

EFECTO DEL TAMAÑO DE LA CALIZA EN LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE UN SUELO DE GALICIA Y EN LA PRODUCCIÓN DE PRATENSES

Viadé, A.¹; Fernández Marcos, M. L.¹; Hernández-Nistal, J.²; Alvarez, E.¹

¹Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior. Dpto. de Edafología y Química Agrícola. Campus Universitario, 27002 Lugo. Spain

²Universidad de Santiago de Compostela. Facultad de Veterinaria. Dpto. de Fisiología Vegetal. Campus Universitario, 27002 Lugo. Spain

Resumen. Se estudió el efecto del tamaño de partícula de la caliza magnesiana (entre 2 y 4mm, entre 2 y 0,5 mm, entre 0,5 y 0,25mm y menor de 0,25mm) y de su forma de aplicación (toda la dosis en una aplicación única o de forma fraccionada) sobre el pH del suelo, la capacidad de intercambio catiónico y en la saturación de Al en el complejo de cambio.

La caliza de distintos tamaños se aplicó a varias parcelas de un suelo ácido (cuatro para cada tratamiento) en las que se estableció una pradera. El ensayo se realizó durante tres años, observando que las parcelas que recibieron caliza más fina (<0,25 mm), añadida en una dosis de 3 t ha⁻¹ en el momento de la siembra, son las que presentan los valores más elevados de pH, Ca, Mg y capacidad de intercambio catiónico efectiva, la menor concentración y saturación de Al en el complejo de cambio así como la mayor producción de las especies pratenses sembradas. La adición de esta misma caliza en dosis de 1 t ha⁻¹ durante tres años hasta completar la dosis de 3 t ha⁻¹ en el tercer año de ensayo (forma fraccionada), resultó menos efectiva. Las parcelas que recibieron la caliza más gruesa (entre 2 y 4 mm) se comportan, durante los tres años de ensayo de forma similar a las parcelas control. Así mismo, la producción de las especies pratenses sembradas y la relación especies sembradas/no sembradas fue superior en las parcelas que recibieron la caliza más fina en una sola aplicación.

Palabras clave: encalado; tamaño de caliza; pH; Ca; Mg; Al; CICE; producción de pratenses

Abstract: Magnesium limestone of different particle sizes (2 - 4 mm, 2 - 0.5 mm, 0.5 - 0.25 mm and < 0.25 mm) was applied to an acid Galician soil. The finest limestone (< 0.25 mm) was applied either as a single dose or split in three annual applications. The coarser limestones were applied as a single dose at sowing. The effect of particle size and application scheduling on soil pH, cation exchange capacity, exchangeable cations and pasture yield was studied.

The experimental design consisted of four replications for each treatment. The experimental plots received 3 t ha⁻¹ lime. After liming, a grass/clover pasture was grown during two years and forage maize during the third year. The plots receiving the finest limestone (< 0.25 mm) in a single dose at sowing exhibited the highest values of pH, exchange Ca and Mg and effective cation exchange capacity, the lowest exchange Al concentration and Al saturation as well as the highest yield of sown species and sown/volunteer species ratio. The same amount of lime split in three annual applications of 1 t ha⁻¹ was less effective. During the three years of trial, the plots that received the coarsest limestone (2 to 4 mm) showed soil properties and pasture yield similar to control plots.

Key words: liming, lime particle size, pH, Ca, Mg, Al, effective CEC, pasture yield.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de encalantes y fertilizantes a suelos gallegos es esencial para la reducción de su acidez y concentración de Al de cambio así como para la mejora de la producción vegetal. El tamaño de partícula del material encalante resulta de gran importancia en el efecto del mismo. Cuanto más fina es la división de cualquier material, más rápida es su disolución y velocidad de reacción. Pero, la aplicación de los materiales muy finos es difícil y pueden ser arrastrados por el viento. Por el contrario, los encalantes más gruesos son menos rápidos en su acción, pero permanecen en el suelo más tiempo y puede que su influencia continúe durante mayor número de años. La bibliografía recoge resultados variables al respecto. Así, Perkins (1961) comprueba, en un experimento de invernadero con alfalfa, que la caliza más fina es más efectiva que la gruesa. Scott et al. (1992) señalan que las partículas más finas de caliza producen un mayor incremento de pH, Ca cambiante y producción de trigo en un suelo ácido en Australia. Así mismo, Haby y Leonard (2002) encontraron una mayor efectividad en el incremento de pH y la producción de forraje en suelos de Texas en el primer año, cuando usaban la caliza más fina, pero a los tres años de ensayo los resultados de producción eran muy similares

entre la caliza fina y la más gruesa. Por su parte, Mello et al. (2003) en Brasil encuentran un mayor efecto residual de la caliza cuando su tamaño es más grande.

El objetivo de este trabajo consistió en estudiar, durante tres años, el efecto de la caliza, añadida en diferentes granulometrías, en las propiedades químicas de un suelo ácido y en la producción de especies pratenses.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en un suelo ácido de Galicia (NW Spain) durante un período de tres años (octubre 1995-octubre 1998). El material de partida del suelo está constituido por sedimentos cuaternarios, su uso anterior era matorral y el suelo se clasifica como un Umbrisol háplico (FAO, 1998). Las principales características del suelo inicial se recogen en la Tabla 1.

En el período de estudio la temperatura media mensual osciló entre 6,6 y 18,1°C (media = 11,2°C) en 1996, entre 5,4 y 18,7°C (media = 12,8°C) en 1997 y entre 5,8 y 19,8°C (media = 12,2°C) en 1998. La precipitación total fue de 1019 mm en 1996, de 1098 mm en 1997 y de 942 mm en 1998.

Se aplicó caliza magnesiana en 24 parcelas de 20 m², en una dosis de 3 t ha⁻¹ en distintos tamaños de grano. Se establecieron parcelas con diferentes tratamientos en

Tabla 1. Propiedades generales del suelo inicial.

Tipo de lecho	pH		C	MO	Arena	Limo	Arcilla	Textura
	H ₂ O	KCl						
Maíz-1	5,9	5,0	2,8	4,90	28	59	13	Franco limosa
Arada	5,2	4,4	2,1	3,6	30	54	16	Franco limosa
Maíz-2	5,3	4,7	2,6	4,6	32	53	14	Franco limosa
Pradera	5,2	3,9	2,6	4,5	31	51	17	Franco limosa

función del diámetro del material encalante: caliza entre 2 y 4mm, tratamiento 4; caliza entre 0,5 y 2mm, tratamiento 2; caliza entre 0,25 y 0,5mm, tratamiento 0,5; caliza menor de 0,25mm, tratamiento 0,25. En este último caso, la enmienda se aplicó de dos formas: a) 3 t ha⁻¹ en el momento de la siembra de pratenses (Octubre 1995) igual que en el resto de los tratamientos y b) de modo fraccionado, aplicando 1 t ha⁻¹ en el momento de la siembra y en los meses de Octubre de los años 1996 y 1997, en el que se completaron las 3 t ha⁻¹. Este último es el denominado tratamiento 0,25f. El diseño experimental consistió en el establecimiento de 4 parcelas para cada tratamiento y 4 parcelas control. Todas ellas se fertilizaron con NPK (8:24:16) en una dosis de 500 kg ha⁻¹ en siembra y en los meses de Mayo y Octubre de 1996, 1997 y 1998. En Octubre de 1995 se sembraron las especies pratenses *Lolium multiflorum*, *Dactylis glomerata*, *Trifolium repens* y *Trifolium pratense* L., en la dosis establecida en la fórmula F-2 (Piñeiro, 1986).

Se tomaron muestras de suelo estacionalmente, durante los tres años. En la fase sólida del suelo se determinó pH en agua y en KCl 1M (Gutián y Carballas, 1976); capacidad intercambio catiónico efectiva (CICe) por suma de Ca, Mg, Na, K y Al (Kamprath, 1970) desplazados con NH₄Cl 1M (Peech et al., 1947) y determinados por espectrofotometría de absorción atómica (Ca, Mg y Al) y de emisión (Na y K).

La producción de pratenses fue evaluada en los meses de Julio y Octubre de 1996 y 1997, momento de recogida de cosecha. Para ello, se segó una superficie total de 10 m² (2x5 m). De la biomasa obtenida se tomó una muestra de 1 kg de peso fresco por parcela. En el laboratorio se realizó una separación manual de las distintas especies, determinando posteriormente su peso fresco. Después se secaron en estufa a 105 °C hasta peso constante.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

pH en agua y en KCl

Las parcelas que recibieron la caliza más fina (tratamiento 0,25) en una sola aplicación son las que, en general, presentaron un mayor valor de pH en agua en cada uno de los muestreos (Fig. 1a), correspondiendo los valores más bajos a las parcelas control y a las tratadas con caliza de mayor tamaño (tratamiento 4). En Julio de 1997, se observó un descenso de pH en todos los tratamientos (Fig. 1a) que pudo ser debido a varios factores, como mayor actividad microbiana relacionada con el aumento de la temperatura y/o mayor extracción por las plantas. Por el contrario, en Octubre de 1997 y en Abril de 1998 hay un aumento del pH, que puede ser consecuencia de una mayor disolución de la caliza por tratarse de meses lluviosos.

En el último muestreo, Octubre 1998, correspondiente al tercer año de ensayo, se observaron en todas las parcelas valores de pH significativamente más bajos que los obtenidos en el mismo mes de los 2 años anteriores y en el primer mes del ensayo, a excepción de las parcelas control y las que recibieron la caliza más gruesa (tratamiento 4), lo que podría señalar un cierto agotamiento de la enmienda caliza añadida tres años antes.

Grego et al. (2000) en suelos forestales ácidos de Italia, a los que añadían 2,5 t ha⁻¹ de CaCO₃, observan incrementos de pH durante los dos primeros años pero, a partir del tercer año, observan una reacidificación y el pH del suelo cae hasta valores similares al inicial. Varios autores han señalado también la reacidificación a largo plazo de los suelos encalados (Bolton, 1977; Doerge y Gaadner, 1985; Urrutia et al., 1990; Debreczeni y Kismányoky, 2005; Fettell et al., 2007). Tang et al. (2003) encuentran un descenso de pH asociado a la pérdida de cal, que se acentuará en cualquier suelo si se emplean altas cantidades de fertilizantes nitrogenados. En

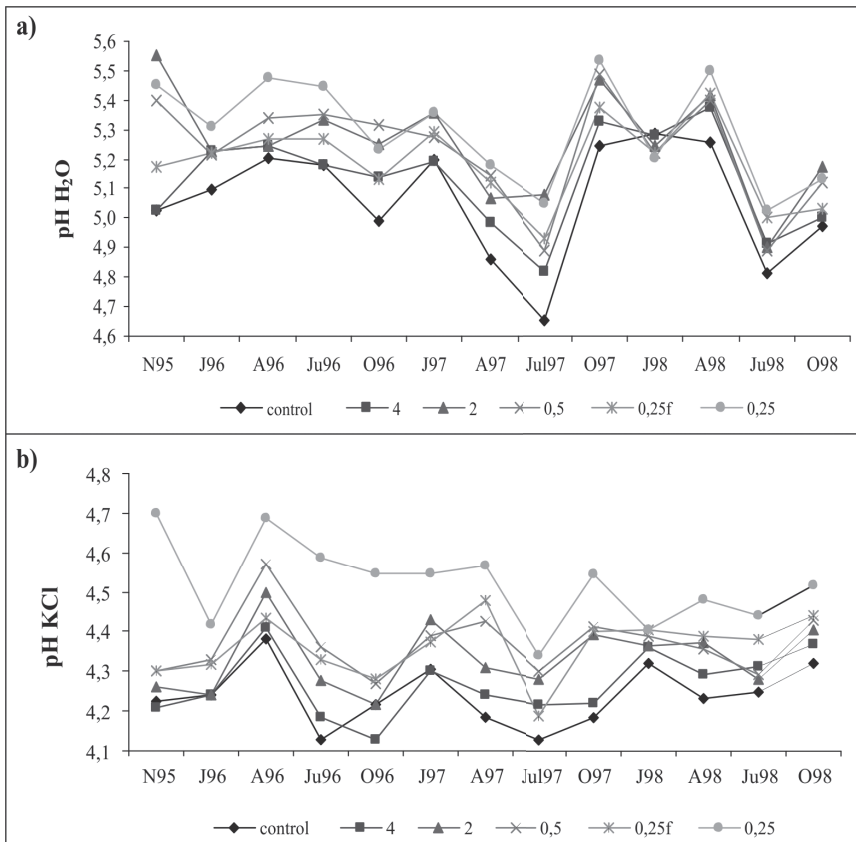


Figura 1. Variaciones de pH en las distintas parcelas a lo largo del ensayo: a) en agua b) en KCl 0,1 M. (Control: sin caliza; 4: caliza entre 2 y 4 mm de diámetro; 2: caliza entre 0,5 y 2 mm de diámetro; 0,5: caliza entre 0,25 y 0,5 mm de diámetro; 0,25: caliza menor de 0,25 mm de diámetro; 0,25f: caliza menor de 0,25 mm de diámetro añadida de forma fraccionada).

el presente ensayo, el suelo control recibe, al igual que las parcelas encaladas, fertilizante NPK, por tanto, el abonado nitrogenado pudiera contribuir también al descenso de pH.

En cuanto al pH en KCl (Fig. 1b) los valores más elevados también se observaron en las parcelas encaladas con la caliza de menor tamaño (tratamiento 0,25) en una sola aplicación y los valores más bajos tanto en las parcelas encaladas con la granulometría más gruesa (tratamiento 4) como en las parcelas control. En el primer año de ensayo es donde se observan las mayores diferencias entre

la caliza más fina (tratamiento 0,25) en una sola aplicación con respecto al resto de los tratamientos lo que puede ser consecuencia de la más rápida incorporación de la caliza más fina. Esta misma caliza añadida de forma fraccionada (tratamiento 0,25f) resulta menos eficiente a lo largo del todo el ensayo para aumentar el pH que cuando se añade en una única dosis (tratamiento 0,25).

Al final del ensayo, los valores de pH en las parcelas encaladas fueron más elevados que los que se registran en el primer muestreo, a excepción de las parcelas que recibieron el

tratamiento 0,25, que habían experimentado un fuerte incremento ya en el primer muestreo.

Por tanto, si se tiene en cuenta el pH en KCl, no se observa, en general, reacidificación de las parcelas encaladas, como parece indicar el pH en agua, siendo las que recibieron la caliza más fina (tratamiento 0,25 y tratamiento 0,25f) las que mantuvieron el pH más elevado al final del ensayo.

Las parcelas con tratamiento 4 no presentaron diferencias significativas con las control en ninguno de los muestreos realizados a lo largo de los tres años de ensayo.

Ca, Mg, Na y K en el complejo de cambio.

A lo largo del ensayo las concentraciones mayores tanto de calcio (Fig. 2a) como de magnesio (Fig. 2b), se detectaron en las parcelas encaladas con la calizas más finas (tratamientos 0,25 y 0,5) y las más bajas en las enmendadas con la más gruesa (tratamiento 4) y las control.

Al inicio del ensayo las parcelas que recibieron la caliza más gruesa poseen un comportamiento parecido a las control, debido a que el tamaño de grano dificulta su incorporación, pero al final del ensayo, en el caso del magnesio (Fig. 2b), el comportamiento de esta caliza más gruesa es similar al resto de las granulometrías más finas.

Scott et al (1992) observan que el efecto de una caliza gruesa (3mm) sobre el Ca de cambio se manifiesta después de tres años desde su adición, lo que indica la lenta liberación de Ca por este tipo de caliza, y Fernández- Sanjurjo et al (1995) encuentran un efecto residual del encalado con caliza fina sobre el contenido de Ca siete años después de su adición.

Las diferencias tanto en los valores de Ca (Fig 2a) como en el pH en KCl (Fig 1b) entre las parcelas que recibieron los tratamientos 0,25 y 0,25f, ponen de manifiesto la mayor eficacia de la adición de caliza en una única aplicación. En el tratamiento 0,25f, cuando se ha completado la dosis de 3t ha⁻¹, a los

tres años, los contenidos de Ca cambiante y el valor de pH en KCl seguían siendo inferiores a los de las parcelas que recibieron el mismo tamaño de caliza pero en una sola vez (tratamiento 0,25).

Por otra parte, el uso de caliza dolomítica de tamaño fino incrementa significativamente la concentración de Mg en relación con las parcelas control (Fig 2B) coincidiendo con lo señalado por varios autores (Paula et al, 1997; Ernani et al., 1998), quienes atribuyen el incremento del Mg cambiante al incremento de CICe resultante del aumento de pH y a una relación Ca/Mg adecuada en la enmienda.

En relación con el potasio (Fig. 2c) y el sodio (datos no mostrados), no se observaron diferencias significativas entre tratamientos ni con las parcelas control. La falta de influencia del encalado sobre el K cambiante también ha sido señalada por otros autores (Goedert et al., 1975; Hochman et al., 1992; Mongia, 1997). El desplazamiento del Al por el Ca puede facilitar el acceso del K a posiciones del espacio interlaminaar con alta afinidad para este catión, de modo que el K⁺ aportado con el abonado NPK puede ser fijado (Van Diest, 1978).

Al en el complejo de cambio

En cuanto al Al de cambio, durante todo el ensayo los valores más bajos se registraron en las parcelas encaladas con la caliza más fina (tratamiento 0,25) mientras que, las que recibieron la caliza más gruesa (tratamiento 4) y las control presentaron los más elevados (Fig. 3a). En el primer muestreo, un mes después de aplicar la enmienda, se detectaron diferencias significativas entre las parcelas del tratamiento 0,25 (en una sola aplicación) y el resto de las parcelas. La caliza fina aplicada de forma fraccionada, resultó menos efectiva que cuando se añadió en una sola dosis; sin embargo, al tercer año, cuando se completaron las 3^{ta}-1, los valores de Al cambiante son aproximados en las parcelas que recibieron ambos tratamientos (0,25 y 0,25f). El hecho de que las parcelas encaladas con la caliza

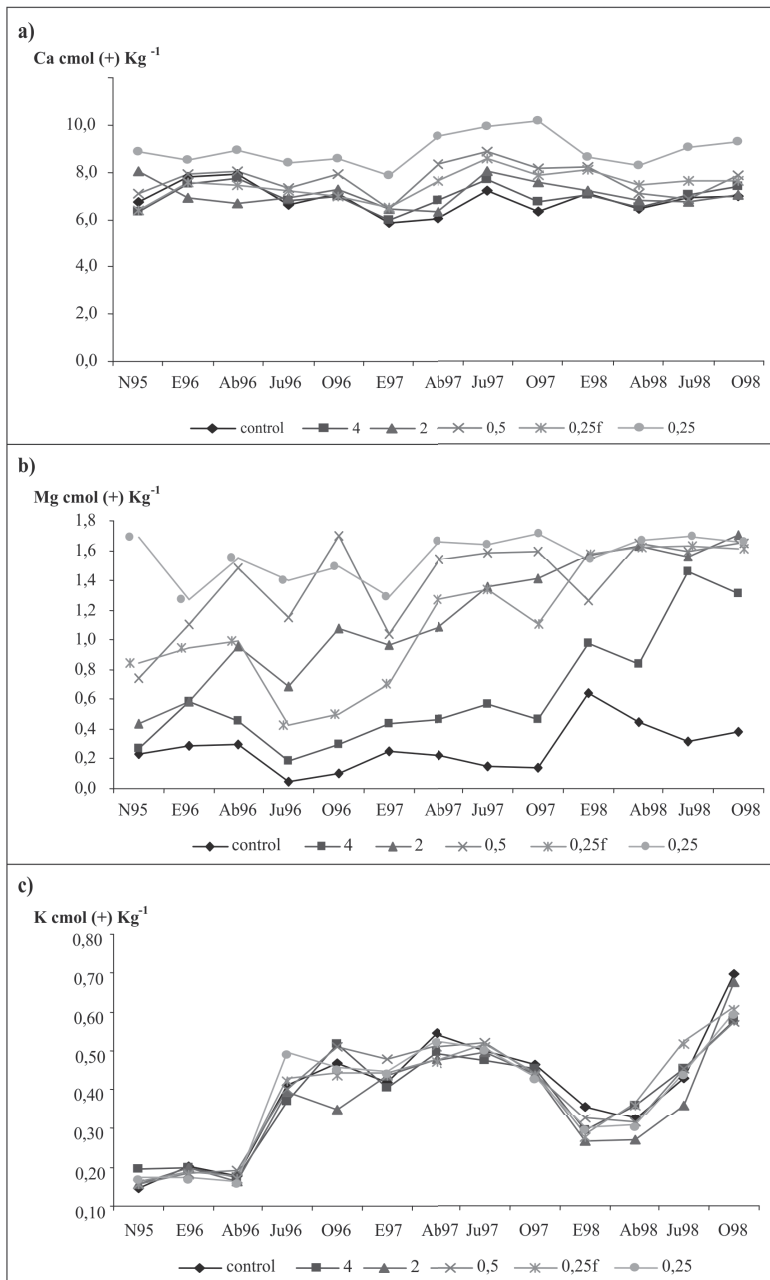


Figura 2. Variaciones de cationes cambiables en las distintas parcelas a lo largo del ensayo. a) calcio; b) Mg; c) K. (Control: sin caliza; 4: caliza entre 2 y 4 mm de diámetro; 2: caliza entre 0,5 y 2 mm de diámetro; 0,5: caliza entre 0,25 y 0,5 mm de diámetro; 0,25: caliza menor de 0,25 mm de diámetro; 0,25f: caliza menor de 0,25 mm de diámetro añadida de forma fraccionada).

más gruesa se comportasen de forma similar a las control, permite concluir que esta caliza tarda más de 3 años en incorporarse pues el tamaño debe dificultar su disolución. Las parcelas con tratamientos 2 y 0.5 presentaron un comportamiento intermedio entre la más fina y más gruesa, como era de esperar.

En todas las parcelas, los valores más elevados de Al cambiante se obtuvieron en el mes de Julio de 1997, período que coincide con un fuerte descenso de pH, tanto en agua.

Se obtiene una correlación negativa altamente significativa ($p < 0,01$) del Al de cambio con el pH en agua ($r = -0,52$) y con el Mg de cambio ($r = -0,60$), lo que indica que el Al compite con el Ca y el Mg por las posiciones de cambio, siendo la competencia favorable al Al cuando el pH es más ácido, debido a la mayor solubilidad de ese elemento a esos valores de pH.

La disminución del Al cambiante y soluble después del encalado ha sido señalada

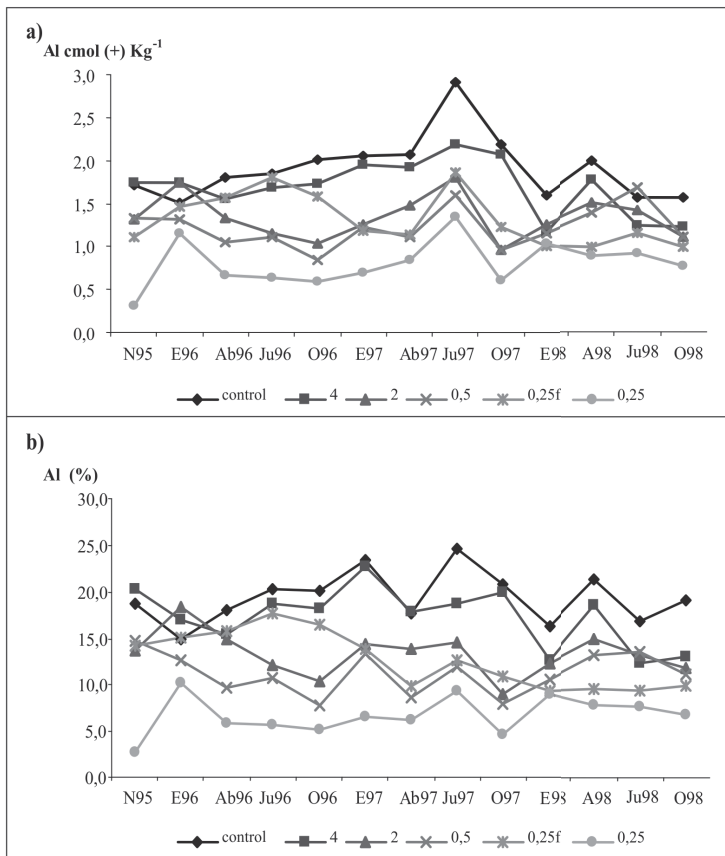


Figura 3. Variaciones del Al cambiante (a) y porcentaje de saturación de Al en el complejo de cambio (b) en las distintas parcelas a lo largo del ensayo. (Control: sin caliza; 4: caliza entre 2 y 4 mm de diámetro; 2: caliza entre 0,5 y 2 mm de diámetro; 0,5: caliza entre 0,25 y 0,5 mm de diámetro; 0,25: caliza menor de 0,25 mm de diámetro; 0,25f: caliza menor de 0,25 mm de diámetro añadida de forma fraccionada).

por numerosos autores (Oates y Kamprath, 1983 a y b; Jarvis, 1986, Boruvka et al., 2005; Drabek et al., 2007); por ello, el Al cambiante ha sido usado para predecir los requerimientos de cal (Juo y Kamprath, 1979).

La concentración de aluminio de cambio se comporta como la saturación de aluminio en el complejo de cambio (Fig. 3b), obteniéndose una correlación altamente significativa entre ambos parámetros ($r = 0,81$; $p < 0,01$). En las parcelas encaladas con la caliza más fina en una sola aplicación (tratamiento 0,25), la saturación de Al fue la más baja, durante todo el ensayo, con un porcentaje de saturación inferior al 10%. El resto de las parcelas encaladas superaron ese porcentaje, mientras que las control presentaron valores próximos al 20% de saturación del complejo de cambio en este elemento (Fig. 3b). Según Aitken et al. (1998 a, b) cuando la saturación de Al en el complejo de cambio es menor del 10% se puede considerar que no existe toxicidad por aluminio.

Las parcelas que recibieron el tratamiento 4 durante todo el ensayo tienen un porcentaje de saturación semejante al de las parcelas control, a excepción del último muestreo,

en que los valores son similares a los del resto de las parcelas encaladas. En cuanto a los porcentajes de saturación de las parcelas con los tratamientos 0,5 y 2, los valores fueron intermedios al obtenido tras de los tratamientos 0,25 y 4. Las parcelas que recibieron la caliza fina aplicada de forma fraccionada (tratamiento 0,25f) mostraron porcentajes de saturación en aluminio similares a los control hasta que se realiza la segunda adición en Octubre de 1996, en que disminuye hasta alcanzar, al final del ensayo, valores semejantes a los de las parcelas tratadas con caliza del mismo diámetro (0,25mm) pero en una sola aplicación (tratamiento 0,25).

Capacidad de intercambio catiónico efectiva

Los valores medios de CICe, teniendo en cuenta todo el período de muestreo, oscilaron entre 10,28 y 12,80 $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ en las parcelas encaladas y fueron próximos a 10 $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ en las control (Fig. 4). Ninguna de las parcelas presentó el modificador e de Buol et al. (1975) de baja capacidad de cambio ($\text{CICe} < 4 \text{ cmol}(+) \text{kg}^{-1}$).

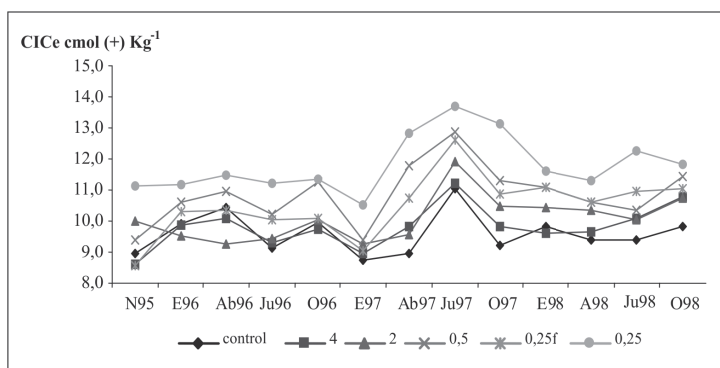


Figura 4. Variaciones la capacidad de intercambio catiónico efectiva en las distintas parcelas a lo largo del ensayo. (Control: sin caliza; 4: caliza entre 2 y 4 mm de diámetro; 2: caliza entre 0,5 y 2 mm de diámetro; 0,5: caliza entre 0,25 y 0,5 mm de diámetro; 0,25: caliza menor de 0,25 mm de diámetro; 0,25f: caliza menor de 0,25 mm de diámetro añadida de forma fraccionada).

La CICE en todas los muestreos efectuados durante los tres años de ensayo fue más elevada en las parcelas del tratamiento 0,25 mientras que, los valores más bajos se obtuvieron en los tratamientos con caliza de mayor grosor (tratamientos 4 y 2) y en las parcelas control. El incremento de CICE tras el tratamiento 0,25 en relación con las no encaladas fue superior a $2 \text{ cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$, manteniéndose esa diferencia hasta el último muestreo del ensayo (Fig. 4). Para un mismo tratamiento, se observan algunas variaciones a lo largo del tiempo, que también afectan a las parcelas control, por lo que no parecen atribuibles al encalado.

El aumento de CICE en las parcelas encaladas ha sido señalado por otros autores (Fageria et al., 2007) y se puede relacionar con el hecho de que la adición de enmendantes afecta a la carga superficial de los minerales con carga variable. Por un lado, el incremento del pH del suelo provoca la aparición de cargas negativas en los componentes de carga variable. Por otro, el Ca añadido puede reemplazar polímeros hidroxialumínicos que, en muchos suelos ácidos, bloquean parte de la carga permanente, con lo que aumenta la CICE (Parfitt, 1980).

Producción en peso seco

La producción de materia seca de las pratenses en las parcelas objeto de este estudio osciló, en términos medios, entre 5,5 y 6,1 t ha⁻¹ en la primera cosecha de verano y entre 3,9 y 4,4 t ha⁻¹, en la segunda (también de verano; Fig. 5). Estos valores son inferiores al rango medio señalado por Mosquera y González (1999) en suelos agrícolas (entre 6 y 12 t ha⁻¹ año⁻¹ de materia seca). Debido a la escasa producción obtenida en la cosecha de otoño, la discusión se centrará únicamente en la de verano,

En todas las parcelas, con independencia del tratamiento, se observó un predominio de las plantas no sembradas, que representan más del 80% de la producción total (Fig. 5). Morrison e Idle (1972) también encuentran menos del 20% de especies sembradas en los pastos del primer y segundo año.

Considerando la producción total en peso seco (especies sembradas y no sembradas), no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Fig. 5). Sin embargo las parcelas que recibieron los tratamientos 0,25 y 0,5 (caliza inferior a 0,25 mm en una sola aplicación y entre 0,25 y 0,5 mm) presentaron

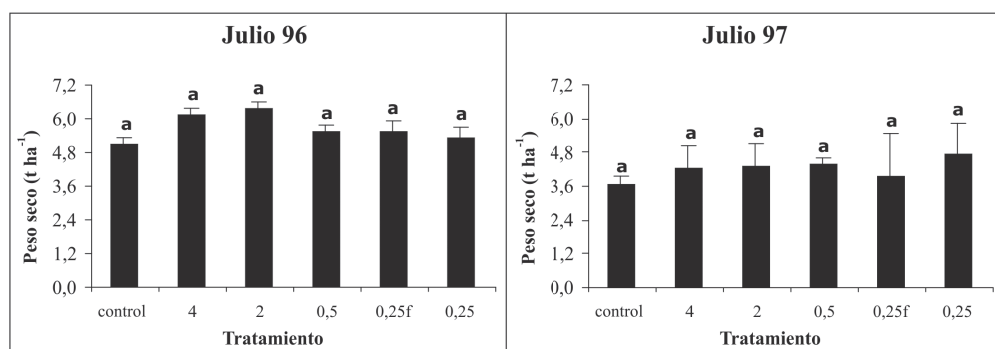


Figura 5. Producción (peso seco) de especies sembradas mas no sembradas para cada tratamiento en las distintas cosechas. (Control: sin caliza; 4: caliza entre 2 y 4 mm de diámetro; 2: caliza entre 0,5 y 2 mm de diámetro; 0,5: caliza entre 0,25 y 0,5 mm de diámetro; 0,25: caliza menor de 0,25 mm de diámetro; 0,25f: caliza menor de 0,25 mm de diámetro añadida de forma fraccionada). Letras distintas indican diferencias significativas para $p < 0,05$.

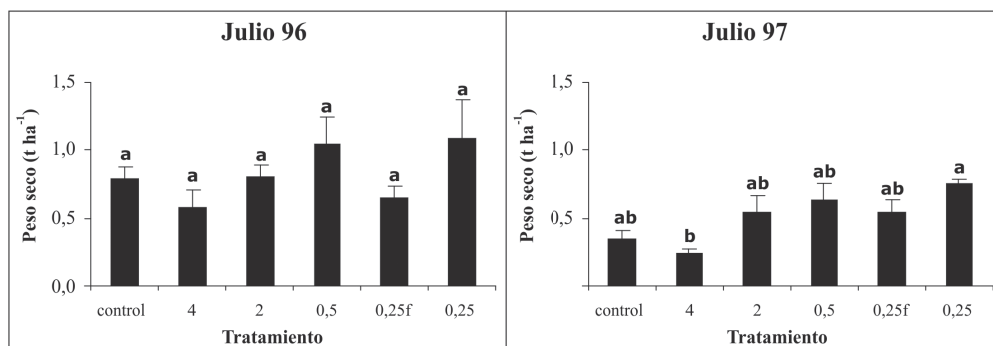


Figura 6. Producción en peso seco de especies sembradas para cada tratamiento en las distintas cosechas. (Control: sin caliza; 4: caliza entre 2 y 4 mm de diámetro; 2: caliza entre 0,5 y 2 mm de diámetro; 0,5: caliza entre 0,25 y 0,5 mm de diámetro; 0,25: caliza menor de 0,25 mm de diámetro; 0,25f: caliza menor de 0,25 mm de diámetro añadida de forma fraccionada). Las letras distintas indican diferencias significativas para $p < 0,05$.

Tabla 2. Relación entre peso seco de planta no sembrada/planta sembrada para los diferentes tratamientos en cada una de las dos cosechas de verano.

	Tratamientos					
	0,25	0,25f	0,5	2	4	Control
Verano de 1996	3,92	7,52	4,29	6,88	9,60	5,39
Verano de 1997	5,50	6,80	6,15	7,11	17,20	9,89

una mayor producción de especies sembradas (Fig. 6) y, por lo tanto, la relación planta no sembrada/planta sembrada es menor (Tabla 2). Las condiciones más favorables en cuanto a parámetros de suelo en las parcelas enmendadas con la caliza más fina (mayor pH, menor contenido de Al cambiante, mayor contenido en Ca y Mg cambiables) parecen favorecer una mejor instalación de las especies sembradas. Un aumento de éstas tras el encalado ha sido señalado por varios autores (Stevens y Laughlin, 1996; Wheeler, 1998; Li et al., 2003; López-Díaz, 2004). La relación planta no sembrada/planta sembrada, en general, aumenta con el tiempo, de modo que el predominio de planta no sembrada que se observó en el primer muestreo del

ensayo, se acentuó en el segundo, siendo este predominio más patente en las parcelas control y en las encaladas con la caliza más gruesa (2 a 4 mm) (Tabla 2).

CONCLUSIONES

De los diferentes diámetros de caliza empleados en este ensayo, el tamaño más fino (menor de 0,25 mm) resultó ser el más efectivo, mejorando las propiedades químicas del suelo estudiadas en este trabajo: las parcelas que recibieron el tratamiento 0,25 alcanzaron los mayores valores de pH, las mayores concentraciones de Ca y Mg cambiables y la menor concentración de Al cambiante en la fase sólida del suelo.

Asimismo, la producción de especies

sembradas en las parcelas encaladas con distinto tamaño de caliza, así como la relación de especies sembradas/especies no sembradas se ve favorecida por la enmienda de tamaño más fino (tratamiento 0,25).

La efectividad de la caliza fina es mayor cuando se añade toda la dosis (3 t ha⁻¹) antes del establecimiento del cultivo que si se aplica de forma fraccionada, 1t ha⁻¹ anualmente, hasta completar la dosis inicial. Por los resultados obtenidos, la caliza de mayor tamaño (>4 mm) no se incorporó al suelo en período de tres años que duró el ensayo.

REFERENCIAS

- Aitken, R.L., Dickson, T., Moody, P.W. (1998a): Field amelioration of acidic soils in south-east Queensland II. Effect of ameliorations on the yield and leaf nutrient composition of maize. *Aust. J. Agr. Res.* 49: 639-47.
- Aitken, R.L., Moddy, P.W., Dickson, T. (1998b): Field amelioration of acidic soils in south-east Queensland. I. Effect of amendments on soil properties. *Aust. J. Agr. Res.* 49: 627-637.
- Bolton, J. (1977): Changes in soil pH and exchangeable calcium in two liming experiments on contrasting soils over 12 years. *J. Agr. Sci.* 89: 81-96.
- Boruvka, L., Mladkova, L., Drabek O. (2005): Factors controlling spatial distribution of soil acidification and Al forms in forest soils. *J. Inorg. Biochem.* 99 (9): 1796-1806.
- Buol, S.W., Sanchez, P.Q., Cate, R.B., Granger, M.A. (1975): Soil fertility capability classification for fertility management in: "Soil Management in Tropical America", E. Bornemisza y A. Alvarado, de. North Carolina State Univ., Raleigh (NC, USA), 126-141.
- Debreczeni, K., Kismanyoky, T.S. (2005): Acidification of soils in long-term field experiments. *Comm. Soil Sci. Plan.* 36: 321-329.
- Doerge, T.A., Gadner, E.H. (1985): Reacidification of two lime amended soils in Western Oregon. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 49: 680-685.
- Drabek, O., Boruvka, L., Pavlu, L., Nikodem, A., Pírková, I, Vacek, O. (2007): Grass cover on forest clear-cut areas ameliorates some soil chemical properties *J. Inorg. Biochem.* 101 (9): 1224-1233
- Ernani, P.R., Nascimento, J.A.L., Oliveira, L.C. (1998): Increase of grain and green matter of corn by liming. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 22: 275-80.
- Fageria, N. K, Baligar, V. C, Zobel, R. W (2007): Yield, nutrient uptake, and soil chemical properties as influenced by liming and boron application in common bean in a no-tillage system. *Comm. Soil Sci. Plant* 38: 1637-1653.
- FAO (1998): Word Reference Base for Soil Resources. *Word Soil Resources Rep.* No. 84. Roma (Italia).
- Fernández-Sanjurjo, M.J., Álvarez, E., García-Rodeja, E. (1995): Efecto del encalado sobre ciertas propiedades de la solución del suelo, la fracción coloidal y la disponibilidad de fósforo. *Edafología* 1: 119-127.
- Fettell, N. A., Evans, C.M., Carpenter, D. J., Brockwell, J. (2007): Residual effects from lime application on soil pH, rhizobial population and crop productivity in dryland farming systems of central New South Wales. *Aust. J. Exp. Agr.* 47 (5): 608-619
- Goedert, W.J., Corey, R.B., Syers, J.K. (1975): Lime effect on potassium equilibrium in soils of Rio Grande do Sul, Brazil. *Soil Sci.* 120: 107-115.
- Grego, S., Moscatelli, M.C., Marinari, S. (2000): The influence of liming and natural acidification on chemical and biological processes of an Italian forest soil. *Agrochimica* 44: 161-170.

- Gutián, F., Carballas, T. (1976): Técnicas de análisis de suelos. Ed. Pico Sacro, Santiago de Compostela.
- Haby, V.A., Leonard, A.T. (2002): Limestone quality and effectiveness for neutralizing soil acidity. *Comm. Soil Sci. Plan* 33: 2935-2948.
- Hochman, Z., Edmeades, D.C., White, E. (1992): Changes in effective cation exchange capacity and exchangeable aluminium with soil pH in lime-amended field soils. *Aust. J. Agric. Res.* 30: 177-87.
- Jarvis, S.C. (1986): Forms of aluminium in some acid permanent grassland soils. *J. Soil Sci.* 37: 211-222.
- Juo, A.S., Kamprath, E.J. (1979): Copper chloride as an extractant for estimating the potentially reactive aluminum pool in acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:35-38.
- Kamprath, E.J. (1970): Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Am. P.*, 34: 252-54.
- Li, G.D., Helyar, K.R., Evans, C.M., Wilson, M.C., Castleman, L.J.C., Fisher, R.P., Cullis, B.R., Conyers, M.K. (2003): Effects of lime on the botanical composition of pasture over nine years in a field experiment on the South-western slopes of New South Wales. *Aust. J. Exp. Agri.* 43: 61-69.
- López Díaz, M.L. (2004): Fertilización con lodos de depuradora urbana en sistemas silvopastorales, Tesis Doctoral, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, España.
- Mello, J.C.A., Boas, R.L.V., Lima, E.V., Cruscio, C.A.C., Bull, L.T. (2003): Changes of chemical soil characteristics due to doses and particle sizes of limestone in no-tillage and conventional systems. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 27: 553-561.
- Mongia, A.D. (1997): Effect of liming on composition of soil solution in acid soils. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 45: 187-189.
- Morrison, J., Idle, A.A. (1972): A pilot survey of grassland in S.E. England. Grassland Research Institut. Technical Report n° 10. Reino Unido.
- Mosquera, R., González, A. (1999): Pasture production in Northern Spain systems. *New Zeal. J. Agr. Res.* 42: 125-132.
- Oates, K.M., Kamprath, E.J. (1983a): Soil acidity and liming: I. Effect of the extracting solution cation and pH on the removal of aluminium from acids soils. *Soil Sci. Soc. Am, J.* 47: 686-689.
- Oates, K.M., Kamprath, E.J. (1983b): Soil acidity and liming. II. Evaluation using aluminum extracted by various chloride salts for determining lime requirements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 690-692.
- Parfitt, R.L. (1980): Soils of variable charge. *Theng de. Soc. Soil Sci. Lower Hutt*, 167-194.
- Paula, M.B., Holanda, F.S.R., de Carvalho, J.G., Mesquita, H.A. (1997): Effect of liming on sweet sorghum yields in two Brazilian Oxisols. *Comm. Soil Sci. Plan* 28: 1613-21.
- Peech, L., Alexander, L.T., Dean, L.A. (1947): *Methods of Analysis for Soil Fertility Investigations*, USDA Circ. N° 757.
- Piñeiro, J. (1986): Praderas sembradas en Galicia: especies que las componen: III Xornadas de estudo sobor do tema produccions gandeiras de Galicia. *Cuad. Área Cienc. Agr.* 6: 27-50.
- Perkins, H.F.(1961): Particle size influences effectiveness of limestone. *Agric. Res.* 3:3-4.

- Scott, B.J., Conyers, M.K., Fisher, R., Lill, W. (1992): Particle size determines the efficiency of calcitic limestone in amending acidic soil. *Aust. J. Agri. Res.* 43: 1175-85.
- Stevens, R.J., Laughlin, R.J. (1996): Effects of lime and nitrogen fertilizer on two sward types over a 10-year period. *J. Agri. Sci.* 127: 451-461.
- Tang, C., Asseng, S., Diatloff, E. (2003): Modelling yield losses of aluminium-resistant and aluminium-sensitive wheat due to subsurface soil acidity: effects of rainfall, liming and nitrogen application. *Plant Soil* 254: 349-360
- Urrutia, M., García-Rodeja, E., Macías F. (1990): Procesos de acidificación en suelos. Algunos ejemplos de suelos de Galicia. XVII Reun. Nac. Ciencia del Suelo. Badajoz, España.
- Van Diest, A. (1978): Factors affecting the availability of potassium in soils in "Potassium Research-Review and trends". *Proc. 11th Congr. Int. Potash Inst. Bern.*, 75-97.
- Wheeler, D.M. (1998): Investigation into the mechanisms causing response in a grass/clover pasture on a clay loam soil. *New Zeal. J. Agri. Res.* 41: 497-515.