminal fluid and blood samples were obtained at 8:30, 10:30, 13:00, 17:30, 19:30, 22:00 y 02:30 h to determine rumen pH, Mg, potassium (K) and ammonia (NH₄⁺) concentrations and Mg concentration on plasma. Urine samples were also obtained at 8:30, 13:00, 17:30 y 22:00 h to determine clearance of urine Mg (CUM). Experiment 2, three groups of 10 lactating cows each (C, MgO y MgQ) were used during a total time of 20 days where: 0 -5 d (baseline period) 6 -15 d (supplementation period) and 16 -20 d (post-supplementation period). Ruminal fluid y blood samples were obtained on days 0, 5, 10, 15 y 20 to determine same parameters as for experiment 1. In experiment 1, magnesemia was higher in supplemented cows and no differences among treatments were found in experiment 2. CUM values were similar among treatments in both experiments. In experiment 1, ruminal Mg concentrations increased in cows receiving MgQ compared to control cows and in experiment 2, were similar among treatments. In both trials, the ruminal pH of cows supplemented with MgQ were lower than those supplemented with MgO. It is concluded that MgO y MgQ have a similar effect on the Mg metabolic balance in dairy cows on pasture, Nevertheless MgQ tends to acidify the ruminal pH.

Key words: magnesemia, magnesium chelate, magnesium oxide, grazing, dairy cow.

INTRODUCCIÓN

El magnesio (Mg) es un elemento esencial ya que participa en numerosas funciones fisiológicas y bioquímicas del rumiante (Martens y Schweigel, 2000), siendo de especial importancia para vacas en lactancia (Goff, 2006). La hipomagnesemia es una enfermedad metabólica frecuente en vacas lecheras en sistemas pastoriles (Martens y Schweigel, 2000) y en el sur de Chile su presentación se ha incrementado en los últimos años, alcanzando casi un 8,3% en vacas parto y 11,7% en vacas en lactación (Wagemann *et al.*, 2014a). Si bien, la hipomagnesemia es una forma subclínica, animales con dietas carentes en Mg o con alto K y sometidos a un intenso estrés, pueden desarrollar la forma clínica de la enfermedad, conocida como tetania hipomagnésica. Los signos clínicos de la tetania hipomagnésica se caracterizan por excitabilidad, salivación, ataxia, temblores y rigidez, convulsiones tónico-clónicas, seguida por muerte por insuficiencia cardio-respiratoria (Suttle, 2010).

Una estrategia común para prevenir la hipomagnesemia, así como su forma clínica, es aumentar la ingesta de Mg a través de la suplementación con fuentes ricas en el mineral y de esta manera favorecer su absorción (Jittakhot *et al.*, 2004b; Ram *et al.*, 1998). Tradicionalmente, la suplementación con Mg en vacas lecheras ha sido realizado mediante el uso de sales inorgánicas siendo el óxido de Mg (MgO) la fuente más utilizada (NRC, 2001). Si bien es una fuente de bajo costo, una de sus mayores desventajas es su bajo coeficiente de absorción (NRC, 2001), lo que se traduce en pérdida del mineral a través de las heces. Por otra parte, la absorción de Mg es reducida cuando los rumiantes consumen forrajes con altas concentraciones de potasio (K) (Schonewille *et al.*, 1999), fenómeno que ocurre con frecuencia en vacas que pastorean praderas de primavera ricas en este elemento (Scandolo *et al.*, 2007).

Para contrarrestar el efecto antagónico del K sobre la absorción de Mg, una práctica común es suplementar a las vacas con elevadas dosis de MgO (Jittakhot *et al.*, 2004b; Ram *et al.*, 1998), las que muchas veces son basadas en consideraciones subjetivas más que en cálculos de raciones y, por lo tanto, sobrestimadas. La toxicidad por Mg no ocasiona un problema clínico importante, sin embargo una excesiva adición de MgO puede decrecer la palatabilidad de la ración y causar diarrea debido a un efecto osmótico (NRC, 2001).

Una alternativa a la suplementación mineral a través de fuentes inorgánicas ha sido el desarrollo de suplementos orgánicos, en donde los metales son unidos a compuestos no metálicos como aminoácidos o polisacáridos (Ammerman *et al.*, 1998). La premisa para su utilización se basa en tener una mayor biodisponibilidad, ya que podrían permanecer estables en el tracto digestivo y no reaccionar con otros componentes de la dieta (Jacques y McKenzie, 1991; Spears, 2003). La mayoría de los trabajos realizados en bovinos basan el uso de suplementos orgánicos para el aporte de microelementos o elementos trazas, tales como el selenio, cobre o zinc, siendo algunos de sus resultados contradictorios en términos de absorción y desempeño productivo de los animales (Spears, 2003). Del mismo modo, algunos autores señalan que desde el punto de eficiencia productiva es ventajoso utilizar fuentes orgánicas de Mg para la suplementación de vacas (Ashmead y Samford, 2004) y otros no (Lough *et al.*, 1990).

La información sobre el uso de fuentes orgánicas de Mg para suplementar vacas en sistema de pastoreo es limitada. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue determinar y comparar el efecto de una suplementación con óxido y quelato de Mg sobre el balance metabólico de Mg de vacas lecheras a pastoreo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales y alimentación

El experimento se realizó en la primavera del año 2008, entre los meses de octubre y noviembre. Se utilizaron 34 vacas lecheras Holstein Friesian, con un peso vivo de 532 ± 70 kg ($\bar{x} \pm$ DE), de 3 a 5 años de edad, con 134 ± 40 d en lactancia, con una producción de leche de $25 \pm 3,8$ L/d y con una condición corporal de $2,5 \pm 0,2$ puntos (escala 1 a 5; Ferguson *et al.*, 1994), pertenecientes a predios experimentales lecheros de la Universidad Austral de Chile (UACH), Valdivia, Región de los Ríos, Chile. De estas vacas, cuatro se encontraban fistuladas con cánulas ruminales permanentes.

Las vacas fueron mantenidas a pastoreo 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 post ordeñas. Además, cada vaca recibió durante la ordeña de la mañana y tarde 2,5 kg de

concentrado comercial para vaca en lactancia, sin un aporte adicional de mezcla mineral.

Diseño experimental

El diseño experimental fue dividido en dos ensayos. En el ensayo 1 se trabajó con las cuatro vacas fistuladas con cánulas ruminales y en el ensayo 2 con las 30 vacas en lactancia. En ambos ensayos se utilizó como fuente de Mg inorgánico el suplemento mineral comercial de MgO (Agrícola Nacional, Chile) y como fuente de Mg orgánico el suplemento quelato de Mg (MgQ). En ambos ensayos los suplementos fueron mezclados con agua y suministrados a cada vaca por vía oral dentro de la primera hora posterior a las ordeñas.

Ensayo 1, vacas canuladas: Antes de iniciar el ensayo, las vacas pasaron por un período de adaptación durante el cual permanecieron 20 d con una dieta control, constituida de forraje y concentrado. Posterior a este período se inició el ensayo, el cual comprendió tres períodos experimentales de un día de duración cada uno y tres días de descanso entre ellos. En cada período experimental las vacas recibieron alternadamente los tres tratamientos, totalizando cuatro repeticiones por tratamiento: *Tratamiento 1, control*: sin suplementación mineral; *Tratamiento 2, suplementación inorgánica*: 30 g/vaca de Mg como MgO, suministrado mitad en la mañana (8:40 h) y mitad en la tarde (17:40 h); *Tratamiento 3, suplementación orgánica*: 30 g/vaca de Mg como MgQ, suministrado mitad en la mañana (8:40 h) y mitad en la tarde (17:40 h).

Ensayo 2, vacas en lactancia: La duración total de este ensayo fue de 20 d, donde los primeros cinco días se consideraron como período basal. A partir del sexto día del experimento hasta el 15° día, las vacas recibieron diariamente la suplementación con Mg. Los últimos cinco días del estudio (16 al 20) las vacas no fueron suplementadas, con la finalidad de verificar la magnitud de reducción de la magnesemia y el aclaramiento de magnesio urinario (Scandolo, 2005; Wittwer *et al.*, 1997). Las 30 vacas fueron asignadas homogéneamente por días en lactancia y producción láctea a tres grupos experimentales de 10 animales cada uno. Cada grupo recibió uno de los tratamientos similares al ensayo 1, según lo descrito a continuación: *Tratamiento 1, control*: sin suplementación mineral; *Tratamiento 2, suplementación inorgánica*: 30 g/vaca/d de Mg como MgO, suministrado mitad en la mañana (7:30 h) y mitad en la tarde (16:30 h); *Tratamiento 3, suplementación orgánica*: 30 g/vaca/d de Mg como MgQ, suministrado mitad en la mañana (7:30 h) y mitad en la tarde (16:30 h).

Obtención de muestras

Ensayo 1, de cada vaca se obtuvo en siete oportunidades 50 mL de líquido ruminal del saco caudo ventral del rumen de forma manual a través de la cánula ruminal: a las 8:30 h (previo a la administración de Mg en la mañana), a las 10:30, 13:00, 17:30 h (previo a la administración de Mg en la tarde), posteriormente a las 19:30, 22:00, y por último a las 2:30 h del día siguiente. El pH ruminal se determinó mediante un pHmetro portátil (HI 98127, HANNA Instruments). Además, de cada muestra se guardaron refrigeradas dos alícuotas previamente filtradas, una para las determinaciones de Mg y potasio (K) y la segunda, de 10 mL con 0,1 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 50%, para la determinación de amonio (NH_4^+).

A las mismas horas descritas, se obtuvo muestras de sangre mediante venopunción yugular utilizando tubos heparinizados de 5 mL. Muestras de 50 mL de orina fueron obtenidas por micción inducida mediante estimulación de la región subvulvar a las 8:30, 13:00, 17:30 y 22:00 h. Dentro de tres horas desde su obtención, todas las muestras fueron transportadas al laboratorio. Las muestras de líquido ruminal fueron centrifugadas durante 15 min a 3.000 g a temperatura ambiente o a 2.000 g a 4°C, para la determinación de minerales y NH_4^+ , respectivamente. Para las muestras de orina se traspasó un volumen de 5 mL en tubos con 0,3 mL de ácido clorhídrico (HCl) 6N y luego fueron centrifugadas a 270 g durante 10 min. Las muestras de sangre fueron centrifugadas a 270 g durante 10 min para la obtención de plasma. Todos los sobrenadantes fueron traspasados a microtubos de 1,5 mL y congelados a -20°C hasta su posterior análisis.

Ensayo 2, los días 0, 5, 15 y 20 del ensayo luego de la ordeña de la tarde (17:00 h), se obtuvieron muestras de líquido ruminal a través de una ruminocentesis dorso-medial en el flanco izquierdo según método descrito por Noro *et al.* (2013), y muestras de sangre y orina del mismo modo que en el ensayo 1. La producción de leche por vaca se registró automáticamente en cada ordeña mediante el sistema Waikato (42 kg, Mk V Milk Meter, Waikato® Milking Systems Ltd., Hamilton, NZ) y se obtuvo muestras individuales en duplicado los días 0, 15 y 20 del experimento para la determinación de los porcentajes de grasa y proteína láctea.

En ambos ensayos se recolectó muestras de pradera, que correspondieron al día de inicio en el ensayo 1 y al día 5 y 15 en el ensayo 2. Cada muestra de pradera para digestibilidad correspondió a un corte tipo “hand-plucking” sobre los 7 cm (altura de residuo post pastoreo), recolectando el mismo tipo de material que

consumían las vacas. Además, en ambos ensayos se obtuvo una muestra compuesta del concentrado.

Análisis de laboratorio

Líquidoruminal: Las concentraciones ruminales de Mg se determinaron mediante EAA (Espectrofotómetro de Absorción Atómica Thermo Solaar®) y las concentraciones de K mediante fotometría de llama utilizando una dilución de 1:2.500 y 1:200 con cloruro de lantano (LaCl₃) al 0,1%, respectivamente. La concentración de NH₄⁺ se determinó en duplicado mediante colorimetría (fotocolorímetro Hitachi 4020®, Boehringer Mannheim), utilizando la reacción de indofenol (Sievert y Shaver, 1993).

Orina: Para determinar las concentraciones de Mg las muestras se diluyeron 1:1.300 con LaCl₃ al 0,1 % y para creatinina al 1:50 con agua. El Mg se determinó por EAA (Thermo Solaar®) y la creatinina colorimétricamente con el método de Jaffé (Human®) utilizando un autoanalizador (MetroLab 2300®, Wiener Lab). El análisis se expresó en mmol/L. Además se determinó el aclaramiento de Mg urinario o Mg urinario corregido por creatinina (CUM) por la fórmula indicada por Sutherland *et al.* (1986): CUM (mmol/L) = Mg-u (mmol/L) / creatinina-u (mmol/L), índice que permite ajustar el valor de Mg urinario en relación a la funcionalidad renal.

Plasma: Se determinó la concentración de Mg por EAA (Thermo Solaar®) utilizando una dilución de 1:100 con cloruro de lantano (LaCl₃) al 0,1%.

Leche: El análisis de la composición de grasa y proteína fue realizado mediante espectrofotometría de infrarrojo (MilkoScan 5000) y se calculó el porcentaje de grasa y proteína diaria de cada vaca.

Alimento: Los análisis que se determinaron fueron materia seca (MS; horno de ventilación y estufa), proteína bruta (PB; Micro Kjeldahl), fibra en detergente ácido (FNA) (AOAC, 2003), fibra en detergente neutro (FND) y cenizas totales (combustión a 550°C), y Mg y K mediante EAA (Unicam 969®) (Van Soest *et al.*, 1991). La energía metabolizable (ME) de la pastura se estimó por regresión utilizando un valor de “D” (materia orgánica digerible / MS × 100) determinado *in vitro* (Goering y Van Soest, 1970), cuyos valores se presentan en el Cuadro 1.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante estadística descriptiva ($\bar{x} \pm EE$). La normalidad se evaluó utilizando la prueba de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad por la prueba de Bartlett. Para analizar los datos del ensayo 1 se utilizó un diseño lineal general de AOV/AOCV, donde: $Y_{ijkl} = \mu + T_i + H_j + P_k + V_l + e_{ijkl}$, donde: Y_{ijkl} = el efecto calculado; μ

Cuadro 1. Composición química, en base seca, de la pradera y del concentrado ofrecido a las vacas durante el estudio.

Parámetro	Pradera		Concentrado	
	Ensayo 1 (día 0)	Ensayo 2 (día 5)	Ensayo 2 (día 15)	
MS (%)	19,9	22,1	28,9	89,5
PB (%)	25,0	22,0	14,3	9,98
EM Mcal/kg	2,70	2,77	2,56	2,95
FND (%)	41,2	48,0	52,0	9,67
FAD (%)	27,4	24,9	27,6	5,23
CT (%)	8,30	8,14	6,87	13,8
Mg (%)	0,20	0,23	0,20	0,25
K (%)	1,00	1,02	1,00	0,47

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

= media general; T_i = efecto del i -ésimo tratamiento; H_j = efecto de la j -ésima hora de muestreo; P_k = efecto del k -ésimo período de muestreo; V_l = efecto l -ésima da vaca; y e_{ijkl} = error.

En el ensayo 2, los datos fueron agrupados según períodos: período pre-suplementación (días 0 y 5), período de suplementación (días 10 y 15) y período post-suplementación (día 20). Posteriormente, cada período fue analizado por separado utilizando un diseño AOV de una vía, considerando el modelo: $Y_i = \mu + T_i + e_i$, donde: Y_i = el efecto calculado; μ = media general; y T_i = efecto del i -ésimo tratamiento y e_i = error. Además para cada tratamiento se evaluó el efecto del período de muestreo, según el modelo AOV de una vía: $Y_i = \mu + P_i + e_i$, donde: Y_i = el efecto calculado; μ = media general; y T_i = efecto del i -ésimo período y e_i = error.

En ambos ensayos, las medias se contrastaron mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey y, además, se realizó un análisis de correlaciones entre los valores de las diferentes variables mediante Pearson. En el ensayo 2, la relación entre pH y Mg ruminal fue evaluada a través de análisis de regresión lineal. Para todos los análisis se consideró diferencias significativas cuando el valor de P fue $<0,05$ y de tendencia cuando $P < 0,1$. El programa computacional

utilizado fue el Statistix 8.0 para Windows (Analytical Software, Roseville, MN, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mg plasmático y aclaramiento urinario de Mg (CUM)

En el ensayo 1, la magnesemia media del día fue superior en las vacas que recibieron suplementación con Mg ($P < 0,05$; Cuadro 2), si bien todos los valores se encontraron dentro del intervalo de referencia para la especie (0,62 – 1,05 mmol/L), no evidenciándose en ningún momento hipomagnesemia. En los grupos MgO y MgQ la magnesemia aumentó a lo largo del día, observándose un mayor incremento posterior a las suplementaciones (Figura 1). En el ensayo 2, las concentraciones plasmáticas de Mg fueron similares entre los tratamientos previo, durante y posterior al período de suplementación ($P > 0,05$; Cuadro 3). El CUM fue similar entre tratamientos en ambos ensayos ($P > 0,05$; Cuadros 2 y 3). Sin embargo, en el ensayo 2 se observó un aumento del CUM a partir del décimo día del estudio en relación a los días 0 y 5 en todos los tratamientos ($P < 0,05$; Figura 2).

Cuadro 2. Concentración ($\bar{x} \pm EE$) plasmática de Mg, valores de aclaramiento urinario de Mg (CUM), concentraciones ruminales de magnesio (Mg), potasio (K) y amonio (NH_4^+), y valores de pH ruminal en vacas con cánulas ruminales a pastoreo (control) y suplementadas con 30 g/día de Mg como óxido de Mg (MgO) o quelato de Mg (MgQ), ensayo 1.

Parámetro	Tratamientos			Valor de P			
	Control	MgO	MgQ	Entre tratamientos	Entre horas	Entre períodos	Entre vacas
Mg plasma (mmol/L)	0,79 \pm 0,02 ^a	0,85 \pm 0,03 ^b	0,83 \pm 0,02 ^b	0,03	0,82	0,20	0,09
CUM (mmol/L)	2,33 \pm 0,14	2,55 \pm 0,25	2,46 \pm 0,24	0,79	0,67	0,33	0,87
Mg rumen (mmol/L)	1,90 \pm 0,22 ^b	1,98 \pm 0,37 ^{ab}	2,30 \pm 0,32 ^a	0,05	0,04	0,02	0,39
K rumen (mmol/L)	27,7 \pm 2,56	26,9 \pm 3,19	29,5 \pm 3,60	0,22	0,04	0,03	0,56
NH_4^+ (mmol/L)	27,8 \pm 3,02	30,4 \pm 6,21	27,4 \pm 6,58	0,51	0,01	0,02	0,28
pH ruminal	6,43 \pm 0,20 ^a	6,52 \pm 0,26 ^a	6,09 \pm 0,12 ^b	0,01	0,02	0,25	0,16

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

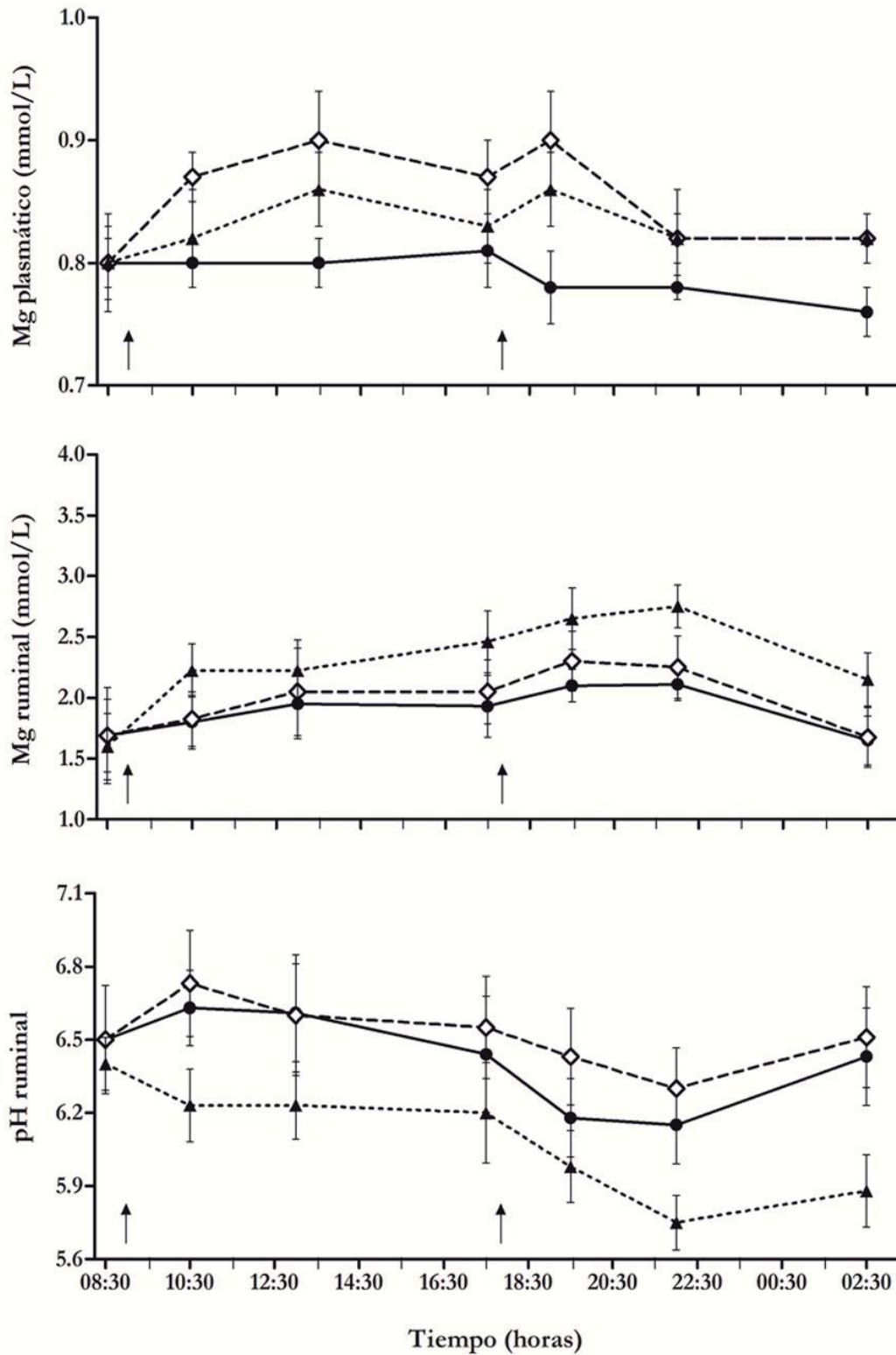


Figura 1. Variación ($\bar{x} \pm EE$) de las concentraciones plasmáticas y ruminales de magnesio (Mg) y valores de pH ruminal desde las 8:30 (a.m.) a las 2:30 (a.m.) horas en vacas con cánulas ruminales a pastoreo (control, ---●---) y suplementadas con 30 g/día de Mg como óxido de Mg (MgO, - -◇- -) o quelato de Mg (MgQ, ...▲...), ensayo 1. ↑ indica hora de la suplementación con Mg.

Cuadro 3. Concentración ($\bar{x} \pm EE$) plasmática de Mg, valores de aclaramiento urinario de Mg (CUM), concentraciones ruminales de magnesio (Mg), potasio (K) y amonio (NH_4^+) y valores de pH ruminal en vacas a pastoreo (control) y suplementadas durante un período de 10 días con 30 g/día de Mg como óxido de Mg (MgO) o quelato de Mg (MgQ), ensayo 2.

Parámetro	Periodo de Suplementación	Tratamientos			Valor de P entre tratamientos
		Control	MgO	MgQ	
Mg plasma (mmol/L)	pre	0,77 ± 0,02	0,79 ± 0,02	0,78 ± 0,03	0,92
	Suplementación	0,76 ± 0,01	0,78 ± 0,01	0,77 ± 0,01	0,86
	Post	0,73 ± 0,03	0,73 ± 0,02	0,77 ± 0,02	0,47
CUM (mmol/L)	pre	1,16 ± 0,13	1,21 ± 0,14	1,23 ± 0,16	0,94
	suplementación	2,20 ± 0,25	2,43 ± 0,25	2,40 ± 0,22	0,99
	post	2,21 ± 0,51	2,21 ± 0,18	2,20 ± 0,17	0,63
Mg rumen (mmol/L)	pre	2,17 ± 0,25	2,17 ± 0,23	2,09 ± 0,14	0,63
	suplementación	2,27 ± 0,12	2,34 ± 0,18	2,49 ± 0,20	0,89
	post	1,86 ± 0,09	1,84 ± 0,08	2,06 ± 0,19	0,43
K rumen (mmol/L)	pre	28,9 ± 1,89	26,8 ± 1,63	26,9 ± 1,85	0,34
	suplementación	23,8 ± 1,17	23,9 ± 1,49	27,3 ± 1,70	0,17
	post	14,0 ± 1,01	15,1 ± 0,82	14,8 ± 1,21	0,73
NH_4^+ rumen (mmol/L)	pre	25,7 ± 2,92	28,7 ± 1,84	29,2 ± 1,13	0,44
	suplementación	25,5 ± 2,60	24,3 ± 2,00	23,8 ± 1,84	0,86
	post	6,93 ± 1,25	7,56 ± 1,06	9,73 ± 1,41	0,27
pH líquido ruminal	pre	6,16 ± 0,11	6,18 ± 0,11	6,20 ± 0,09	0,46
	suplementación	6,26 ± 0,07 ^{ab}	6,43 ± 0,09 ^a	6,18 ± 0,07 ^b	0,06
	post	6,26 ± 0,10	6,25 ± 0,11	6,10 ± 0,10	0,48

Letras diferentes entre columnas indican una tendencia entre tratamientos ($P < 0,1$).

Concentraciones ruminales de Mg, K, NH_4^+ y valores de pH

En el ensayo 1, la suplementación con MgQ incrementó las concentraciones ruminales medias (2,3 mmol/L) de Mg en comparación con el tratamiento control (1,90 mmol/L; $P < 0,05$; Cuadro 2), pero fueron similares al grupo MgO (1,98 mmol/L); el aumento en el grupo MgQ se observó posterior a la suplementación de la mañana, alcanzando valores máximos a las 22:00 horas (Figura 1). Por otro lado, las vacas del

tratamiento control y suplementados con MgO no presentaron variaciones durante el transcurso del día (Figura 1; $P > 0,05$). En el ensayo 2 las concentraciones ruminales medias de Mg fueron similares en todos los tratamientos ($P > 0,05$; Cuadro 3). No obstante el grupo MgQ tendió a presentar concentraciones más altas durante y posterior al período de suplementación. Además, en el día 15 de muestreo (correspondiente al período en que las vacas estaban siendo suplementadas), las concentraciones ruminales de Mg de los grupos MgQ y MgO fueron mayores

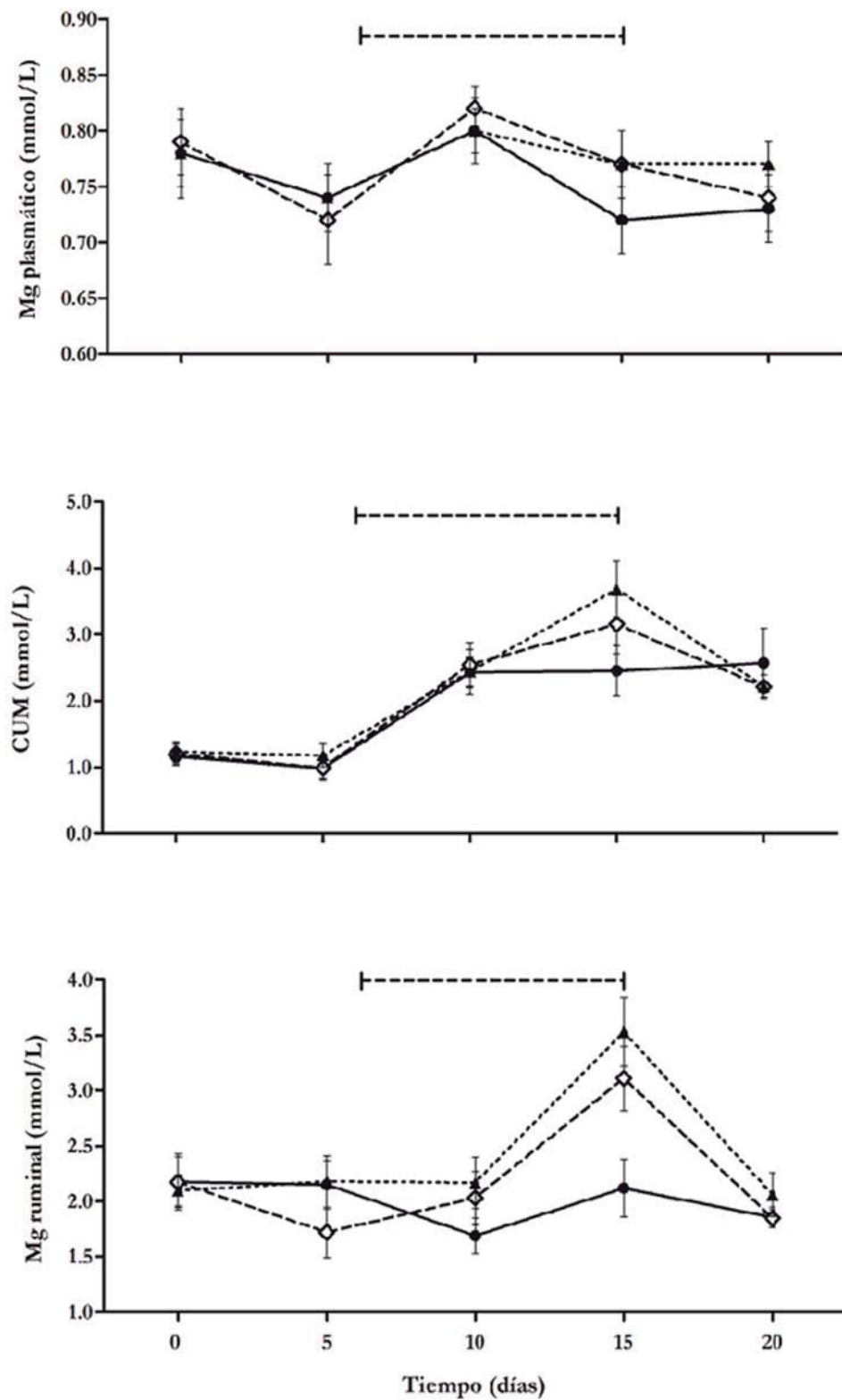


Figura 2. Variación ($\bar{x} \pm EE$) de las concentraciones plasmáticas, ruminales y aclaramiento urinario de magnesio (CUM) en vacas a pastoreo control (---) y suplementadas durante un período de 10 días (----) con 30 g/día de Mg como óxido de Magnesio (MgO - - ◇ - -) o quelato de Magnesio (MgQ ... ▲ ...), ensayo 2. ↑ líneas puntilladas sobre figuras indica período de suplementación con Mg.

que las del grupo control ($P < 0,05$, Figura 2), siendo levemente mayor en el grupo MgQ.

En ambos ensayos, las concentraciones de K y NH_4^+ fueron similares entre los tres tratamientos ($P > 0,05$; Cuadros 2 y 3). Sin embargo, se observó diferencias entre los horarios de muestreo ($P < 0,05$), presentando valores menores a las 8:30 h (K: $24,0 \pm 1,98$ mmol/L; NH_4^+ : $21,3 \pm 3,65$ mmol/L) y los mayores a las 22:00 h (K: $31,1 \pm 2,65$ mmol/L; NH_4^+ : $36,0 \pm 4,25$ mmol/L). También se observaron diferencias entre períodos de muestreo ($P < 0,05$, Cuadro 2), presentando mayores valores al inicio (K: $32,3 \pm 2,45$ mmol/L; NH_4^+ : $31,1 \pm 4,22$ mmol/L) y menores al final (K: $24,0 \pm 2,25$ mmol/L; NH_4^+ : $21,2 \pm 3,15$ mmol/L). En el ensayo 2 en tanto, las concentraciones de K y NH_4^+ disminuyeron ($P < 0,05$) a medida que avanzó el ensayo, presentando las mayores concentraciones en el período pre-suplementación y las menores en el período post-suplementación (Cuadro 3).

El pH ruminal de las vacas del ensayo 1 suplementadas con MgQ presentaron valores medios inferiores a las vacas controles y a las suplementadas con MgO ($P < 0,05$; Cuadro 2), no encontrándose diferencias ($P > 0,05$) entre estos últimos tratamientos. Al observar las fluctuaciones durante el día, las vacas controles y las suplementadas con MgQ mostraron una acidificación ($P < 0,05$) del pH ruminal al final de la tarde, con valores más bajos a las 19:30 ($6,18 \pm 0,16$) en las controles y desde las 19:30 ($5,98 \pm 0,14$) a 2:30 h ($5,88 \pm 0,15$) en las suplementadas con MgQ (Cuadro 2). Por el contrario, los animales suplementados con MgO mantuvieron los valores de pH ruminal sin variaciones durante el día ($P > 0,05$; Figura 1). De la misma manera en el ensayo 2, durante el período de suplementación las vacas del grupo MgQ presentaron valores medios de pH ruminal con una tendencia a ser inferiores a las vacas del grupo MgO ($P < 0,1$; Cuadro 3), pero similares al grupo control ($P > 0,1$).

Producción y composición láctea

En los períodos pre-suplementación, suplementación y post-suplementación, la producción láctea media y porcentajes de grasa y proteína fueron similares entre tratamientos ($P < 0,05$; Cuadro 4).

Análisis de correlaciones

En el ensayo 1, la magnesemia se correlacionó positivamente con el CUM en los grupos MgO ($r =$

$0,74$; $P < 0,001$) y MgQ ($r = 0,77$; $P < 0,001$), y con las concentraciones ruminales de Mg en el grupo MgO ($r = 0,68$; $P = 0,017$). Las concentraciones de K y NH_4^+ estuvieron correlacionadas entre sí en ambos ensayos ($r = 0,75$ y $r = 0,70$ en ensayo 1 y 2, respectivamente; $P < 0,001$), sin embargo no se observó asociación entre pH ruminal y concentraciones de ruminales de K, en ambos ensayos; pero sí entre pH ruminal y NH_4^+ en el ensayo 1 ($r = -0,68$; $P < 0,001$). Por otro lado, en ambos ensayos los valores de pH del líquido ruminal se correlacionaron de manera inversa con las concentraciones ruminales de Mg (ensayo 1: $r = -0,50$, $P < 0,001$; ensayo 2: $r = -0,60$, $P < 0,001$; Figura 3).

En este estudio tanto el MgO como el MgQ influyeron de la misma manera sobre la magnesemia de las vacas suplementadas, siendo este efecto demostrado en el ensayo 1, ya que ambos aumentaron la magnesemia, en forma similar, de las vacas a lo largo del día. El aumento de las concentraciones plasmáticas de Mg dentro de las primeras horas de recibida la suplementación coincide con lo reportado por otros trabajos, donde además se observó que estas disminuyen gradualmente en las horas posteriores a la ingesta del suplemento (Dalley, 1994; van Ravenswaay *et al.*, 1989).

La principal limitante del presente estudio fue que no se presentaron condiciones de riesgo para hipomagnesemia. Este trastorno metabólico se presenta en vacas del sur de Chile principalmente durante el período de primavera (Contreras *et al.*, 1996; Wagemann *et al.*, 2014a; Wittwer *et al.*, 1987), asociado al alto contenido de K en el forraje (Scandolo *et al.*, 2007) o invierno (Wittwer *et al.*, 1987; Wagemann *et al.*, 2014a), asociado a una disminución del consumo debido a una menor disponibilidad de alimento. Si bien el trabajo fue realizado durante un período de riesgo (primavera), las condiciones climáticas de un año de sequía afectaron la composición de la pradera, producto del aumento de la temperatura y falta de lluvia. Las vacas consumieron forraje cuyo contenido medio de Mg fue de 0,21% MS, mientras que el K presentó una concentración media de 1%, siendo el aporte de ambos minerales apropiados a los requerimientos de las vacas lecheras en condiciones adecuadas de absorción (Mg: 0,2% MS y K: 1,0% MS; (NRC, 2001), y explica el porqué la magnesemia en todos los grupos se encontró dentro del intervalo referencial (Wagemann *et al.*; 2014b).

El incremento del CUM en las vacas a medida que los ensayos progresaron en el tiempo también son importantes de analizar, ya que los excesos de Mg absorbido desde la dieta son excretados por la orina, y cualquier cambio en el balance de Mg es compensado

Cuadro 4. Producción (\pm EE) láctea y porcentaje de grasa y proteína en leche en vacas a pastoreo (control) y suplementadas durante un período de 10 días con 30 g/día de Mg como óxido de Mg (MgO) o quelato de Mg (MgQ), ensayo 2.

Parámetro	Período de la suplementación	Tratamientos			Valor de P entre tratamientos
		Control	MgO	MgQ	
Producción láctea (L/d)	pre	23,4 \pm 0,40	24,3 \pm 0,30	24,4 \pm 0,42	0,27
	suplementación	24,0 \pm 0,43	24,7 \pm 0,40	25,1 \pm 0,44	0,20
	post	22,0 \pm 0,40	21,6 \pm 0,30	23,0 \pm 0,45	0,38
Grasa láctea (%)	pre	4,23 \pm 0,20	4,30 \pm 0,22	4,11 \pm 0,30	0,75
	suplementación	3,50 \pm 0,10	3,48 \pm 0,10	3,55 \pm 0,20	0,99
	post	3,61 \pm 0,20	3,58 \pm 0,10	3,57 \pm 0,20	0,66
Proteína láctea (%)	pre	3,13 \pm 0,10	3,32 \pm 0,10	3,27 \pm 0,14	0,85
	suplementación	3,13 \pm 0,10	3,25 \pm 0,10	3,18 \pm 0,10	0,43
	post	3,06 \pm 0,10	3,16 \pm 0,10	3,19 \pm 0,10	0,60

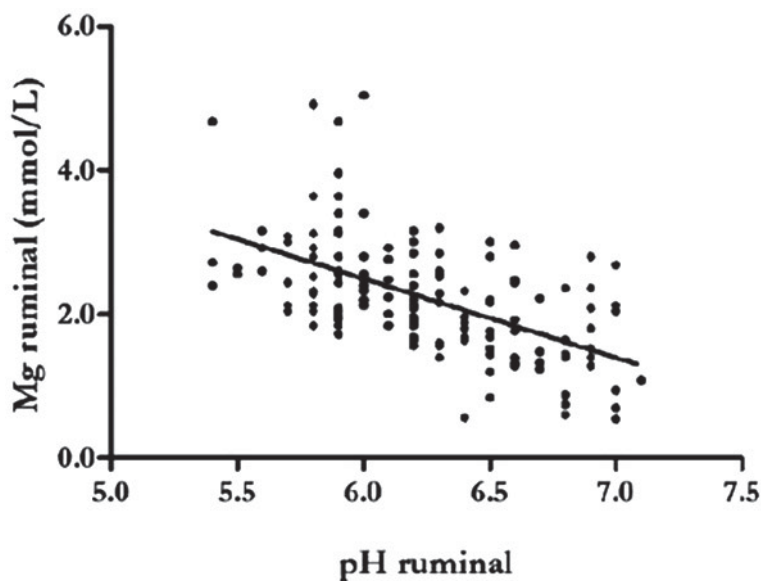


Figura 3. Curva de regresión entre pH y Magnesio ruminal. Cada punto representa una muestra de líquido ruminal ($n=150$) obtenida de 30 vacas a pastoreo (control, $n=50$) y suplementadas durante un período de 10 días con 30 g/día de Mg como óxido de Magnesio (MgO, $n=50$) o quelato de Magnesio (MgQ, $n=50$). La ecuación es $y = -0,10x + 9,08$ (ensayo 2).

modificando su excreción urinaria (Martens y Schweigel, 2000; Ram *et al.*, 1998). Por lo tanto, este aumento del CUM sugiere que la maduración del forraje con disminución en su contenido de K favoreció la absorción y consecuente excreción de Mg en las vacas de ambos ensayos. Probablemente, bajo condiciones favorables para la presentación de cuadros de hipomagnesemia y de tetania hipomagnésica, el efecto de la suplementación hubiese tenido un mayor impacto.

Las diferentes dietas y/o aditivos minerales que reciben los animales pueden alterar o cambiar su fermentación ruminal (Váradyová *et al.*, 2006). En el presente trabajo, el tipo de fuente mineral utilizada (óxido versus quelato) generó significativas consecuencias sobre el pH del líquido ruminal. Las vacas que recibieron MgO mantuvieron los valores de pH sin variaciones durante el día, lo que se explica por el efecto neutralizante que posee esta fuente sobre el pH del contenido del rumen (Christiansen y Webb, 1990; Erdman, 1988; Sepúlveda *et al.*, 2011; Xin *et al.*, 1989). Al contrario, la acidificación observada en las vacas suplementadas con MgQ fue un resultado inesperado.

La disminución del pH del líquido ruminal se relaciona con la ingesta de alimento (Cole, 2000; Jittakhot *et al.*, 2004a; Jittakhot *et al.*, 2004b; Noro *et al.*, 2012) que favorece la fermentación ruminal y producción de CO₂ (Marden *et al.*, 2005), siendo los ácidos grasos volátiles los principales responsables de su disminución (Kolver y de Veth, 2002). La composición química del MgQ incluye oligo y polisacáridos, sugiriendo que este compuesto es altamente fermentable en el rumen y, por lo tanto, generaría una acidificación de su contenido, siendo necesario demostrar este hecho.

Enrumiantes la absorción de Mg ocurre principalmente en el rumen (Martens y Schweigel, 2000) y está determinada por las concentraciones de Mg en el líquido ruminal, el que depende de la cantidad de Mg ingerido con la dieta (Cole, 2000; Jittakhot *et al.*, 2004a). Esto fue evidenciado en las vacas del grupo MgC del ensayo 1, donde sus concentraciones fueron mayores comparado con el control. Por otro lado, las concentraciones de Mg en el líquido ruminal son mayores a medida que el pH disminuye (Scandolo *et al.*, 2007; Sepúlveda *et al.*, 2011), indicando que la solubilización es dependiente del pH ruminal y por lo tanto su absorción (Martens y Schweigel, 2000). Estudios realizados en humanos y animales monogástricos han demostrado que la administración de fibra fermentable, la cual decrece el pH del tracto gastrointestinal, aumenta la absorción de Mg en

estas especies (Coudray *et al.*, 2003; Coudray *et al.*, 2005). La solubilidad del Mg disminuye cuando el pH ruminal es > 6,5 (Dalley *et al.*, 1997; Goff, 2006), y aumenta cuando el pH disminuye (Suttle, 2010); por lo tanto, a menores valores de pH la concentración de Mg soluble aumenta.

Si bien en este trabajo no se evaluó el porcentaje de solubilización de Mg, se observó que su concentración en el líquido ruminal aumentó al disminuir el pH ruminal, correlacionándose pH ruminal y concentración ruminal de Mg de manera inversa. Sin embargo, a pesar de que el MgQ acidificó el contenido ruminal, no hubo diferencias en relación a las concentraciones ruminales de Mg entre vacas suplementadas con MgO o MgQ. Estos resultados son similares a lo reportado en ratas, donde la solubilidad del Mg en el ciego (sitio principal para la absorción de Mg en esta especie) fue semejante entre animales que recibieron Mg a través de una fuente orgánica o inorgánica (Coudray *et al.*, 2005). Al igual que los resultados del presente trabajo, Coudray *et al.* (2005) tampoco observaron diferencias en la concentración plasmática y excreción urinaria de Mg entre animales suplementados con diferentes fuentes del mineral, situación que podría explicar porque el balance metabólico de Mg fue similar en vacas suplementadas con MgO o MgQ.

Las vacas lecheras a pastoreo presentan un patrón de comportamiento alimenticio característico, siendo el consumo de MS de pradera mayor en horas de la tarde (Amaral-Phillips *et al.*, 1997; Noro *et al.*, 2011). Esto explica porque las concentraciones ruminales de K y NH₄⁺ fueron menores en horas de la mañana y mayores en horas de la tarde, coincidente a lo reportado en condiciones de manejo similar (Noro *et al.*, 2012; Scandolo *et al.*, 2007). Por otro lado, las concentraciones ruminales de K y NH₄⁺ disminuyeron a medida que el estudio avanzó en el tiempo, coincidiendo con el cambio en la calidad de la pradera. Además las concentraciones de NH₄⁺ y K no fueron afectadas por la suplementación con Mg, similar a lo informado en otros estudios (Jittakhot *et al.*, 2004b; Ram *et al.*, 1998).

La concentración de nitrógeno amoniacal en el rumen es consecuencia de la concentración de NH₄⁺ y NH₃, las cuales a su vez dependen del pH ruminal (Abdoun *et al.*, 2006; Noro y Wittwer, 2012). En pH alcalinos (>7,0) la proporción de nitrógeno amoniacal en la forma de NH₃ es mayor, mientras que a pH fisiológicos

de 6,5 o inferiores predomina en la forma NH_4^+ (Abdoun *et al.*, 2006; Noro y Wittwer, 2012). Estos antecedentes respaldan los resultados de correlación encontrados entre las concentraciones de NH_4^+ y pH.

Por otro lado, se ha reportado que el pH del líquido ruminal presenta una estrecha asociación con la concentración de K ruminal (Scandolo *et al.*, 2007); No obstante, en el presente trabajo estas dos variables no presentaron una asociación significativa.

La suplementación con Mg, independiente de la fuente utilizada, no afectó la producción ni el porcentaje de grasa y proteína de la leche, siendo similar al de las vacas controles. Respecto a estos resultados la literatura es contradictoria, ya que trabajos realizados en vacas estabuladas indican que la suplementación con MgO como fuente inorgánica aumenta la producción de leche en comparación a vacas suplementadas con una fuente orgánica de Mg (Lough *et al.*, 1990) y otros indican mejoras en la producción utilizando fuentes de Mg orgánicas versus las inorgánicas (Ashmead y Samford, 2004).

Sin embargo, hay que considerar que en ambos estudios mencionados se utilizaron vacas de alta producción y con períodos de suplementación superiores a 30 días; por lo tanto, en vacas de mediana producción como las utilizadas en el presente trabajo y/o períodos de suplementación menores, el efecto de adicionar Mg a la dieta en términos productivos no necesariamente es evidenciado. En este sentido, sería interesante evaluar los efectos de una suplementación con Mg más prolongada en el tiempo para vacas bajo condiciones de pastoreo.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del presente estudio, tanto el óxido como el quelato de Mg ejercen un efecto similar sobre el balance metabólico de Mg en vacas lecheras, sin hipomagnesemia, mantenidas en sistema de pastoreo. La fuente orgánica de magnesio, el quelato de Mg (MgQ) tendió a acidificar el pH del líquido ruminal.

LITERATURA CITADA

Abdoun, K., F. Stumpff y H. Martens. 2006. Ammonia and urea transport across the rumen epithelium: a review. *Anim. Health. Res. Rev.* 7: 43-59.

Ammerman, C., P. Henry and R. Miles. 1998. Supplemental organically bound mineral compounds in livestock nutrition. En: Garnsworthy P.C., Wiseman, J. (Eds.). *Recent Advances in Animal Nutrition*. Nottingham Univ. Press. Nottingham, pp. 67 - 91.

AOAC. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. 2003. Washigton, DC, USA. 17th edition.

Ashmead, H. and R. Samford. 2004. Effects of metal amino acid chelates or inorganic minerals on three successive lactations in dairy cows. *Intern. J. Appl. Res. Vet. Med.* 3: 181-188.

Cole, N.A. 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.

Contreras, P. A., L. Valenzuela, F. Wittwer y H. Böhmwald. 1996. Desbalances metabólicos nutricionales más frecuentes en rebaños de pequeños productores de leche. *Arch. Med. Vet.* 28: 39-50.

Coudray, C., J. Bellanger, M. Vermorel, S. Sinaud and D. Wils. 2003. Two polyol, low digestible carbohydrates improve the apparent absorption of magnesium but not of calcium in healthy young men. *J. Nutr.* 133: 90-93.

Coudray, C., M. Rambeau, C. Feillet-Coudray, E. Gueux, J. C. Tressol, A. Mazur and Y. Rayssiguier. 2005. Study of magnesium bioavailability from ten organic and inorganic Mg salts in Mg-depleted rats using a stable isotope approach. *Magnes. Res.* 18: 215-223.

Christiansen, M. L. and K. E. 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, D. E. 1997. Within herd variability in the mineral status of grazing dairy cows in early lactation. *Proc. New Zeal. Soc. An.* 54: 27 - 30.

Erdman, R. A. 1988. Dietary Buffering Requirements of the Lactating Dairy Cow: A Review. *J. Dairy Sci.* 71: 3246-3266.

Ferguson, J. D., D. T. Galligan and N. Thomsen. 1994. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 77: 2695-2703.

- Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). U.S. Agricultural Research Service, Washington, USA.
- Goff, J. 2006. Macromineral physiology and application to the feeding of the dairy cow for prevention of milk fever and other periparturient mineral disorders. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 126: 237-257.
- Jacques, K. and C. Mckenzie. 1991. Organic trace minerals on the farm. *Feeds & Feeding* 16: 155-162.
- Jittakhot S., J. T. Schonewille, H. Wouterse, A.W.J. Uijtewaal, C. Yuangklang and A.C. Beynen. 2004a. Increasing magnesium intakes in relation to magnesium absorption in dry cows. *J. Dairy Res.* 71: 297-303.
- Jittakhot, S., J.T. Schonewille, H. Wouterse, C. Yuangklang y A.C. Beynen. 2004b. Apparent magnesium absorption in dry cows fed at 3 levels of potassium and 2 levels of magnesium intake. *J. Dairy Sci.* 87: 379-385.
- Kolver, E. S. and M. J. de Veth. 2002. Prediction of ruminal pH from pasture-based diets. *J. Dairy Sci.* 85: 1255-1266.
- Lough, D. S., D. K. Beede and C. J. Wilcox. 1990. Lactational responses to and in vitro ruminal solubility of magnesium oxide or magnesium chelate. *J. Dairy Sci.* 73: 413-424.
- Marden J. P., C. Bayourthe, F. Enjalbert y R. Moncoulon. 2005. A new device for measuring kinetics of ruminal pH and redox potential in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 88: 277 - 281.
- Martens, H. and M. Schweigel. 2000. Pathophysiology of grass tetany and other hypomagnesemias. Implications for clinical management. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 16: 339-368.
- Noro, M., C. Strieder-Barboza, D. Kuschel, R. G. Pulido y F. G. Wittwer. 2012. Variaciones diarias de parámetros ruminales y sanguíneos en vacas lecheras a pastoreo de primavera suplementadas con dos fuentes de nitrógeno no proteínico. *Rev Cient.* 21: 154-162.
- Noro, M. and F. Wittwer. 2012. Relationships between ureagenesis and gluconeogenesis in ruminants fed a high content of nitrogen. *Vet Méx.* 42: 143-154.
- Noro, M., P. Sepúlveda, F. Cárdenas, R. H. Chihuailaf and F. Wittwer. 2013. Ruminocentesis dorso-medial: un procedimiento seguro para la obtención de líquido ruminal en vacas lecheras a pastoreo. *Arch Med Vet.* 45: 25-31.
- NRC. Nutrient requirements of dairy cattle. 2001.. National Academic Press, Washington D. C., USA. 7th ed.
- Ram, L., J. T. Schonewille, H. Martens, A. T. Van't Klooster and A. C. Beynen. 1998. Magnesium absorption by wethers fed potassium bicarbonate in combination with different dietary magnesium concentrations. *J. Dairy Sci.* 81: 2485-2492.
- Scandolo, D. 2005. Evaluación física, química y biológica de productos de magnesio para la suplementación de vacas lecheras a pastoreo. Tesis Mg Sc. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 116 p.
- Scandolo, D., M. Noro, H. Bohmwald, P. A. Contreras y 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.
- Schonewille, J. T., A. T. Van't Klooster, H. Wouterse and A. C. Beynen. 1999. Effects of intrinsic potassium in artificially dried grass and supplemental potassium bicarbonate on apparent magnesium absorption in dry cows. *J. Dairy Sci.* 82: 1824-1830.
- Sepúlveda, P., F. Wittwer, H. Böhmwald, R. Pulido and M. Noro. 2011. pH ruminal y balance metabólico de Mg en vacas lecheras en pastoreo suplementadas con óxido de magnesio. *Arch Med Vet.* 43: 241-250.
- Sievert, S. J. and R. D. Shaver. 1993. Effect of nonfiber carbohydrate level and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on intake, digestion, and milk production in lactating dairy cows. *J. Anim. Sci.* 71:1032-1040.
- Spears, J. W. 2003. Trace mineral bioavailability in ruminants. *J Nutr.* 133 1506S-1509S.
- Sutherland R. J., K. C. Bell, K. D. McSporryan y G. W. Carthew. 1986. A comparative study of diagnostic tests for the assessment of herd magnesium status in cattle. *N. Z. Vet. J.* 34: 133-135.

- Suttle, N.F. 2010. Magnesium. En: Suttle N.F. (ed). Mineral nutrition of livestock. 4th ed. CAB International, Wallingford, UK, Pp 92-121.
- van Ravenswaay R. O., P. R. Henry, C. B. Ammerman and R. C. Littell. 1989. Comparison methods to determine relative bioavailability of magnesium in magnesium oxides for ruminants. *J. Dairy Sci.* 72: 2968-2980.
- Váradyová, Z., S. Kisidayová, K. Mihaliková y M. Baran. 2006. Influence of natural magnesium sources on the in vitro fermentation and protozoan population in the rumen fluid collected from sheep. *Small Rum. Res.* 61: 63-71.
- Wagemann, C., F. Wittwer, R. Chihuailaf y M. Noro. 2014a. Desbalances minerales en grupos de vacas lecheras en el sur de Chile: Estudio retrospectivo. *Arch. Med. Vet.* In press.
- Wagemann, C., F. Wittwer, R. Chihuailaf y M. Noro. 2014b. Intervalos de referencia en parámetros sanguíneos indicadores del balance mineral para grupos de vacas lecheras en el sur de Chile. *Arch. Med. Vet.* In press.
- Wittwer, F., H. Bohmwald, P. A. Contreras y J. Filosa. 1987. Análisis de los resultados de perfiles metabólicos obtenidos en rebaños lecheros en Chile. *Arch. Med. Vet.* 19: 35-45.
- Wittwer, F., P. A. Contreras, N. Silva y H. Bohmwald. 1997. Efecto de la suplementación con sales de magnesio en alimento y agua sobre el control de la tetania hipomagnésica en rebaños Hereford. *Arch. Med. Vet.* 29: 25-33.
- Xin, Z., B. W. Tucker y R. W. 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.