

Liberación ruminal de cuatro fuentes inorgánicas de magnesio por medio de la técnica *in situ* en ganado Holstein en trópico alto

Release ruminal of four inorganic sources of magnesium through the technique *in situ* in Holstein cattle in high tropic

libertação no rúmen de quatro fontes inorgânicas de magnésio pela técnica in situ em Holsteins elevados trópicos

Wilmer Alfonso Cuervo Vivas¹ & Héctor Jairo Correa Cardona²

¹Zootecnista, Especialista en Nutrición Animal, Magister en Ciencias Agrarias. ²Zootecnista, Magister en Nutrición Animal, Doctor en Ciencias de la Producción Animal.

¹Especialización Nutrición Animal Sostenible. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente -ECAPMA, Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD. Bogotá, Colombia. ²Docente Asociado Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Colombia.

¹wilmer.cuervo@unad.edu.co, ²hjcorreac@unal.edu.co

Resumen

El Magnesio, abundante en praderas pastoreadas por bovinos de leche, actúa como un cofactor en reacciones enzimáticas vitales para las principales vías metabólicas y presenta desaparición ruminal elevada (87%) aunque se desconoce su liberación en fuentes inorgánicas. Con el objetivo de evaluar su solubilización ruminal se incubaron cuatro fuentes inorgánicas (óxido de Mg (MgO), sulfato de Mg (MgSO₄), cloruro de Mg (MgCl₂) y carbonato de Mg (MgCO₃)) determinando su desaparición de la materia seca (DMS) en 3 vacas Holstein (vacías, no lactantes) canuladas al rumen (620 ± 14 kg y 7 años) en el municipio de Santa Elena, Antioquia, Colombia (2538 msnm; bH – MB; 16°C) consumiendo kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hoechst Ex Chiov) Morrone) (Chemisquy et al 2010). Por triplicado se incubaron 0,5 g de cada fuente en bolsas

de nailon con dos tamaños de poro (25 y 50µm), en el rumen de las vacas para evaluar DMS en tres tiempos (0, 12 y 24h). Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con un arreglo factorial 2x3x4 (2 tamaños de poro, 3 tiempos de incubación y 4 fuentes minerales) y prueba de Tukey para significancia estadística de las diferencias. La incubación ruminal debe realizarse con tamaño de poro no superior a 50µm, siendo MgCl₂ y MgSO₄ mas solubles en rumen, mientras que óxidos y carbonatos presentan solubilidad baja o nula dentro de las primeras 24 horas, lo cual puede dar luces para su utilización como suplemento mineral dentro de la dieta sólida o agua de bebida del ganado lechero.

Palabras claves: holstein, líquido ruminal, tamaño de poro, kikuyo, ANKOM, BRIONI.

Abstract

Magnesium, abundant in grasslands grazed by cattle of milk, acts as a cofactor in enzymatic reactions vital to major metabolic pathways and presents disappearance ruminal high (87%) Although his release from inorganic sources is unknown. With the objective of evaluating their solubilization ruminal incubated four inorganic sources (Mg oxide (MgO), Mg sulfate (MgSO₄), Mg chloride (MgCl₂) and Mg carbonate (MgCO₃)) determining its disappearance of dry matter (DMS) in 3 Holstein cows (empty, not nursing) placed in cannula to the rumen (620 ± 14 kg and 7 years) in the municipality of Santa Elena, Antioquia, Colombia (2538 masl; bH - MB; 16 °c) eating Kikuyu (*Cenchrus clandestinus* (Hoechst Ex Chiov) Morrone) (Chemisquy et al 2010). 0.5 g of each source in two pore sizes nylon bags and incubated in triplicate (25 and 50µm), in the rumen of cows to evaluate DMS in three times (0, 12, and 24 h). A design was used in the randomized complete block factorial 2 x 3 x 4 (2 pore sizes), 3 days of incubation and 4 mineral sources and Tukey test for statistical significance of the differences. The ruminal incubation must be done with no more than 50µm, MgCl₂ and MgSO₄ pore size more soluble in rumen, while oxides and carbonates are low or no solubility within 24 hours, which can give light for use as a mineral supplement within the solid diet or dairy cattle drinking water.

Key-words: Holstein, rumen fluid, pore size, kikuyus, ANKOM, BRIONI.

Resumo

O Mg que é abundante em áreas com gado de leite, atua como cofator em reações enzimáticas importantes para as principais rotas metabólicas e apresenta ausência ruminal elevada (87%) muito embora seja desconhecida sua liberação nas fontes inorgânicas. Com o objetivo de avaliar a solubilização ruminal, foram usadas quatro fontes inorgânicas (óxido de Mg (MgO), sulfato de Mg (MgSO₄), cloreto de Mg (MgCl₂) y carboneto de Mg (MgCO₃)) determinando sua ausência da matéria seca (DMS) em 3 vacas Holstein (vazias, não lactantes) acanuladas ao rumem (620 ± 14 kg e 7 anos) na localidade de Santa Elena, Antioquia, Colombia (2538 por cima do nível do mar; bH – MB; 16°C) consumindo kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hoechst Ex Chiov) Morrone) (Chemisquy et al 2010). Foram incubadas por triplicata 0,5 g de cada fonte em sacos de náilon com poros de 2 tamanhos (25 e 50µm) no rumem, para avaliar a DMS em três tempos (0, 12 e 24h). Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso com fatorial 2x3x4 (2 tamanhos de poro, 3 tempos de incubação e 4 fontes minerais) e o teste de Tukey para significância estatística. A incubação ruminal deve ser realizada com tamanho de poro inferior a 50 µm, MgCl₂ y MgSO₄ foram mais solúveis no rumem enquanto óxidos e carbonetos mostram solubilidade baixa ou nula dentro das primeiras 24 horas, o que favorece seu uso como suplemento mineral na dieta sólida ou água de bebedouro do gado de leite.

Palavras-chave: Holstein, líquido ruminal, tamanho do poro, kikuyo, ANKOM, BRIONI.

Introducción

El ion metálico Magnesio Mg es un catión intracelular que actúa como coenzima para reacciones enzimáticas vitales en las principales vías del metabolismo energético (NRC, 2001), su deficiencia es poco común en la mayoría de los animales domésticos (Aikawa, 1981, Underwood & Suttle, 1999). No obstante, cuando se ha observado bajas sensibles en el contenido de Mg en la dieta, se ha relacionado con el exceso de fósforo y potasio en la misma (Schonewille *et al*, 2004), observándose

en animales malformaciones en las extremidades e incluso mortalidades, particularmente en especies como la aviar y la porcina (Atteh & Leeson, 1983; 1986).

El bajo contenido de Mg (Tomas & Potter, 1976; Field & Munro, 1977) y el excesivo contenido de potasio en forrajes altamente fertilizados (Schonewille *et al.*, 1998; 2007) se ha relacionado con altas incidencias de hipomagnesemia. Los forrajes

tropicales presentan un contenido de Mg que oscila entre 0,36% para gramíneas y 0,28 % para leguminosas (Minson, 1990), mientras que los alimentos concentrados (energéticos y proteicos) presentan un mayor contenido de Mg que los forrajes (Adediji & Suttle, 1999). El bajo contenido de Mg en forrajes y en cereales, menos frecuente, ha sido identificado como la principal causa de hipomagnesemia (Tomas & Potter, 1976; Field & Munro, 1977). Este tipo de desórdenes metabólicos, sin embargo, son comunes en zonas templadas y específicamente con rebrotes de forraje en la primavera, mientras que en regiones tropicales son poco frecuentes (Littledike *et al.*, 1983). El elevado contenido de K en forrajes típicos del trópico alto como el kikuyo -hasta 5,12% de la MS- (Correa *et al.*, 2008) están relacionados con disfunciones en el metabolismo del Ca y del Mg (Goff, 2006).

En los sistemas de producción ganadero, el principal, y en ocasiones el único, suplemento dietario es la sal mineralizada (MADR, 2010) y en ganado en periodo parto, se han utilizado mezclas de macrominerales en forma de sales aniónicas combinándolas con suplementación de Ca y Mg para la prevención de la hipocalcemia e hipomagnesemia (Underwood & Suttle, 1999, Drackley *et al.*, 2005). El contenido de Mg de estas fuentes inorgánicas va desde 5% en el fosfato de Mg hasta un 52% en la magnesita calcinada (FEDNA 2012). En este sentido, sales de Mg como el carbonato, cloruro, óxido y sulfato han presentado valores de biodisponibilidad altos (McDowell 1996), su absorción oscila entre 30 y 70% (NRC 2001) y su solubilidad en medios acuosos depende en gran medida al tipo de sal (Horn & Smith 1978., NIST 2011).

La técnica *In situ* busca incubar diferentes materiales -nutricionales y no nutricionales- en bovinos, ovinos y caprinos fistulados y equipados con una cánula. El rumen es el principal sitio de absorción del Mg en rumiantes adultos (Martens & Blume, 1986; Care *et al.*, 1984; Greene *et al.*, 1983, Church 1988), sin embargo, un pH bajo (Cook *et al.* 1994) sumado a consumo de forrajes con altos contenidos de K (Fontenot *et al.*, 1973, Tomas & Potter 1976) pueden disminuir su solubilidad. Se han

reportado, valores iniciales de liberación ruminal de Mg en pasto kikuyo superiores al 70% (Correa *et al.* 2008) y hasta 93% a las 72 horas de incubación en rumen (Moseley & Griffiths 1984, Van Eys & Reid 1987) No obstante, Se desconocen trabajos en los que se haya estimado la liberación ruminal del Mg a partir de fuentes Inorgánicas incubadas como sales puras y utilizando la técnica *In situ*. Por ello el objetivo de este trabajo fue evaluar la desaparición de cuatro fuentes inorgánicas de Mg por medio de la técnica *in situ* utilizando dos tamaños de poro en la bolsa de nailon.

Materiales y métodos

Localización

Este estudio se realizó en la hacienda Paysandú de la Universidad Nacional de Colombia, ubicada en el municipio de Santa Elena, Antioquia, Colombia, a 2538 msnm y que pertenece a la zona de vida de Bosque húmedo montano bajo (bH – MB) (Holdridge, 1996).

Animales experimentales

Para la investigación se incluyeron tres vacas de la raza Holstein, adultas no lactantes, canuladas al rumen, con un peso y edad promedio de 620 ± 14 kg y 7 años, respectivamente. Dichos animales fueron alimentados a voluntad con pasto kikuyo. Las vacas experimentales fueron trasladadas desde el potrero hacia un corral de manejo a las 07:00 am, donde se realizó la extracción de la tapa de la cánula y la incubación de los sustratos a evaluar.

Preparación de las muestras

Se utilizaron 0,5 g de cada una de las fuentes inorgánicas a evaluar; óxido de Mg (MgO), sulfato de Mg ($MgSO_4$), cloruro de Mg ($MgCl_2$) y carbonato de Mg ($MgCO_3$) cuyas solubilidades se presentan en la Tabla 1. Dichos compuestos fueron empacados en dos tipos de bolsas de nailon: bolsas FN^o 57 Ankom[®] con un tamaño de poro de 25 μm y dimensiones de 5 x 4 cm (para obtener un área efectiva por bolsa de 37 cm^2) compuestas por un material tipo poliéster, y bolsas elaboradas con tela nacional (Brioni[®]-Lafayette) con un tamaño de poro de

50µm, implicando un menor costo. Este proceso buscaba evaluar la factibilidad de incluir bolsas de tela nacional en lugar de las bolsas Ankom® que son importadas y tienen un alto costo para los experimentos relacionados con la técnica *in situ*.

Tabla 1. Solubilidad en medios acuosos de las fuentes minerales evaluadas

Fuente Mineral	Solubilidad en agua (g/100mL)
MgO	0,0086*
MgCO ₃	10,6**
MgSO ₄	35,5***
MgCl ₂	54,2****

Adaptado de * De Baat 1926. ** NIST standard reference database 2011. *** National Library of Medicine - Medical Subject Headings 2006. **** Royal Society of chemistry - Chempidder. MAFF 1992

Para realizar la determinación del tamaño de partícula de cada fuente mineral, tomando fotografías con zoom óptico de 20X a las partículas de las cuatro fuentes minerales a evaluar, ubicándolas sobre una hoja de papel milimetrado con divisiones de 500 y 1000µm (ver Anexos), esto con la finalidad de establecer su relación con la DMS en cada tamaño del poro de las bolsas evaluadas. Se tomaron 11 observaciones de cada una de las fuentes minerales evaluadas y se obtuvo el promedio y la desviación estándar del tamaño de cada una de las fuentes. En cada una las bolsas evaluadas (Ankom® y tela nacional), se depositaron 0,5 g de muestra (Goering & Van Soest, 1970) lo que corresponde a una relación tamaño de la muestra/superficie de la bolsa de 13.5 mg/cm² basado en las recomendaciones publicadas por Van Hellen & Ellis (1977) para la técnica *in situ*. Posteriormente las bolsas fueron cerradas por medio de un sellador eléctrico (Orskov *et al.*, 1980) y cada una de las bolsas fueron almacenadas en una malla de plástico de acuerdo al tiempo de incubación correspondiente y finalmente las mallas fueron atadas por medio de una cuerda de cáñamo a mosquetones fijados a una cadena de hierro cromado de 1.0 m de longitud.

Incubación de las bolsas

Justo antes de realizar la incubación ruminal, se enjuagaron las bolsas en agua a 39°C durante 2

minutos (Giraldo *et al.*, 2007), posteriormente se incubaron las bolsas en el rumen. Al momento de la incubación, se determinó el pH ruminal mediante un potenciómetro portátil (WTW 315I®). Se introdujo una bolsa por cada tiempo -0, 12, 24-, por cada tamaño de poro, por cada fuente mineral evaluada y en cada animal, de tal forma que se introdujeron un total de 24 bolsas por animal.

Las sales contenidas en las bolsas fueron introducidas al rumen al mismo tiempo en las tres vacas comenzando con el tiempo más largo -24 horas- prosiguiendo con las bolsas de los demás tiempos -12 y 0 h-, de tal manera que al final de la incubación, todas las bolsas fueron extraídas al mismo tiempo y se lavaron simultáneamente con agua de grifo hasta que el agua salió limpia (Nocek, 1988).

Determinación de la desaparición de la materia seca (DMS)

Con el objetivo de determinar la liberación o desaparición de la MS, las bolsas fueron secadas en una estufa de aire forzado a 65°C durante 48 horas, luego de lo cual fueron pesadas. A dicho peso se le restó el peso de la bolsa vacía para calcular la cantidad de muestra desaparecida en cada tiempo de incubación. De esta forma la DMS parcial fue calculada como se muestra en la ecuación 1:

$$\%DMS = (((Pv+Pm)-Pbr)/Pm) * 100 \quad (1)$$

Dónde:

Pm = Peso muestra (g)

Pv = Peso bolsa vacía (g)

Pbr = Peso Bolsa y el residuo

Análisis estadísticos

Se estableció el promedio y la desviación estándar del tamaño de partícula de cada fuente de Mg. Los datos de DMS fueron analizados bajo un diseño en bloques completos al azar con un arreglo factorial 2x3X4, donde los factores analizados fueron respectivamente, el tamaño del poro, el tiempo de incubación y las fuentes minerales. Las 3 vacas

representaron los bloques, de acuerdo al modelo mostrado en la ecuación 2:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + e_{ijk} \quad (2)$$

Donde;

Y_{ijk} es la desaparición de la materia seca; μ es la media poblacional;

T_i es el efecto del i -ésimo tratamiento experimental

B_j es el efecto del j -ésimo bloque

e_{ijk} es el error experimental.

Para el análisis de los datos se utilizó el PROC GLM del programa estadístico SAS (2002) donde la variable respuesta a analizar fue la desaparición de la materia seca (DMS) expresada en %. Los resultados obtenidos fueron expresados como la Media \pm Error Estándar. Cuando se hallaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de LS-MEANS para el análisis de la diferencia entre los promedios. Adicionalmente se adelantó un análisis de correlación entre la solubilidad de cada fuente

y la DMS a la 24 h mediante el PROC CORR del programa estadístico SAS (2002).

Resultados y discusión

El pH promedio para los animales experimentales, medido antes de la introducción de las bolsas fue de $6,99 \pm 0,021$. Dicho pH es compatible al hallado para animales pastando praderas de forrajes tropicales fibrosos y sin suplementación alimenticia (García & Kalscheur 2006, Correa *et al.*, 2011, Duque 2013). Dicho valor (Ver Tabla 1) es importante puesto que este se asocia con la solubilidad de las fuentes inorgánicas de minerales para rumiantes (Jessee *et al.*, 1980).

El tamaño promedio de partícula de las cuatro fuentes de Mg fue superior a $700 \mu\text{m}$ (Tabla 2), lo que puede indicar que la desaparición de las muestras de las bolsas de nailon no fue causada por el tamaño de partícula de la fuente mineral si no, por su solubilidad en el medio ruminal, toda vez que los tamaños de poro evaluados fueron 25 y $50 \mu\text{m}$.

Tabla 2. Tamaño de partícula para las fuentes minerales evaluadas.

Partícula Muestreada*	MgO	MgCO ₃	MgSO ₄	MgCl ₂
	μm			
PROMEDIO	963,6	743,6	992,7	700,0
D. E.	317,9	240,7	459,0	280,2

* Los promedios provienen del muestreo de 11 partículas (ver Anexos)

No se detectó efecto de la triple interacción entre la fuente, el tamaño del poro y el tiempo evaluado ($p=0,92$), como lo muestra la Tabla 3. Con respecto a la interacción de primer nivel, solamente se observó efecto de la interacción entre el tiempo de incubación en rumen y la fuente mineral ($p<0,0001$). Resultados similares son reportados por Correa (2007)

en los que el Mg contenido en forraje kikuyo presentó una alta desaparición ruminal a las 0 horas (70%) y a las 24 horas alcanza una desaparición superior al 90%. Igualmente, Gojon *et al.* (1998) observaron que los principales macro minerales (Ca, P, Mg, K) presentaban a las 24 horas una desaparición ruminal *in situ* de aproximadamente 85%.

Tabla 3. Efecto del tamaño del poro de la bolsa, fuente mineral y tiempo de incubación sobre la desaparición de materia seca DMS de las fuentes minerales evaluadas.

EFEECTO EVALUADO	gl	Suma cuadrado tipo III	Cuadrado Medio Calculado	F	p
Tamaño de poro	1	0,1586	0,1586	10,55	0,0022
Tiempo de Incubación	2	0,1821	0,09107	6,05	0,0046
Animal	2	0,022	0,0113	0,75	0,4775
Fuente Mineral	3	12,8286	4,2762	284,26	<0,0001
Poros x Tiempo	2	0,0062	0,0031	0,21	0,8142
Poros x Fuente	3	0,1133	0,0377	2,51	0,0703
Tiempo x Fuente	6	0,9584	0,1597	10,62	<0,0001
Poros x Tiempo x Fuente	6	0,0288	0,0048	0,32	0,9233

No se detectaron efectos significativos del tiempo de incubación sobre el nivel de DMS para MgCl₂ ni para MgSO₄ (p=0,74) (Figura 1). Estas fuentes fueron estadísticamente superiores en todas las mediciones a las otras dos fuentes evaluadas (p<0,0001). La descripción técnica del cloruro y el sulfato de Mg demuestra que

estas dos fuentes presentaban los mayores valores de solubilidad (54,2 y 35,5 g/100mL, respectivamente) (Royal Society of Chemistry). La DMS del MgCO₃ y del MgO fue baja en el tiempo 0, pero luego se incrementó la del MgCO₃ mientras que la del MgO presentó valores negativos, indicando el atrapamiento de contenido ruminal.

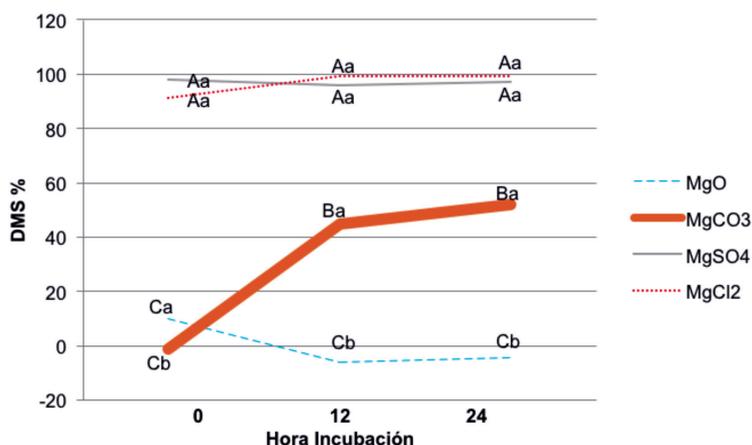


Figura 1. Efecto de la fuente mineral y el tiempo de incubación sobre la DMS (%)

Literales diferentes en mayúsculas indican diferencias en el tiempo
Literales diferentes en minúsculas indican diferencias dentro de la fuente

Un análisis de correlación entre la solubilidad en medio acuoso y la DMS a las 24 h (r=0,93 y r=0,90 para las bolsas de 50 y 25 μm, respectivamente), mostró que existe una asociación alta entre estos dos parámetros y que, por lo tanto, a mayor solubilidad de la fuente, mayor es la desaparición de la muestra de las bolsas de nailon. Se ha descrito que tanto el tamaño de partícula (Quin *et al.*, 1938) como

la solubilidad (Ortega & Carranco, 1993) como factores que afectan la desaparición ruminal de la materia prima incubada en la bolsa de nylon. Es posible que bajo las condiciones del presente estudio el efecto ejercido por el tamaño de partícula sobre la desaparición ruminal sea dependiente de una característica inherente a la materia prima evaluada como la solubilidad.

Efecto del tamaño del poro

Los tamaños de poro utilizados en este estudio se encuentran dentro del rango recomendado por un gran número de autores (Van Hellen & Ellis, 1977; Uden & Van Soest 1984; Lindberg, 1984; Nocek, 1985, 1988; Vanhatalo, 1995; Hvelplund & Weisbjerg 2000). No obstante que el tamaño de las partículas de las fuentes evaluadas (Tabla 2) superó varias veces el tamaño de poro más grande evaluado en las bolsas (50 μm), dicho factor afectó la DMS de las fuentes, siendo estadísticamente menor con las bolsas de 25 μm (51,7%) ($p < 0,002$) que con las de 50 μm (61,1%). En este sentido cabe anotar que una proporción de dichas partículas (ver anexos) tenían un tamaño inferior y suficiente para escapar por los poros y además, con la motilidad y la humedad ruminal, muchas partículas redujeron su tamaño, lo cual facilitó su salida. Otros autores también han reportado una reducción en la digestibilidad de las muestras incubadas cuando el tamaño del poro de la bolsa es menor. Lindberg & Knutsson (1981) obtuvieron disminuciones significativas en la DMS y desaparición de N al trabajar con tamaños de poro de 80 a 120 μm . En este mismo trabajo, los autores observaron que al utilizar poros más pequeños (10 - 36 μm) y aumentar el tiempo de remojo previo a la incubación (6 horas con agitación) se disminuía la DMS.

Giraldo *et al.* (2007) por el contrario, observaron una mayor digestibilidad *in vitro* de la materia seca en kikuyo determinada por la técnica del Daisy ^{II}® con tamaño de poro de 20 μm que con la técnica *in situ* con bolsas de nailon cuyo tamaño de poro era de 50 μm . Este último resultado, sin embargo, pudo deberse a la diferencia en la relación tamaño de muestra: área efectiva de la bolsa, que habría favorecido las muestras evaluadas por la técnica Daisy ^{II}®, como lo indica los trabajos de Goering & Van Soest, 1970. Así mismo, Van Hellen & Ellis (1977) han relacionado la DMS con la relación entre el tamaño de la muestra ingresada en cada bolsa y el área de cada cara de la bolsa incubada.

Efecto del tiempo y la fuente sobre la DMS (%)

Hubo una disminución significativa de MgO en la DMS luego de la hora 0 de incubación ($p < 0,03$),

presentando incluso valores negativos a las 12 y 24 horas, que no fueron diferentes entre sí ($p = 0,79$). En este sentido, Jesse *et al.* (1981) trabajaron con tamaños de partícula del MgO similar al del presente estudio, obteniendo un bajo nivel de DMS (<50%), así mismo, Morgan (2011) experimentando con vacas lecheras fistuladas que presentaron un pH ruminal similar al del presente estudio (6,5) observaron una DMS baja incubando MgO durante 96 horas. Por ello al tener las condiciones experimentales bajo las cuales se trabajaron en el presente experimento se podría esperar una baja DMS ruminal.

Los valores bajos de DMS se correspondieron con los menores valores de solubilidad reportados para esta fuente (0,0086g/100mL) (De Baat, 1926). Los valores negativos hallados, podrían responder al ingreso de materiales propios del rumen a través de los poros, que aunado a la baja solubilidad del MgO, generaron valores negativos de DMS. Nocek (1988) indica que al trabajar con materiales con tamaño de partícula grande (>90 μm) la DMS disminuía significativamente. Igualmente, Ceballos *et al.* (2008) indican como opción para evitar datos negativos de DMS incubar una bolsa vacía por cada tratamiento, no obstante, en el presente estudio no se realizó este procedimiento por no estar recomendado por la mayoría de la literatura relacionada con la técnica *in situ*.

El MgO utilizado en el presente estudio tenía un tamaño de partícula de $963,9 \pm 317\mu\text{m}$ y las bolsas utilizadas tenían tamaños de poro de 25 y 50 μm de tal manera que es posible que debido a este impedimento físico la mayoría de las partículas de MgO no hayan abandonado las bolsas de nailon. El tamaño de partícula del MgO utilizado en el presente estudio (MgO técnico) fue superior al reportado previamente por Schaefer *et al.* (1982) y por Xin *et al.* (1988) quienes trabajaron con MgO comercial con tamaño de partícula de 0.09 y 3.7 μm , respectivamente. Es posible que la diferencia entre este estudio y los citados previamente es que en dichos estudios el MgO hizo parte de una mezcla de alimentos que fue incubada en el rumen.

En reportes previos, Xin *et al.* (1988) midieron la solubilidad de MgO al introducir este compuesto con diferentes tamaños de partícula en soluciones ácidas de HCl (pH entre 1,3 y 5,6) revelando que a menor tamaño de partícula (237 μ) y a menor pH (1,3) la solubilidad de esta sal fue mayor. Numerosos autores han reportado para ganado Holstein en pastoreo sin suplementación valores de pH ruminal de entre 6,0 y 6,79 (Holden *et al.*, 1994; Reis & Combs 2000, Bargo *et al.*, 2002, García & Kalscheur 2006, Correa *et al.*, 2012, Duque 2013), lo que coincide con los hallados en este trabajo.

La utilización de este tipo de materiales (específicamente MgO) se restringe a la adición del producto comercial a dietas total o parcialmente mezcladas como tal, sin ningún proceso de molido o de filtrado (Emery *et al.*, 1965; Askew *et al.*, 1971; Schaefer *et al.*, 1982). En el presente experimento el MgO no fue molido o filtrado pudiendo presentar partículas que por su tamaño, no lograron solubilizarse en el rumen. Aún a las 24 horas post-incubación se registraron DMS negativas, por lo que se puede sospechar inicialmente, que el óxido ligo partículas del medio ruminal. A este respecto, las reglas de solubilidad coinciden en afirmar que los óxidos de un ion metálico no son solubles en agua y tienden a la formación de hidróxidos (Morgan, 2011)

Lough *et al.* (1990), por su parte, encontraron que la solubilidad del MgO es alta a las 24 horas en líquido ruminal cuyo pH inicial osciló entre 6,95 y 6,99. Dicha solubilidad fue de 91,8% sugiriendo que aún a pH altos, esta fuente puede ser muy soluble. Es necesario tener en cuenta, sin embargo, que la solubilidad calculada por estos autores, fue la proporción de Mg hallado en la fase líquida frente a la fase sólida, luego de centrifugar el líquido ruminal. Lamentablemente en este estudio no se reportó el tamaño de partícula con la que se trabajó por lo que no se puede hacer ninguna inferencia al respecto. Los resultados de estos autores sin embargo contradicen la baja solubilidad reportada para el MgO (*Reference Tables for Physical Setting - Chemistry* 2011.) sugiriendo que se pueda tratar más de un error metodológico, que de una solubilidad real.

Otros autores, han reportado valores de digestibilidad negativos para Mg (Emanuelle *et al.*, 1991) y para el Ca (Emanuelle *et al.*, 1991, Correa *et al.*, 2008), asociados a la quelación de estos iones divalentes con la materia orgánica del rumen, particularmente con la fibra. Es probable, entonces, que parte del valor negativo de la DMS observada para esta fuente, fuera debido a la quelación de componentes orgánicos por parte del MgO.

El MgO ha sido utilizado en las dietas de vacas lecheras para prevenir problemas de acidosis ruminal (Erdman *et al.*, 1980, 1982; Schaefer *et al.*, 1981) gracias a su capacidad de consumir iones H⁺ y por tanto, de formación de enlaces con otros compuestos. No obstante, de acuerdo a los resultados observados en el presente estudio, se puede esperar que la solubilización de este material a nivel ruminal sea menor que las demás fuentes evaluadas ya sea por su baja solubilidad en medios acuosos, por el pH presente en el rumen o por el impedimento físico del tamaño del poro utilizado.

Por el contrario, en el MgCO₃ se observó un aumento significativo (p<0,001) y constante en la DMS a partir del tiempo 0 de incubación hasta las 24 horas. La DMS a las 24 h hallada en esta fuente puede estar relacionada con su naturaleza química, ya que al ser una sal anhidra presenta una solubilidad muy superior que la del MgO.

De acuerdo a los valores reportados en la Tabla 2, la solubilidad de este carbonato sería 1200 veces superior a la del óxido. Sin embargo, todas las formas de MgCO₃ son poco solubles en condiciones neutras y básicas e incrementan su solubilidad en medios que tienden a la acidez (Patnaik & Pradyot 2003). En este sentido Scandolo *et al.* (2007) observaron una disminución constante del pH ruminal a lo largo del día en vacas lecheras. De esta forma, la DMS del MgCO₃ registrada en el presente experimento siguió el comportamiento esperado, toda vez que aumentó a lo largo del día -las bolsas fueron incubadas a las 08:00- es decir la DMS aumentó a medida que disminuye el pH ruminal coincidiendo con las observaciones realizadas por dichos autores. Bajo las condiciones de pH

del ambiente ruminal de las vacas experimentales trabajadas en este ensayo, era de esperarse una baja solubilidad, aunque mayor que la del MgO, tal y como se encontró.

Efecto del tamaño de partícula de las fuentes evaluadas

El tamaño de partícula del MgCO₃ utilizado en el experimento fue de 740 μm , menor al del MgO; a pesar de esto, la consistencia del carbonato era tal que al entrar en contacto con una solución acuosa, producía una masa de disolución lenta lo que pudo disminuir la liberación inicial del material a través de los poros. No obstante, no se observaron valores negativos de DMS y por el contrario este parámetro aumentó significativamente hasta alcanzar aproximadamente un 50% de DMS a las 24 horas de incubación.

El MgSO₄ y el MgCl₂ presentaron los valores más altos de DMS sin que hubiese diferencias entre ellos durante los tres periodos de incubación ruminal. Esto puede ser debido a la mayor solubilidad de estas dos fuentes comparadas con la del MgO y la del MgCO₃ (Tabla 2). La diferencia en la solubilidad entre estas dos fuentes (35,5 y 54,2 g/100 mL para el MgSO₄ y el MgCl₂, respectivamente), no influyó en la DMS en ninguno de los tiempos de incubación debido a que la cantidad necesaria para precipitarse (17750 y 27100 g en 50 L de líquido ruminal), es mucho mayor que la que se incubó en las bolsas experimentales (1,5 g en 50 L de líquido ruminal).

Dentro de las fuentes evaluadas, el MgSO₄ presentó el mayor tamaño de partícula (992 μm ver anexos), no obstante, al ser un compuesto altamente higroscópico (Hutjens, 1991), incluso a temperatura ambiente, la absorción de agua por parte del material, disminuía notablemente el tamaño de las partículas que lo componían, facilitando su liberación a través de los poros.

El MgSO₄ se ha utilizado rutinariamente para corregir deficiencias de magnesio en cultivos de algunas hortalizas y cereales (Peña *et al.*, 2007), como tranquilizante en cerdos (Panella-Rivera *et al.*, 2009), en ratones para evitar daños renales (Masuyama *et al.*, 1995) y en vacas lecheras con problemas de

hipomagnesemia (Wittwer *et al.*, 1995). En el caso específico de vacas lecheras algunos autores (Capen & Rosol, 1989; Hoffsis *et al.*, 1989; Xin *et al.*, 1989; Contreras, *et al.*, 1992) han afirmado que el suministro oral de MgSO₄ funciona en el tratamiento de vacas con hipomagnesemia, aumentando los niveles séricos del mineral.

En el presente experimento se utilizó MgCl₂ de grado técnico -con textura y granulometría diferentes al comercial-, que presentó el menor tamaño de partícula de todas las fuentes evaluadas (700 μm , Tabla 2). Esta característica, sumada al hecho de que este material fuera higroscópico, hizo que su liberación y sobre todo su solubilización fueran más rápidas que en las demás fuentes minerales evaluadas.

En un estudio de cinética de liberación de pasto Kikuyo (Correa, 2007) trabajando con una metodología similar, se observó que la liberación ruminal del Mg presente en el forraje era inicialmente rápida, 70 - 80% en las primeras dos horas, para aumentar hasta las 24 horas sin que mostrará un incremento adicional durante las siguientes 48 horas de incubación, un patrón de comportamiento similar al observado con el MgSO₄ y el MgCl₂, en el presente estudio aunque de menor magnitud. Sin embargo, la solubilidad del Mg contenido en sales puras es más extensa y rápida que la reportada en el Mg contenido en forrajes, teniendo en cuenta que la naturaleza inorgánica de las sales puras influye en la solubilidad. Cole (2000) por otro lado, observó luego de 30 minutos del consumo de forrajes tiernos y concentrados, un incremento significativo de la concentración ruminal de Mg.

Normalmente la concentración de Mg en el fluido ruminal puede cambiar rápidamente a lo largo del día, dependiendo del suministro dietario del mineral (Scandolo *et al.*, 2007). Por ello, al contar con una liberación rápida y alta de Mg en el rumen como sucede con el MgCl₂ y el MgSO₄, se puede esperar que su función como estimulante en la actividad microbiana (Galbraith *et al.*, 1971; Rusell & Dombrowski, 1980), bufferizante (Rauch *et al.*, 2012; Erdman *et al.*, 1982, 1988; Xin *et al.*, 1989) y como cofactor en la actividad de algunas enzimas (Faixová & Faix,

2002; Faixová *et al.*, 2006) sea rápida luego de su consumo y que no se mantenga en el tiempo.

Como se pudo establecer, las fuentes de Mg evaluadas en este trabajo presentaron patrones de DMS diferentes indicando que su papel en el suministro de este mineral es igualmente distinto y que, por lo tanto, una mezcla de estas fuentes podría tener un efecto más positivo sobre el crecimiento microbiano y el cubrimiento de las necesidades del animal hospedero que una sola fuente de lenta, media o alta disponibilidad. Este sería un enfoque similar al que se ha propuesto para carbohidratos y proteínas en la elaboración de suplementos para rumiantes (Rotger *et al.*, 2006; Cole & Todd 2007; Hall & Huntington, 2007). Bajo este enfoque y haciendo parte de una mezcla en la que también estén presentes carbohidratos con diferente capacidad de fermentación, los cambios en el pH, ocasionados por la degradación de los carbohidratos y las proteínas podrían favorecer tanto la liberación del Mg de estas fuentes como su absorción ruminal.

Conclusiones

La desaparición de la materia seca fue afectada por el tamaño del poro y por la interacción entre el tiempo de incubación y la fuente de Mg evaluada (Ver Tabla 2). A pesar de que el tamaño de partícula de todas las fuentes inorgánicas fue mucho mayor al de los tamaños de poro evaluados, la DMS de las muestras de las bolsas de nailon no fue afectada por el tamaño de partícula si no, por el tamaño del poro de las bolsas y por la solubilidad de la fuente en el medio ruminal.

La DMS registrada en las bolsas de 25µm fue inferior a la observada en las de 50 µm siendo un efecto esperado y reportado previamente en la literatura. Para algunas fuentes minerales se observó alta variabilidad en el tamaño de partícula, de tal manera que una proporción de partículas con tamaño inferior pudieron escapar por los poros y otras redujeron su tamaño por efecto de la motilidad y la humedad ruminal. La relación entre la cantidad de muestra y el área efectiva de la bolsa fue exactamente la misma en las bolsas Brioni® y las ANKOM®.

El MgO presentó la menor DMS a las 24 horas, registrando incluso valores negativos que estarían asociados con el tamaño de partícula, el pH ruminal de los animales experimentales y el bajo nivel de solubilidad en medio acuoso de esta sal. De igual forma, las propiedades inherentes de los óxidos de metales divalentes y su relación con la posible formación de quelatos, pudo influenciar la DMS con valores negativos.

La consistencia del MgCO₃, el nivel medio de solubilidad y el pH ruminal causaron que esta fuente mineral haya alcanzado una DMS final menor a 50%.

La DMS en todos los tiempos evaluados para el MgCl₂ y el MgSO₄ fue similar. No obstante, la DMS de estas dos fuentes fue superior a las demás sales de Mg durante los tres tiempos de incubación. Es posible que el lavado previo con agua de grifo y la naturaleza higroscópica de estas dos fuentes, hayan generado un valor de DMS superior en el primer tiempo de incubación.

La utilización de MgCl₂ o de MgSO₄ como fuentes inorgánicas en dietas para rumiantes garantiza una alta y rápida liberación de Mg debido a la mayor solubilidad de estas sales y por tanto, mayor disponibilidad para los microorganismos y la mucosa ruminal. Sin embargo, a nivel práctico es probable que la mezcla de fuentes que presenten un patrón acelerado de desaparición ruminal, que pueda ser más apropiada para cubrir las necesidades de las poblaciones microbianas y del animal hospedero.

Agradecimientos

Los autores agradecen al zootecnista Santiago Jaramillo de la Universidad Nacional sede Medellín, al estudiante de Maestría César Orrego y a la Ingeniera Carol Lizzeth Martínez por su colaboración en el trabajo de campo, la toma de datos y el procesamiento de las muestras. Al laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín por su colaboración con las instalaciones y los equipos necesarios para el desarrollo de este experimento. Al centro de producción de Paysandú, en especial a Neftalí Ortiz por el apoyo logístico y la colaboración con los animales experimentales.

Literatura Citada

1. Adediji, O. & Suttle, N.F. (1999). Influence of diet type, potassium and animal species on the absorption of magnesium by ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society* 58, 31A.
2. Aikawa, J. K. (1981). Magnesium. Its biological significance. CRC Press, Boca Raton, FL.
3. Askew, E., Benson, J., Thomas, J. & Emery, R. (1971). Metabolism of Fatty Acids by Mammary Glands of Cows Fed Normal, Restricted Roughage, or Magnesium Oxide Supplemented Rations. *Journal of Dairy Science, Volume 54*, Issue 6, June 1971, Pages 854–862
4. Atteh, J. O. & Leeson, S. (1983). Influence of increasing dietary calcium and magnesium content of the drinking water on performance and bone and plasma minerals of broiler chickens. *Poultry Sci* 62:869
5. Atteh, J. O. & Leeson, S. (1986). Influence of increasing dietary calcium and magnesium levels on performance mineral metabolism and egg mineral content of laying hens. *Poultry Sci* 64:1261–1268.
6. Bargo, F., Muller, L. D., Delahoy, J. E. & Cassidy, T. W. (2002) Performance of high producing cows with tree different feeding systems combining pasture or total mixed rations. *Journal of Dairy Science*. 85(11): 2948-2963. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(02\)74381-6/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(02)74381-6/pdf).
7. Capen, C. & Rosol, T. (1989). Calcium-regulating hormones and diseases of abnormal mineral metabolism. En KANEKO JJ. *Clinical biochemistry of domestic animals* 4th ed., Academic Press., San Diego, USA.
8. Care, A. Brown, R. & Farrar, A. (1984). Magnesium absorption from the digestive tract of sheep. July 1, 1984 *Experimental Physiology*, 69, 577-587.
9. Ceballos, A. Noguera, R., Bolívar, D. & Posada, S. (2008). Comparación de las técnicas *in situ* de los sacos de nylon e *in vitro* (DaisyII) para estimar la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. *Livestock Research for Rural Development* 20 (7).
10. Chemisquy, M. A. *et al.* (2010). Phylogenetic studies favour the unification of Pennisetum, Cenchrus and Odonatelytrum (Poaceae): a combined nuclear, plastid and morphological analysis, and nomenclatural combinations. *Cenchrus. Ann. Bot. (Oxford)* 106:107–130
11. Church, D. E. (1988). El rumiante, fisiología digestiva y nutrición. Editorial Acribia SA P, Cap. 8; 168-172, Cap. 3; 283
12. Cole, N. & Todd, R. (2007). Opportunities to enhance performance and efficiency through nutrient synchrony in concentrate-fed ruminants. *J Anim Sci April vol. 86* no. 14 suppl E318-E333.
13. 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.
14. Cook, N., Nordlund, K. & Oetzel G. (2004). Environmental Influences on Claw Horn Lesions Associated with Laminitis and Subacute Ruminal Acidosis in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science, Volume 87*, Supplement, July 2004, Pages E36–E46.
15. Contreras, P. Wittwer, F. & Ferrando, A. (1992). Control de un brote de tetania hipomagnesémica en una lechería mediante el empleo de una suplementación mineral magnesémica. *Arch. Med. Vet.* 24: 93-98.
16. Correa, H. J. (2007). Cinética de la liberación ruminal de macrominerales en pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) cosechado a dos edades de rebrote. *Livestock Research for Rural Development. Volume 18*, Article # 31
17. Correa, H.J, Pabón, M. & Carulla, J.E. (2008). Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I - Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal *Livestock Research for Rural Development* 20 (4).
18. Correa, H., Rojas, H. Ceron, J. Pabon, M. & Carulla, J. (2011). MUN: herramienta para mejorar el contenido de proteína en la leche. VII seminario Competitividad en carne y leche, Cooperativa Colanta.
19. De Baat, W.C. (1926). *Recl. Trav. Chim. Pays-Bas, Vol 45*, pp 237.
20. Drackley, J. K., Dann, H. M., Douglas, G. N., Janovick, N. A., Litherland, N. B., Underwood, J. P. & Looor. & J. J. (2005). Physiological and pathological adaptations in dairy cows that may increase susceptibility to periparturient diseases and disorders. *Ital. J. Anim. Sci.* 4:323-344.
21. Duque, M. (2013). Efecto de la suplementación con ácidos grasos protegidos ricos en n-3 y n-6 sobre los parámetros productivos, reproductivos y balance energético en vacas holstein. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10495/1637>
22. Emanuele, S. M., Staples, C. R. & Wilcox, C. J. (1991). Extent and site of mineral release from six forage species incubated in mobile dacron bags. *Journal of Animal Science*. 69: 801. <http://jas.fass.org/cgi/reprint/69/2/801>
23. Emery, S., Brown, L. & Bell, J. (1965). Correlation of Milk Fat with Dietary and Metabolic Factors in Cows Fed Restricted-Roughage Rations Supplemented with Magnesium Oxide or Sodium Bicarbonate. *Journal of Dairy Science, Volume 48*, Issue 12, December. Pages 1647–1651.
24. Erdman, R. (1980). Dietary Buffering Requirements of the Lactating Dairy Cow: A Review. *J Dairy Sci* 71: 3246—3266.
25. Erdman, R.A., Hemken, R.W. & Bull, L.S. (1982). Dietary Sodium Bicarbonate and Magnesium Oxide for Early Postpartum Lactating Dairy Cows: Effects on Production, Acid-Base Metabolism, and Digestion. *J Dairy Sci* 65:712-731
26. Erdman, R. A., R. L. Botts, R. W. Hemken, & Bull, L. S. (1980). Effect of dietary sodium bicarbonate and magnesium oxide on production and physiology in early lactation. *J. Dairy Sci.* 63:923– 930.
27. Faixová, Z. & Faix, F. (2002). Influence of metal ions on ruminal enzyme activities *Acta vet. Brno*, 71: 451–455
28. Faixová, Zita, Faix, Maková, Váczi & Prosbová. (2006). Effect of divalent ions on ruminal enzyme activities in sheep. *Acta veterinaria (beograd)*, V56(1), 17-23.

29. FEDNA. (2012). Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal. Recuperado de: <http://www1.etsia.upm.es/fedna/tablas.htm#subc>
30. Field, A.C. & Munro, C.S.M. (1977). The effect of site and quantity on the extent of absorption of Mg infused into the gastro-intestinal tract of sheep. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 89, 365–371.
31. Fontenot, J., Wise, M. & Webb, K. (1973). Inter-relationships of potassium, nitrogen and magnesium in ruminants. *Fed. Proc.* 32: 1925 – 1928.
32. Galbraith, H., Miller, T. B., Paton, A. M. & Thompson, J. K. 1971. Antibacterial Activity of Long Chain Fatty Acids and the Reversal with Calcium, Magnesium, Ergocalciferol and Cholesterol. *Journal of Applied Microbiology*, 34: 803–813. doi: 10.1111/j.1365-2672.1971.tb01019.x
33. García, A. & Kalscheur, K. (2006). Tamaño de partícula y Fibra efectiva en la dieta de las vacas lecheras College of Agriculture and Biological Sciences. South Dakota State University. USA. p 5. Recuperado de: <http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/ExEx4033S.pdf>.
34. Giraldo, L. Gutierrez, L. & Rua, C. (2007). Comparación de dos técnicas in vitro e in situ para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. *Rev Col Cienc Pec* 20: 269-279.
35. Goering, H.K. & VanSoest, P.J. (1970). Forage Fiber Analyses (Apparatus, Reagents, Procedures, and Some Applications). USDA Agricultural Research Service. Agricultural Handbook No. 379
36. Goff, J. (2006). Macromineral physiology and application to the feeding of the dairy cow for prevention of milk fever and other periparturient mineral disorders. *Animal Feed Science and Technology* 126, 237–257
37. Gojon, H., Siqueiros, D. & Contreras, H. (1998). Digestibilidad ruminal y degradabilidad in situ de macrocystis pirifera y sargassum spp. en ganado bovino. *Ciencias Marinas*, vol. 24, núm. 4, diciembre, pp. 463-481, Universidad Autónoma de Baja California México
38. Greene, L. W., Webb, K. E. & Fontenot, J. P. (1983). Effect of Potassium Level on Site of Absorption of Magnesium and Other Macroelements in Sheep. *J. Anim. Sci.* 56:1214-1221. doi:10.2527/jas1983.5651214x
39. Hall, M. & Huntington, G. (2008). Nutrient synchrony: Sound in theory, elusive in practice. *J Anim Sci April* vol. 86 no. 14 suppl E287-E292.
40. Hoffsis, G., Saint-Jean, G. & Rings, D. (1989). Hipomagnesemia in ruminants. *Cont. Educ.* 11: 519-523.
41. Holden, L. A., Muller, L. D. & Fales, S. L. (1994). Estimation of intake in high producing Holstein cows grazing grass pasture. *J. Dairy Sci.* 77:2332–2340.
42. Holdridge, L. (1996). Ecología basada en zonas de vida. San José de Costa Rica: Instituto interamericano de cooperación para la agricultura.
43. Horn, J. & Smith, R. (1978). Absorption of magnesium by young steer. *Br. J. Nutr.* 40:473-484. Recuperado de: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd18/2/corr18031.htm>.
44. Hutjens, M. (1991). Feed Additives: Which, When, and Why. *livestocktrail.illinois.edu*
45. Hvelplund, T. & Weisbjerg, M. (2000). In situ Technique for the estimation of protein degradability and post-ruminal availability, Chapter 12 en Forage Evaluation in Ruminant Nutrition CAB International. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=78WlRCCJW-MC&oi=fnd&pg=PA233&dq=Hvelplund+%26+Weisbjerg+2000+pore+size&ots=giloh9EPWo&sig=bS5cODOh3BCpPYIHCSnKG2CM9WY>
46. Jesse, B. W., Thomas, J. W. & Emery, R. S. (1981). Availability of magnesium from magnesium oxide particles of differing sizes and surfaces. *J. Dairy Sci.* 64:197.
47. Kohn, R. A., Dinneen, M. M. & Russek-Cohen, E. (2005). Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goats, horses, pigs, and rats. *J. Anim. Sci.* 83:879–889
48. Lidberg, J. (1984). Nitrogen metabolism in sheep. 2. A comparison between rumen degradability of nitrogen an organic matter in sacco and in vivo in sheep fed rations and various protein supplements. *Swedish journal of agricultural research.* 14:37
49. Lindberg, J. E., & Knutsson, P. G. (1981). Effect of bag pore size on the loss of particulate matter and on the degradation of cell wall fibre. *Agric. Environ.* 6: 171.
50. Littledike, E., Stuedeman, J., Wilkinson, S. & Horst, R. (1983). Grass tetany syndrome. Pages 173–195 in Role of Magnesium in Animal Nutrition. J. Fontenot, G. Bunce, K. Webb, and V. Allen, eds. John Lee Pratt Annual Nutrition program. Blacksburg, VA.
51. Lough, D., Beede, D. & Wilcox, C. (1990). Lactational Responses to and In Vitro Ruminant Solubility of Magnesium Oxide or Magnesium Chelate. *Journal of Dairy Science, Volume 73, Issue 2, February 1990, Pages 413–424*
52. MADR Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2010). Ganadería bovina para la producción de carne en Colombia. Recuperado de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/sipsa/Bol_Insumos_feb_2016.pdf
53. Madsen, J. & Hvelplund, T. (1994). Prediction of in situ protein degradability in the rumen: results of a European ringtest. *Livestock Production Science* 39, 201–212.
54. MAFF (1992). Feed composition – UK Tables of Feed Composition and Nutritive Value for Ruminants,
55. Martens, H. & Blume, I. (1986). Effect of intraruminal sodium and potassium concentrations and of the transmural potential difference on magnesium absorption from the temporarily isolated rumen of sheep. *Quarterly Journal of Experimental Physiology* 71, 409–415.
56. Masuyama, R., Uehara, M., Suzuki, K. & Goto, S. (1995). The action of magnesium in reducing renal calcification in rats receiving high phosphorus supplemented diet. *Nutrition Research, Volume 15, Issue 11, 1673-1682.*
57. McDowell, L.R. (1996). Feeding minerals to cattle on pasture. *Animal Feed Science Technology* 60, 247-27 1
58. Minson, D.J. (1990). Magnesium. In: Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press, Sydney, pp. 265–290.
59. Morgan, S. (2011). Solubility Rules En: Analytical Chemistry. University of South Carolina. Recuperado de: <http://www.chem.sc.edu/faculty/morgan/resources/solubility/>
60. Moseley, G. & Griffiths, D. (1984). The mineral metabolism of sheep fed high and low magnesium selections of Italian ryegrass. *Grass Forages science*, 39:105.

61. National Library of Medicine - Medical Subject Headings 2006
62. National Research Council (NRC). (2001). The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition; National Academy Press, Washington D. C. Cap 9, 12, 15, 1.
63. NIST. (2011). National Institute of standards and technology. Standard reference database.
64. Nocek, J. E. (1988). In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. *Journal of Dairy Science* 71 (8): 2051 – 2069
65. Nocek, J. E. (1985). Evaluation of specific variables affecting in situ estimates of ruminal dry matter and protein digestion. *J. Anim. Sci.* 60:1347.
66. Ørskov, E.R., Hovell, F.D. & Mould, F. (1980). The use of nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Productivity* 195-213.
67. Ortega, M. & Carranco, M. 1993. Factores que afectan la digestibilidad in situ de 10s alimentos en el rumen. *Vet Mex.* 24 (1) 1993.
68. Panella-Riera, N., Velarde, A., Dalmau A. E., Fàbrega, M., Font i Furnols, M., Gispert, J., Soler, J., Tibau, M.A. & Oliver, M. (2009). *Livestock Science*, Volume 124, Issues 1–3, 277-287.
69. Patnaik, P. (2003). Handbook of Inorganic Chemicals. New York: McGraw Hill.
70. Peña, G., Añez, B. & Mario, D. (2007). Respuesta de la cebolla (*Allium cepa* L.) a la aplicación de azufre, magnesio, cinc y boro en suelos alcalinos. *Revista Forestal Venezolana* - Número 043 - Vol 002.
71. Quin, J.I., Watli van cler, J.G. & Mybiirgli, S. (1938). Studies on the alimentary tract of Merino sheep in South Africa. 4. Description of experimental technique. *Onderstepoort J. vet. Sn. Anim. Znd.*, 11: 341-360
72. Rauch, R., Robinson, P. & Erasmus, L. (2012). Effects of sodium bicarbonate and calcium magnesium carbonate supplementation on performance of high producing dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 177, 180– 193
73. Reference Tables for Physical Setting/Chemistry. (2011). Edition. Kentucky University. Recuperado de: <http://www.kentchemistry.com/newRT.pdf>
74. Reis, R. B. & Combs, D. K. (2000). Effects of increasing levels of grain supplementation on rumen environment and lactation *Journal of Dairy Science* Vol. 84, No. 2, 2001 performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *J. Dairy Sci.* 83:2889–2899.
75. Relling A. & Mattioli G. (2003). Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Actualización. Ohio State University, Facultad de ciencias veterinarias, universidad mar del plata.
76. Rotger, A., Ferret, A., Calsamiglia S. & Manteca, X. (2006). Effects of nonstructural carbohydrates and protein sources on intake, apparent total tract digestibility, and ruminal metabolism in vivo and in vitro with high-concentrate beef cattle diets. *J Anim Sci*, 84:1188-1196.
77. Royal Society of chemistry - Chemspider. (2006). Recuperado de: <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.22987.html>
78. Russell, J.B. & Dombrowski, D.B. (1980). Effect of pH on the efficiency of growth by pure cultures of rumen bacteria in continuous culture. *Appl Envir Microbiol* 39, 604-610.
79. Scandolo D, Noro D, Bohmwald H., Contreras P. & Wittwer. (2007). Variación diaria del pH y de las concentraciones de magnesio y potasio del fluido ruminal en vacas lecheras a pastoreo. *Arch. Med. Vet.* 39, Nº 2.
80. Schaefer, D., Wheeler, L. Noller C., Keyser, R. & White, J. (1982). Neutralization of Acid in the Rumen by Magnesium Oxide and Magnesium Carbonate. *Journal of Dairy Science* Vol. 65, No. 5.
81. Schonewille, J. Everts, H., Jittakhot, S. & Beynen, A. (2007); Quantitative Prediction of Magnesium Absorption in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 91:271–278
82. Schonewille, J., Van't Klooster, A., Wouterse, H. & Beynen, A. (1998). 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
83. Schonewille, J. (2013). Magnesium in dairy cow nutrition: an overview. *Plant and Soil* July 2013, Volume 368, Issue 1-2, 167-178
84. Tomas, E. & Potter, B. (1976). The site of magnesium absorption from ruminal stomach. 1976. *Br. J. Nutr.* 36: 37-45.
85. Uden, P. & Van Soest, P. (1984). Investigation of the In situ bag technique and a comparison of the fermentation in heifers sheep, ponies and rabbits. *Journal of Animal Science* 58: 213
86. Underwood, E. & Suttle, N. (1999). The mineral nutrition of livestock 3rd edition. CABI International.
87. Van Eys, J. E. and R L. Reid. (1987). Ruminal solubility of nitrogen and minerals from fescue and fescue clover hay. *J. Anim. Sci.* 62, 1101.
88. Van Hellen R. & Ellis W. (1977). Sample container porosities for rumen in situ studies. *Journal of Animal Science* 44:141.
89. Vanhatalo, A. (1995). Assessment of intestinal feed nitrogen digestibility in ruminants by the mobile-bag method. Dissertation, Agricultural Research Centre of Finland, Institute of Animal Production, 124 pp.
90. Wittwer, F., Contreras, P., Klein, R. & Bohmwald, T. (1995). Efecto de la administración oral de óxido de magnesio y sulfato de magnesio en vacas con hipomagnesemia inducida. *Arch. Med. Vet.* XXVII, Nº1.
91. Xin, Z., Tucker, W. & Hemken, R. (1989). Effect of Reactivity Rate 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

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

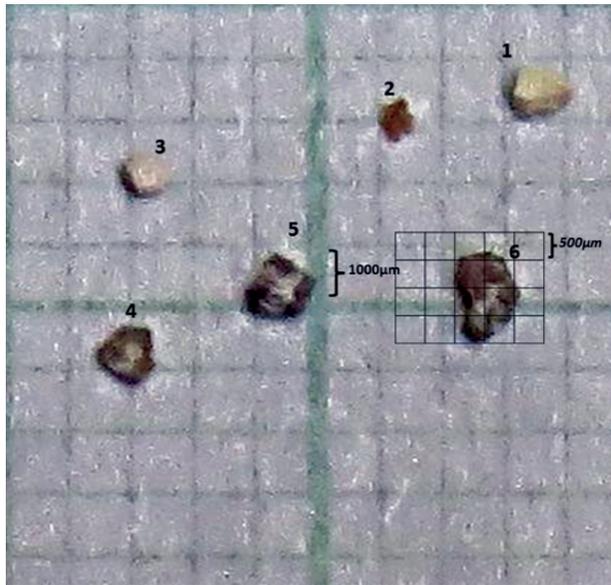
Recibido: julio 26 de 2016

Aceptado: agosto 18 de 2016

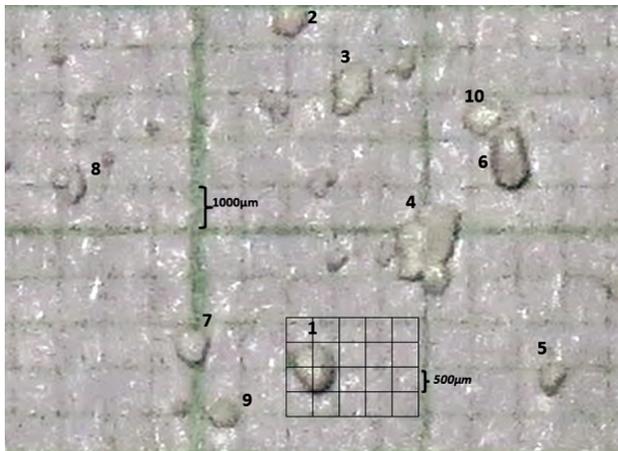
ANEXOS

Muestras de partícula para la determinación del tamaño de partícula de las fuentes minerales utilizadas en el experimento, medidas sobre papel milimetrado con divisiones de 1mm (1000 μ m)

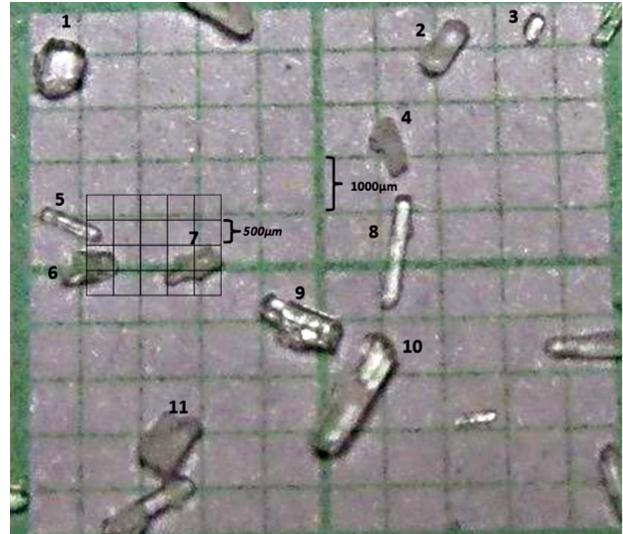
1 Tamaño de Partícula MgO



2 Tamaño de partícula MgCO₃



3 Tamaño de partícula MgSO₄



4 Tamaño de partícula MgCl₂

