

Variación diurna del pH y de las concentraciones de magnesio y potasio del fluido ruminal en vacas lecheras a pastoreo

Diurnal variations of ruminal fluid pH and magnesium and potassium concentrations in grazing dairy cows

D Scandolo**, M Noro, H Böhmwald, P A Contreras, F Wittwer*

Instituto de Ciencias Clínicas Veterinarias, Universidad Austral de Chile.

SUMMARY

Ruminal fluid concentrations of magnesium and potassium influence plasma magnesium concentrations. This study evaluated the diurnal variations of ruminal fluid pH, magnesium and potassium concentrations in grazing dairy cows. Friesian cows in mid-lactation during the spring season were used. The animals were grazing ryegrass (*Lolium sp*) (Mg= 0.17%; K= 2.68% DM) and supplemented with 2 kg/d of concentrate during milking at 7:00 and 16:00 hours. Ruminal fluid samples were obtained from 3 cows with a permanent rumen canula. The samples were obtained every two days during 7 occasions at 8:00, 9:00, 10:00, 11:00, 13:00, 17:00 y 21:00 hours. Ruminal pH, magnesium and potassium concentrations were determined. Plasma magnesium concentration from 7 cows of the same herd was determined in blood samples obtained on days 0, 1, 3, 5, 7 y 12. Ruminal pH decreased during the day, pH= 6.70 at 8:00 hours to pH= 5.99 at 21:00 hours ($r = -0.77$) ($P < 0.05$). Ruminal concentration of potassium increased from 17.8 mmol/L to 95.3 mmol/L ($r = 0.83$) ($P < 0.05$) during the same period. Similarly, rumen magnesium concentration increased from 1.4 mmol/L at 8:00 hours to 6.6 mmol/L at 21:00 hours ($r = 0.51$) ($P < 0.05$). Negative relations were observed between rumen pH, magnesium ($r = -0.45$) and potassium ($r = -0.75$) concentrations. Plasma magnesium concentration in cows of the same herd presented a moderate and persistent hypomagnesaemia, 0.42 to 0.49 mmol/L, during the study. The high concentration of potassium in the rumen in relation to magnesium concentration could be associated to the hypomagnesaemia in these cows. The results show that during spring the rumen pH of dairy cows decreases, and magnesium and potassium concentration increase during the day.

Palabras clave: magnesio, potasio, pH, vacas, rumen.

Key words: magnesium, potassium, pH, cows, rumen.

INTRODUCCION

El pastoreo de praderas constituye el recurso forrajero más utilizado en la alimentación del ganado bovino en el sur de Chile, por lo que se requiere que aporte la mayor cantidad de los nutrientes necesarios para satisfacer sus necesidades (Balocchi y col 2001). Los minerales son esenciales para el desarrollo, producción y reproducción de los rumiantes (NRC 2001), siendo necesario que sean liberados al tracto digestivo para ser absorbidos. La mayor liberación de minerales provenientes del forraje se produce en el rumen y presenta diferentes concentraciones y tiempos de liberación (Emanuele y col 1991).

La intensificación de las prácticas ganaderas ha predispuerto a la presentación de desbalances nutricionales en los animales, y entre los de mayor prevalencia en rebaños lecheros del sur de Chile se encuentra la

hipomagnesemia, asociada al alto contenido de K en el forraje (Scandolo y col 2004).

El pH ruminal influye en la disociación de las sales minerales, es así que las concentraciones de Mg y K en el fluido ruminal son mayores a medida que el pH disminuye (Emanuele y Staples 1994), indicando que la solubilización es dependiente del pH ruminal. En animales que consumen forrajes en periodos de primavera, la acidificación del pH ruminal, asociada a una mayor producción de ácidos grasos volátiles (AGV), favorece la disociación de sales de Mg y disminuye la acumulación de amonio (Scharrer y Lutz 1990).

Es fundamental que el pH del líquido ruminal de las vacas esté dentro de valores que permitan una adecuada digestión de los forrajes, siendo óptimo un pH de 6,35; no obstante, la digestibilidad puede disminuir hasta un pH < 5,80 (Wales y col 2004) por su efecto negativo en la digestión de celulosa asociada al menor desarrollo de las bacterias celulolíticas (Russell y Dombrowski 1980).

Los preestómagos constituyen el principal sitio de absorción de Mg (Laporte y Sykes 2004); sin embargo, existen diversos factores que afectan su disponibilidad, algunos asociados a características propias del animal y otros a la dieta. Entre éstos, el contenido de K en la dieta

Aceptado: 10.10.2006.

* Fono-Fax 56-63-221457; Casilla 567 Valdivia, Chile. fwittwer@uach.cl

** Dirección actual: INTA Rafaela, Argentina, dscandolo@rafaela.inta.gov.ar

(> 1% MS) constituye el factor de mayor riesgo en el desarrollo de la hipomagnesemia ya que disminuye la absorción de Mg ruminal (Jittakhot y col 2004a).

Las concentraciones de Mg y K en el fluido ruminal de corderos con alimentación restringida incrementan a los 30 minutos luego de una ingesta de forraje *ad libitum* (Cole 2000), indicando que la concentración de estos minerales puede cambiar rápidamente en el fluido ruminal. Sin embargo, hay poca evidencia de las variaciones de la concentración de Mg y K en el líquido ruminal de vacas mantenidas a pastoreo durante la primavera, aspecto importante de considerar en un sistema de suplementación con sales de magnesio. El objetivo del trabajo fue determinar la variación diurna del pH y de las concentraciones de Mg y K en el líquido ruminal y de Mg plasmático de vacas lecheras a pastoreo en primavera.

MATERIAL Y METODOS

Animales experimentales. El ensayo se realizó en vacas pertenecientes a un predio lechero ubicado en Valdivia, X Región, Chile, 39°48' LS y 73°13' LO, desde fines de noviembre a mediados de diciembre del 2004.

En el ensayo se utilizaron 10 vacas Frisón Negro en lactancia. Para la determinación del pH y de las concentraciones de Mg y K ruminal se utilizaron 3 vacas provistas de cánula ruminal permanente, clínicamente sanas, con un peso medio de 500 ± 50 kg, de 3 a 5 años de edad y con una condición corporal entre 2,0 a 2,5 (escala 1 a 5), y además, para determinar la magnesemia se utilizaron vacas del mismo rebaño, pero sin cánula ruminal, entre el 3° a 5° mes de lactancia, con una producción de leche de 18 a 26 L/d.

Durante el período experimental los animales fueron mantenidos en praderas con predominio de ballica (*Lolium perenne*) con disponibilidad de agua *ad libitum*, recibiendo 2 kg de concentrado comercial¹ durante cada una de las ordeñas, a las 7:00 y 16:00 horas. Antes de iniciar el ensayo los animales permanecieron 30 días a pastoreo sin recibir suplementación mineral.

La composición química de las praderas se analizó en el Laboratorio de Nutrición Animal del Instituto de Producción Animal de la Universidad Austral de Chile. 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 mediante EAA².

Muestra. Para determinar la concentración de Mg y K en el líquido ruminal se obtuvieron 50 ml de líquido ruminal

de las vacas fistuladas a las 8:00, 9:00, 10:00, 11:00, 13:00, 17:00 y 21:00 horas, durante 7 días, con intervalos de 1 día, totalizando 14 días de experimento. La obtención del fluido ruminal se realizó con una sonda (2 mm² diámetro de poro), introducida a través de la fístula ruminal y ubicada en la región dorsal del saco ventral anterior del rumen. Posterior a cada muestreo, los animales eran llevados a la pradera donde disponían de forraje y agua *ad libitum*. Se extrajo una alícuota de líquido ruminal para ser centrifugada a 8.000 g durante 15 minutos; el sobrenadante obtenido se congeló en microtubos de 1,5 ml a -20 °C hasta su posterior análisis.

Para la determinación de la concentración plasmática de Mg se obtuvieron muestras de sangre de las 7 vacas los días 0, 1, 3, 5, 7 y 12 de iniciado el ensayo. Las muestras fueron obtenidas luego de la ordeña de la mañana mediante venopunción coccígea utilizando tubos heparinizados de 5 ml con vacío. Posterior a su obtención, fueron transportadas al laboratorio y centrifugadas a 270 g durante 10 minutos para la obtención de plasma, el que fue traspasado a microtubos de 1,5 ml para ser congelados a -20 °C hasta su posterior análisis.

Análisis. En el líquido ruminal se determinó el pH³, inmediatamente posterior a su obtención. Las concentraciones ruminales de Mg se determinaron mediante EAA⁴ y las de K mediante fotometría de llama, utilizando una dilución de 1:250 y 1:200 con LaCl₃ al 0,1% respectivamente; los resultados fueron expresadas en mmol/L.

En las muestras de plasma se determinó la concentración de Mg por EAA⁴ utilizando una dilución de 1:50 con LaCl₃ al 0,1%. El análisis se realizó por duplicado y el resultado se expresó en mmol/L.

Los datos obtenidos se analizaron mediante estadística descriptiva ($X \pm DE$), y la normalidad se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilks. Las diferencias entre períodos para las variables analizadas fueron determinadas empleando Anova y la prueba de Tukey, considerando significativo un $P < 0,05$. Las correlaciones entre los parámetros analizados se establecieron mediante la prueba de Spearman's. Para los análisis estadísticos se empleó el programa Statistix 8.0 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSION

Variación diurna de pH ruminal. El contenido de Mg en las muestras de forrajes obtenidas previo (23/10), durante (5/11) y fines (15/12) del período experimental se mantuvo constante entre 0,16% y 0,17% MS, mientras que el contenido de K fluctuó entre 2,60% y 2,75% MS durante el ensayo, con una concentración promedio de 2,68% MS (cuadro 1).

¹ Suralim Mega 2132. IANSAGRO. Quepe. Chile.

² Espectrofotómetro de Absorción Atómica Unicam 969.

³ Peachímetro HI 98127. HANNA Instruments. USA.

⁴ Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer 2380.

Cuadro 1. Composición química de la pradera y del concentrado (base MS) aportados a las vacas durante el período experimental.

Chemical composition of the forage offered to the cows during the experimental period.

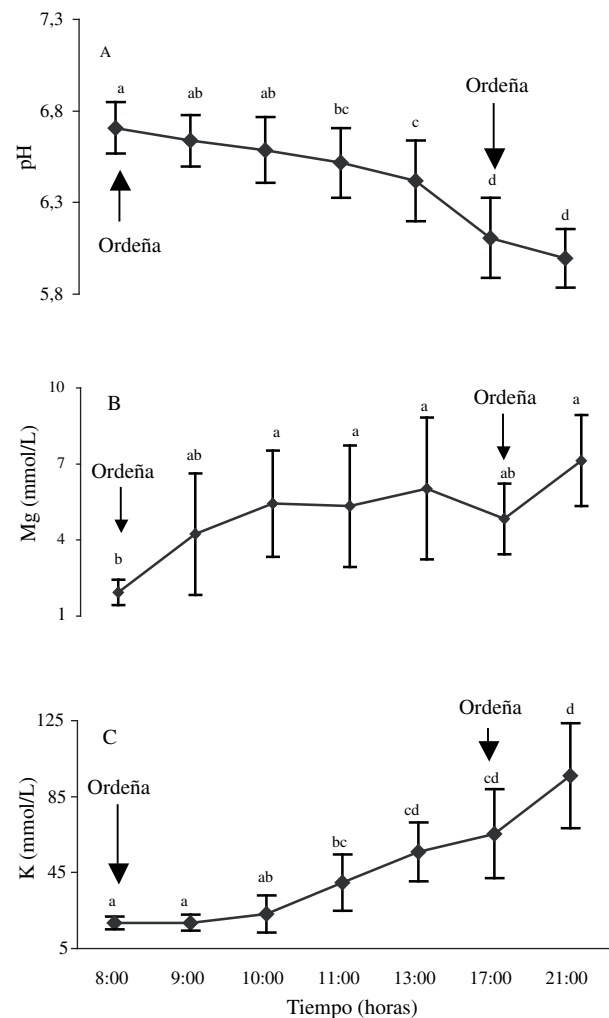
	Pradera (fecha)				Concentrado
	23/11	05/12	15/12	Media	
MS (%)*	15,5	17,7	20,1	17,8	88,9
PB (%)	20,1	18,3	16,5	18,3	18,2
EM Mcal/kg	2,8	2,6	2,7	2,7	2,8
FDN (%)	54,0	56,6	52,7	54,4	22,1
FDA (%)	26,4	30,5	29,1	28,7	9,7
CT (%)	9,6	7,8	7,8	8,4	5,7
Mg (%)	0,17	0,17	0,16	0,17	0,26
K (%)	2,60	2,75	2,75	2,68	1,20

MS: material seca; PB: proteína bruta; EM: energía metabolizable; FDN: fibra detergente neutral; FDA: fibra detergente ácida; CT: cenizas totales; Mg: magnesio; K: potasio.

El pH del líquido ruminal de las vacas a pastoreo disminuyó durante el día, de 6,70 a las 8:00 horas a 5,99 a las 21:00 horas ($P < 0,05$) (figura 1A) y presentó una estrecha asociación con la hora del día ($r = -0,77$). Estos valores están dentro de los señalados por la literatura para animales bajo una condición similar de manejo (Bretschneider y col 2001, Kolver y Veth 2002). La variación diaria del pH ruminal está asociada a la periodicidad de la ingesta de forrajes y a los periodos de rumia de las vacas durante el día (Hinostroza 2004), siendo más bajo cuando la ingesta de MS de alta digestibilidad es mayor (Wales y col 2004), lo que provoca una mayor fermentación ruminal, producción de CO_2 y de ácidos grasos volátiles (AGV), los cuales son los principales responsables de la acidificación ruminal (Kolver y Veth 2002).

Existe una correlación negativa entre la concentración de AGV y el pH ruminal (Kolver y Veth 2002), por lo que es esencial que la absorción de AGV a través de la pared ruminal sea continua (Church 1993) para mantener el pH ruminal estable. No obstante, antes de alcanzar el torrente sanguíneo los AGV sufren una serie de transformaciones en el interior de las células del epitelio ruminal, siendo el ácido butírico transformado en gran parte en cetonas (Church 1993). En vacas a pastoreo se describe que la concentración sanguínea de β -hidroxibutirato incrementa 3 a 4 horas después de producirse el pico de ingesta (18:00-19:00 horas), en relación a la concentración observada a las 9:00 horas (Noro y col 2004), coincidente con la mayor producción y absorción de AGV producidos en el rumen durante la fermentación.

El pH del fluido ruminal presentó una estrecha asociación con la concentración de K ($r = -0,75$) y una moderada con la de Mg ruminal ($r = -0,45$), indicando que la liberación de ambos minerales desde el forraje es de-



Letras diferentes señalan diferencias ($P < 0,05$).
abcd(ANDEVA) wxyz(Kruskal-Wallis).

Figura 1: Variación ($X \pm \text{DE}$) del pH (A) y de las concentraciones de magnesio (B) y potasio (C) ruminal entre las 8:00 y 21:00 horas de vacas con fístula ruminal ($n = 3$) mantenidas a pastoreo

Diurnal variation ($X \pm \text{SD}$) of pH (A), magnesium (B) and potassium (C) concentrations of the ruminal fluid from grazing cows with a rumen cannula ($n = 3$).

pendiente del pH ruminal (Emanuele y Staples 1994, NRC 2001), ya que su solubilidad disminuye cuando el pH ruminal es $> 6,5$ y aumenta cuando el pH disminuye (Jittakhot y col 2004b). A su vez, se ha descrito que la salida diaria de Mg desde el rumen incrementa cuando el pH decrece, indicando que el pH ruminal y la absorción de Mg tienden a correlacionarse de manera inversa (Emanuele y Staples 1994).

Variación diurna de la concentración de magnesio ruminal. La concentración de Mg en el líquido ruminal de las vacas mantenidas a pastoreo varió desde las 8:00 a

las 21:00 horas entre 1,4 a 6,6 mmol/L (figura 1B), encontrándose dentro del rango descrito para vacas en lactancia (Martens y Schweigel 2000). El aumento observado a las 10:00 horas ($P < 0,05$) (figura 1B) puede asociarse al mayor consumo de forraje que se produce posterior a la ordeña de la mañana (Hinostroza 2004). El contenido medio de Mg ruminal a las 21:00 horas fue 4,7 veces superior al del muestreo inicial (8:00 horas), manifestando una asociación con la hora del día ($r = 0,51$). El incremento de la concentración de Mg ruminal depende del contenido de Mg en la dieta (Cole 2000), siendo los microorganismos ruminales responsables de su solubilización.

La absorción de Mg a través de la membrana apical del epitelio ruminal se produce por dos mecanismos, uno dependiente del diferencial de potencial electroquímico de la membrana (PD), que es K-sensible o electrogénico, y el otro independiente de PD, que es K-insensible. El primero actuaría cuando las concentraciones de Mg y K en el fluido ruminal son bajas (2 mmol/L y 5 mmol/L respectivamente), mientras que el segundo lo haría cuando las concentraciones ruminales de Mg son superiores a 3 mM (Martens y Schweigel 2000), saturándose cuando el líquido ruminal alcanza concentraciones de Mg de 17,5 mM (Jittakhot y col 2004^a).

En las condiciones del presente trabajo, en que los animales presentaron elevadas concentraciones de K en el rumen, la absorción de Mg ruminal estaría siendo mayormente dependiente del mecanismo K-insensible o electroneutral (figura 1C). Si bien el contenido de Mg ruminal se mantuvo por encima de los 3 mmol/L durante todo el día, a excepción de las 8:00 horas (figura 1B), las concentraciones de Mg alcanzadas se mantuvieron por debajo de la concentración a partir de la cual este mecanismo comenzaría a saturarse.

Variación diurna de la concentración de potasio ruminal.

La concentración de K en el líquido ruminal de las vacas aumentó desde 17,8 mmol/L a las 8:00 horas a 95,3 mmol/L a las 21:00 horas ($P < 0,05$) (figura 1C), observándose una asociación ($r = 0,83$) con la hora del día. El contenido promedio de K ruminal a las 21:00 horas fue 5,3 veces mayor que el de las 8:00 horas. El K se encuentra en altas concentraciones en el rumen por ser un elemento de elevada solubilidad (Emanuele y Staples 1994), ubicándose mayormente dentro de las células de las plantas, como compuesto iónico o formando parte de compuestos solubles en agua (Emanuele y Staples 1990).

El consumo de alimentos por vacas lecheras a pastoreo es en tres etapas, con mayor consumo posterior a las ordeñas, con escasa o nula actividad durante la noche, siendo el consumo de MS mayor en horas de la tarde (Amaral-Phillips y col 1997, Hinostroza 2004), lo que explicaría el incremento lineal en la concentración de K ruminal desde las 10:00 hasta las 21:00 horas (figura 1C).

El contenido promedio de K en la pradera ofrecida a las vacas durante el presente trabajo fue de 27 g/kg MS, excediendo ampliamente los requerimientos de K de vacas lecheras en lactancia (1 g/kg MS) (Stevenson y col 2003, Weiss 2004). Se ha descrito que dietas o forrajes que contienen 20 a 75 g/kg MS poseen un efecto negativo sobre la absorción de Mg ruminal, incrementando el flujo de Mg desde el rumen al duodeno (Jittakhot y col 2004^{a, b}), lo cual señala que la absorción de Mg en el rumen se ve afectada con los incrementos de K en el líquido ruminal (Dalley y col 1997).

El efecto negativo del K en la absorción ruminal de Mg no es lineal, ya que en un estudio *in vitro* se estableció que un incremento en la concentración de K ruminal de 20 a 60 mM afectó en mayor grado la absorción de Mg que un incremento de 80 a 120 mM (Martens y Schweigel 2000). Junto a ello, se ha demostrado que el mayor incremento de PD se produce a concentraciones ruminales de K de 60 a 80 mmol/L, sugiriendo que concentraciones de hasta 60 mmol/L representan el mayor riesgo para desarrollar hipomagnesemia (Wachirapakorn y col 1996). En otro estudio se determinó que la absorción aparente de Mg *in vivo* en borregos no fue afectada cuando la concentración de K dietario aumentó de 59 a 77 g/kg MS, asumiendo que la absorción ruminal de Mg llega a ser independiente de la concentración en la dieta de K cuando su concentración es mayor a 60 g/kg MS o equivalente a una concentración posprandial de 125 mmol/L (Jittakhot y col 2004^b).

Las condiciones de las praderas del sur de Chile durante la primavera determinan que la absorción de Mg por la vía K-sensible o electrogénica sería variable durante el día y estaría asociada a las elevadas concentraciones de K en las praderas (cuadro 1). Posiblemente, en esta época la absorción de Mg comenzaría a ser independiente de la concentración de K a partir de las 17:00 horas, cuando la concentración ruminal de K es > 60 mmol/L.

Concentración plasmática de magnesio en vacas a pastoreo. La concentración de Mg plasmático en las vacas a pastoreo se mantuvo durante los 14 días de ensayo entre $0,42 \pm 0,06$ a $0,49 \pm 0,12$ mmol/L, valores inferiores a los reportados en dos trabajos realizados, en la misma estación del año, en predios de la región que presentaban problemas de hipomagnesemia (Contreras y col 1992, Wittwer y col 1997) y a los rangos de referencia (0,7 - 1,1 mmol/L) señalados para bovinos lecheros en el sur de Chile (Wittwer y col 1987). Este estado metabólico, hipomagnesemia, tiene una prevalencia en rebaños lecheros del sur de Chile de 7%, presentándose en períodos de primavera y otoño (Wittwer y col 1987).

Las vacas durante el ensayo consumieron pradera predominantemente de ballica (*Lolium perenne*) cuyo contenido promedio de Mg fue de 0,17% MS (cuadro 1) y 2,68% de K, teniendo ésta un contenido de Mg inferior y de K superior a los requerimientos señalados para las

vacas lecheras (Mg = 0,20% MS y K = 1,0% MS) (NRC 2001). Ambas situaciones podrían explicar las bajas concentraciones de Mg plasmático en los animales. El elevado contenido de K en la pradera se reflejó en altas concentraciones de K ruminal, pero no se observaron cambios en las concentraciones de Mg ruminal de las vacas fistuladas (figura 1B y C).

Ninguna de las vacas presentó signos clínicos de tetania hipomagnésica, hecho importante desde el punto de vista práctico y que se explica porque los signos clínicos se presentan sólo cuando disminuye la concentración de Mg en el líquido cefalorraquídeo (Allsop y Pauli 1975).

Los resultados del presente estudio indican que los valores de pH y las concentraciones de Mg y K ruminal de vacas mantenidas a pastoreo durante la primavera variaron durante el día, manteniéndose el pH y el Mg dentro de los rangos establecidos en la especie. El pH del fluido ruminal disminuyó en el transcurso del día y las concentraciones de Mg y K aumentaron.

RESUMEN

El propósito del trabajo fue evaluar la variación diurna del pH y de las concentraciones de Mg y K ruminal en vacas lecheras a pastoreo durante el período de primavera. Se utilizaron vacas Frisón Negro, a pastoreo en pradera con predominio de ballica (*Lolium sp*) (Mg = 0,17%; K = 2,68% MS) y suplementadas con 2 kg de concentrado durante cada ordeño.

Muestras de 50 ml de líquido ruminal fueron obtenidas de 3 vacas con cánula ruminal permanente cada 2 días en 7 oportunidades a las 8:00, 9:00, 10:00, 11:00, 13:00, 17:00 y 21:00 horas, para determinar el pH y las concentraciones de Mg y K ruminal. La concentración plasmática de Mg se determinó en 7 vacas del rebaño en muestras obtenidas en los días 0, 1, 3, 5, 7 y 12 del ensayo.

El pH ruminal disminuyó durante el transcurso del día, de 6,70 a las 8:00 horas a 5,99 a las 21:00 ($r = -0,77$) ($P < 0,05$), mientras que la concentración ruminal de K aumentó de 17,8 mmol/L a 95,3 mmol/L ($r = 0,83$) en las mismas horas ($P < 0,05$). La concentración de Mg ruminal aumentó de 1,4 mmol/L a las 8:00 horas a 6,6 mmol/L a las 21:00 ($r = 0,51$) ($P < 0,05$). Se observó una correlación negativa entre el pH y las concentraciones de Mg ruminal ($r = -0,45$) y de K ruminal ($r = -0,75$). La concentración plasmática de Mg en las vacas del mismo rebaño correspondió a una hipomagnesemia persistente con valores entre 0,42 y 0,49 mmol/L.

Se concluye que el pH ruminal disminuye y las concentraciones de K y Mg ruminal aumentan durante el día en vacas a pastoreo de ballica en primavera.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Rubén Pulido por facilitar el uso de los animales experimentales correspondientes al proyecto Fondecyt N° 1030331. Al personal del Centro Experimental de Predios Agrícolas de la Universidad Austral de Chile (CEPA), por las facilidades entregadas para la realización del trabajo.

REFERENCIAS

Allsop TF, JV Pauli. 1975. Cerebrospinal fluid magnesium concentrations in hypomagnesaemic tetany. *Proceedings of the N Z Society of Animal Production* 35, Pp 170-174.

- Amaral-Phillips DM, RW Hemken, JC Henning, LW Turner. 1997. Pasture for dairy cattle: changes and opportunities. University of Kentucky College of Agriculture.
- A.O.A.C. (Association of Official Agricultural Chemists) 1990. Official methods of analysis. 15th ed. A.O.A.C, Washington D C, USA.
- Balocchi O, D Pinochet, F Wittwer, PA Contreras, R Echeverría, F Guzmán. 2001. Rendimiento y composición mineral del forraje de una pradera permanente fertilizada con magnesio. *Pesq agropec bras* 36, 1309-1317.
- Bretschneider G, FJ Santini, JP Fay, C Faverin. 2001. Effects of maize silage supplementation before lucerne grazing on the occurrence of bloat in cattle. *N Z J Agric Res* 44, 241 - 251.
- Church DC. 1993. El rumiante. Fisiología digestiva y nutrición. Acibria S.A., Zaragoza, España.
- 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.
- Contreras PA, F Wittwer, A Ferrando. 1992. Control de un brote de tetania hipomagnésica en una lechería mediante el empleo de un suplementación mineral magnésica. *Arch Med Vet* 24, 93-98.
- Dalley DE, P Isherwood, AR Sykes, AB Robson. 1997. Effect of intraruminal infusion of potassium on the site of magnesium absorption within the digestive tract in sheep. *J Agric Sci Cambridge* 129, 99-105.
- Emanuele SM, CR Staples. 1990. Ruminal release of minerals from six forage species. *J Anim Sci* 68, 2052-2060.
- Emanuele SM, CR Staples. 1994. Influence of pH and rapidly fermentable carbohydrate on mineral release in and flow from the rumen. *J Dairy Sci* 77, 2382-2392.
- Emanuele SM, CR Staples, CJ Wilcox. 1991. Extent and site of mineral release from six forage species incubated in mobile dacron bags. *J Anim Sci* 69, 801-810.
- Grace ND. 1972. Studies on the movement of Mg, Ca, P, Na and K across the gut wall of sheep fed fresh pasture. *Proceedings of the N Z Society of Animal Production* 32, Pp 77-84.
- Hinostroza R GA. 2004. Efecto del tipo de carbohidrato en el concentrado sobre el consumo y comportamiento ingestivo, en vacas lecheras en pastoreo primaveral. Memoria de titulación, Facultad de Ciencias Agrarias. Valdivia, Universidad Austral de Chile.
- Jittakhot S, JT Schonewille, H Wouterse, AW Uijtewaal, C Yuangkland, 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 Yuangkland, 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.
- Kolver ES, MJ Veth. 2002. Prediction of ruminal pH from pasture based diets. *J Dairy Sci* 85, 1255-1266.
- Laporte JA, AR Sykes. 2004. Intestinal magnesium absorption in ruminant compensate by reduction in ruminal absorption. *XI Congress International Society of Animal Clinical Biochemistry*, Valdivia, Chile, Pp 47.
- Martens H, M Schweigel. 2000. Pathophysiology of grass tetany and other hypomagnesemias. Implications for clinical management. *Vet Clin N Am (Food Anim Pract)* 16, 339-368.
- NRC (National Research Council). 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*. National Academy Press, Washington D C. USA.
- Noro M, J Borkert, V Vargas, A Hinostroza, R Pulido, F Wittwer. 2004. Diurnal variation in blood metabolites concentration in lactating dairy cows grazing ryegrass pasture. *XI Congress International Society of Animal Clinical Biochemistry*, Valdivia, Chile, Pp 46.
- Russell JB, DB Dombrowski. 1980. Effect of pH on the efficiency of growth by pure cultures of rumen bacteria in continuous culture. *Appl Envir Microbiol* 39, 604-610.
- Scandolo D, M Noro, H Böhmwald, PA Contreras, F Wittwer. 2004. Análisis descriptivo de perfiles metabólicos de minerales realiza-

- dos a rebaños lecheros en el sur de Chile entre 1986 a 2003. *Resúmenes de la XXIX Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal*, Chile, Pp 205-206.
- Scharrer E, T Lutz. 1990. Effects of short chain fatty acids and K on absorption of Mg and other cations by the colon and caecum. *Zeitschrift für Ernährungswissenschaft* 29, 162-168.
- Wachirapakorn C, AR Sykes, AB Robson. 1996^a. Effects of potential difference across the rumen wall and magnesium metabolism in sheep. *Proceedings of the N Z Society of Animal Production* 56, 138-142.
- Wales WJ, ES Kolver, PL Thorne, AR Egan. 2004. Diurnal variation in ruminal pH on the digestibility on highly digestible perennial ryegrass during continuous culture fermentation. *J Dairy Sci* 87, 1864-1871.
- Weiss W P. 2004. Macromineral digestion by lactating dairy cows: factors affecting digestibility of magnesium. *J Dairy Sci* 87, 2167-2171.
- Wittwer F, H Böhmwald, PA Contreras, J Filosa. 1987. Análisis de los resultados de perfiles metabólicos obtenidos en rebaños lecheros en Chile. *Arch Med Vet* 19, 35-45.
- 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 hipomagnésica en rebaños Hereford. *Arch Med Vet* 29, 25-33.