

## **EFFECTO DEL ENCALADO SOBRE CIERTAS PROPIEDADES DE LA SOLUCIÓN DEL SUELO, LA FRACCIÓN COLOIDAL Y LA DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO**

M.J. FERNÁNDEZ-SANJURJO; E. ÁLVAREZ y E. GARCÍA-RODEJA

Dpto. de Edafología y Q. Agrícola. Fac. de Biología-Univ. de Santiago de Compostela.

**Abstract:** We investigated the effects of liming on the chemical and mineralogical properties of NPK-fertilized soils over granite, slate or gabbro. Liming (0.75, 1.5, 3.0, 6.0 or 12.0 t ha<sup>-1</sup>) was carried out on a single occasion seven years before sample collection and analysis. A control plot on each soil type received no lime. All plots (including controls) received an identical NPK fertilizer dose every year between years 1 and 5. Soil and soil-solution pH were generally higher, and exchangeable Al and total soil-solution Al contents generally lower, in limed plots. In the three soils, liming induced increased inorganic precipitation of Al. In the soil over slate, liming induced also increased organic complexation of both Al and Fe. The effects of liming on P availability differed between the three types of soil, and appear to have been mediated by effects on noncrystalline Fe and Al contents. In the soil over gabbro, liming induced polymerization of vermiculite interlayer Al hydroxides.

**Key words:** Liming, Aluminium, Phosphorus availability, Noncrystalline minerals.

**Resumen:** A partir de ensayos de fertilización realizados en suelos ácidos desarrollados sobre granito, filita y gabro, se estudian ciertas características químicas de parcelas abonadas con NPK y encaladas, y se comparan con parcelas control (fertilizadas sólo con NPK). El efecto del encalado es duradero (más de 7 años) y resulta en un pH más elevado tanto en el suelo como en la disolución y un menor contenido de Al cambiante y Al en disolución. Aumenta la tendencia a la precipitación inorgánica de Al en los tres suelos; en el suelo de filita se aprecia, además, una mayor complejación orgánica de Fe y Al. El efecto del encalado sobre la disponibilidad de fósforo depende del tipo de suelo y, en general, está relacionada con los compuestos no cristalinos de Fe y Al. El encalado favorece la polimerización de los hidróxidos de Al de la intercapa de los minerales vermiculíticos en el suelo de gabro.

**Palabras clave:** Encalado, Aluminio, Fósforo disponible, Minerales no cristalinos.

### **INTRODUCCIÓN**

La baja productividad de muchos suelos ácidos es debida al exceso de iones Al en disolución. Su reducción es objeto de las prácticas de encalado comunmente utilizadas (Kamprath, 1971; Helyar y Andersson, 1971,

1974). Los factores que controlan la presencia de Al en la disolución del suelo son el pH y la existencia de ciertas fases sólidas del suelo susceptibles de liberarlo; en ellas el Al puede encontrarse unido electrostáticamente a superficies orgánicas y minerales, complejoado orgánicamente, como Al mineral no cristalino y

como polímeros hidroxialumínicos en el espacio interlaminar de los minerales. El efecto del encalado sobre estas fuentes de Al es variable ya que puede disminuir su toxicidad por precipitación inorgánica o por complejación orgánica, o bien puede provocar su liberación por disolución mineral o por mineralización de la materia orgánica. El encalado también puede favorecer una mayor deposición de polímeros de Al en el espacio interlaminar de los minerales (Berstch, 1980) o, a  $\text{pH} > 7.2$ , promover la salida de estos polímeros para precipitar fuera del mineral (Niederbudde y Rühlicke, 1981).

En este trabajo se comparan algunas propiedades químicas y la mineralogía de las arcillas de parcelas que recibieron abonado NPK con otras sometidas al mismo tratamiento y enmendadas con distintas dosis de  $\text{CaCO}_3$ .

## MATERIAL Y MÉTODOS

Este trabajo se basa en un ensayo de transformación de tres tipos de suelos a monte, situados en la provincia de A Coruña, en praderas permanentes. Los suelos se clasifican (FAO, 1991) como un Cambisol húmico (de textura franco-arenosa) sobre granito, un Gleysol déstrico (de textura franco-limosa) sobre filita y un Andisol úmbrico (de textura franca) sobre gabro.

Cada uno de estos suelos se dividió en parcelas elementales de 5x8m siguiendo un diseño experimental en bloques al azar con 5 repeticiones en los suelos desarrollados a partir de granito y filita y en el suelo sobre gabro se estableció en cuadrado latino (6x6). Las parcelas denominadas «control» se abonaron durante cinco años consecutivos con NPK (600 kg ha<sup>-1</sup> de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , 800 kg ha<sup>-1</sup> de  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  y 200 kg ha<sup>-1</sup> de  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ); el resto de las parcelas fueron sometidas al mismo tratamiento y, además, enmendadas con distintas dosis de  $\text{CaCO}_3$  (0.75, 1.5, 3, 6 y 12 t ha<sup>-1</sup>) en la implantación de la pradera. El ensayo comenzó en 1981 y siete años después se tomaron muestras superficiales

(0-20 cm) resultantes de tres submuestras elegidas al azar. Los análisis se realizaron por duplicado.

En la fracción menor de 2mm se determinaron el pH en  $\text{H}_2\text{O}$  y en  $\text{KCl}$  0.1M (suelo/disolución= 1/2.5), la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) como suma de bases extraíbles con  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1M (Peech et al., 1947) y Al extraíble con  $\text{KCl}$  1M (Alk) (Lin y Coleman, 1967). Se extrajo Al y Fe con distintas disoluciones salinas:  $\text{CuCl}_2$  0.5M (Alcu) (Juo y Kamprath, 1979), pirofosfato sódico 0.1M (Alp, Fep) (Bascomb, 1968) y oxalato amónico ácido en oscuridad (Alo, Feo) (Blakemore, 1978). Al, Ca y Mg se determinaron por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), Na y K por Espectrofotometría de Emisión (EE). La diferencia Alp-Alcu (Alpcu) se utiliza para estimar los complejos organoalumínicos de fuerte estabilidad (Urrutia, 1989) y Alo-Alp (Alop), Feo-Fep (Feop) representan el Al y Fe mineral no cristalino, respectivamente. El P disponible se determinó por el método recogido de Olsen et al. (1954).

El estudio de la fracción arcilla se llevó a cabo con un aparato Philips PW-1730 (radiación K de Co) en muestra orientada (saturación en  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  más glicerina, saturación en  $\text{K}^+$  y calentamiento de la arcilla-K a 110°C, 330°C y 550°C).

En la disolución del suelo (Alvarez, 1990), obtenida por desplazamiento en columna (Adams, 1974) en primavera de 1988, se determinaron pH, Al total por colorimetría en muestra filtrada por 0.45  $\mu\text{m}$  (DOUGAN y WILSON, 1974), Ca y Mg por EAA y Na y K por EE.

Los índices de saturación mineral (I.S.) se calcularon como  $\log(Q_p/K_p)$ , donde  $Q_p$  es el producto de las actividades iónicas obtenido en disolución y  $K_p$  es la constante de equilibrio. Índices de saturación positivos indican que el sistema está sobresaturado respecto a una fase mineral concreta, negativos que está insaturado y cero que se encuentra en equilibrio.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN***Efecto sobre el pH, cationes de cambio y solubles*

En los suelos sobre filita y gabro, el pH del suelo y de la disolución son generalmente más altos en las parcelas encaladas; en el suelo de granito, el aumento de pH sólo es significativo en las parcelas que recibieron las dosis más altas de cal (6 y 12 t ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>)(Tabla 1). Los contenidos de Al en disolución son más altos a pH más ácidos ( $r=-0.86$ ,  $p<0.05$ ), y dependen del tipo de material original (niveles apenas detectables en el suelo de gabro). La

reducción del Al en disolución con la caliza, es más clara en el suelo sobre filita (Tabla 2). El encalado reduce significativamente los niveles de Al cambiante en los tres suelos en comparación con sus respectivos controles, si bien en el suelo de gabro, con un contenido de Al de cambio (Alk) mucho más bajo, el efecto sólo se manifiesta a partir de la dosis 3 (Urrutia et al., 1991) (Fig. 1). El Ca en el complejo de cambio y en disolución se relacionan significativamente ( $r=0.80$  para el suelo de granito y  $r=0.88$  para el suelo de gabro,  $p<0.05$ ), y sus valores son en general superiores en las parcelas encaladas que en la correspondiente control; en el suelo

Tabla 1. pH, cationes de cambio y formas de Fe y Al en la fase sólida. (NPK: parcela control; Ca1, Ca2, Ca3, Ca4, Ca5 parcelas abonadas con NPK y encaladas con dosis de CaCO<sub>3</sub> de 0.75, 1.5, 3.0, 6.0 y 12 t ha<sup>-1</sup>; G: granito; F: filita; Gb: gabro; %Al: saturación en Al del complejo de cambio; Alcu: Al extraído con CuCl<sub>2</sub> 0.5 M; Alo y Feo: Al y Fe extraídos con oxalato amónico 0.2M; Alpcu: Alp-Alcu).

Muestra	%Al	pH	Ca	Mg	Na	K	Al <sub>cu</sub>	Al <sub>pcu</sub>	Al <sub>o</sub>	Fe <sub>o</sub>
							-----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----	-----%Al-----	(%Fe)	
NPK-G	57	4.2	2.6	0.11	0.12	0.23	31.1	0.58	1.00	0.82
Ca1-G	38	4.4	5.6	0.11	0.10	0.29	28.9	0.48	0.90	0.66
Ca2-G	26	4.2	8.0	0.13	0.08	0.24	27.7	0.39	0.76	0.75
Ca3-G	13	4.4	14.0	0.13	0.09	0.23	26.6	0.64	1.05	0.69
Ca4-G	18	4.6	9.0	0.05	0.09	0.13	22.2	0.52	1.09	1.29
Ca5-G	4	5.8	26.0	0.14	0.12	0.24	22.2	0.67	0.91	0.70
NPK-F	38	4.4	7.4	0.27	0.17	0.29	18.9	0.32	0.49	1.20
Ca1-F	96	4.4	0.6	0.18	0.20	0.20	21.1	0.38	0.64	1.50
Ca2-F	56	4.6	3.0	0.18	0.13	0.22	22.2	0.29	0.57	1.50
Ca3-F	27	4.7	9.2	0.18	0.13	0.29	20.0	0.30	0.66	1.35
Ca4-F	31	4.8	6.4	0.24	0.16	0.20	23.3	0.41	0.75	1.59
Ca5-F	16	4.9	11.4	0.26	0.15	0.20	20.0	0.33	0.53	1.20
NPK-Gb	15	5.1	5.2	0.14	0.13	0.24	38.9	1.73	3.00	1.53
Ca1-Gb	25	5.1	2.6	0.11	0.11	0.16	43.3	1.80	2.57	1.35
Ca2-Gb	14	5.2	5.6	0.11	0.14	0.21	41.1	1.79	3.40	1.65
Ca3-Gb	2	5.5	14.0	0.27	0.18	0.17	31.1	1.59	2.87	1.71
Ca4-Gb	2	5.5	15.2	0.20	0.15	0.22	40.0	1.33	2.97	1.66
Ca5-Gb	0	6.4	72.2	0.75	0.18	0.16	36.6	1.56	2.75	1.92

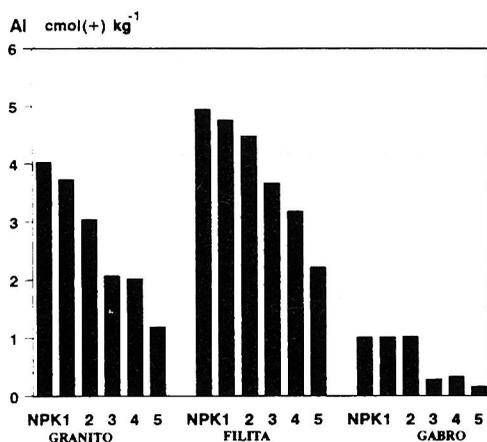


Figura 1. Valores de Al cambiante (Alk). NPK: parcela control fertilizada sólo con NPK; 1 (Ca1), 2 (Ca2), 3 (Ca3), 4 (Ca4), 5 (Ca5): parcelas abonadas con NPK y encaladas con dosis de CaCO<sub>3</sub> de 0.75, 1.5, 3.0, 6.0 y 12.0 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Tabla 2. pH y cationes en la disolución del suelo. (muestra: ver tabla 1).

Muestra	pH	Ca	Mg	Na	K	Al
-----mg L <sup>-1</sup> -----						
NPK-G	5.7	7.3	0.2	3.8	1.1	0.26
Ca1-G	6.3	8.3	0.2	4.6	0.8	0.24
Ca2-G	5.0	11.8	0.3	1.1	0.5	0.47
Ca3-G	6.3	11.5	0.2	1.2	0.3	0.15
Ca4-G	6.1	13.4	0.2	1.9	0.5	0.19
Ca5-G	6.7	16.8	0.2	1.0	0.2	0.22
NPK-F	5.9	8.0	0.4	3.3	1.0	0.23
Ca1-F	6.6	5.2	0.3	5.2	1.0	0.22
Ca2-F	7.0	7.5	0.5	5.8	0.8	0.19
Ca3-F	6.5	5.5	1.1	6.0	0.3	0.19
Ca4-F	7.1	7.7	0.3	4.6	0.5	0.08
Ca5-F	7.5	24.2	0.8	2.2	0.4	0.07
NPK-Gb	5.8	7.5	0.3	3.5	1.1	<0.001
Ca1-Gb	5.9	11.3	0.6	4.0	1.6	0.19
Ca2-Gb	6.7	10.4	0.5	4.2	0.8	<0.001
Ca3-Gb	6.6	11.0	0.5	3.1	0.1	<0.001
Ca4-Gb	6.9	16.4	0.4	4.8	0.4	<0.001
Ca5-Gb	6.8	18.5	0.7	3.9	0.1	<0.001

de filita el encalado no tiene un claro efecto sobre el contenido de Ca cambiante ni de Ca en disolución, excepto en la parcela que recibió 12 t ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>. El escaso incremento, e incluso el descenso de este Ca a dosis bajas y medias de CaCO<sub>3</sub>, sobre todo en este suelo, podría deberse, además de a pérdidas por lavado a lo largo de siete años, a la precipitación conjunta de Ca y P, como sugiere el aumento del índice de saturación del cloroapatito tras el encalado (Tabla 3).

El encalado parece reducir el contenido de K en disolución y su influencia en los niveles de Mg y de Na no presenta un patrón definido (Tabla 2).

#### Formas de Al y Fe

En el suelo de granito, se observa una ligera disminución del Alcu en las parcelas que reci-

Tabla 3.- Índices de saturación mineral (I.S.). (Muestra: ver tabla 1).

Muestra	Gibbsita	Caolinita	Cloroapatito
NPK-G	3.4	5.9	0.5
Ca1-G	2.9	4.8	1.8
Ca2-G	2.5	4.5	- 3.4
Ca3-G	1.6	2.4	4.4
Ca4-G	1.4	2.7	3.7
Ca5-G	4.1	7.4	6.9
NPK-F	2.2	3.5	1.1
Ca1-F	4.0	7.7	4.5
Ca2-F	1.6	2.1	6.6
Ca3-F	2.7	2.2	2.4
Ca4-F	3.4	6.4	8.0
Ca5-F	3.0	6.1	11.7
NPK-Gb	1.1	1.2	0.6
Ca1-Gb	3.5	6.0	2.8
Ca2-Gb	1.7	2.1	8.0
Ca3-Gb	1.7	2.7	5.7
Ca4-Gb	1.6	2.0	7.2
Ca5-Gb	1.7	3.0	3.4

bieron las dosis más altas de  $\text{CaCO}_3$  (Tabla 1), sin embargo no se aprecia un efecto claro sobre los complejos organoalumínicos (Alp y Alpcu), que presentan ciertas variaciones independientes de la dosis (Tabla 1) (Fig. 2). Los valores del Al mineral no cristalino (Alop) tampoco pueden relacionarse con la dosis de cal añadida (Fig. 2)

y su comportamiento parece estar controlado, en parte, por el pH de la disolución con el que presenta un coeficiente de correlación de  $r = -0.91$  ( $p < 0.01$ , exceptuando la dosis de 12 t ha<sup>-1</sup>). Aunque los valores de Alop no sugieren una mayor formación de compuestos no cristalinos, el aumento de los índices de saturación para gibbsita y caolinita (Tabla 3) indicarían una tendencia a la precipitación inorgánica con la dosis más alta de cal (parcela Ca5).

En el suelo de filita el encalado produce un ligero incremento de los complejos organoalumínicos de estabilidad media (Alcu) (Tabla 1), del Al no cristalino (Alo y Alop) (Tabla 1) (Fig. 2) y de los índices de saturación mineral para gibbsita y caolinita (Tabla 3). Según esto, la neutralización del Al cambiante podría producirse no sólo por precipitación inorgánica sino también por complejación orgánica. Esta última tendencia se ha observado también al comparar el suelo natural con parcelas que recibieron abonado NPK (Fernández-Sanjurjo et al., 1995) y podría relacionarse con el aumento de la reactividad de la materia orgánica después del drenaje artificial a que fue sometido este suelo inicialmente hidromorfo. En concordancia con esto, el contenido de complejos organoférricos (Fep) también son más elevados en las parcelas encaladas (Fig. 2b).

En el suelo de gabro, las dosis altas de  $\text{CaCO}_3$  (3, 6 y 12 t ha<sup>-1</sup>) provocan una ligera disminución de los complejos organoalumínicos (Alp), y, paralelamente, un pequeño aumento del Al mineral no cristalino (Alop) (Fig. 2a) y en general de los índices de saturación para gibbsita y caolinita (Tabla 3); estos resultados, junto con el aumento del Fe mineral no cristalino (Feop) (Fig. 2b) parecen indicar una cierta tendencia a la precipitación inorgánica en las parcelas que recibieron las dosis más altas de cal.

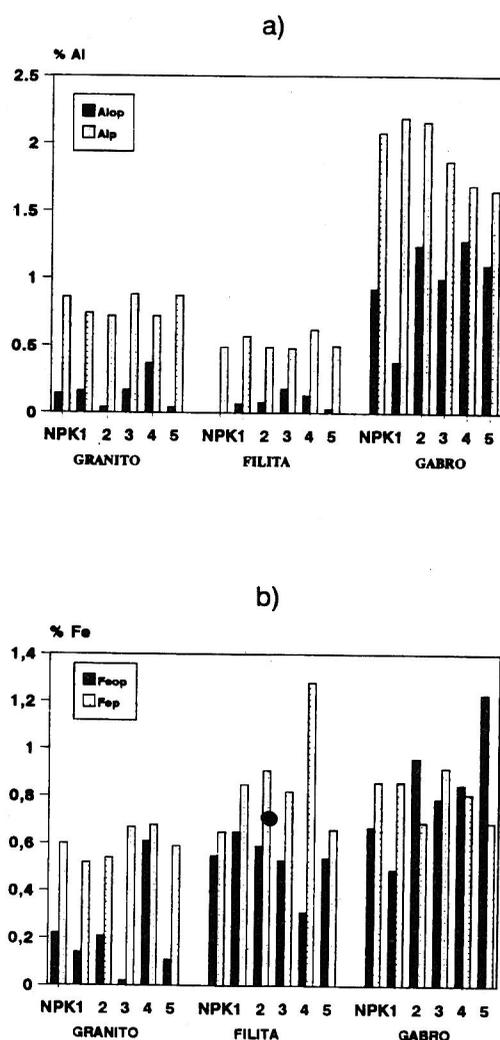


Figura 2. a) Contenidos de Al mineral amorfo (Alop) y extraído con pirofosfato sódico (Alp). b) Fe mineral amorfo (Feop) y extraído con pirofosfato sódico (Fep). (NPK, 1, 2, 3, 4, 5: ver fig.1).

#### Disponibilidad de P

El efecto del encalado en la disponibilidad del P depende del tipo de suelo (Fig. 3). En

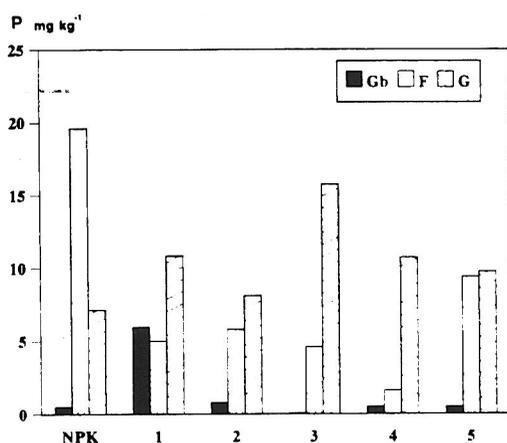


Figura 3.- Niveles de P disponible. (Gr: granito; Gb: gabro; NPK, 1, 2, 3, 4, 5: ver fig.1).

el suelo de granito el P disponible es mayor en las parcelas encaladas que en la que recibió únicamente abonado NPK; en el suelo de filita se observa una tendencia opuesta mientras que en el de gabro los niveles de P disponible son muy bajos y no parecen estar influenciados por el encalado. La existencia de comportamientos diferentes han sido citados anteriormente. Así Taylor y Gurney (1965) y Sánchez y Uehara (1980) han encontrado un aumento de la disponibilidad de P con el encalado, que explican por el efecto que el aumento de pH ejerce sobre los coloides de carga variable del suelo. Sin embargo, en suelos con alto contenido en Al cambiante, Murrman y Peech (1969) y Amarasiri y Olsen (1973) citan una disminución del P disponible con el encalado, atribuyéndolo a un proceso de hidrólisis del Al de cambio para dar polímeros Al-OH que, al fijarse sobre partículas cargadas negativamente, aumentan la superficie capaz de retener P; en un estudio posterior en suelos de Galicia, García-Rodeja y Macías (1983) llegan a similares conclusiones. Otros

Tabla 4 - Mineralogía de la fracción arcilla de las parcelas control (NPK) y de la parcela encalada con 6 t ha<sup>-1</sup> de caliza (parcela 4).

Muestra	Q	FE	M	VHI	M-V	GB	K	O
NPK-G	T	T	T	P	P	F	P	F
Ca4-G	T	T	T	F	T	F	P	F
NPK-F	P	P	F	T	F	F	T	-
Ca4-F	P	P	F	T	F	F	T	-
NPK-Gb	T	T	-	P	-	T	F	MA
Ca4-Gb	T	T	-	F	-	T	A	MA

Q: cuarzo; FE: feldespato; M: mica; VHI: vermiculita hidroxialumínica; M-V: interstratificado mica-vermiculita; GB: gibbsita; K: caolinita; O: óxidos de hierro. T: trazas (<5%); P: presente (5-10%); F: frecuente (10-20%); A: abundante (20-30%); MA: muy abundante (>30%). G: granito; F: filita; Gb: gabro

autores (Martini et al., 1974) no encuentran efectos del encalado sobre el P disponible.

Los distintos comportamientos observados en este trabajo podrían explicarse por las relaciones entre el P disponible y los compuestos de baja cristalinidad. Estos compuestos, que tienden a aumentar con el encalado en todos los suelos, parecen ser la causa de la baja disponibilidad de P en los suelos de gabro y filita, encontrándose correlaciones negativas entre P-Alop ( $r=-0.83$ ) y P-Feo ( $r=-0.75$ ) en el suelo de gabro y entre P-Alo ( $r=-0.78$ ) y P-Feo ( $r=-0.81$ ) en el de filita ( $p<0.05$ ). La mayor disponibilidad de P se presenta en el suelo de granito,

concordando con lo señalado por Mombiela y Mosquera (1986), y podría relacionarse con los bajos contenidos de Al y, sobre todo, de Fe no cristalino. Según esto, los compuestos no cristalinos de Fe jugarían un importante papel en la fijación de P en estos suelos, coincidiendo con los resultados dados por Ceconi (1960) y Mendoza (1983), entre otros.

#### Mineralogía

En los suelos de granito y de filita, el encalado no parece modificar los minerales de fracción arcilla (Tabla 4); en el suelo de filita

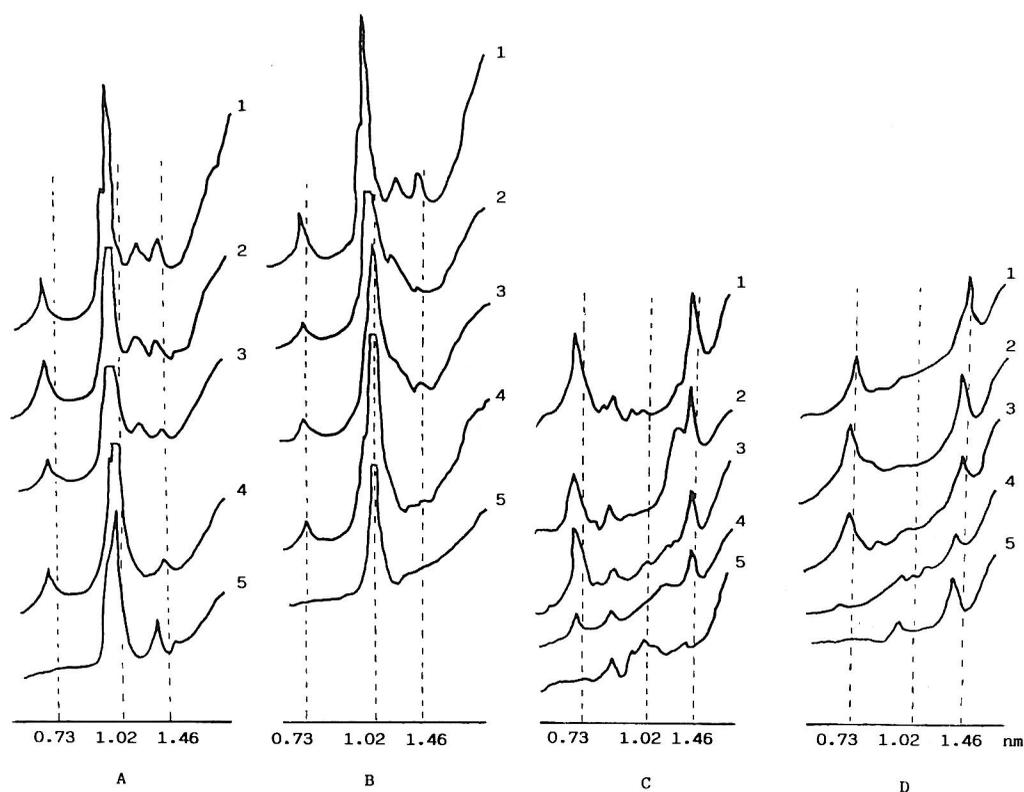


Figura 4.- Difractograma de la fracción arcilla. (A, C: parcelas control de los suelos de filita y gabro, respectivamente; B, D: parcelas que recibieron 3 t ha<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> (Ca<sub>3</sub>) en los suelos de filita y gabro, respectivamente; 1: muestra saturada en Mg; 2: muestra saturada en K; 3,4,5: muestras saturadas en K y calentadas a 110, 330 y 550°C, respectivamente).

únicamente cabe señalar una desaparición del residuo clorítico a 550°C (Fig. 4) en comparación con la parcela que recibió abonado NPK, por lo que el encalado parece promover una cierta despolimerización de los hidróxidos de Al del espacio interlaminar. Realmente las modificaciones mineralógicas más notables en ambos suelos (despolimerización de los hidróxidos de Al interlaminares) son causadas por el abonado NPK, añadido durante cinco años consecutivos que ha sido estudiado en un trabajo anterior (Fernández-Sanjurjo et al., 1995). Contrariamente, en el suelo de gabro se observa una mayor estabilidad de los polímeros hidroxialumínicos interlaminares de los minerales vermiculíticos en las parcelas encaladas (Fig. 4). Tendencias de este tipo ya han sido señaladas por Bertsch (1980) y Niederbudde y Rühlicke (1981), atribuyéndolas a diferencias en el pH del medio que repercuten en la relación OH/Al.

## CONCLUSIONES

Los efectos del CaCO<sub>3</sub> sobre ciertas propiedades se mantienen siete años después del aporte. En general, la magnitud de los cambios depende más del tipo de suelo que de la dosis aplicada. Las parcelas encaladas de los tres suelos presentan unos valores de pH más elevados, tanto en la fase sólida como en la líquida, en comparación con sus respectivos controles. Asimismo se observa un descenso del Al cambiante y, en general, del Al en disolución en estas parcelas. Las modificaciones sobre las formas de Fe y Al no son tan claras; en la mayoría de las parcelas el encalado provoca una tendencia a la precipitación inorgánica de Al; en el suelo de granito, esto se aprecia únicamente en las parcelas con dosis altas de cal; en el suelo de filita se favorece, además, una ligera complejación orgánica de Al y Fe, probablemente debido al aumento de la reactividad de la materia orgánica después del drenaje artificial a que fue sometido este suelo. En el suelo de

gabro, paralelamente a la precipitación inorgánica, se aprecia una disminución de los complejos organoalumínicos a dosis elevadas de CaCO<sub>3</sub>.

El efecto del encalado sobre la disponibilidad de P depende principalmente del tipo de suelo. En este sentido los compuestos de Fe no cristalinos parecen desempeñar un importante papel en la oclusión del P en los suelos de gabro y filita.

La fracción arcilla de las parcelas encaladas no sufre grandes cambios en relación a la de las parcelas con abonado NPK. Únicamente en el suelo de gabro aparece una ligera tendencia a que se estabilicen los polímeros hidroxialumínicos del espacio interlaminar vermiculítico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adams, F. (1974). Soil solution. En: *The Plant Root and its Environment*, E.W. Carson, ed, 441-481.
- Alvarez, E. (1990). Estudio de las diferentes formas de aluminio presentes en solución de suelos de Galicia. Tesis Doctoral. Univ. de Santiago de Compostela.
- Amarasiri, S.L.; Olsen, S.R. (1973). Liming as related to solubility of P and plant growth in an acid tropical soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37, 716-721.
- Bascomb, C.L. (1969). Distribution of pyrophosphate extractable iron and organic carbon in soils of various groups. *J. Soil Sci.* 19, 251-256.
- Bertsch, P.M. (1980). Lime-Al interactions and phosphorus relations with selected coastal plain soils. M.S. Thesis. Virginia Polytechnic Inst. and State Univ., Blacksburg, V.A.
- Blakemore, L.D. (1978). Exchange complex dominated by amorphous material (ECDAM). In: «The Andisol proposal». G.D. Smith, ed, 21-22. Soil Bureau, DSIR, New Zealand.

- Cecconi, S. (1960). Ricerche sulla fosfatazione del terreno. I. Terreni non calcarei. *Agrochimica* 5, n 1, 68-98.
- Dougan, W.K.; Wilson, A.L. (1974). The absorptiometric determination of aluminium in water. A comparison of some chromogenic reagents and development of an improved method. *Analyst* 99, 413-430.
- Fernández-Sanjurjo, M.J.; Alvarez, E.; García-Rodeja, E. (1995). Efecto de un abonado NPK sobre las propiedades químicas y mineralógicas de tres suelos de Galicia (NO. de España). *Agrochimica* 39/1, 43-52.
- García-Rodeja, E.; Macías, F. (1983). Algunos datos sobre la fijación de fósforo por los suelos de Galicia. *Cuadernos de Area de Ciencias Agrarias. Publicacions do Seminario de Estudos Galegos* 4, 133-156.
- Helyar, K.R.; Andersson, 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.
- Helyar, K.R.; Andersson, A.J. (1974). Effect of calcium carbonate on the availability of nutrients in an acid soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38, 341-346.
- Juo, A.S.; Kamprath, E.J. (1979). Cooper chloride as an extractant for estimating the potentially reactive aluminium pool in acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 407-413.
- Kamprath, E.J. (1971). Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34, 252-254.
- Lin, C.; Coléman, N.T. (1967). The measurement of exchangeable aluminium in soils and clays. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24, 444-446.
- Martini, J.A.R.; Kochchan, R.H.; Gomes E.P.; Langer, F. (1974). Response of soybeans to liming as related to soil acidity, Al and Mn toxicities, and P in some Oxisols of Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38, 616-620.
- Mendoza, R.E. (1983). Efecto residual del fósforo sobre la capacidad de fijación del suelo, el fraccionamiento del fósforo inorgánico y la producción de *Trifolium repens* L. *Agrochimica* 27, 358-369.
- Mombiola, F.; Mosquera, A. (1986). Pastures responses to P and K on reclaimed scrubland of Galicia (NW Spain). *Proc. Int. Symp. Eur. Grass. Fed. Setubal, Portugal.*
- Muurman, R.P.; Peech M. (1969). Relative significance of labile and crystalline phosphates in soil. *Soil Sci.* 107, 249-255.
- Niederbudde, E.A.; Rühlicke, G. (1981). Umwandlung von Al-chloritit durch Kalkung. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk* 144, 127-135.
- Olsen, S.R.; Cole, C.V.; Watanabe, F.S.; Dean, L.A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U.S. Dep. of Agric. Circ.* 939.
- Peech, M.; Alexander, M.T.; Dean, L.; Reed, J.F. (1947). Methods of soil analysis for soil fertility investigations. *U.S. Dep. Agr. Cir.* 757.
- Taylor, A.W.; Gurney, E.L. (1965). Precipitation of phosphate by iron oxide and aluminum hydroxide from solutions containing calcium and potassium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29, 18-22.
- Sanchez, P.A.; Uehara, G. (1980). Management considerations for acid soils with high phosphate fixation capacity. In: *The Role of Phosphorus in Agriculture*. F.E. Khasawneh, E.C. Sample y E.J. Kamprath, ed. *Am. Soc. Agron., Wisc.* 471-514.
- Urrutia, M.M.; García-Rodeja, E.; Macías, F. (1988). Aplicación de disoluciones no tamponadas para la extracción de Al «activo» ligado a la materia orgánica en suelos de Galicia. *An. Edafol. Agrobiol.* 47, 1289-1301.
- Urrutia, M.M., García-Rodeja, E.; Macías, F. (1991). Efecto del encalado y de la fertilización con fósforo sobre las formas de acidez de dos suelos ácidos de Galicia. *Suelo y Planta* 1, n 1, 49-60.