

Efecto del encalado de base y de mantenimiento sobre las propiedades de un suelo sobre esquistos de Galicia

M.J. FERNANDEZ SANJURJO, M. URRUTIA & E. GARCIA-RODEJA

*Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Biología. Universidad de Santiago
15071 Santiago de Compostela*

Resumen

FERNANDEZ SANJURJO, M.J., URRUTIA, M. & GARCIA-RODEJA, E. (1991). Efecto del encalado de base y de mantenimiento sobre las propiedades de un suelo sobre esquistos de Galicia. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 2: 65-78

Se estudia el efecto del encalado, aplicado en la siembra y como mantenimiento, sobre el complejo de cambio y las formas de Al de un Cambisol déstrico desarrollado a partir de esquistos, tras 5 años de cultivo de pratenses. Dosis altas de caliza aplicada en la siembra (6 y 12 t ha⁻¹) dan lugar a condiciones de acidez adecuadas para el crecimiento vegetal, pero con dosis menores se obtienen niveles de Al cambiante, de saturación en Al y valores de pH equiparables a los iniciales. El Al de cambio y las diferentes formas de Al ligado a materia orgánica disminuyen al crecer la dosis de caliza, pero son más altos que los del suelo natural, como resultado del manejo general. El encalado de mantenimiento resulta poco eficaz a los dos años de su aplicación, alcanzándose niveles altos de Al en el complejo de cambio en la mayor parte de las parcelas. Con dosis bajas en la siembra, el encalado de mantenimiento apenas modifica el contenido en carbono y las formas de Al; en cambio cuando las dosis en la siembra fueron elevadas (6 y 12 t ha⁻¹), promueve un aumento del contenido en materia orgánica de su grado de humificación y del Al potencialmente liberable.

Palabras clave: Encalado, calcio, aluminio, materia orgánica, efecto residual.

Abstract

FERNANDEZ SANJURJO, M.J., URRUTIA, M. & GARCIA-RODEJA, E. (1991). Effect of basal and maintenance liming on some properties of a soil on schists from Galicia (NW Spain). *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 2: 65-78

The effect of basal and maintenance liming on exchange properties and Al forms of a Dystric Cambisol developed from schist was studied. High basal dosis of lime (6 and 12 t ha⁻¹ of CaCO₃) provided good acidity conditions for plant growth, but plots with lower amounts showed levels of pH, exchangeable Al and Al saturation of exchange complex comparable to those of not limed ones. Al forms (exchangeable and bonded to organic matter) tend to decrease as lime dosis increases, but they are higher than those of natural soil, as a consequence of the general soil management. Maintenance liming is hardly effective in this soil; Al saturation of exchange complex being high in most plots. Lime added in this way had low effect on exchange complex and on different Al forms for low doses of lime, but total carbon, humification degree and potential acidity tend to increase in plots with 6 and 12 t ha⁻¹ of CaCO₃, added as basal treatment.

Key words: Liming, calcium, aluminium, organic matter, residual effect.

INTRODUCCION

Los efectos de la acidez sobre las propiedades químicas de los suelos y su negativa influencia en el crecimiento vegetal están bien clarificados (ADAMS & LUND, 1966; KAMPRATH, 1970; ADAMS, 1984). Por ello, el encalado se ha usado

como una práctica habitual en muchos suelos ácidos, consiguiendo así disminuir la toxicidad del aluminio y aumentar el nivel de Ca cambiante y en solución (HELYAR & ANDERSON, 1970, 1971, 1974; McLEAN, 1971; ADAMS, 1984; GOEDERT, 1985; entre otros). Otros estudios han encontrado aumento del pH de la solución y del

suelo (EVANS & KAMPRATH, 1970; BROMFIELD *et al.*, 1987...), así como influencias sobre la disponibilidad de otros nutrientes (P, Mg, B, Mo, Mn, etc.).

La información, aunque amplia, es variable, y aún se discute la duración de los efectos sobre el Al y el Ca en suelos encalados, así como el papel desempeñado por la materia orgánica en el proceso. Esta influye, mediante mecanismos de complejación, en la disponibilidad del Al en suelo y en solución (EVANS & KAMPRATH, 1970; THOMAS, 1975; BLOOM *et al.*, 1979; JARVIS, 1987), pudiendo llegar a retener cantidades considerables de Al en suelos de baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) en los que la materia orgánica es la principal contribuyente al complejo de cambio. Parte del aluminio complejado es determinante de la llamada "acidez potencial" (BHUMBLA & McLEAN, 1985; SCHNITZER & GUPTA, 1965; URRUTIA, 1989), que puede activarse por ascensos de pH (encalado, procesos de reducción) o por mineralización de la materia orgánica, liberándose el Al ligado a ella.

Para el estudio de este aluminio se han usado distintas disoluciones extractantes. Así el Al extraído con NH_4Cl M o con KCl M, se interpreta como la forma realmente cambiante (KAMPRATH, 1984; JARVIS, 1986; CALVO & ALVAREZ, 1987; URRUTIA *et al.*, 1988a y b). Sin embargo, el aluminio complejado no es fácilmente extraído con esas disoluciones salinas (CABRERA & TALIBUDEEN, 1977; HARGROVE & THOMAS, 1981), usándose para ello otras sales como LaCl_3 0.3 M o CuCl_2 0.5 M. Estudios previos han demostrado que estas sales liberan distintas cantidades de Al de los suelos. El LaCl_3 es más eficaz que la KCl para desplazar Al orgánicamente complejado (BLOOM *et al.*, 1979; HARGROVE & THOMAS, 1984); en suelos de Galicia, se ha constatado su máxima eficacia en aquellos cuya materia orgánica presenta rangos intermedios de humificación, así como su especificidad por los complejos de mayor labilidad (URRUTIA *et al.*, 1988a y b). La cantidad extraída con CuCl_2 es todavía mayor (MENGEL & KAMPRATH, 1978); en suelos gallegos, se relaciona con Al en complejos orgánicos de estabilidad baja y media (complejos de esfera externa e interna, pero no quelatos) (URRUTIA *et al.*, 1988a y b; URRUTIA, 1989). De todas formas, existen complejos aluminio-materia orgánica que

no se ven afectados por estas disoluciones, usándose para su extracción el pirofosfato sódico 0.1 M (BASCOMB, 1968). Según OATES & KAMPRATH (1983), la caliza puede reaccionar con todas estas formas de Al según la dosis aplicada; por ello, y teniendo en cuenta los elevados contenidos de materia orgánica que tienen los suelos de Galicia, es importante conocer los efectos que ejercen las sustancias enmendantes sobre estas formas de aluminio.

El objetivo del presente trabajo ha sido estudiar el efecto que el encalado ejerce sobre el complejo de cambio y las formas de aluminio en un suelo, transcurridos cinco años desde el inicio de un ensayo dirigido al establecimiento de las dosis de caliza adecuadas para implantar y mantener especies pratenses.

MATERIAL Y METODOS

Descripción del ensayo

La parcela estudiada se localiza en Castro Mayor (La Coruña). El suelo, un Cambisol dístico (FAO, 1974) o Dystrochrept úmbrico (SOIL SURVEY STAFF, 1975), ha sido descrito por COSTOYA *et al.* (1983); se desarrolla sobre esquistos alterados del Complejo de Ordenes, tiene textura franca o franco-limosa y un elevado contenido en materia orgánica en el horizonte superficial (en torno al 5% de carbono total antes del comienzo del experimento). El ensayo de encalado, realizado por el Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (La Coruña), se inició en el año 1981 (MOSQUERA, 1987). Las muestras utilizadas en este trabajo se tomaron en 1986, cinco años después del comienzo del ensayo, cuando éste iba a ser levantado. Las dosis de encalado aportadas en la siembra (expresadas como CaCO_3) fueron 0, 0.75, 1.5, 3.0, 6.0 y 12 t ha^{-1} . Cuatro años más tarde se subdividen estas parcelas aplicándose las dosis de mantenimiento siguientes: 0, 2.5, 5 y 10 t ha^{-1} , de modo que se obtienen las combinaciones que se reflejan en la Tabla I. Para hacer referencia a cada una de las parcelas resultantes se utiliza la nomenclatura "dx,y", donde "x" es la cantidad de CaCO_3 que recibió en la siembra e "y" la aportada como

mantenimiento, en $t\ ha^{-1}$. Todas las parcelas recibieron un abonado basal consistente en: 800 $kg\ ha^{-1}$ de superfosfato de cal (18% de P_2O_5), 600 de nitrato amónico (20.5%), 200 de sulfato de potasa (50% de pureza) y microelementos (11 $kg\ ha^{-1}$ de bórax, 5 de sulfato de zinc, 0.125 de molibdato amónico, 0.3 de sulfato de cobalto y 4 de sulfato de cobre).

Métodos

De cada parcela se analiza una muestra múltiple (resultado de 3 tomadas al azar) de la capa superficial (0-20 cm); se analiza también una muestra representativa de la parcela antes de recibir ningún tratamiento (suelo natural). Sobre la muestra, seca al aire y tamizada (2 mm), se determinaron pH (en agua y $KCl\ 0.1\ M$, relación suelo:disolución 1:2.5) y carbono total por oxidación con dicromato, según describen GUITIÁN & CARBALLAS (1976); capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) con $NH_4Cl\ 1\ M$ (PEECH *et al.*, 1947); aluminio extraíble con $KCl\ 1\ M$ (Al_k) (LIN & COLEMAN, 1967), con $LaCl_3\ 0.33\ M$ (Al_{la}) (HARGROVE & THOMAS, 1981) y con $CuCl_2\ 0.5\ M$ (Al_{cu}) (JUO & KAMPRATH, 1979). Se realizaron también extracciones con pirofosfato sódico (Al_p) (BASCOMB, 1968) y con oxalato amónico a pH 3 (Al_o) (BLAKEMORE, 1978); en el extracto de pirofosfato la determinación de Al se realiza tras

añadir "superfloc" al 0.4%, para reducir la presencia de partículas en suspensión; en él se determina además la cantidad de carbono solubilizable, utilizando un método similar al del carbono total. Al, Ca y Mg fueron analizados por espectrofotometría de absorción atómica, Na y K por espectrofotometría de emisión.

RESULTADOS Y DISCUSION

La discusión de los resultados se centra en el efecto que la adición de $CaCO_3$ ejerce sobre las propiedades del suelo, ya que todas las parcelas han recibido idéntica fertilización basal (N, P, K y microelementos). Sin embargo, no se puede descartar que las interacciones entre el $CaCO_3$ y los fertilizantes añadidos difieran en función de la dosis y estrategia de adición utilizadas, por lo que los resultados obtenidos han de valorarse en el contexto experimental descrito.

Influencia del encalado en el estado del complejo de cambio

Parcelas encaladas sólo en la siembra ($dx,0$)

Las parcelas encaladas sólo en la siembra corresponden a la serie $dx,0$ según la nomenclatura descrita en la Tabla I. Los resultados obteni-

Tabla I. Diseño del ensayo: Parcelas dx, y

	(x)						
	0	0.75	1.5	3.0	6.0	12	
(y)	0	*	*	*	*	*	$d_{x,0}$
	2.5	*	*	*	*	*	$d_{x,2.5}$
	5	*	*	*	*	*	$d_{x,5}$
	10	*	*	*	*	*	$d_{x,10}$
		$d_{0,y}$	$d_{0.7,y}$	$d_{1,y}$	$d_{3,y}$	$d_{6,y}$	$d_{12,y}$

(x): $CaCO_3$ añadido en la siembra, $t\ ha^{-1}$.

(y): $CaCO_3$ añadido como mantenimiento, $t\ ha^{-1}$.

TABLA II. pH y características del complejo de cambio en las parcelas encaladas sólo en la siembra (serie dx, 0)

	(x) Dosis de CaCO ₃ en siembra, t ha ⁻¹						
	0	0.75	1.5	3.0	6.0	12	S.N.#
pH _{agua}	4.1	4.2	4.2	4.5	5.0	5.1	4.5
pH _{KCl}	4.0	4.1	4.2	4.2	4.7	4.7	4.3
CICe*	5.77	6.46	5.97	4.07	12.60	16.15	7.37
Ca**	0.98	0.95	0.67	1.09	11.72	14.10	0.17
Mg	0.16	0.18	0.14	0.09	0.19	0.39	0.18
Na	0.15	0.21	0.14	0.08	0.28	0.24	0.41
K	0.35	0.43	0.33	0.18	0.32	0.20	0.39
Al	4.13	4.69	4.69	2.63	0.09	1.22	5.25
Sat. Ca&	17.0	14.7	11.2	26.8	93.0	87.3	2.3
Sat. Al&&	71.5	72.3	78.5	64.6	0.7	7.5	71.2

#: Suelo natural, sin abonado de base ni encalado.

*: Capacidad de intercambio catiónico efectiva, $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$.

**&: Cationes del complejo de cambio, $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$.

&: Saturación en Ca del complejo de cambio (100 Ca/CICe).

&&: Saturación en Al del complejo de cambio (100 Al/CICe).

dos (Tabla II), reflejan el estado del suelo transcurridos cinco años desde el aporte. El primer efecto apreciable es el ascenso del pH del suelo (tanto en agua como en KCl) según aumenta la dosis de cal aportada, principalmente a partir de 3 t ha⁻¹. Igual sucede con el Ca de cambio, que es notoriamente más alto en las parcelas de dosis 6 y 12 t ha⁻¹. Como consecuencia, la CICe también aumenta, probablemente por creación de carga negativa al subir el pH, sobre todo debida a los coloides orgánicos. En cuanto al Al del complejo de cambio, como era de esperar, experimenta un notorio descenso que se manifiesta tanto en las cantidades absolutas como en su proporción en el complejo de cambio (Figs. 1a, 1b). El resto de los cationes se encuentran en cantidades similares en todas las parcelas, aunque aumenta el desequilibrio respecto al catión Ca en el complejo de cambio, como suele suceder en los suelos encalados. Esto significa que, 5 años después del aporte, se mantienen unas condiciones de acidez adecuadas para el crecimiento vegetal en aquellas parcelas que recibieron las dosis más

elevadas de caliza (6 y 12 t ha⁻¹). En cambio, con dosis inferiores a 3 t ha⁻¹, se encuentran niveles de Al similares a los que tenía el suelo antes de recibir los tratamientos de encalado y abonado basal (suelo natural, Tabla II).

De la comparación de los resultados de las muestras tomadas en 1986 con los obtenidos por MOSQUERA (1987) en los años 1982, 1983 y 1984, que se presenta en la Fig. 1, puede obtenerse una idea de evolución de las parcelas a lo largo del tiempo. En las parcelas que se trataron con dosis inferiores a 6 t ha⁻¹, el Al de cambio (Fig. 1a) es más alto en las muestras de 1986 que en las recogidas en años precedentes y la saturación en Al del complejo de cambio (Fig. 1b) es notablemente mayor, sobre todo teniendo en cuenta que las diferencias de la CICe son pequeñas; en todas las parcelas el pH (Fig. 1c) es significativamente más ácido (del orden de 1 unidad de pH). La interpretación de estos resultados se complica por diferencias en la profundidad a la que fueron tomadas las muestras y en el método usado para determinar el Al de cambio; en este caso el

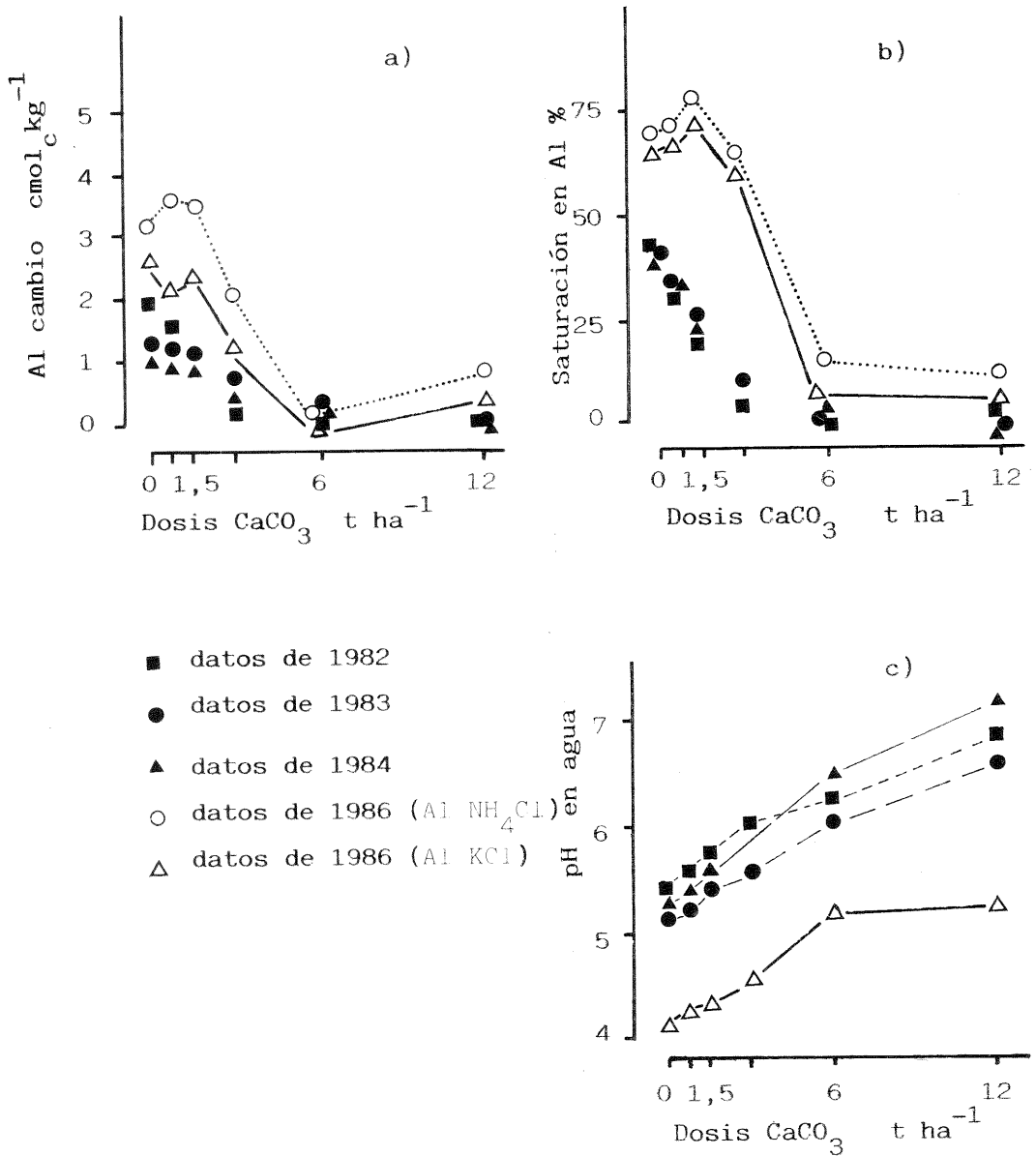


Fig. 1. Evolución de algunas características de las parcelas encaladas sólo en la siembra desde 1982 a 1986 (datos de 1982, 1983 y 1984 recogidos de MOSQUERA, 1987):
 a) Al de cambio (datos de 1982, 1983 y 1984 determinados en extracto con BaCl₂, los de 1986 con NH₄Cl y KCl; todos referidos a volumen de suelo).
 b) Saturación en Al del complejo de cambio (datos de 1982, 1983 y 1984 determinados en extracto con BaCl₂; en 1986 bases con NH₄Cl y Al con NH₄Cl y KCl).
 c) pH del suelo.

TABLA III. pH y características del complejo de cambio de las parcelas que recibieron encalado de mantenimiento (series dx, 2.5; dx, 5 y dx, 10)

	Dosis de CaCO ₃ en la siembra (x) t ha ⁻¹						Serie (1)
	0	0.75	1.5	3.0	6.0	12	
pH _{agua}	4.2	4.3	4.1	4.8	4.2	5.4	dx, 2.5
pH _{KCl}	4.0	4.2	4.0	4.2	4.2	5.9	
CICE*	5.1	5.1	7.1	4.7	5.9	16.9	
Ca**	0.6	0.9	1.1	1.2	0.7	15.8	
Al	3.8	3.5	5.2	3.1	2.8	0.2	
Sat.Ca&	12.0	17.2	16.3	25.6	12.0	93.6	
Sat.Al&&	75.4	69.9	74.3	65.2	47.5	1.1	
pH _{agua}	4.2	4.4	4.6	4.4	4.3	4.3	dx, 5
pH _{KCl}	4.2	4.2	4.1	4.1	4.2	4.0	
CICE*	6.3	5.1	4.9	5.8	6.7	5.9	
Ca**	0.9	1.2	1.2	0.8	1.0	1.5	
Al	4.6	3.3	3.5	4.4	5.2	3.9	
Sat.Ca&	14.3	23.0	24.5	14.2	15.6	24.7	
Sat.Al&&	72.2	64.4	70.2	75.3	76.9	66.3	
pH _{agua}	4.4	4.2	4.2	4.2	4.1	4.8	dx, 10
pH _{KCl}	4.2	4.0	4.2	4.2	4.1	4.2	
CICE*	6.3	6.8	4.7	4.5	5.2	5.2	
Ca**	0.6	0.8	0.8	1.4	1.5	3.0	
Al	5.2	5.4	3.4	2.3	3.2	1.8	
Sat.Ca&	8.9	11.3	16.3	31.3	28.2	56.5	
Sat.Al&&	82.0	79.6	69.4	51.8	60.8	33.9	

(1): Series dx, y; y es la cantidad de caliza añadida como mantenimiento, en t ha⁻¹.*: Capacidad de intercambio catiónico efectiva, cmol_c kg⁻¹.***: Ca y Al de cambio, cmol_c kg⁻¹.

&: Saturación en Ca del complejo de cambio (100 Ca/CICE).

&&: Saturación en Al del complejo de cambio (100 Al/CICE).

problema se resuelve si se considera que el $BaCl_2$ 0.3 M, empleado por Mosquera, extrae cantidades intermedias entre las que se obtienen con los métodos utilizados en este estudio (KCl M y NH_4Cl M), como han probado CALVO & ALVAREZ (1987). La distinta profundidad de toma de muestra (7.5 frente a 20 cm) puede influir en las diferencias encontradas aunque no explicarlas totalmente, pues el encalado de siembra se realizó incorporando la caliza en profundidad. Por ello, con las limitaciones señaladas, parece que existe una tendencia a la reacidificación de las parcelas, que se manifiesta en un descenso del pH y en un aumento de la cantidad de Al cambiante y de su abundancia relativa en el complejo de cambio. Tan sólo las que recibieron las dosis más altas (6 y 12 t ha⁻¹) mantienen niveles bajos de acidez en la capa superficial del suelo, hecho que también prueba la influencia del encalado en la profundidad muestreada.

Efectos del abonado de mantenimiento

Los resultados de pH, CICE y saturación en Ca y Al del complejo de cambio de las parcelas que recibieron encalado de mantenimiento en 1984, se encuentran en la Tabla III. Para la dosis de mantenimiento de 2.5 t ha⁻¹ (dx, 2.5) se encuentran valores de pH relativamente elevados (5.4 en agua) en la parcela que recibió 12 t en la siembra (d12, 2.5), que presenta también la CICE más alta (17 cmol_c Kg⁻¹), mayor saturación del complejo de cambio en Ca (prácticamente un 100%) (Fig. 2) y muy baja saturación en Al. Cuando las dosis en la siembra fueron menores, el encalado de mantenimiento apenas provoca variaciones en el complejo de cambio, el pH del suelo es bajo y la saturación en Al alcanza niveles comparables a los de las parcelas encaladas sólo en la siembra. Este mismo efecto, y con mayor intensidad, aparece en las que recibieron

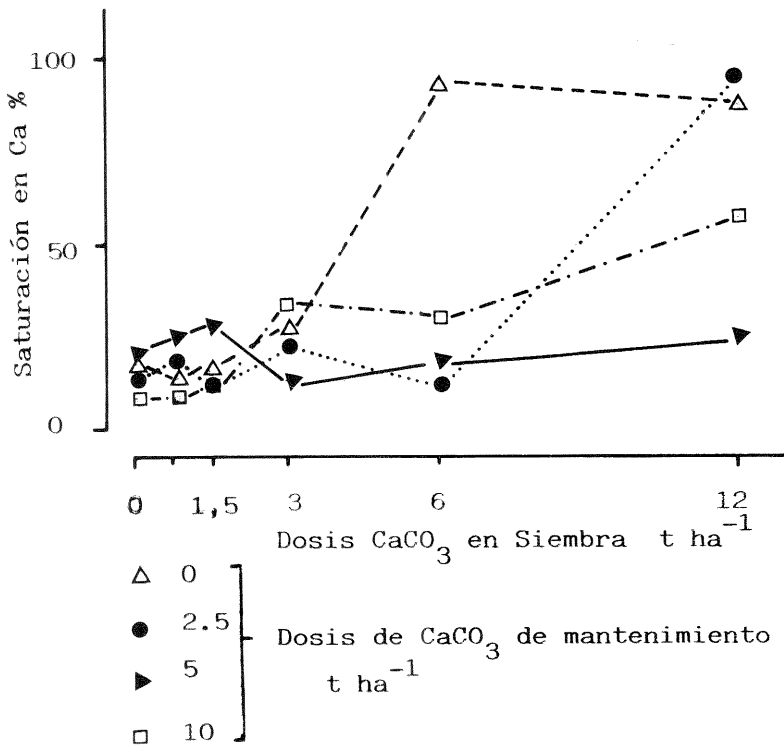


Fig. 2. Variación de la saturación en Ca del complejo de cambio según las dosis de cal aplicadas como mantenimiento.

dosis de mantenimiento de 5 y 10 t ha⁻¹ (dx,5; dx,10), aproximándose las condiciones a las del suelo sin modificar (suelo natural). En estas condiciones el encalado de mantenimiento muestra una eficacia muy baja que es difícil de explicar, sobre todo teniendo en cuenta el efecto residual que ejercen sobre el suelo dosis similares añadidas en la siembra, como se puede ver en la Fig. 2.

Aunque es frecuente encontrar referencias de que un suelo encalado se reacidifica tanto más rápidamente cuanto mayor es la dosis aplicada (p.e. DOERGE & GARDNER, 1985), no deja de sorprender que esto suceda con las dosis de mantenimiento y no con las aplicaciones en la siembra cuando no se encala de mantenimiento. La aplicación en cobertera de las dosis de mantenimiento origina una mayor concentración de caliza en superficie, acelerándose los procesos de reacidificación, y hace que el espesor de la capa de suelo que se beneficia del encalado sea pequeña, siendo probable una dilución del efecto de la caliza al no haber alcanzado toda la profundidad

muestreada, especialmente si se considera el poco tiempo transcurrido desde su aplicación. En este sentido, BROMFIELD *et al.*, (1987) citan una profundidad de penetración de caliza añadida en la superficie de un suelo sobre granito, de 15 cm en 6 años.

Formas de Aluminio

Para el estudio de las formas de Al del suelo y las variaciones que en ellas produce el encalado, se han utilizado una serie de técnicas de disolución selectiva de potencial extractivo creciente (KCl, LaCl₃, CuCl₂, pirofosfato sódico y oxalato amónico).

Parcelas encaladas sólo en la siembra (dx,0)

El carbono y las formas de aluminio encontradas en las parcelas que recibieron caliza sólo en la siembra, se encuentran en la Tabla IV. Se denominan Al_k (Al en KCl), Al_{la} (Al en LaCl₃),

TABLA IV. Carbono total, soluble en pirofosfato y formas de Al en las parcelas encaladas sólo en la siembra (serie dx, 0)

	(x) Dosis de CaCO ₃ en la siembra, t ha ⁻¹						S.N.#
	0	0.75	1.5	3	6	12	
Al _k *	3.26	2.79	3.01	2.05	0.02	0.69	2.49
Al _{la}	6.05	5.77	4.88	3.77	3.05	2.33	4.00
Al _{cu}	33.79	32.97	25.25	27.10	16.92	20.59	6.12
Al _{lak}	2.79	2.98	1.87	1.72	3.03	1.64	1.51
Al _{cula}	27.74	27.20	20.37	23.33	13.87	18.26	22.12
Al _p	134.4	130.0	124.4	120.0	106.6	112.2	73.3
Al _o	112.2	102.2	104.4	102.2	108.8	91.1	51.1
Ct**	6.24	7.44	6.16	5.04	5.24	3.65	5.02
Cp	3.05	3.16	2.31	1.52	1.68	1.93	1.82
Cp/Ct&	48.9	42.5	37.6	30.1	32.1	52.9	36.3

#: Suelo natural, sin abonado de base ni encalado.

*: Al extraído con los diferentes métodos de disolución selectiva, en cmol_c kg⁻¹. k: KCl; la:LaCl₃; cu: CuCl₂; p: pirofosfato; o: oxalato amónico; Al_k: Al_{la}-Al_k; Al_{cula}: Al_{cu}-Al_{la}.

**&: Ct: carbono total; Cp: carbono soluble en pirofosfato.

&: 100 Cp/Ct.

Al_{cu} (Al en $CuCl_2$), Al_{lak} ($Al_{la}-Al_k$), Al_{cula} ($Al_{cu}-Al_{la}$), Al_p (Al en pirofosfato), Al_o (Al en oxalato), Ct (carbono total) y Cp (carbono solubilizable en pirofosfato).

En comparación con el suelo natural, la parcela con abonado basal (d0,0) tiene más Al extraíble con cualquiera de las técnicas de disolución selectiva utilizadas. El Al total complejado con la materia orgánica (Al_p) es prácticamente doble que en el suelo no modificado; también es más abundante el Al en complejos de estabilidad baja (Al_{lak}) e intermedia (Al_{cula}) (según definen URRUTIA *et al.*, 1988a y b; URRUTIA, 1989) y el Al cambiante (Al_k). En las parcelas encaladas, especialmente las que recibieron dosis bajas en la siembra, se mantiene una situación similar en relación al suelo natural. Esto significa una mayor acidez potencialmente liberable, que es consecuencia del manejo en general. La mayor riqueza en nutrientes, la fuerza iónica más alta, los valores de pH más elevados y el cambio en la cobertura vegetal, favorecen procesos como la humificación que modifican las características de la materia orgánica, haciendo que aumente su capacidad complejante.

En relación con el efecto de las distintas dosis de caliza, se aprecia un descenso de todas las formas de Al cuanto mayor es la dosis de caliza aplicada (Tabla IV); el más acusado se produce para dosis superiores a $3 t ha^{-1}$; las condiciones de elevado pH, alta CICE y saturación en Ca del complejo de cambio que tienen las parcelas con las dosis más altas (d6,0; d12,0), justifican el descenso de todas estas formas con respecto a las obtenidas con dosis menores (d0,0; d0,75,0; d1,5,0). La caliza está ejerciendo el efecto de neutralización esperado, actuando incluso sobre Al ligado a materia orgánica en complejos de relativa estabilidad (Al_{cula} , Al_p); JARVIS (1986), encontró descensos en el Al extraído con pirofosfato o con EDTA por efecto del encalado en suelos de pradera de Inglaterra, de modo similar a lo aquí observado.

Respecto a modificaciones en la materia orgánica, el encalado provoca un descenso tanto en su contenido total como en la fracción extraíble con pirofosfato, coincidiendo con lo encontrado por PERSSON *et al.* (1989), quienes afirman que, cuando se favorecen los procesos de mineralización, el carbono más disponible es el que va a

ser mineralizado en primer lugar. Como consecuencia de la influencia del encalado sobre mineralización y humificación, la materia orgánica de las parcelas está, en general, más humificada que la del suelo natural, incluso en aquellas con menor contenido en carbono total (como ejemplo, la relación Cp/Ct es 53% en la parcela d12,0, 48.9% en la que sólo recibió abonado basal y 36% en el suelo natural).

Parcelas con encalado de mantenimiento

Al igual que los datos del complejo de cambio, las formas de Al y C de estas parcelas (Tabla V) parecen indicar una eficacia muy baja del encalado de mantenimiento. Tan sólo las parcelas con dosis de mantenimiento bajas (dx,2.5) tienden a comportarse como las encaladas sólo en la siembra.

A pesar de ello, pueden observarse ciertas tendencias. El contenido en carbono, tanto total como soluble en pirofosfato, disminuye al aumentar la dosis aplicada en la siembra, para dosis de mantenimientos de 2.5 y $5 t ha^{-1}$, decreciendo también el grado de humificación (reflejado por la relación Cp/Ct). Igual comportamiento siguen las formas de Al, tanto el cambiante (Al_k), como el ligado a la materia orgánica en forma lábil (Al_{lak}) y en formas de estabilidad media (Al_{cula}) o elevada (Al_p) (Fig. 3). Sin embargo, esta tendencia es paulatinamente menos evidente cuanto mayor es la dosis de mantenimiento. El descenso llega a ser significativo estadísticamente en las formas de estabilidad media (Al_{cula}), que son más bajas en las parcelas con dosis de 6 y $12 t ha^{-1}$ (d6,y, d12,y), respecto a las dosis bajas de aporte inicial para cada tipo de mantenimiento (d0,y; d0,75,y; d1,5,y; d3,y).

Si, por el contrario, se considera el efecto del encalado de mantenimiento para igualdad de dosis en la siembra, se pueden diferenciar dos comportamientos:

- Para dosis bajas en la siembra, el encalado de mantenimiento no provoca variaciones importantes.

- En parcelas con dosis altas en la siembra (d6,y; d12,y), el aumento de las dosis de mantenimiento da lugar a aumentos del Ct, del Cp, y del grado de humificación (Figs. 4a y 4b), así

TABLA V. Carbono total, soluble en pirofosfato y formas de Al en las parcelas que recibieron encalado de mantenimiento (series dx, 2.5; dx, 5 y dx, 10).

	Dosis de CaCO ₃ en la siembra (x) t ha ⁻¹						Serie (1)
	0	0.75	1.5	3.0	6.0	12	
Al _k *	2.6	2.4	2.5	2.2	3.1	0.06	d _{x, 2.5}
Al _{la}	5.2	5.2	5.2	4.5	4.7	0.06	
Al _{cu}	31.6	32.5	29.7	28.2	24.1	18.3	
Al _{lak}	2.6	2.8	2.7	2.2	1.6	0.0	
Al _{cula}	26.5	27.4	24.6	23.7	19.4	18.3	
Al _p	133.3	138.8	122.2	133.3	121.0	107.5	
Al _o	112.2	115.5	93.3	107.7	86.6	103.3	
Ct**	5.8	6.3	6.7	6.0	4.8	5.5	
Cp	2.5	2.6	2.7	2.4	1.6	1.5	
Cp/Ct&	43.4	41.8	40.7	40.7	32.9	27.6	
Al _k *	2.8	2.6	2.2	2.1	2.5	2.4	d _{x, 5}
Al _{la}	5.7	5.8	5.0	3.4	4.9	3.4	
Al _{cu}	30.0	32.1	30.4	28.2	24.6	23.4	
Al _{lak}	2.9	3.2	2.8	0.8	2.4	0.9	
Al _{cula}	24.3	26.3	25.4	24.9	19.7	20.0	
Al _p	133.3	138.8	130.0	130.0	119.0	124.4	
Al _o	117.7	114.4	103.3	108.8	106.6	153.3	
Ct**	6.5	7.6	6.7	5.4	4.9	5.0	
Cp	3.1	3.6	2.5	2.5	2.1	2.0	
Cp/Ct&	46.7	46.8	38.1	46.9	43.9	40.9	
Al _k *	2.8	2.2	2.5	2.8	2.9	2.1	d _{x, 10}
Al _{la}	4.7	5.2	4.3	3.4	5.3	4.3	
Al _{cu}	29.3	34.4	30.9	26.1	27.7	28.7	
Al _{lak}	1.9	3.0	1.8	0.6	2.4	2.2	
Al _{cula}	24.6	29.2	26.6	22.7	22.4	24.5	
Al _p	135.5	136.6	136.6	124.4	137.7	125.5	
Al _o	99.9	102.2	111.0	107.7	118.8	91.1	
Ct**	5.8	6.4	6.5	5.3	6.4	6.2	
Cp	2.7	6.2	2.9	2.6	2.8	3.4	
Cp/Ct&	47.2	49.1	45.5	49.7	44.6	55.5	

(1): Series dx, y; y es la cantidad de caliza añadida como mantenimiento, en t ha⁻¹.*: Al extraído con los diferentes métodos de disolución selectiva, en cmol_c kg⁻¹; k: KCl; la: LaCl₃; cu: CuCl₂; p: pirofosfato; o: oxalato amónico; A_{lak}: Al_{la}-Al_k; Al_{cula}: Al_{cu}-Al_{la}.

**: Ct: carbono total; Cp: carbono soluble en pirofosfato.

&: 100 Cp/Ct.

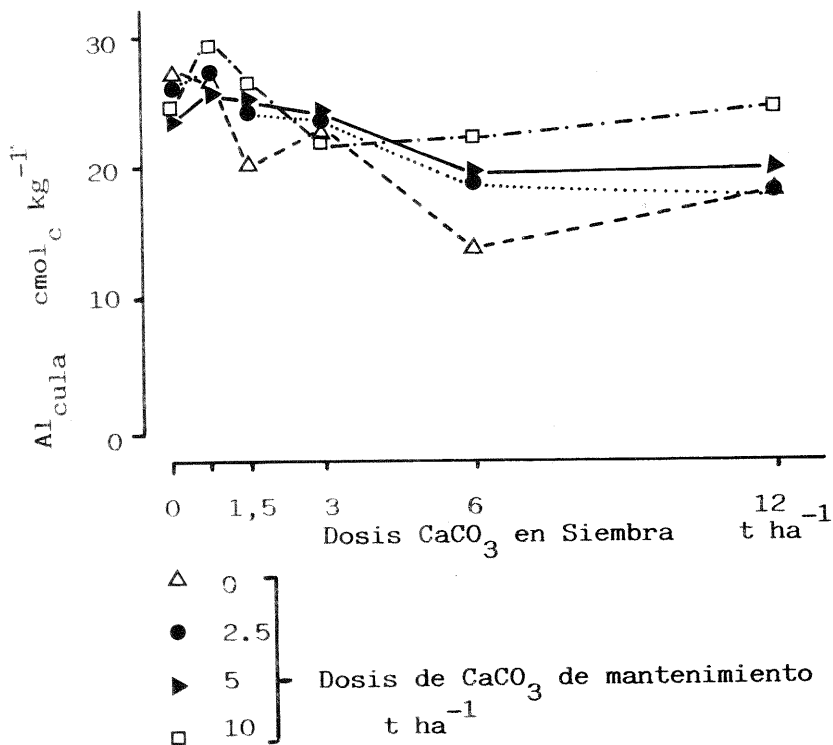


Fig. 3. Evolución del Al complejado con la materia orgánica en complejos de estabilidad media (Al_{cula}) en función de las dosis de caliza aportadas.

como de las formas de Al, especialmente las complejadas lábiles (Al_{lak}) y de estabilidad media (Al_{cula}) (Figs. 4c, 4d). Parece, por tanto, que el encalado de mantenimiento favorece la humificación en las parcelas que habían recibido dosis elevadas en la siembra, hecho que hace aumentar la cantidad de ácidos húmicos en el suelo y la acidez general. Al mismo tiempo, disminuye la estabilidad de los complejos entre Al y materia orgánica, con lo que aumenta la "acidez potencial". Se justificarían de este modo los niveles de acidez cambiante y la baja saturación en bases del complejo de cambio de estas muestras.

De nuevo, el diferente efecto que ejercen las dosis altas de cal, según se apliquen en la siembra o como mantenimiento, es difícil de justificar

salvo por las razones expuestas en la discusión de la influencia sobre el complejo de cambio. El efecto del mantenimiento parece superponerse con el provocado por la caliza aplicada en la siembra, ya que se hace evidente sobre todo en las parcelas con dosis iniciales más elevadas (d6,y; d12,y).

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer a los investigadores del Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (Xunta de Galicia, La Coruña) por la información aportada sobre los ensayos y por su colaboración en la recogida de las muestras de suelo.

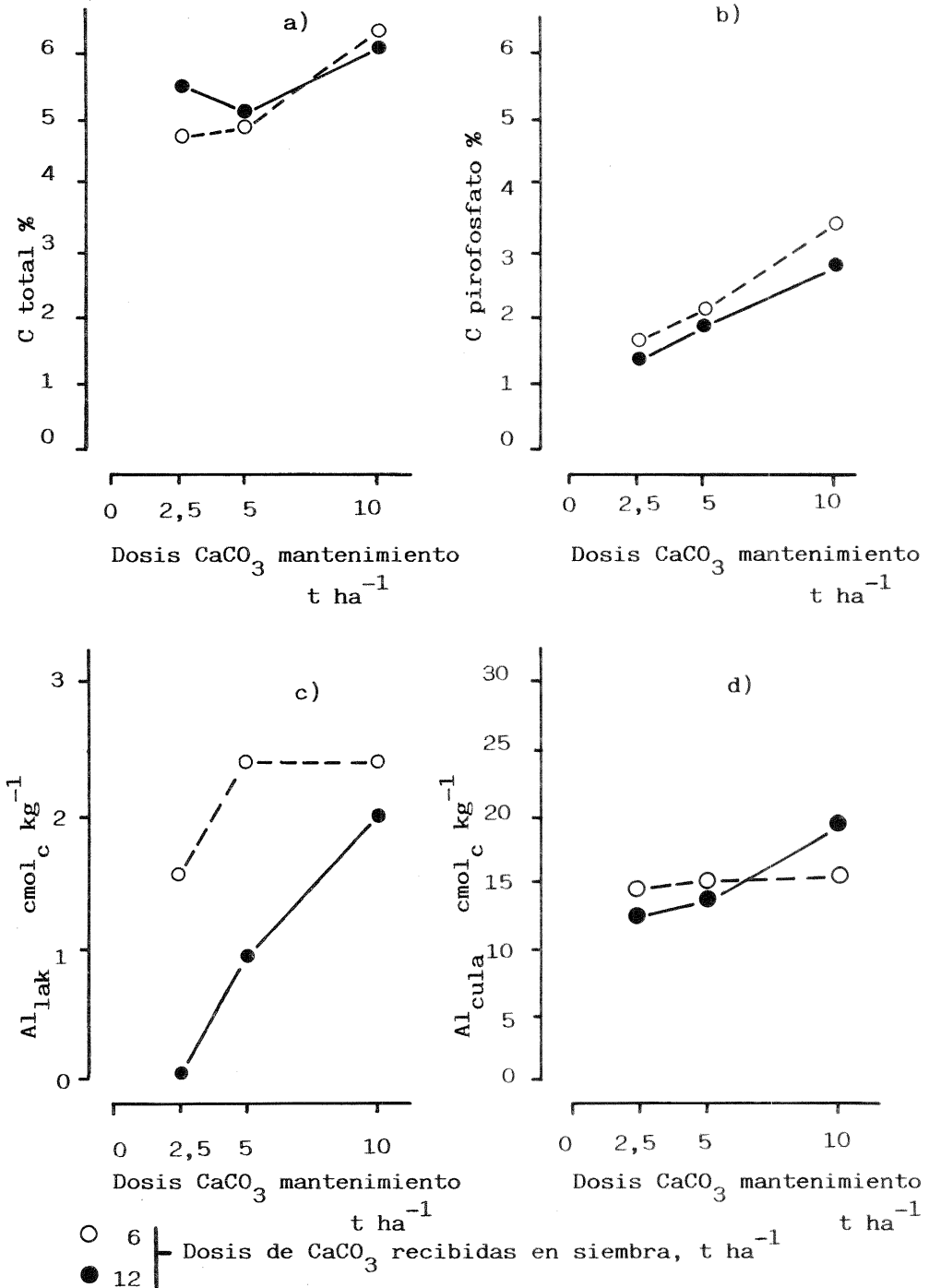


Fig. 4. Efecto del encalado de mantenimiento sobre algunas propiedades de las parcelas que recibieron 6 y 12 t ha^{-1} de CaCO_3 en la siembra:

- a) Carbono total.
- b) Carbono soluble en pirofosfato.
- c) Al en complejos lábiles (Al_{lak}).
- d) Al en complejos de estabilidad media (Al_{cula}).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ADAMS, F. (1984). Crop response to lime in the Southern United States. In: Adams, F. (Ed.), *Soil Acidity and Liming* (2nd ed.): 211-266. Am. Soc. Agron. Inc., Madison.
- ADAMS, F. & LUND, Z.F. (1966). Effect of chemical activity of soil solution aluminum on cotton root penetration of acid subsoils. *Soil Sci.*, **101**: 193-198.
- BASCOMB, C.L. (1968). Distribution of pyrophosphate extractable iron and organic carbon in soils of various groups. *J. Soil Sci.*, **19**: 251-268.
- BHUMBLA, D.R. & McLEAN, E.O. (1965). Aluminum in soils: VI. Changes in pH-dependent acidity, cation exchange capacity and extractable aluminum with additions of lime to acid surface soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **29**: 370-374.
- BLAKEMORE, L.C. (1978). Exchange complex dominated by amorphous material, ECDAM. In: Smith, G.D. (Ed.), *The Andisol proposal*: 21-22. Soil Bureau, DSIR, New Zealand.
- BLOOM, P.R., McBRIDE, M.B. & WEAVER, R.M. (1979). Aluminum organic matter in acid soils: Buffering and solution aluminum activity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **43**: 488-493.
- BROMFIELD, S.M., CUMMING, R.W., DAVID, D.J. & WILLIAMS, C.H. (1987). Long-term effects of incorporated lime and top dressed lime on the pH in the surface and subsurface of pasture soils. *Aust. J. Exp. Agric.*, **27**: 533-538.
- CABRERA, F. & TALIBUDEEN, O. (1977). Effect of soil pH and organic matter on labile aluminium in soils under permanent grass. *J. Soil Sci.*, **28**: 259-270.
- CALVO, R.M. & ALVAREZ, E. (1987). Problemas de caracterización del complejo de cambio en suelos de Galicia. *An. Edafol. Agrobiol.*, **46**: 259-270.
- COSTOYA, M.T., MOMBIELA, F. & MACIAS, F. (1983). Componentes de la acidez del suelo en cuatro suelos gallegos "a monte". *Cuadernos del Area de Ciencias Agrarias del Seminario de Estudios Galegos*, **4**: 152-174.
- DOERGE, T.A. & GARDNER, E.H. (1985). Reacidification of two lime amended soils in Western Oregon. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **49**: 680-685.
- EVANS, C.E. & KAMPRATH, E.J. (1970). Lime response as related percent Al saturation, solution Al and organic matter content. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **34**: 893-896.
- FAO (1974). *Legend of the Soil Map of the World*. UNESCO, Roma.
- GOEDERT, W.J. (1985). Management of acid tropical soils in the Savannas of South America. In: *Management of Acid Tropical Soils for Sustainable Agriculture*. Part. I: 109-127. Proceedings of the IBSRAM International Workshop, Bangkok, Thailand.
- GUITIAN, F. & CARBALLAS, T. (1976). *Técnicas de análisis de suelos*. Ed. Pico Sacro, Santiago de Compostela.
- HARGROVE, W.L. & THOMAS, G.W. (1981). Extraction of aluminum from aluminum-organic matter complexes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **45**: 151-153.
- HARGROVE, W.L. & THOMAS, G.W. (1984). Extraction of aluminum from aluminum-organic matter complexes in relation to titrable acidity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **48**: 1485-1460.
- HELTYAR, K.R. & ANDERSON, A.J. (1970). Some effects of the soil pH on different species and on the soil solution of a soil high in exchangeable aluminum. *Proceedings of the XI International Grassland Congress*: 431-434. Univ. Queensland Press, Victoria, Australia.
- HELTYAR, K.R. & ANDERSON, A.J. (1971). Effects of lime on the growth of five species, on aluminum toxicity and phosphorus availability. *Aust. J. Agric. Res.*, **22**: 707-721.
- HELTYAR, K.R. & ANDERSON, A.J. (1974). Effects of calcium carbonate on the availability of nutrients in an acid soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **38**: 341-346.
- JARVIS, S.C. (1986). Forms of aluminium in some acid permanent grassland soils. *J. Soil Sci.*, **37**: 211-222.
- JARVIS, S.C. (1987). Laboratory studies of effects of lime on soluble Al, Ca, Mg and Mn in pelostagnogley soil. *J. Soil Sci.*, **38**: 443-451.
- JUO, A.S. & KAMPRATH, E.J. (1979). Cooper 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 aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **34**: 252-254.
- KAMPRATH, E.J. (1984). Crop response to lime on soils in the tropics. In: Adams, F. (Ed.), *Soil Acidity and Liming* (2nd ed.): 349-368. Am. Soc. Agron., Madison.
- LIN, C. & COLEMAN, N.T. (1960). The measurement of exchangeable aluminum in soils and clays. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **24**: 444-446.
- McLEAN, E.O. (1971). Potentially beneficial effects from liming. Chemical and physical. *Soil Crop Sci. Soc. Florida Proc.*, **31**: 189-196.
- MENGEL, D.B. & KAMPRATH, E.J. (1978). Effect of soil pH and liming on growth and nodulation of soybeans in Histosols. *Agron. J.*, **70**: 959-963.
- MOSQUERA, A. (1987). *Transformación de tierras de monte gallego en praderas permanentes: dosis óptimas de cal para establecimiento y manteni-*

- miento. Tesis doctoral (inéd.). Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela.
- OATES, K.M. & KAMPBATH, E.J. (1983). Soil acidity and liming. II. Evaluation of using aluminum extracted by various chloride salts for determining lime requirements. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **47**: 690-692.
- PEECH, M., ALEXANDER, L.T., DEAN, L.A. & REED, J.F. (1947). *Methods of soil analysis for soil fertility investigations*. U.S. Dept. Agriculture, Washington D.C.
- PERSSON, T., LUNDKVIST, J., WIREN, A., HYVÖNEM, R. & WESSEN, B. (1989). Effects of acidification and liming on carbon and nitrogen mineralization and soil organisms in mor humus. *Water, Air & Soil Pollution*, **45**: 77-96.
- SCHNITZER, M. & GUPTA, U.P. (1965). Determination of acidity in soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **29**: 275-277.
- SOIL SURVEY STAFF U.S. (1975). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Survey*. Agric. Handbook 346. U.S. Gob. Printing Off., Washintong D.C.
- THOMAS, G.W. (1975). The relationship between organic matter content and exchangeable aluminum in acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **39**: 591-594.
- URRUTIA, M.M. (1989). *Procesos ácido base en suelos de la provincia de La Coruña*. Tesis doctoral (inéd.). Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela.
- URRUTIA, M.M., GARCIA-RODEJA, E. & MACIAS, F. (1988a). Aplicación de disoluciones no tamponadas para la extracción de aluminio "activo" ligado a la materia orgánica en suelos ácidos de Galicia. *An. Edafol. Agrobiol.*, **47**: 1289-1301.
- URRUTIA, M.M., GARCIA-RODEJA, E. & MACIAS, F. (1988b). Aplicación de disoluciones no tamponadas para la extracción de aluminio "activo" ligado a la materia orgánica en turbas naturales y aluminizadas. *An. Edafol. Agrobiol.*, **47**: 1525-1540.