

## EFFECTO DEL ENCALADO Y DE LA FERTILIZACION CON FOSFORO SOBRE LAS FORMAS DE ACIDEZ DE DOS SUELOS ACIDOS DE GALICIA

M. M. Urrutia, E. García-Rodeja y F. Macías

*Dpto. Edafología y Química Agrícola. Fac. Biología. Univ. de Santiago de Compostela*

### RESUMEN

Se estudian las formas de acidez de parcelas de dos suelos, que han sostenido vegetación de pratenses a lo largo de 6/7 años de ensayo de encalado o de fertilización con fósforo. El Al cambiante y las saturaciones del complejo de cambio en Al se mantienen adecuados para el crecimiento vegetal y menores que los del suelo natural. El Al potencialmente liberable en complejos de media y baja estabilidad (Alcuk) en el suelo de granitos crece ligeramente con dosis medias de cal y fósforo, pero en ambos suelos se reduce respecto al contenido de los no modificados. El comportamiento de la capacidad de neutralización de base corrobora el efecto residual de los aportes sobre las formas de acidez en ambos suelos que, en el caso del fósforo, parece ser debido a las condiciones que la fertilización crea en el suelo.

Palabras clave: Formas de acidez, encalado, fertilización fosforada, aluminio cambiante, aluminio complejoado, efecto residual.

### SUMMARY

#### EFFECT OF LIMING AND P FERTILIZATION ON THE ACIDITY FORMS OF TWO ACID SOILS FROM GALICIA (NW SPAIN)

Acidity forms of plots that received lime or phosphorous, six or seven years after the first addition, are studied in two acid soils. Exchangeable Al and Al saturation of Exchange Complex stay on a moderate level, suitable to plant growth, and are always lower than those of natural soils. Potential acidity, considered as the Al in low to medium stability complexes with organic matter (Alcuk) in granite soils grows slightly in samples of the Cambisol that received medium doses of lime and phosphorous, but declines in relation to unaltered samples, in both soils. Base neutralization capacity follows that trend, too, indicating the existence of a residual effect of both additions on acidity parameters that, in the case of P fertilized plots, seem to depend on conditions created by basal treatment and fertilizer.

Key words: Acidity forms, Liming, phosphorous fertilization, exchangeable aluminium, complexed aluminium, residual effect.

## INTRODUCCION

La validez del encalado como método de corrección de la acidez es un hecho avalado por largos años de práctica (Gutián, 1956; Kamprath, 1971, entre otros). Los efectos ejercidos sobre las propiedades químicas del suelo son variados y han sido estudiados por un gran número de autores. Sin embargo, se plantean ciertas consideraciones acerca de los efectos que produce y su duración. Jarvis (1987) demostró que, *a muy corto plazo*, la adición de cal aumenta el nivel de Al en fase acuosa, al ser desplazado de los lugares de cambio por el ión  $\text{Ca}^{2+}$ . Además, en las dosis que originan condiciones más alcalinas, puede existir liberación de Al complejoado orgánicamente por solubilización de componentes orgánicos, producto de la mayor tasa de descomposición de materia orgánica que resulta del aumento de la actividad microbiana (Hubell, 1971). Al considerar el efecto *a largo plazo*, se encuentra que la velocidad de reacidificación de suelos encalados aumenta con la cantidad de cal aplicada (Chalmers, 1985; Gasser, 1985), por la fuerte influencia que el pH ejerce sobre procesos acidificantes como la nitrificación, la liberación de  $\text{CO}_2$  por la respiración vegetal y microbiana, la mineralización de materia orgánica y la disolución de ácidos orgánicos en la solución del suelo (Doerge y Gardner, 1985). Las pérdidas dependen de factores como drenaje del suelo, volumen de agua que lo drena, cultivo y uso de fertilizantes (Chalmers, 1985). Paralelamente al

pH, desciende la CIC y aumenta la lixiviación de Al, al reducirse la capacidad de cambio de los componentes orgánicos (Philips *et al.*, 1988). Este proceso de reacidificación se autolimita, ya que si al encalar se estimulan los procesos acidificantes, al descender el pH del suelo, la velocidad de acidificación lo hace también (Doerge y Gardner, 1985).

En relación a otros nutrientes, el pH ejerce una importante influencia sobre la mayor parte de los esenciales para el crecimiento vegetal, especialmente sobre elementos como el P, cuya asimilabilidad es función de la solubilidad de fases sólidas. El papel de los fertilizantes fosforados en la acidificación del suelo y el de los superfosfatos, en particular, ha sido ampliamente discutido. Hay evidencias de que su uso en suelos ya ácidos no siempre produce acidificación. Sin embargo, puede contribuir a la acidez del suelo si aumenta el nivel de materia orgánica. Así, en pastizales de Australia el uso de superfosfato favorece la formación de humus; el fósforo pasa a formas orgánicas y se originan ácidos húmicos carboxílicos que aumentan la acidez general (Russell, 1973).

En este trabajo se estudian los efectos que el encalado y la fertilización con P ejercen sobre las formas de acidez de dos suelos ácidos, en los que se han llevado a cabo ensayos para establecimiento y mantenimiento de especies pratenses.

## MATERIAL

Se han estudiado muestras superficiales (0 a 30 cm de profundidad) de parcelas de experimentación que han recibido dosis diversas de cal y fósforo, con diferentes frecuencias de aporte; los experimentos fueron realizados por el Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (La

Coruña) (Mombiela y Mateo, 1984; Castro, 1986; Mosquera, 1987), sobre dos suelos (Tabla I), que fueron caracterizados por Costoya *et al.* (1983):

—Suelo SA: Monte San Antón (La Coruña): Cambisol úmbrico sobre granitos, desaturado y ácido, con

TABLA I

*Datos generales de los suelos utilizados en los ensayos.*

Muestra	pH		CICE						Text %
	H <sub>2</sub> O	KCl	Ca	Mg	Na	K	Al	Satal	
			cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup>						
SA	5.33	4.11	1.2	0.2	0.26	0.06	7.73	81.8	F-Ar
SC	5.38	4.48	2.2	0.4	0.88	0.58	5.49	57.5	F-Ac-Li

CICE: Capacidad de intercambio de cationes efectiva (NH<sub>4</sub>Cl 1M).

Satal: Saturación del Complejo de Cambio en Al.

Text Textura.

elevados contenidos en materia orgánica, predominio de formas alumínicas ligadas a los componentes orgánicos y un fuerte carácter álico. (Precipitación anual de 1705 mm; Temperatura media anual de 11.8 °C, oscilando entre 7.1 y 17.3).

—Suelo SC: Monte Castelo (La Coruña): Andosol úmbrico sobre gabbros, cuyas propiedades están dominadas por la presencia de materiales

de baja cristalinidad, estabilizados gracias a la presencia de materia orgánica con una elevada capacidad de complejación de metales como Al o Fe. (Precipitación anual de 1798 mm; Temperatura media anual de 12.7 °C, oscilando entre 4.6 y 23).

*Estrategia de encalado o fertilización y dosis:* Las dosis utilizadas son las siguientes:

Dosis	1	2	3	4	5	6
t CaCO <sub>3</sub> ha <sup>-1</sup>	0	0.75	1.5	3.0	6.0	12.0
Estrategia Siembra* (s) . . . . .	0	0.75	1.5	3.0	6.0	12.0
Estrategia Anual* (a) . . . . .	0	4.50	9.0	18.0	36.0	72.0
Kg P ha <sup>-1</sup>	0	10	20	40	80	160
Estrategia siembra& (s) . . . . .	0	10	20	40	80	160
Estrategia anual& (a) . . . . .	0	60	120	240	320	960

\*: t CaCO<sub>3</sub> ha<sup>-1</sup> totales recibidas al final de los experimentos.

&: Kg P ha<sup>-1</sup> totales que han recibido las parcelas, aplicados como superfosfatos de cal con un 18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Se aplican según dos estrategias: exclusivamente en la siembra o anualmente las dosis indicadas. Se estudian las formas de acidez de parcelas que han recibido cal o fósforo

hace 7 o 6 años (estrategia de aporte en la siembra) y de parcelas que han recibido el último aporte hace 2 o 1 año (estrategia de aporte anual), según se indica en el esquema:

SUELO	PERIODO	EXPERIENCIA	N.º ADICIONES CAL o P	AÑOS* TRANSCURRIDOS
SA	1981 - 1986	Aporte siembra (s) . . . . .	1	7
		Aporte anual (a) . . . . .	6	2
SC	1982 - 1987	Aporte siembra (s) . . . . .	1	6
		Aporte anual (a) . . . . .	6	1

\*: Desde el último aporte a la toma de muestra.

Las muestras se recogen al azar, de una de las cuatro repeticiones del experimento, tomando tres muestras por parcela, que se mezclan antes de realizar los análisis. Se recogen también una muestra del tratamiento basal (fertilización con P, K, N y mi-

croelementos en las parcelas encaladas y con K, N, cal y microelementos en las que recibieron superfosfato) (denominadas (1)) y muestras de suelo no modificado (denominadas "suelos naturales").

## METODOS

Se han determinado carbono total (Guitián y Carballas, 1976), capacidad de intercambio catiónico con

NH<sub>4</sub>Cl 1 M (Peech *et al.*, 1947) y las formas de acidez de suelo con las siguientes extracciones:

—KCl 1 M (Lin y Coleman, 1967), determinando en el extracto Al por espectrofotometría de absorción atómica (Alk) y las formas ácidas capaces de neutralizar base (Urrutia, 1989): se valora una alícuota de 25 ml con NaOH hasta pH 8.2. La capacidad de amortiguación de base (bt), es el cociente entre la sosa consumida (en  $\text{cmol OH}^- \text{kg}^{-1}$  suelo) y la variación de pH. También se calcula la cantidad de Al que polimeriza en el transcurso de la valoración por la ecuación obtenida de Wada y Wada

(1980)\* que se denominará Alpol. Los  $\text{H}^+$  cambiables se determinan por valoración hasta pH 4.0.

—Extracción con  $\text{CuCl}_2$  0.5 M (Juo y Kamprath, 1979), midiendo Al por espectrofotometría de absorción atómica (Alcu). La diferencia entre Alcu y el Al cambiante (Alk) se utiliza para estimar Aluminio complejo con la materia orgánica en forma de complejos de baja y media estabilidad (Urrutia *et al.*, 1988; Urrutia, 1989). Se denomina Alcuk.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### CAMBISOL UMBRICO SOBRE GRANITOS; SAN ANTON (SA)

#### Parcelas encaladas

*Al cambiante:* El aluminio cambiante decrece al aumentar la dosis de cal (Tabla 2), significativamente a partir de la dosis 3 ( $1.5 \text{ t ha}^{-1}$ ). La estrategia de adición no parece influir. Los valores obtenidos durante los 3 primeros años (1982-84) en las parcelas encaladas sólo en la siembra (Mosquera, 1987) son similares a los obtenidos transcurridos 7 años (Fig. 1). Por tanto, hay un efecto residual del encalado sobre el Al de cambio, perdurable aún después de 7 años del aporte, alcanzándose valores de Alk menores que los críticos para el crecimiento de pratenses (Mosquera, 1987), desde las  $3 \text{ t ha}^{-1}$  en las parcelas enmendadas sólo el primer año (Fig. 1). La saturación en Aluminio permanece en niveles adecuados para pratenses (menores del 15%), excepto en las dosis de  $0.75$  y  $1.5 \text{ t ha}^{-1}$ , añadidas sólo en la siembra (Tabla 3).

Las parcelas que han recibido dosis superiores a  $1.5 \text{ t ha}^{-1}$  tienen significativamente menor Aluminio de cambio (al 5%) que los suelos naturales. Por tanto, la caliza presenta un efecto residual que supone importante mejora en el nivel de Al de cambio respecto a las condiciones iniciales de suelo.

*Al complejo con la materia orgánica:* El Aluminio extraído en  $\text{CuCl}_2$  (Alcu) (Tabla 2) es algo mayor en las parcelas que recibieron aportes bajos de cal, con un máximo en las parcelas de  $1.5 \text{ t ha}^{-1}$  (3), siendo las diferencias significativas al 5%. Alcuk sigue igual tendencia y el descenso es significativo estadísticamente entre las muestras de dosis 4, 5 y 6 ( $3, 6$  y  $12 \text{ t ha}^{-1}$ ) respecto a la 3 ( $1.5 \text{ t ha}^{-1}$ ). Tendencia similar sigue la relación Alcuk/Ct. La explicación de estos comportamientos po-

\*:  $m_{\text{Alp}} = 0,0328 \text{ } x m_{\text{Alt}} + 0,3473 \text{ } x m_{\text{NaOH}}$ ; siendo,  $m_{\text{Alp}}$ : moles de Al en formas poliméricas;  $m_{\text{Alt}}$ : moles de Al total en la solución de KCl y  $m_{\text{NaOH}}$ : moles de sosa añadidos a la solución.

TABLA 2

*Datos analíticos de las parcelas de San Antón (SA) y Monte Castelo (SC) que recibieron cal (Ca) o fósforo (P).*

MUESTRA	Alk	Alcu	Alcuk	Ct	Alcuk/Ct	bt	Alpol
SA. Ca. 1	4.03	30.58	26.55	3.93	6.67	1.12	1.949
SA. Ca. 2. s	3.73	29.11	25.38	4.36	5.82	1.10	1.968
SA. Ca. 2. a	3.70	31.94	28.24	4.34	6.51	1.39	2.340
SA. Ca. 3. s	3.04	36.58	33.54	4.14	8.10	0.95	1.647
SA. Ca. 3. a	2.21	31.68	29.47	3.52	8.37	0.93	0.700
SA. Ca. 4. s	2.07	26.38	24.31	4.55	5.34	0.69	1.107
SA. Ca. 4. a	2.72	27.83	25.11	4.99	5.03	0.80	1.310
SA. Ca. 5. s	2.02	22.64	20.62	3.69	5.59	0.61	1.008
SA. Ca. 5. a	2.18	30.25	28.07	3.52	7.97	0.86	1.368
SA. Ca. 6. s	1.19	22.02	20.83	3.08	6.76	0.07	0.183
SA. Ca. 6. a	1.01	26.95	25.94	5.04	5.15	0.34	0.520
SA. P. 1	0.94	27.76	26.82	4.41	6.08	0.18	0.290
SA. P. 2. a	0.96	24.71	23.75	4.34	5.47	0.28	0.421
SA. P. 3. a	0.88	23.32	22.44	2.88	7.79	0.31	0.472
SA. P. 3. s	0.73	24.46	23.73	3.09	7.68	0.30	0.391
SA. P. 4. a	0.33	23.96	23.63	3.31	7.14	0.12	0.168
SA. P. 4. s	0.47	26.40	25.93	3.00	8.64	0.18	0.244
SA. P. 5. a	0.41	23.12	22.71	2.86	7.94	0.23	0.290
SA. P. 5. s	0.59	28.73	28.14	2.73	10.31	0.32	0.412
SA. P. 6. a	0.50	30.07	29.57	4.18	7.07	0.78	1.081
SA. P. 6. s	0.91	36.30	35.39	3.70	9.56	0.33	0.506
SC. Ca. 1	1.01	39.16	38.15	5.43	7.03	0.30	0.454
SC. Ca. 2. s	1.01	43.12	42.11	4.91	8.58	0.31	0.492
SC. Ca. 2. a	0.57	40.04	39.47	5.35	7.38	0.24	0.324
SC. Ca. 3. s	1.02	40.92	39.90	5.37	7.43	0.31	0.493
SC. Ca. 3. a	0.76	34.14	33.38	5.06	6.60	0.22	0.318
SC. Ca. 4. s	0.28	31.24	30.96	5.95	5.20	0.25	0.309
SC. Ca. 4. a	0.87	44.44	43.57	4.78	9.12	0.15	0.242
SC. Ca. 5. s	0.33	40.50	40.17	5.04	7.97	0.16	0.210
SC. Ca. 5. a	0.25	40.92	40.67	5.95	6.84	0.09	0.118
SC. Ca. 6. s	0.16	36.96	36.80	5.53	6.65	0.13	0.106
SC. Ca. 6. a	0.27	41.14	40.87	5.53	7.39	0.11	0.148
SC. P. 1	0.17	39.60	39.43	4.13	9.55	0.13	0.107
SC. P. 2. a	0.05	28.29	28.24	4.62	6.11	0.07	0.054
SC. P. 2. s	0.14	36.96	36.82	4.52	8.15	0.07	0.069
SC. P. 3. a	0.26	30.80	30.54	5.09	6.00	0.14	0.168
SC. P. 3. s	0.31	42.24	41.93	6.39	6.56	0.13	0.166
SC. P. 4. a	0.89	43.12	42.23	5.64	7.49	0.29	0.449
SC. P. 4. s	0.16	32.63	32.47	6.19	5.25	0.07	0.075
SC. P. 5. s	0.31	35.42	35.11	5.61	6.26	0.15	0.183
SC. P. 6. a	0.31	31.55	31.24	4.73	6.60	0.14	0.183
SC. P. 6. s	0.53	34.49	33.96	5.22	6.51	0.14	0.208
SC. P. 5. a	0.32	31.68	31.36	n.d.	n.d.	0.13	0.174
SC. SN. 1	0.83	45.32	44.49	4.70	9.47	0.67	0.335
SC. SN. 2	0.95	53.46	52.51	n.d.	n.d.	0.31	0.458
SC. SN. 3	0.54	45.32	44.78	5.30	8.45	0.31	0.460
SA. sn. E	6.20	45.76	39.56	4.91	8.06	1.24	1.884
SA. sn. R	5.08	31.09	26.01	4.15	6.27	1.49	2.136

s: aporte en la siembra; a: aporte anual. Alk: Aluminio extraído en KCl,  $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$ ; Alcu: Al extraído en  $\text{CuCl}_2$ ; Alcuk:  $(\text{Alcu}-\text{Alk}) \text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$ ; Ct: % carbono total; Alcuk/Ct: aluminio por gramo de carbono. bt: capacidad de neutralización de base  $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$ ,  $\text{pH}^{-1}$ . Alpol: Aluminio polimerizado  $\text{cmol}_c \text{Kg}^{-1}$ .

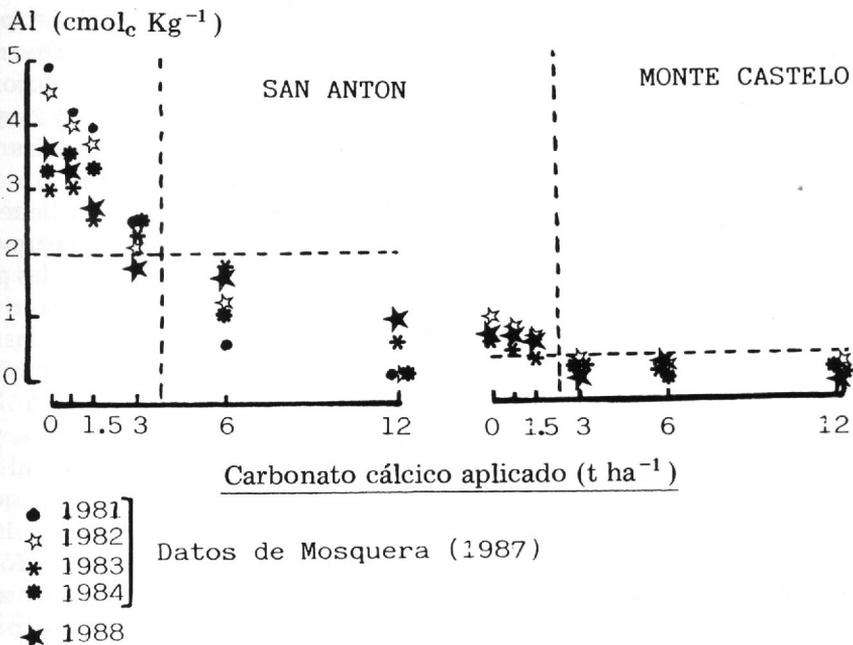


FIG 1 -Efecto de la cal aplicada en la siembra sobre el contenido de Al de cambio en el suelo durante los años 1981,82 hasta 1988

dría encontrarse en que los complejos Aluminio-materia orgánica pueden sufrir cierta desestabilización inicial por el aumento del pH y de la mineralización del Carbono que promueve la cal (Persson *et al.*, 1989), favoreciendo una mayor eficacia del  $\text{CuCl}_2$ . No hay más Aluminio complejo sino más Aluminio "extraíble". También es posible que el Al desplazado del Complejo de Cambio fuese complejo por la materia orgánica y posteriormente extraído por el reactivo; en este caso, la materia orgánica tendría más Al complejo.

En las dosis altas de cal, en cambio, Al<sub>uk</sub> decrece simultáneamente con Al<sub>k</sub>, hecho posible si el Al ha sido neutralizado por otro mecanismo distinto de la complejación orgánica, como la precipitación, o si formas complejadas pasan a formas

inorgánicas precipitadas, a causa de la mayor saturación del medio en las dosis elevadas.

En relación a los suelos naturales, las parcelas que recibieron más de 3 t ha<sup>-1</sup> (dosis 4, 5 y 6) muestran valores de Al<sub>uk</sub> significativamente menores (al 5% y según la q emparejada); es decir, el aluminio "potencialmente liberable" (definido en Urrutia *et al.*, 1988) es menor que en los suelos naturales. Este descenso, ya sea causado por paso del Aluminio a formas inorgánicas, por incremento en la estabilidad de los complejos con la materia orgánica o por otras razones, significa una reducción de los riesgos de toxicidad a medio-largo plazo.

*Formas ácidas capaces de neutralizar base:* La capacidad de neutrali-

zación de bases (bt) (Tabla 2) desciende al aumentar la dosis de cal, llegando a ser significativamente menor en la dosis de 12 t ha<sup>-1</sup> (6) que en las parcelas de dosis menores. El efecto residual que la cal ejerce sobre el Al cambiante en la estrategia en la siembra se encuentra también sobre la bt; en las subparcelas que recibieron cal todos los años bt es algo más elevada, pero son valores significativamente inferiores que los de suelos naturales (al 5%) en las parcelas que reciben 3 t ha<sup>-1</sup> o cantidades superiores (dosis mayor que 4). Idéntico efecto se manifiesta sobre el Al polimerizado (Tabla 2). Por tanto, la adición de cal en la siembra en este suelo parece ser más eficaz en la reducción de la acidez que el aporte anual.

#### Parcelas que recibieron fósforo

*Al cambiante:* El Aluminio de cambio (Tabla 2) disminuye al aumentar la dosis de fósforo, hasta la dosis 4 (40 Kg ha<sup>-1</sup>), creciendo ligeramente a dosis mayores. Son di-

ferencias significativas al 5% por el test del contraste de la F. Sin embargo, son valores de Al más bajos que los de suelos naturales (6.2 y 5.1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) y con diferencias significativas estadísticamente.

La estrategia de aporte tiene cierta influencia y el Alk es entre 0.4 y 0.1 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> superior en las parcelas que recibieron fósforo sólo en la siembra. El Al de cambio y las saturaciones del complejo de cambio son bajas (entre 1 y 10%, Tabla 3), a pesar de que al cabo de 3 años, ya no se encontraba fósforo residual en el suelo en las parcelas a las que se aportó en la siembra (Castro, 1986). Es decir, a pesar de no haber fósforo asimilable, las condiciones de acidez son buenas para el crecimiento vegetal. Por tanto, en este suelo no se produce reacidificación, pero como consecuencia no del P aplicado sino del manejo general (encalado basal, calcio del superfosfato, etc.).

*Al complejoado con la materia orgánica:* El Al complejoado (Alcuk) (Tabla 2) disminuye en parcelas

TABLA 3

*Saturación del complejo de cambio en Al (Al/Bases + Al)\* 100  
(Sanjurjo, tesis en preparación).*

Muestra	S. ANTON		M. CASTELO		Muestra	S. ANTON		M. CASTELO	
	s	a	s	a		a	s	a	s
Ca. 1	56.8		15.0		P. 1	3.4		0.5	
Ca. 2	37.9	—	25.3	5.7	P. 2	8.4	9.9	0.3	0.4
Ca. 3	26.4	7.8	14.5	3.2	P. 3	1.1	4.5	1.3	1.2
Ca. 4	12.5	13.5	1.9	6.9	P. 4	1.0	1.4	6.8	0.3
Ca. 5	17.9	13.6	2.0	1.2	P. 5	1.2	1.7	1.7	2.6
Ca. 6	2.2	2.9	0.2	1.0	P. 6	6.8	2.4	—	7.6

Ca. x = Parcelas encaladas; P. x = Parcelas que recibieron fósforo.

con dosis bajas (10 y 20 Kg ha<sup>-1</sup>), creciendo en las altas, aunque no son diferencias significativas. Son valores algo menores que en los suelos naturales (Tabla 2), pero tampoco significativos, al igual que la relación Al<sub>cuk</sub>/Ct. El ser más elevados en parcelas que recibieron dosis altas de fósforo podría ser debido a que la fertilización aumenta la eficacia del reactivo (como se señaló anteriormente), o a la solubilización en el CuCl<sub>2</sub> de fosfatos aluminicos de baja cristalinidad, precipitados en el suelo a raíz del aporte. Ello supone un aumento en la acidez potencialmente liberable en las dosis más altas de fósforo en relación al abonado basal, aunque no llega a ser significativo; en cualquier caso, son valores ligeramente menores que en los suelos naturales.

*Formas ácidas capaces de neutralizar base:* No existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores de (bt) en función de las dosis de P recibidas (Tabla 2), pero sí con las de suelos naturales: tanto la capacidad de neutralización de base (bt) como el Al polimerizado son considerablemente más bajos que los de los suelos naturales, pero no deben a las dosis de fósforo, sino a las modificaciones que la fertilización induce en el sistema (ascenso del pH, aumento de humificación, etc.).

#### B.—ANDOSOL UMBRICO SOBRE GABROS; MONTE CASTELO (S.C.)

##### Parcelas encaladas

*Al cambiabile:* A pesar de que los suelos desarrollados sobre materiales de tipo básico en los que tienen lugar procesos de andosolización tienen de

por sí niveles de Al de cambio poco importantes (García-Rodeja y Macías, 1984), el Al de cambio descende con las dosis de cal (Tabla 2). Las subparcelas que recibieron la dosis de 12 t ha<sup>-1</sup> presentan valores de Al de cambio significativamente más elevados que las parcelas que recibieron dosis bajas o abonado basal y el suelo natural (Tabla 2). La frecuencia de aporte influye sólo a dosis inferiores a 3 t ha<sup>-1</sup>. El efecto residual de la cal se aprecia al comparar los valores de Al obtenidos después de 6 años de la aplicación de cal en la siembra con los obtenidos los 4 primeros años por Mosquera (1987) (Fig. 1).

*Al complejoado con la materia orgánica:* No se manifiesta efecto significativo de las dosis de cal en el Aluminio extraído por el CuCl<sub>2</sub>, ni sobre Al<sub>cuk</sub> (Tabla 2). La estabilidad de los complejos Aluminio-materia orgánica en estos suelos, que es también una de sus características más destacadas, se ve ligeramente afectada por el encalado, llegando en algunos casos a tener valores de Al extraíble significativamente menores que los suelos naturales (al 5%, q emparejada). Esto significa reducción del nivel de Al potencialmente liberable según se definió en Urrutia *et al.* (1988). Ni el contenido total de carbono ni la cantidad de Al extraído por gramo del mismo (Tabla 2) muestran variaciones importantes.

Por tanto, como en el suelo de granitos, el encalado ha promovido bien el paso de Al complejoado a formas inorgánicas, bien el aumento de estabilidad de los complejos con la materia orgánica, lo que limitaría la capacidad de extracción del CuCl<sub>2</sub>;

en ambos supuestos se reduce el nivel de Al potencialmente liberable total.

*Formas ácidas capaces de neutralizar base:* La capacidad de neutralización de base (bt) (Tabla 2) tiende a disminuir con la dosis de cal aplicada, pero las diferencias no son significativas. Sí lo es, en cambio, el descenso que experimenta el Al polimerizado, especialmente a partir de la dosis de  $1.5 \text{ t ha}^{-1}$ . Esto es particularmente destacable en este suelo caracterizado por bajos niveles de Al de cambio y altos de materia orgánica, ya que la materia orgánica soluble en el KCl tiene un importante papel en la neutralización de bases (Urrutia, 1989). Por su contenido en materia orgánica, se podrían esperar valores de (bt) más elevados, que no se dan porque es muy poco soluble; esta diferencia se aprecia ya en los suelos naturales, que presentan valores de (bt) considerablemente menores que el suelo de granitos (Tabla 2). El encalado reduce aún más la (bt), al crear condiciones de mayor alcalinidad, aunque no llegan a ser diferencias significativas.

Parcelas que recibieron superfosfato

*Al cambiante:* El Al de cambio se mantiene en valores muy bajos (Tabla 2), que no varían apenas con las dosis de P, aunque tienden a crecer ligeramente con la cantidad de P aportado. No se encuentra reacidificación en las parcelas fertilizadas en la siembra respecto a las de aporte anual. El Al de cambio es también más bajo que el de los suelos naturales (Tabla 2), aunque sólo con significación estadística en relación al

del abonado basal y dosis bajas. La saturación del complejo de cambio en Al (Tabla 3) es reducida (entre 0.5 y 7.5%) por lo que en estas parcelas no se plantearán problemas de toxicidad.

*Al complejoado con la materia orgánica:* Aparece una cierta variabilidad (Tabla 2) que no se relaciona con las dosis ni con las estrategias de adición del superfosfato. El contenido de Carbono total (Tabla 2) tiende a crecer en las dosis 3 y 4 ( $20$  y  $40 \text{ Kg P ha}^{-1}$ , respectivamente), en esta última de modo significativo respecto al carbono total de la parcela de abonado basal. Por ello, la relación Alcuk/Ct (Tabla 2) es más baja en dosis medias, siendo el mínimo en la dosis 3 ( $20 \text{ Kg ha}^{-1}$ ). Alcuk es menor que en suelos naturales, aunque no significativamente e igual sucede con la cantidad de Al retenida por gramo de carbono. Por tanto, el Al potencialmente liberable disminuye con el aporte de P, aunque no guarda relación con las dosis aplicadas.

*Formas ácidas capaces de neutralizar base:* La capacidad de neutralización de base y el Al polimerizado apenas varían con la dosis de fósforo aportada (Tabla 2). Como en San Antón, la fertilización causa un descenso tan pronunciado en la (bt) que las diferencias debidas a las dosis son mínimas y parecen corresponder más al efecto de la fertilización sobre el medio que a un efecto específico del elemento. Son cantidades inferiores a las de los suelos naturales, aunque en el límite de la significación estadística según la q emparejada.

## CONCLUSIONES

La permanencia del efecto del encalado sobre los parámetros de acidez estudiados (descenso del Al cambiabile y de su contribución a la capacidad de cambio efectiva del suelo) y sobre el Aluminio potenciabile liberable, extraíble con  $\text{CuCl}_2$  (Al cambiabile y Al ligado a los complejos orgánicos de estabilidad media y baja), varía en función del tipo de suelo. En los suelos de granito y gabro estudiados, el efecto favorable de la cal sobre la acidez perdura al cabo de 7 o 6 años, respectivamente. En el Cambisol úmbrico sobre granitos (San Antón) las parcelas encaladas en la siembra no manifiestan reacidificación tras 7 años desde el aporte, e incluso esta estrategia parece ser más efectiva en la reducción de la acidez que la de aporte anual. En el Andosol úmbrico sobre gabros (Monte Castelo), los resultados son similares, manteniéndose

el Al de cambio y las formas ácidas en niveles óptimos y reduciéndose el Al potencialmente liberable.

El efecto de la fertilización con fósforo sobre las formas de acidez de los suelos es resultado de las condiciones que provoca el fertilizante en el suelo y no de las dosis aplicadas. En estos suelos de granito y gabros no se manifiestan efectos de acidificación notorios que sean promovidos por el aporte de superfosfato, al menos en las dosis aplicadas y en el tiempo considerado; al contrario, las condiciones mejoran respecto al suelo natural, incluso en lo que se refiere a la acidez potencial, contribuyendo el abonado basal de modo decisivo en esta mejora.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto de la CAYCIT, número PR84-0946-Co4-03.

## BIBLIOGRAFIA

- CASTRO, J. L., 1986. Efectos del abonado fosfórico sobre la composición mineral de praderas establecidas en terrenos a monte. Mem. Licenciatura. Fac. Biología. Univ. Santiago.
- CHALMERS, A. G., 1985. Review of information on lime loss and changes in soil pH gained from ADAS experiments. *Soil Use & Management*, 1: 17-19.
- COSTOYA, M. T., MOMBIELA, F. y MACIAS, F., 1983. Componentes de la acidez del suelo en cuatro suelos gallegos "a monte". *Cuad. Area Ciencias Agrarias. Sem. Estudios Galegos*, 4: 152-174.
- DOERGE, T. A. and GARDNER, E. H., 1985. Reacidification of two lime amended soils in Western Oregon. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 680-685.
- GARCIA-RODEJA, E. y MACIAS, F., 1984. Caracterización de suelos ácidos, Podsoles-Andosoles-Suelos aluminicos, de Galicia. Relación con los procesos edafogeoquímicos. *Actas 1.º Cong. Nac. Cienc. Suelo. Madrid I*: 589-602.
- GASSER, J. K., 1985. Processes causing loss of calcium from agricultural soils. *Soil Use & Management*, 1: 14-17.
- GUITIAN, F., 1956. Sobre el encalado de los suelos de la zona húmeda. Mem. Tesis doctoral. Fac. Farmacia. Univ. Santiago.

- GUITIAN, F. y CARBALLAS, R., 1976. Técnicas de análisis de suelos. Ed. Pico Sacro. Santiago de Compostela.
- HUBELL, D. H., 1971. Microbiological effects from liming soils. *Soil Crop Sci. Soc. Flor. Proc.*, 31: 196-199.
- JARVIS, S. C., 1987. Laboratory studies of effects of lime on soluble Al, Ca, Mg and Mn in a pelostagnogley soil. *J. Soil Sci.*, 38: 443-451.
- JUO, A. S. and 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.
- LIN, C. and COLEMAN, N. T., 1967. The measurement of exchangeable aluminum in soils and clays. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24: 444-446.
- MOMBIELA, F. A. y MATEO, M. E., 1984. Necesidades de cal para praderas en terrenos "a monte". I. Su relación con el Al cambiante en suelos sobre granitos y pizarras de Galicia. *An. INIA. Ser. Agrícola*, N. 25: 129-143.
- MOSQUERA, A., 1987. Transformación de tierras de monte gallego en praderas permanentes: dosis óptimas de cal para establecimiento y mantenimiento. Mem. Tesis doctoral. Fac. Biología. Univ. Santiago.
- PEECH, M., ALEXANDER, L. T., DEAN, L. A. and REED, J. F., 1947. Methods of soil analysis for soil fertility investigations. U. S. Dept. Agr. C. 757.
- PERSSON, T., LUNDKVIST, J., WIREN, A., HYVONEN, R. and WESSEN, B., 1989. Effects of acidification and liming on carbon and nitrogen mineralization and soil organisms in mor humus. *Water, Air & Soil Pollut.*, 45: 77-96.
- PHILLIPS, I. R., BLACK, A. S. and CAMERON, K. C., 1988. Effects of lime and phosphate additions plus subsequent leaching on cation exchange capacities of soils with variable charge. *Geoderma*, 42: 165-175.
- RUSSELL, E. W., 1973. *Soil 1973. Soil conditions and plant grown*. 10Th. Longman (ed) London.
- URRUTIA, M. M., 1989. Procesos ácido-base en suelos de la Provincia de La Coruña. Mem. Tesis Doctoral. Fac. Biología. Univ. Santiago de Compostela.
- URRUTIA, M. M., GARCIA-RODEJA, E. y MACIAS, F., 1988. 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.
- WADA, S. I. and WADA, K., 1980. Formation, composition and structure of hydroxy aluminosilicate ions. *J. Soil Sci.*, 31: 457-467.

Recibido: 13-6-90.  
Aceptado: 16-10-90.