ITEA (2003), Vol. 99V N.° 2, 196-207

INFLUENCIA DE LA ENMIENDA CÁLCICO-MAGNÉSICA EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE PRADERA NATURAL DE MONTAÑA CON SUELOS ÁCIDOS

J.R. Gispert Folch

Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA),
Centro de "Mas Bové", Apdo. 415
43280 Reus, Tarragona, España
e-mail: joanramon.gispert@irta.es

RESUMEN

El análisis de los resultados del estudio de campo, desarrollado en Ained de Cardós (Lérida) durante el período 1992-94 en las condiciones edafo-climáticas del lugar, permite observar los favorables resultados de la aplicación de dolomita (32-36% OCa + 16-20% OMg) en un suelo de reacción ácida (pH < 6). La aportación de cationes calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), mediante dolomita, genera una respuesta significativa respecto al incremento de biomasa y materia seca por hectárea en la pradera natural. Debido a ello, también se produce un aumento del contenido de proteína digestible, calcio y magnesio globales por unidad de superficie. No se observa, en cambio, un incremento cualitativo (% s.mat.seca) de estos elementos en el forraje verde.

La dosis de 1250 Kg/ha de dolomita y los equilibrios Ca^{2+}/ Mg^{2+} (meq/ 100 g) = 7,72 y K^{+}/ Mg^{2+} (meq/ 100 g) = 1,00 generan la mejor respuesta sobre parámetros cuantitativos de la pradera. El estudio también permite observar una moderada correlación, no significativa, entre los contenidos crecientes por hectárea en calcio y magnesio del suelo y la capacidad extractiva de la pradera en la misma superficie.

Palabras clave: Calcio, Magnesio, Pradera natural, Dolomita, Suelo ácido.

SUMMARY

INFLUENCE OF THE EMENDATION OF CALCIUM AND MAGNESIUM IN THE YIELD AND QUALITY OF THE MOUNTAIN NATURAL MEADOW WITH ACID SOILS

The results of the trial, developed in Ained de Cardós (Lérida) during the period 1992-94 for the edafo- climatic conditions of the site, shows the favourable results of the application of dolomite (32-36% OCa + 16-20% OMg) on acid soil (pH < 6). The application,containing Calcium (Ca^{2+}) and Magnesium (Mg^{2+}) cations, from dolomite generates a significant response increasing biomass and dry matter per hectare in the natural meadow. It's also observed a higher content of total digestible protein, calcium and magnesium for surface area. However, it was not observed a quality increment (% a.dry matter) of these elements in the green forage.

The dose of 1250 Kg/ha of dolomite and the equilibrium Ca^{2+}/ Mg^{2+} (meq/ 100 g) = 7.72 and K^{+}/ Mg^{2+} (meq/ 100 g) = 1.00 generate the best result on the quantitative parameters of the meadow. The study, also, allows to observe the moderate, not signifi-

cant, correlation between the increasing contents, by hectare, of Calcium and Magnesium in the soil and the extraction capacity of the meadow in the same surface.

Key words: Calcium, Magnesium, Natural meadow, Dolomite, Acid soil.

Introducción

Amplia información ha sido publicada sobre el comportamiento del suelo y la fertilización con N, P y K. Sin embargo nutrientes esenciales como el Ca y el Mg han recibido relativamente poca atención.

El calcio y el magnesio tienen un papel importante en el metabolismo de las plantas y son los cationes dominantes, intercambiables, en la mayoría de suelos de las regiones templadas (CURTIN *et al.*, 1998). El calcio es esencial para el desarrollo radicular y la absorción de los nutrientes, también es un constituyente que da estabilidad a la pared celular y membrana plasmática. Actúa en los procesos de crecimiento y división celular, polimerización de las proteínas y como regulador enzimático. El magnesio, a su vez, además de su función como componente de la clorofila, se halla asociado a las proteínas vegetales, actúa como activador de muchos enzimas y es necesario en otros procesos fisiológicos, alguno tan importante como la producción de azúcares y almidón (GAMBOA, 1988). La presencia de este mineral hace que aumente la resistencia de las plantas al frío y facilita la absorción y translocación del fósforo.

Estudios de (MARSCHNER, 1986; MENGEL y KIRKBY, 1987) referenciados por ROBINSON *et al.* (1989), indican que la absorción del Magnesio (Mg^{2+}) por las plantas es reducida en suelos ácidos (pH < 5,5) y por altas concentraciones de calcio (Ca^{2+}) o/y potasio (K^{+}). Así pues, cuando el Mg^{2+} entra en la raíz de la planta ha de ser transportado para ser efectivo y tanto el K^{+} como el Ca^{2+} pueden actuar para restringir este transporte hacia los brotes (HANNAWAY *et al.*, 1984; OHNO y GRUNES, 1985) referenciado en ROBINSON *et al.* (1989). Hay que tener en cuenta, por tanto, además de la cantidad aportada, un determinado equilibrio entre las formas asimilables de los elementos potencialmente antagónicos, si se quiere evitar su bloqueo. Algunos estudios indican equilibrios de Ca^{2+}/ Mg^{2+} (meq/100g) = 5-10 y K^{+}/Mg^{2+} (meq/100g) = < 1,0 (LÓPEZ y LÓPEZ, 1990).

Muchos de los suelos de las áreas de pasto de alta montaña presentan bajos contenidos de Ca^{2+} por las condiciones edafo-climáticas favorables al drenaje (suelos de pizarra, pluviometría alta o riegos excesivos). Estos suelos requieren enmiendas calizas para corregir la acidez y elevar el valor del pH alrededor de 6 para una correcta producción de pasto (EDMEADES *et al.*, 1985; VILELLA y HARIDASAN, 1994) referenciado en BESGA *et al.* (1997). Al aumentar el pH del suelo puede aumentar la absorción del Mg^{2+} por las plantas (CHRISTENSON *et al.* 1973; RENGEL, 1988), según indica ROBINSON *et al.* (1989). El encalado con productos que contienen magnesio, además de calcio, como la dolomita aumenta el pH del suelo y suministra magnesio adicional que es disponible para las plantas (RODRÍGUEZ *et al.*, 1994).

La disminución de la acidez crea condiciones favorables para el desarrollo de las leguminosas, resultando un forraje con más alto contenido de Ca^{2+} y Mg^{2+} (KOPEC y MAZUR, 1999).

Uno de los principales alimentos de volumen en la nutrición del ganado bovino en las explotaciones extensivas o semiintensi-

vas es la pradera natural, la cual no siempre presenta contenidos suficientes y equilibrados de Mg^{2+} y Ca^{2+} en la ración alimenticia. Esto hace que, a veces, se puedan presentar trastornos en el ganado originados por una nutrición desequilibrada.

La literatura, continuamente, reitera el hecho que el trastorno metabólico conocido por tetania o hipomagnesemia es un complejo metabólico desordenado de los animales rumiantes que resulta, entre otros factores, de una deficiente disponibilidad de magnesio en la dieta. Sin embargo, una relación causa/ efecto nunca ha sido establecida y se especula que el bajo contenido de Mg^{2+} en la hierba puede ser un factor importante en el desarrollo de tal condición (MCNAUGHT *et al.*, 1973; STEVENS y MCALLISTER, 1985) referenciado por MORGAN (1993).

Algunas experiencias previas sobre la dinámica suelo/planta de estos dos elementos indican, por una parte, la baja eficiencia del Mg en la pradera respecto a su disponibilidad en el suelo y, por otra parte, que las aplicaciones de Mg aparecen ineficaces para aumentar su contenido en la hierba (MORGAN, 1993). Así, pues, diversos autores (VIGUERA y OLEA, 1999), han llegado a definir los contenidos mínimos aconsejables de los bioelementos Ca^{2+} y Mg^{2+} en el pasto para rumiantes que evitaran su carencia alimentaria, según se indica en el cuadro 1.

Las alteraciones fisiológicas asociadas a la carencia o desequilibrio cálcico-magnésico son factores importantes a considerar en la producción y calidad del forraje, así como en la economía de las explotaciones extensivas o semiintensivas de ganado bovino.

En el presente trabajo se estudian los posibles efectos cuantitativos y cualitativos en la pradera natural por la aportación de una enmienda cálcico/ magnésica a base de dolomita. También se analizan algunas correlaciones entre elementos y/o factores de calidad que permite caracterizar la influencia de la enmienda respecto a los mismos. La dinámica suelo/ planta del Ca^{2+} y Mg^{2+} es estudiada, a su vez, para averiguar su nivel de eficiencia.

Material y métodos

El estudio de campo se llevó a cabo durante los años 1992, 1993 y 1994 sobre un suelo franco-limoso, caracterizado edafológicamente como *Entic Haploxerolls,* según la clasificación de suelos Soil Taxonomy System, situado en Ainet de Cardós (Lérida), al norte de Cataluña (42,237° Latitud, 0,959°

Cuadro 1. Valores medios elegidos como niveles mínimos de Ca^{2+} y Mg^{2+} en la pradera para rumiantes, según diversos autores (g/ Kg mat.seca)
Table 1. Average values selected as minimum levels of Ca^{2+} and Mg^{2+} in the meadow for the ruminants, according to several authors (g/Kg dry matter)

Elementos	ARC (1968)	Bergner (1970)	Gueguen (1972)
Calcio	3,4	3	4
Magnesio	0,7	1-3	1,5

Longitud, 513 m sobre nivel del mar). Las características edafológicas, físicas y químicas del suelo fueron definidas a partir de la descripción de los diferentes horizontes de una calicata y el muestreo aleatorizado con barrena. El suelo, situado en un abancalamiento de una llanura aluvial, presentaba un abundante contenido de materia orgánica (4-5%) que iba decreciendo en profundidad. Por el contrario, la escasa proporción superficial de elementos gruesos aumentaba en el subsuelo. La capacidad de retención de agua disponible (CRAD) era de 262 mm/m. Desde el punto de vista químico era un suelo de reacción ácida con un pH (agua susp.1:2,5) de 5,6, una alta concentración de N total (Kjeldahl) del 0,26%, muy bajo P extraíble (Olsen, $NaHCO_3$ 0,5 M) de 3,8 ppm y bajo contenido de potasio intercambiable (extr. NH_4AcO 1N) de 30,5 ppm. El elemento secundario Ca^{2+} (extr. NH_4AcO 1N) presentaba un bajo contenido de 4,75 meq/100g y el Mg^{2+} (extr. NH_4AcO 1N) muy bajo, con 0,26 meq/100g.

En la figura 1, se observan los datos climáticos correspondientes al período considerado, obtenidos en el observatorio HECSA ubicado en la misma área experimental. La pluviometría media anual del período considerado fue de 550 mm. La evapotranspiración media de referencia (ETo), en el mismo período, de 871 mm. Las temperaturas medias alcanzadas en cada estación fueron de 13,5° C (primavera), 19,5°C (verano), 10,5°C (otoño) y 8,5°C (invierno).

La flora presente en la pradera fue definida como una comunidad densa de prado natural, 100% herbáceo y constituido por la siguiente biodiversidad de especies: Raygrass (*Lolium multiflorum*), Dactilo (*Dactylis glomerata*), Veza (*Vicia sativa*) y Trébol (*Trifolium médium*). También se observó la presencia de las siguientes especies adventicias: Lengua de buey (*Rumex hidrolapathum*), Bolsa de pastor (*Capsella bursa pastoris*), Sanguisorba (*Sanguisorba officinalis*), Podagraria (*Aegopodium podagraria*), Abre

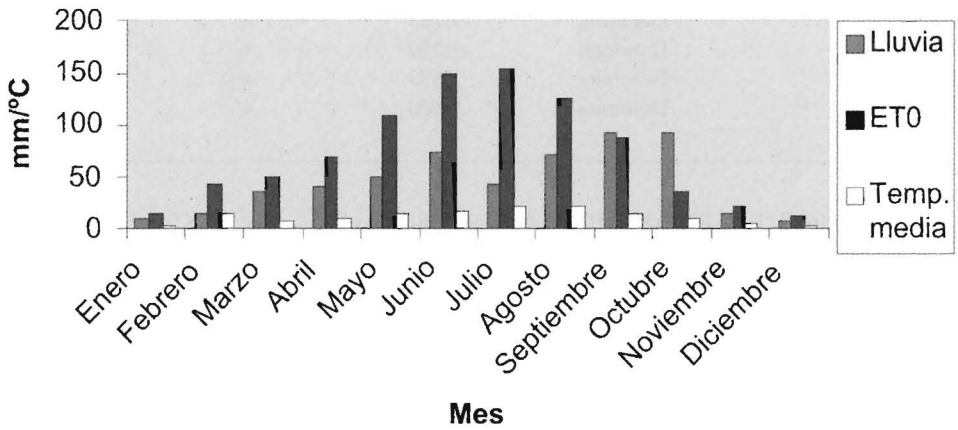


Figura 1. Pluviometría media mensual (mm), evapotranspiración de referencia (ETo) en mm/mes y temperatura media mensual (°C), durante el período 1992-94.

Figure 1. Average monthly rainfall (mm), reference evapotranspiration (ETo) in mm/month and average monthly temperature (°C), during the period 1992-94.

puños (*Ranunculus sardous*) y Avena loca (*Avena fatua*).

El diseño de la parcela experimental, que ocupó una superficie total de 900 m^2 (30 x 30) incluidos pasillos de servicio, se estableció mediante 24 parcelas elementales de 30 m^2 (6 x 5) cada una y 12 m^2 (3 x 4) de superficie de control. Para el análisis de los datos se consideró un modelo estadístico de bloques al azar con 4 repeticiones y 6 tratamientos (T_0, T_1, T_2, T_3, T_4 y T_5) por repetición. La separación de medias se hizo mediante un test de Duncan a un nivel de significación $\alpha = 0.05$

El cuadro 2 indica las características de los tratamientos considerados en el estudio de campo y el cuadro 3 los equilibrios entre los elementos potencialmente antagónicos en el suelo (Ca^{2+}, Mg^{2+} y K^+) en función de los distintos tratamientos o la dosis de dolomita aplicada.

Al inicio del ensayo en 1992, todas las parcelas elementales recibieron una fertilización base común de 150UF/ha (N)-100 UF/ha (P_2O_5)-150 UF/ha (K_2O). Durante 1993 y 1994 se aplicaron 100 UF/ha (N), en cobertera, de forma fraccionada y en 4 aportaciones del 25% (marzo, abril, mayo y septiembre).

No se hizo un seguimiento riguroso de la dosis ni de la frecuencia del riego que se aplicó, como es habitual en la zona, desde el mes de Mayo hasta Septiembre. Se estima

Cuadro 2. Aportación de dolomita (32-36% OCa +16-20% OMg) al inicio del estudio (1992) en los tratamientos considerados

Table 2. Dolomite application (32-36% OCa + 16-20% OMg) at the beginning of the study (1992) in the considered treatments

Tratamiento	Producto	Kg/ha	N.º parcelas	Kg/parcela
T_0	Dolomita	–	4	–
T_1	Dolomita	1.000	4	3,00
T_2	Dolomita	1.125	4	3,37
T_3	Dolomita	1.250	4	3,75
T_4	Dolomita	1.375	4	4,12
T_5	Dolomita	1.500	4	4,50

Cuadro 3. Equilibrio previsto entre los elementos Ca^{2+}, Mg^{2+} y K^+ del suelo

Table 3. Equilibrium between the elements Ca^{2+}, Mg^{2+} and K^+ in the soil

Tratamiento	Ca^{2+} / Mg^{2+} (meq/100 g)	K^+ / Mg^{2+} (meq/100g)
T_0	18,26	0,95
T_1	8,54	1,25
T_2	8,10	1,11
T_3	7,72	1,00
T_4	7,27	0,90
T_5	6,97	0,83

que durante estos meses se aportaron 6-7 riegos cada año, por inundación, con un caudal característico aproximado de 1 l/s/ha.

Se llevaron a cabo una serie de controles que genéricamente pueden ser estructurados como: Parámetros cuantitativos, cualitativos y estudio de la eficiencia suelo/planta respecto a Ca^{2+} y Mg^{2+}.

Parámetros cuantitativos

El seguimiento y control de la producción del prado natural se realizó mediante siega y pesada de una superficie de 1 m^2 de los 12 m^2 centrales, dentro de cada parcela elemental (30 m^2). Las siegas se llevaron a cabo en las épocas habituales en la zona para tales menesteres y que corresponden en su primer corte a finales de junio- primeros de julio y el segundo a mediados de septiembre. El producto en verde fue recogido y ensacado en plástico para evitar al máximo las pérdidas evapotranspirativas y pesado inmediatamente mediante balanza monoplato calibrada.

Parámetros cualitativos

Las características cualitativas de la pradera fueron evaluadas mediante análisis a través del Laboratorio Agrario del DARP de la Generalitat de Catalunya. Se hizo el seguimiento y control de diversos parámetros a partir de las muestras en verde recogidas en campo después de cada corte.

Las determinaciones llevadas a cabo y los métodos de análisis empleados fueron los siguientes: Materia seca (% p/p, gravimetría visual), proteína digestible (% p/p s.m.s., volumetría visual), Calcio y Magnesio (% p/p s.m.s., absorción atómica).

Eficiencia suelo/planta del Ca^{2+} y el Mg^{2+}

Se consideraron los contenidos iniciales en Ca^{2+} y Mg^{2+} del suelo, además de los aportados mediante las dosis crecientes de dolomita (32- 36% OCa + 16-20% OMg). A partir del contenido inicial en suelo y de las extracciones realizadas de esos elementos por la pradera, se estableció un estudio de correlación con definición de la función característica y el correspondiente coeficiente de determinación (R^2) para el período 1992-94.

Las unidades consideradas fueron Kg/ha de Ca^{2+} y Mg^{2+} totales iniciales y extraídos. El contenido en suelo se estableció hasta una profundidad de 20 cm.

Resultados y discusión

Al considerar, en primer lugar, como parámetro productivo la producción de pradera natural en verde, controlada cada año, desde 1992 a 1994 (cuadro 4) se observa que hay diferencias significativas entre los tratamientos. El incremento en la producción de pasto, consecuencia de la aportación de calcio y magnesio en un suelo de reacción ácida, confirma otras conclusiones precedentes (EDMEADES *et al.* 1985; VILELLA y HARIDASAN, 1994; BESGA, 1997). Concretamente el tratamiento T_3 (1.250 Kg/ha de dolomita) genera, la mayoria de los años, la mejor producción en verde. Esta producción, significativamente superior de T_3 , corresponde a los equilibrios entre elementos potencialmente antagónicos siguientes: $Ca^{2+}/ Mg^{2+} = 7,72$ y $K^{+}/ Mg^{2+} = 1,00$, idénticos a los considerados por otros autores (LÓPEZ y LÓPEZ, 1990).

Cuadro 4. Producción media anual de pradera natural en verde (Kg/ha) entre los 2 cortes, durante el período 1992-94

Table 4. Average year green production of the natural meadow (Kg/ha) between two cuts, during the period 1992-94

Año\Tratam	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
1992	26668 (b)	31344 (a)	32031 (a)	31875 (a)	29375 (ab)	27788 (b)
1993	19125 (c)	19775 (bc)	23163 (a)	24431 (a)	22288 (ab)	22906 (a)
1994	17750 (b)	19375 (ab)	17938 (b)	23688 (a)	16250 (b)	19125 (ab)

(Duncan, $\alpha = 0.05$). Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, dentro de cada fila.

En la mayoría de los años, según puede observarse en el cuadro 5, hay una producción significativamente superior del primer corte respecto al segundo.

En relación a los parámetros cualitativos, en el cuadro 6 se presentan los valores en contenido medio de materia seca (%) y proteína digestible (% pp s.m.s) durante el trienio 1992-94. El estudio de los mismos permite observar el nulo efecto de la dosis de dolomita sobre los contenidos porcentuales de ambos parámetros.

Si se consideran, en cambio, los contenidos de materia seca y proteína digestible por

Cuadro 5. Producción media anual en verde (Kg/ha) en cada corte, durante el período 1992-94

Table 5. Average annual green production (Kg/ha) in every cut, during the period 1992-94

Año\ Corte	1er corte (Final de Junio)	2° corte (Mitad de Septiembre)
1992	30023 (a)	29677 (a)
1993	28171 (a)	15761 (b)
1994	23354 (a)	14708 (b)

(Duncan, $\alpha = 0.05$). Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, dentro de cada fila.

Cuadro 6. Contenidos porcentuales de materia seca (%) y proteína digestible (% p/p s.m.s) en función del tratamiento de dolomita aplicado

Table 6. Percentage contents of dry matter (%) and digestible protein (% pp dry matter) in function of the considered treatment of the dolomite

Parámetro\Tratam	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
Mat.seca	27,32 (a)	27,00 (a)	27,33 (a)	27,70 (a)	29,30 (a)	27,96 (a)
Prot.digestible	7,23 (a)	7,43 (a)	6,91 (a)	7,15 (a)	7,08 (a)	7,03 (a)

(Duncan, $\alpha = 0.05$). Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, dentro de la misma fila.

hectárea (Kg/ha) que se presentan en el cuadro 7, se puede observar el efecto positivo y la respuesta significativa de ambos parámetros respecto al tratamiento de dolomita aplicado. El estudio de los mismos indica la respuesta significativa de la aplicación de dolomita respecto a la no aplicación (T_0). A su vez, cabe señalar el mejor efecto del tratamiento T_3 (1.250 Kg/ha de dolomita) que, con diferencia significativa, destaca sobre el resto de los tratamientos. De nuevo, la mejor producción en materia seca y proteína digestible se corresponde con los equilibrios $Ca^{2+}/ Mg^{2+} = 7,72$ y $K^{+}/ Mg^{2+} = 1,00$.

En el cuadro 8 se presentan los contenidos de Calcio y Magnesio en el pasto en relación a la dosis de dolomita aplicada. Estos datos indican que no hay diferencias significativas entre los tratamientos y que las aplicaciones de Mg en el suelo parecen ineficaces para aumentar su contenido en la hierba de forma similar a lo observado por MORGAN (1993). El tratamiento T_4 (1.375 Kg/ha de dolomita) presenta, sin embargo, el contenido más alto de Ca^{2+} y Mg^{2+} por Kg de materia seca. También se observa que los contenidos de estos elementos son superiores a los mínimos aconsejados para evitar problemas de tetania magnésica, referenciados por VIGUERA y OLEA (1999).

Si consideramos los mismos elementos en sus contenidos por hectárea según puede observarse en el cuadro 9, estos siempre se hallan en contenidos superiores en la pradera tratada con dolomita respecto a la referencia sin tratar (T_0). El tratamiento T_3 (1.250 Kg/ha de dolomita) ha generado el más alto contenido de Ca^{2+} por ha en la pradera, aunque sin diferencias significativas con los otros tratamientos. Así mismo, el

Cuadro 7. Contenido medio de materia seca y proteína digestible por ha (Kg/ha) en función de la dosis de dolomita aplicada (Media del período 1992-94)
Table 7. Average content of dry matter and digestible protein per hectare (Kg/ha) in function of the dose of dolomite applied (Average of the period 1992-94)

Parámetro\Tratam	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
Mat.seca	5716,0(c)	6280,3 (bc)	6517,7 (b)	7365,7 (a)	6502,7 (b)	6425,3 (bc)
Prot.digestible	413,3(c)	454,0 (b)	450,4 (b)	526,7 (a)	460,4 (b)	451,7 (b)

(Duncan, $\alpha = 0.05$). Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, dentro de la misma fila.

Cuadro 8. Contenido medio en Ca^{2+} y Mg^{2+} (g/Kg m.s.) durante el período 1992-94
Table 8. Average contens of Ca^{2+} and Mg^{2+}(g/Kg dry matter) during the period 1992-94

Parámetro\Tratam	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
Ca^{2+}	9,7 (a)	9,7 (a)	8,6 (a)	9,2 (a)	9,9 (a)	9,6 (a)
Mg^{2+}	2,3 (a)	2,4 (a)	2,1 (a)	2,3 (a)	2,8 (a)	2,4 (a)

(Duncan, $\alpha = 0.05$). Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, dentro de la misma fila.

Cuadro 9. Cantidad media de Ca^{2+} y Mg^{2+} (Kg/ha) presentes en la pradera en función de la dosis de dolomita aplicada durante el período 1992-94

Table 9. Average amount of Ca^{2+} and Mg^{2+} (Kg/ha) in the meadow in function of the dose of dolomite applied during the period 1992-94

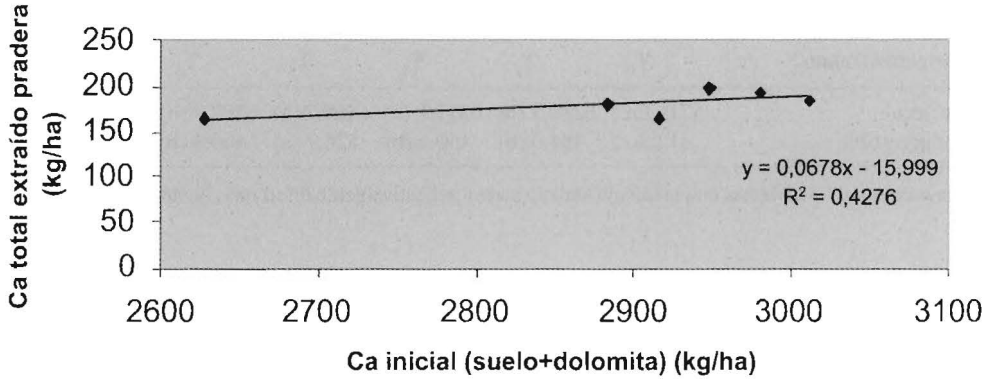
Parámetro\Tratam	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
Ca^{2+}	54,5 (a)	60,2 (a)	54,6 (a)	65,9 (a)	64,4 (a)	61,1 (a)
Mg^{2+}	13,0 (b)	15,0 (ab)	13,7 (b)	16,2 (ab)	18,7 (a)	15,0 (ab)

(Duncan, $\alpha = 0.05$). Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, dentro de la misma fila.

tratamiento T_4 (1.375 Kg/ha de dolomita) dió lugar al más alto contenido en Mg^{2+} pero sin diferencias significativas.

Otro de los aspectos que se abordaron en el estudio consistió en averiguar el grado de aprovechamiento extractivo en Kg/ha de Ca^{2+} y Mg^{2+} que tuvo la pradera al final del período considerado (1994), respecto a los contenidos iniciales de los mismos elementos presentes en el suelo a partir de la aportación creciente de dolomita (T_0 a T_5). La figura 2 indica la correlación existente entre el contenido de Ca^{2+} del suelo/extracción de la planta y la Figura 3 lo mismo para el Mg^{2+}.

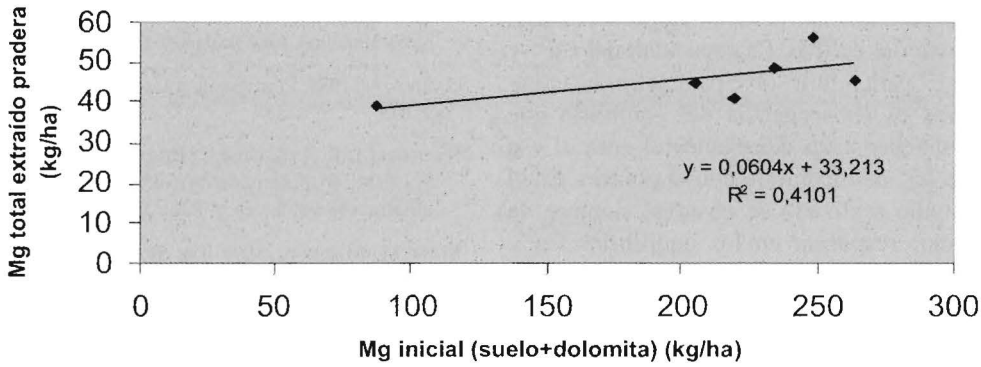
Hay una correlación moderada (R^2 = 0,41 - 0,43), no significativa, entre el contenido creciente Ca^{2+} y Mg^{2+} en el suelo, por las aportaciones crecientes de dolomita, y las extracciones de estos elementos efectuados por la pradera (figuras 2 y 3).



Puntos de izquierda a derecha corresponden a los tratamientos de dolomita T_0 a T_5.

Figura 2. Relación entre el contenido inicial de Ca^{2+} en el suelo y el total extraído por la pradera al final del trienio 1992-94.

Figure 2. Relationship between the initial content of the soil in Ca^{2+} and the total extracted by the meadow at the end of the period 1992-94.



Puntos de izquierda a derecha corresponden a los tratamientos de dolomita T_0 a T_5.

Figura 3. Relación entre el contenido inicial de Mg^{2+} en el suelo y el total extraído por la pradera al final del trienio 1992-94.

Figure 3. Relationship between the initial content of the soil in Mg^{2+} and the total extracted by the meadow at the end of the period 1992-94.

Conclusiones

De los resultados de este estudio se pueden extraer las siguientes conclusiones:

En suelos de reacción ácida (pH < 6), la aplicación de una enmienda de dolomita actua favorablemente al aumentar la presencia de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} y activar su capacidad de intercambio catiónico en el complejo arcillo-húmico. Esta mayor presencia y capacidad de intercambio del Ca^{2+} y Mg^{2+} facilita el funcionamiento de determinados procesos metabólicos en la pradera que, por la escasa presencia de los mencionados cationes, actuaban de forma limitada.

Se observa, igual que otros estudios precedentes, que el incremento en el contenido de cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} en un suelo ácido tiene una influencia significativa sobre parámetros cuantitativos de la pradera. Así pues, la aportación de dolomita permite observar una respuesta significativa del cultivo respecto al incremento de biomasa y materia seca por unidad de superficie, si se compara con la no aportación de la enmienda. El aumento de materia seca por hectárea que genera una enmienda dolomítica induce, a su vez, a un mayor contenido de Ca^{2+} y Mg^{2+} global por hectárea. La dosis de 1250 Kg/ha de dolomita (32-36% OCa + 16-20% OMg) genera la mayor respuesta respecto a parámetros cuantitativos, lógicamente, en las condiciones edafo-climáticas del área estudiada. El primer corte siempre es significativamente superior al segundo respecto a la producción de pradera en verde.

Una mayor presencia de los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} en el suelo de la pradera no genera, en cambio, un incremento porcentual (% s.mat.seca.) significativo de estos elementos en el cultivo. La enmienda dolomítica, por tanto, no genera influencia alguna sobre parámetros cualitativos de la pradera. Al igual que otros autores, se observa que las plantas no poseen mecanismos eficientes de absorción de estos elementos, a pesar de la disponibilidad de los mismos en el suelo.

Es importante considerar el equilibrio entre los cationes potencialmente antagóni-

cos para obtener la mejor respuesta cuantitativa del cultivo. La capacidad del Ca^{2+} y Mg^{2+} para influir sobre parámetros cuantitativos es consecuencia del equilibrio que mantienen estos dos elementos entre si y, a su vez, del magnesio con el potasio. En el estudio realizado se observa, siempre, la mejor respuesta en los equilibrios Ca^{2+}/ Mg^{2+} (meq/100 g) = 7,72 y K^{+}/ Mg^{2+} (meq/100 g) = 1,00 similares a los citados por otros autores.

Finalmente, el estudio permite observar, también, una relación entre los contenidos crecientes de Ca^{2+} y Mg^{2+} en el suelo y la capacidad extractiva de la pradera respecto a estos mismos elementos. El incremento cuantitativo de materia seca por hectárea, que se genera por las dosis crecientes de dolomita, da lugar a un incremento cuantitativo de calcio y magnesio contenidos en esa materia seca.

Bibliografía

BERGNER H., 1970. *Elementos de nutrición animal*. Acribia, Zaragoza. 163 p.

BESGA G., PINTO M., RODRÍGUEZ M., LÓPEZ F.A., BALCÁZAR N., 1997. Agronomic and nutritional effects of Linz-Donawitz slag application to two pastures in Northern Spain. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 46, 157-167.

CHRISTENSON D.R., WHITE R.P., DOLL E.C., 1973. Yields and magnesium uptake by plants as affected by soil pH and calcium levels. *Agron. J.*, 65, 205.

CURTIN D., SELLES F., STEPPUHN H., 1998. Estimating Calcium-Magnesium selectivity in Smectitic soils from organic matter and texture. *Soil Science Society of American Journal*, 62: 5, 1280-1285, ref. 36.

EDMEADES D. C., PRINGLE R.M., SHANNON P. W., MANSELL G.P., 1985. Optimum pH for grassland soils. Proceedings of a Workshop on Lime in New Zealand Agriculture. Jackson, BLJ and Edmeades DC (eds). Hamilton, New Zealand, 65-67.

GAMBOA A., 1988. El magnesio y los cultivos. *Abrego*, 2-10.

HANNAWAY D.B., LEGGETT J.E., BUSH L. P., SHULER P. E., 1984. Magnesium (Mg) and Rubidium (Rb) absortion by tall fescue. *J. Plant Nutr*, 7, 1127.

KOPEC M., MAZUR K., 1999. The effect of fertilization and liming on the element composition in meadow sward. *Rostlinnà vyroba*, 45, 101-106.

LÓPEZ J., LÓPEZ J., 1990. El diagnóstico de suelos y plantas (métodos de campo y Laboratorio). Ed. Mundi-Prensa, 37-59.

MARSCHNER H., 1986. Mineral nutrition of higher plants. *Academic Press*, New York, 235-243.

MCNAUGHT K.J., DOROFAEFF F.D., LUDECKE T.E., COTTIER K., 1973. Effect of potassium fertilizer, soil magnesium status, and soil type on uptake of magnesium by pasture plants from magnesium fertilizers. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, 1, 329-347.

MENGEL K., KIRKBY E.A., 1987. Principles of plant nutrition. Int.Potash *Inst. Bern, Switzerland*, 481-492.

MORGAN M. A., 1993. The Magnesium status of Grassland in Ireland. Irish *Journal of Agricultural and Food Research*, 32, 161-170.

OHNO T., GRUNES D.L., 1985. Potassium- magnesium interaction affecting nutrient uptake by wheat forage. *Soil Science. Am. J.*, 49: 0685.

RENGEL Z., 1988. Effects of aluminium on magnesium uptake by ryegrass, Lolium multiflorum Lam. PH.D. Dissertation, Louisiana State Univ., Baton Rouge. Anal. 23, 165-174.

ROBINSON D.L., KAPPEL L.C., BOLING J.A.., 1989. Management practices to overcome the incidence of grass tetany. *Journal of Animal Science*, 67 (12), 3470-3484.

RODRÍGUEZ M., LÓPEZ F.A., PINTO M., BALCÁZAR N., BESGA G., 1994. Basic Linz-Donawitz slag as a liming agent for pastureland. *Agro. Journal*, 86, 904-909.

STEVENS R. J., MCALLISTER J.S.V., 1985. Evaluation of dolomite from County Fermanagh as a source of magnesium and as a liming material. *Record of Agricultural Research*, 33, 71-74.

VIGUERA F.J., OLEA L., 1999. Levels of bioelements and their relation to the ruminants'needs in the most important pasture-plant species of the wooded dehesa (grazing-land) in the south-West of Spain. *Cahiers-Options- Mediterraneennes*, 39, ref. 6, 251-255.

VILELLA D.M., HARIDASAN M., 1994. Response of the ground layer community of *Cerrado* vegetation in central Brazil to liming and irrigation. *Plant and soil*, 163, 25-31.

(Aceptado para publicación el 30 de enero de 2003).