

Cambios en la fase sólida y líquida de tres suelos naturales de Galicia después de seis años de fertilización

M.J. FERNÁNDEZ-SANJURJO, E. ALVAREZ & E. GARCÍA-RODEJA

*Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Biología
Universidad de Santiago. 15706 Santiago de Compostela. España*

Resumen

FERNÁNDEZ-SANJURJO, M.J., ALVAREZ, E. & GARCÍA-RODEJA, E. (1993). Cambios en la fase sólida y líquida de tres suelos naturales de Galicia después de seis años de fertilización. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 4: 81-89

Se estudia el efecto causado por tres tipos de abonos (NPK, NPCa y NKCa) sobre las propiedades químicas y mineralógicas de suelos desarrollados sobre granito, filita y gabro. Después de seis años de fertilización se observa un aumento de pH en la fase sólida y líquida, de Ca, tanto cambiante como en disolución, así como una clara reducción del Al total en la fase líquida; en general, el Al cambiante desciende también, sobre todo en las parcelas que recibieron CaCO_3 en el abonado. Las modificaciones en las formas de Al y Fe en la fase sólida, en los valores de Si en disolución e índices de saturación de gibbsite y caolinita, indican distintas tendencias dependiendo del suelo: en el de granito la fertilización favorece la precipitación inorgánica de Fe y Al, en el de filita predomina la complejación orgánica de dichos elementos y, en el de gabro, se combinan ambos mecanismos. La fertilización causa, en general, una mayor despolimerización de los hidróxidos de Al de la intercapa de los minerales vermiculíticos.

Palabras clave: Abonado, disolución del suelo, complejos orgánicos, formas de Fe y Al, vermiculitas hidroxialumínicas.

Abstract

FERNÁNDEZ-SANJURJO, M.J., ALVAREZ, E. & GARCÍA-RODEJA, E. (1993). Changes in solid and liquid phases of three natural soils of Galicia after six years of fertilization. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 4: 81-89

The effect of three types of fertilization (NPK, NPCa and NKCa) on chemical and mineralogical properties of soils developed from granite, slate and gabbro was studied. Increases of pH of solid and liquid phases and exchangeable and soil solution Ca and a clear decrease of total Al in solution were observed after six years of fertilization. Different trends, related to parent material, were shown by changes in Al and Fe fractions in solid phases, Si content in soil solutions and saturation indexes for gibbsite and kaolinite: in the soil from granite, fertilization enhanced inorganic precipitation of Al and Fe, in the soil from slate organic complexation was dominant, whereas both mechanisms seem to occur in that from gabbro. In general, fertilization induces a higher degree of polymerization in the interlayer Al-hydroxides of vermiculitic minerals.

Key words: Fertilization, soil solution, organic complexes, Fe and Al fractions, HIV.

INTRODUCCION

La baja productividad de los suelos ácidos se debe fundamentalmente al exceso de iones Al y

a la deficiencia de nutrientes. Con frecuencia estos problemas se corrigen utilizando enmiendas calizas y fertilizantes de tipo N, P, K; sin embargo, la adición de estos compuestos puede

afectar de modo complejo a la disponibilidad general de nutrientes y a las formas de acidez del suelo. En este sentido, es bien conocido el poder acidificante de ciertos fertilizantes nitrogenados (ADAMS, 1974; BERG, 1986) y azufrados (NOR & TABATABAI, 1977; REUSS & JOHNSON, 1986) en suelos que reciben enmiendas; el propio encalado puede provocar una mayor acidificación a largo plazo debido al aumento de la nitrificación y de la descomposición de la materia orgánica (BOLTON, 1977; DOERGE & GARDNER, 1985), pudiendo promover además la liberación de ciertos metales, sobre todo Al, que estaban complejados con la materia orgánica. Por ello, la adición de fertilizantes a un suelo ácido y rico en materia orgánica puede tener un efecto negativo a medio o largo plazo.

El objetivo de este trabajo es estudiar las modificaciones químicas y mineralógicas de la fracción coloidal de suelos forestales de Galicia, producidas por la adición de tres tipos de fertilizantes (NPK, NPCa y NKCa) para su transformación en praderas permanentes.

MATERIAL Y METODOS

Las muestras utilizadas corresponden a un ensayo realizado por el Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo para la transformación de tres suelos forestales en praderas permanentes. Anteriormente se han estudiado en estas parcelas los efectos del encalado sobre las formas de acidez (MOSQUERA, 1986; GARCÍA *et al.*, 1986a,b; URRUTIA *et al.*, 1991).

Los suelos naturales se caracterizan como Cambisol húmico (de textura franco-arenosa) sobre granito, Cambisol gleyco (de textura franco-limoso) sobre filita y Andosol úmblico (de textura franca) sobre gabro (FAO, 1988).

El ensayo se realizó durante los años 1981-86 y consistió en tres abonados distintos: NPK, NPCa y NKCa, en donde el N se aportó como NH_4NO_3 (600 kg ha^{-1} , 20.5%), el Ca en forma de CaCO_3 (6 t ha^{-1}), el K como K_2SO_4 (200 kg ha^{-1} , 50%) y el P como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (800 kg ha^{-1} , 18% de P_2O_5).

Las muestras superficiales (0-20 cm) (resultado de tres submuestras al azar) fueron tomadas dos años después de la última adición; se reco-

gieron también suelos naturales situados en las proximidades para poder establecer los posibles cambios provocados por la fertilización. Todos los análisis se hicieron por duplicado.

Sobre la fracción menor de 2 mm se determinó pH en H_2O (relación suelo-disolución 1:2.5), capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) por suma de bases extraíbles con NH_4Cl 1M (PEECH *et al.*, 1947) y Al extraíble con KCl 1M (Alk) (LIN & COLEMAN, 1967). Se hicieron, además, extracciones de Al y Fe con distintas disoluciones salinas: CuCl_2 0.5M (Alcu) (JUO & KAMPATH, 1979), pirofosfato sódico 0.1M (Alp, Fep) (BASCOMB, 1968), oxalato amónico ácido en oscuridad (Alo, Feo) (BLAKEMORE, 1978) y citrato ditionito bicarbonato (Fed) (MEHRA & JACKSON, 1960). Al, Ca, Mg y Fe se determinaron por Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA), y, Na y K por Espectrofotometría de Emisión (EE). La diferencia Alp-Alcu (Alpcu) se utiliza para estimar los complejos organoaluminicos de fuerte estabilidad (URRUTIA, 1989); Alcu-Alk (Alcuk), estima las formas de Al ligado a la materia orgánica de menor estabilidad, pero no cambiabile; Alo-Alp (Alop), representa el Al mineral no cristalino y Fed-Feo (Fed) se usa como estima del Fe libre, cristalino.

El estudio de la fracción arcilla se realizó mediante un aparato Philips PW-1730 (radiación $\text{K}\alpha$ de Co), realizándose distintos tratamientos de diagnóstico en muestra orientada (saturación en Mg^{2+} , Mg^{2+} más glicerina, saturación en K^+ y calentamiento de la muestra saturada en 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 han determinado: pH, Al total por colorimetría (DOUGAN & WILSON, 1974) en muestra filtrada por 0.45 μm con digestión ácida (AITF) y con tratamiento ácido suave (Al reactivo, Alr), obteniéndose el Al soluble en ácido (Alsa) por diferencia entre las dos fracciones (AITF-Alr), Ca y Mg por EAA, Na y K por EE, SO_4 por turbidimetría (BARDSELEY & LANDCASTER, 1960), Si por colorimetría (COREY & JACKSON, 1953), y, Cl^- y NO_3^- mediante electrodos selectivos.

Los índices de saturación mineral (I.S.) se calcularon mediante el logaritmo de la relación

entre el producto de actividades iónicas obtenidas en disolución (Qp) y la constante de equilibrio (Kp); $I.S. = \log(Qp/Ip)$. 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 DISCUSION

pH y cationes básicos

Los resultados (Tablas I y II) muestran que los valores de pH, tanto del suelo como de la disolución, son, en general, más elevados en las parcelas fertilizadas que en el suelo natural; las diferencias son mayores cuando la parcela recibió CaCO_3 en el abonado (NPCa y NKCa).

En concordancia con el pH, los valores de Ca, tanto en disolución como en el complejo de cambio de las parcelas abonadas, son siempre superiores a los del suelo natural y, de nuevo, los valores más altos se obtienen cuando se añade CaCO_3 (parcelas NPCa y NKCa); al comparar los valores de Ca, tanto cambiabile como en disolución, de estas dos parcelas, se observa en los suelos de granito y gabro un menor contenido en la parcela abonada con P (NPCa). Este efecto del abonado fosforado sobre el Ca ha sido señalado por varios autores (LINDSAY & STEPHENSON, 1959; KUDEYAROVA, 1983; KUDEYAROVA & KVARATSKHELIYA, 1983, 1989), atribuyéndolo al aumento de la solubilización de compuestos de Ca y posterior migración del mismo inducida por el abonado con P.

La fertilización provoca un descenso notable en el contenido de Mg y Na en disolución, mientras que, en el complejo de cambio las modificaciones no siguen tendencias definidas. En cuanto al K^+ , la parcela que no recibió K_2SO_4 (NPCa) presenta valores aún más bajos que los del suelo natural, tanto en la fase líquida como en el complejo de cambio. Los valores son superiores en las parcelas fertilizadas con K^+ (NPK y NKCa), aunque el aumento es mucho más neto en la que no recibió abonado fosforado, tal vez por el mayor lavado de K^+ provocado por este abono (PEREIRA *et al.*, 1989).

En las parcelas fertilizadas, al contrario de lo que ocurre en el suelo natural, el Ca es el catión mayoritario y los valores de la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) están determinados por este catión.

Formas de Al

La fertilización ejerce un claro efecto en algunas formas de Al, tanto en la fase líquida como en la fase sólida. Así, el Al total en disolución (AITF) desciende significativamente en las parcelas abonadas de granito y filita, obteniéndose la secuencia: Suelo natural >> NKCa > NPK > NPCa; paralelamente, se observa en estos suelos un aumento en los polímeros, coloides y/o complejos organoaluminicos solubles (Alsa). En el suelo de gabro la fertilización reduce el Al hasta niveles que apenas pueden detectarse por el método colorimétrico utilizado (Fig. 1a).

El Al cambiabile se reduce claramente en las tres parcelas abonadas del suelo de granito; en el de gabro, el descenso es importante en las parcelas que recibieron CaCO_3 (NPCa y NKCa); en el suelo de filita los niveles sólo disminuyen en la parcela que recibió las cantidades más altas de Ca (NPCa), mientras que en las otras dos parcelas se observa, incluso, un ligero aumento. Los mayores contenidos de Ca cambiabile y, en general, la reducción de Alk provocan un claro descenso del porcentaje de saturación de Al (PAI); esta reducción es más acusada, de nuevo, en las parcelas que recibieron Ca en forma de CaCO_3 (NPCa, NKCa) (Fig. 1b).

Los complejos organoaluminicos (Alp y Alcu) disminuyen claramente en las parcelas fertilizadas de granito (Fig. 1c,d); el aumento del Alop y de los índices de saturación de gibbsita y caolinita (Tablas I y III) sugiere una mayor tendencia a la precipitación inorgánica de Al con el abonado. En el suelo de filita la disminución del AITF en las parcelas fertilizadas parece relacionarse con un mecanismo de complejación orgánica (aumento del Alp y Alcu) (Fig. 1c,d); en este suelo el abonado no favorece la precipitación inorgánica de Al como se deduce de los valores de Alop y de los índices de saturación de gibbsita y caolinita (Tablas I y III). En el suelo de gabro, el aumento del Alp y la disminución del Alcu en las parcelas fertilizadas podría sugerir

TABLA I. pH, cationes de cambio y formas de Fe y Al en la fracción sólida

Muestra	pH	pAl	Ca	Mg	Na	K	CICe	Alcuk	Alpcu	Alop	Fed
SN-G	3.96	84	0.44	0.14	0.23	0.18	6.07	26.03	0.89	<0.0	1.59
NPK-G	4.20	56	2.60	0.11	0.12	0.23	7.09	25.97	0.59	0.14	1.20
NPCa-G	5.14	3	22.80	0.16	0.16	0.12	24.04	23.64	0.64	<0.0	0.94
NKCa-G	5.58	3	25.60	0.35	0.13	0.75	27.67	26.84	0.81	0.30	1.78
SN-F	4.30	87	0.38	0.20	0.13	0.13	4.16	13.58	0.27	0.03	1.24
NPK-F	4.40	37	7.40	0.27	0.17	0.29	13.07	14.06	0.32	0.00	1.46
NPCa-F	5.00	10	22.00	0.18	0.19	0.28	25.17	16.37	0.33	<0.00	2.00
NKCa-F	4.80	38	4.40	0.24	0.12	0.70	8.90	15.45	0.52	<0.00	1.82
SN-Gb	5.40	13	4.80	0.74	0.22	0.20	6.91	52.37	1.15	0.52	3.08
NPK-Gb	5.10	15	5.20	0.14	0.13	0.24	6.72	38.15	1.73	0.92	3.53
NPCa-Gb	5.74	4	6.42	0.20	0.19	0.18	7.32	28.55	1.56	0.78	3.18
NKCa-Gb	6.11	0	35.20	0.77	0.10	0.41	36.60	39.80	1.22	0.69	3.18

pAl= porcentaje de saturación de Al en el complejo de cambio; CICe= capacidad de intercambio catiónico efectiva; Alcuk= diferencia entre el Al extraído con CuCl_2 0.5M y KCl 1M; Alpcu= diferencia entre el Al extraído con pirofosfato sódico 0.1M y CuCl_2 0.5M; Alop= Al mineral no cristalino; Fed= Fe extraído con citrato ditionito bicarbonato. (SN= suelo natural; NPK= abonado con N, P y K; NPCa= abonado con N, P y Ca; NKCa= abonado con N, K y Ca; G= granito; F= filita); Gb= gabro.

TABLA II. pH, cationes y aniones en disolución de suelo

Muestra	pH	Alsa	SO_4^{2-}	PO_4^{3-}	Cl^-	NO_3^-	Ca	Mg	Na	K	Si
SN-G	4.4	0.012	8.58	0.007	10.45	22.47	3.66	2.16	6.6	0.7	2.02
NPK-G	5.7	0.098	15.00	<0.001	13.90	3.10	7.30	0.20	3.8	1.1	0.88
NPCa-G	7.0	0.152	23.83	0.102	17.84	4.64	20.00	0.67	2.3	0.1	0.47
NKCa-G	6.8	0.258	7.78	0.067	7.52	1.52	27.67	1.55	6.7	5.6	0.50
SN-F	5.3	0.085	22.62	<0.001	43.34	6.70	4.00	2.60	13.5	0.4	1.72
NPK-F	5.7	0.230	19.00	<0.001	4.30	4.70	8.00	0.50	3.3	1.0	0.88
NPCa-F	7.3	0.223	33.87	0.023	37.44	2.69	15.44	0.58	8.0	0.2	1.60
NKCa-F	6.3	0.225	49.52	0.043	12.32	11.48	7.66	0.72	5.0	5.7	1.90
SN-Gb	6.3	0.362	27.84	0.008	15.20	2.84	5.33	1.87	7.8	0.7	3.14
NPK-Gb	5.8	<0.001	15.00	0.001	10.80	2.00	7.50	0.30	3.5	1.1	0.81
NPCa-Gb	6.4	<0.001	11.30	<0.001	5.19	3.86	8.77	0.40	2.4	0.2	1.90
NKCa-Gb	6.8	<0.001	20.22	<0.001	4.78	5.33	13.22	0.92	6.0	2.0	0.70

Alsa= Al soluble en ácido; Muestra= ver Tabla I.

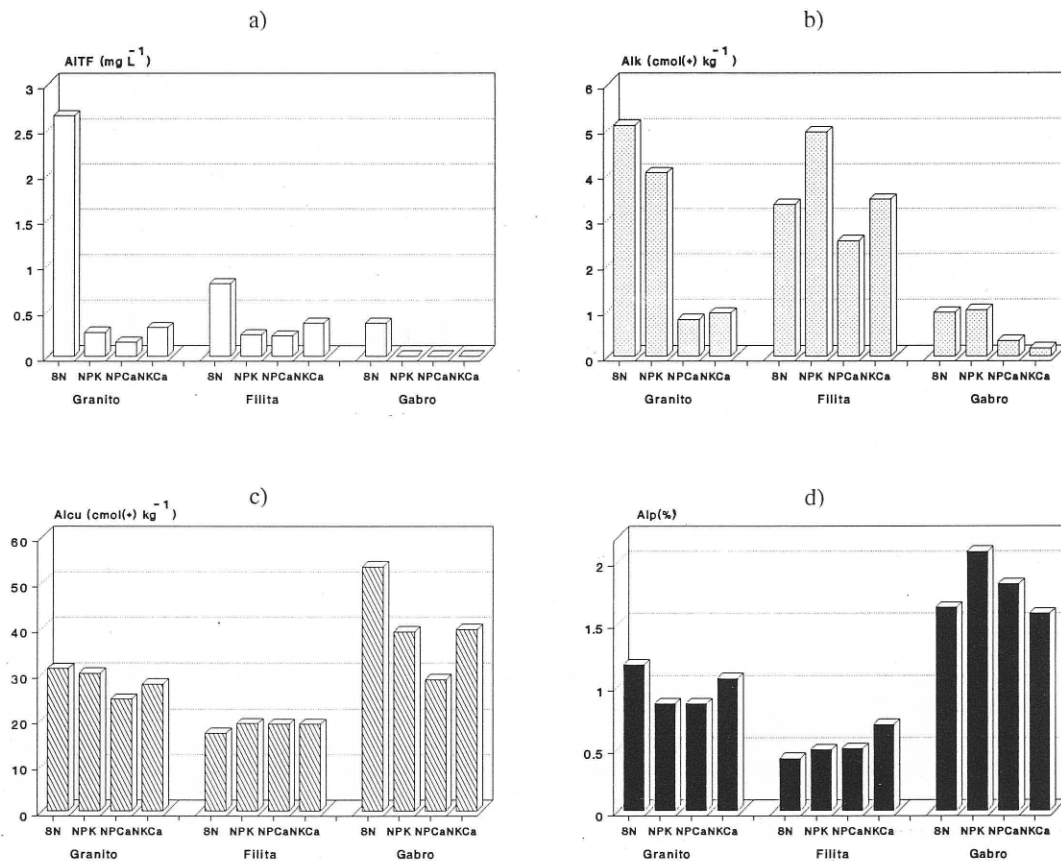


Fig. 1. (a) Al total en disolución. (b) Al extraído con KCl 1M. (c) Al extraído con CuCl_2 0.5M. (d) Al extraído con pirofosfato sódico 0.1M. (SN=suelo natural; NPK=abonado con N, P y K; NPCa=abonado con N, P y Ca; NKC=abonado con N, K y Ca).

una transformación de los complejos organo-alumínicos lábiles en formas más estables; además, la neutralización del Al podría relacionarse con un proceso de precipitación inorgánica de compuestos no cristalinos, como parece indicar el aumento del Alop observado en las parcelas fertilizadas (Tabla I).

Silicio

Los valores de Si en disolución descienden significativamente en las parcelas fertilizadas de granito y gabro (Tabla II), lo que podría explicarse por una precipitación conjunta con el Al; este hecho apoyaría la tendencia a la precipitación inorgánica señalada anteriormente y coincide con la coprecipitación de Si y Al sugerida por GARCÍA-RODEJA *et al.* (1987) y ROMERO (1989) en

suelos sobre gabro y granito. En el suelo de filita la fertilización no afecta a los valores de Si en disolución, en concordancia con los escasos cambios observados en estas parcelas en relación con la precipitación inorgánica.

Formas de Fe

Los problemas de especificidad de las técnicas de disolución selectiva son más manifiestos en el caso del Fe y, particularmente, del Fe extraído con pirofosfato, que se interpreta como Fe complejoado orgánicamente; conscientes de estas limitaciones, se realiza la siguiente interpretación de los resultados.

En las parcelas fertilizadas de granito lo más destacable es el descenso del Fe no cristalino a favor de formas de mayor cristalinidad (Fig.

TABLA III. Índices de saturación mineral

Muestra	Gibbsita amorfa	Gibbsita	Caolinita
SN-G	1.34	1.84	3.44
NPK-G	2.94	2.44	5.91
NPCa-G	1.14	1.61	1.70
NPK-G	2.97	3.47	5.50
SN-F	2.79	3.29	6.20
NPK-F	1.75	2.24	3.52
NPCa-F	0.86	1.36	2.69
NKCa-F	2.53	3.02	5.76
SN-Gb	1.11	1.61	2.48
NPK-Gb	0.63	1.14	1.23
NPCa-Gb	1.18	1.68	3.06
NKCa-Gb	1.22	1.72	2.28

Muestra= ver Tabla I.

2a,b); en este suelo, la fertilización apenas produce cambios en los valores de Fe complejo orgánicamente (Fig. 2c). Por el contrario, en las parcelas de gabro el abonado provoca un aumento del Fe no cristalino (Feo) (Fig. 2b) que presenta un claro componente de naturaleza orgánica, como indica el mayor contenido del Fep en estas parcelas (Fig. 2c); la fertilización causa una ligera disminución de la fracción de Fe cristalino en las parcelas que recibieron mayor cantidad de Ca (Fig. 2a). En el suelo de filita se aprecia un aumento de los complejos orgánicos en las parcelas que recibieron mayor cantidad de Ca^{2+} (NPCa, NKCa) y, al mismo, tiempo se observa un ligero aumento del Fe cristalino (Fig. 2a,b)

Las tendencias observadas en las formas de Fe, coinciden con lo señalado anteriormente para el Al; así, en el suelo de granito aparecen mayores niveles de Fe cristalino en las parcelas fertilizadas, coincidiendo con la mayor precipitación inorgánica señalada para el Al; en gabro y filita el efecto más destacable de la fertilización es la mayor complejación orgánica de Fe, que también concuerda con lo observado anteriormente para el Al; esto último podría relacionarse, bien con el aumento de la reactividad de la materia orgánica, bien con la desestabilización de los complejos ya existentes, lo que facilitaría la extracción con pirofosfato sódico.

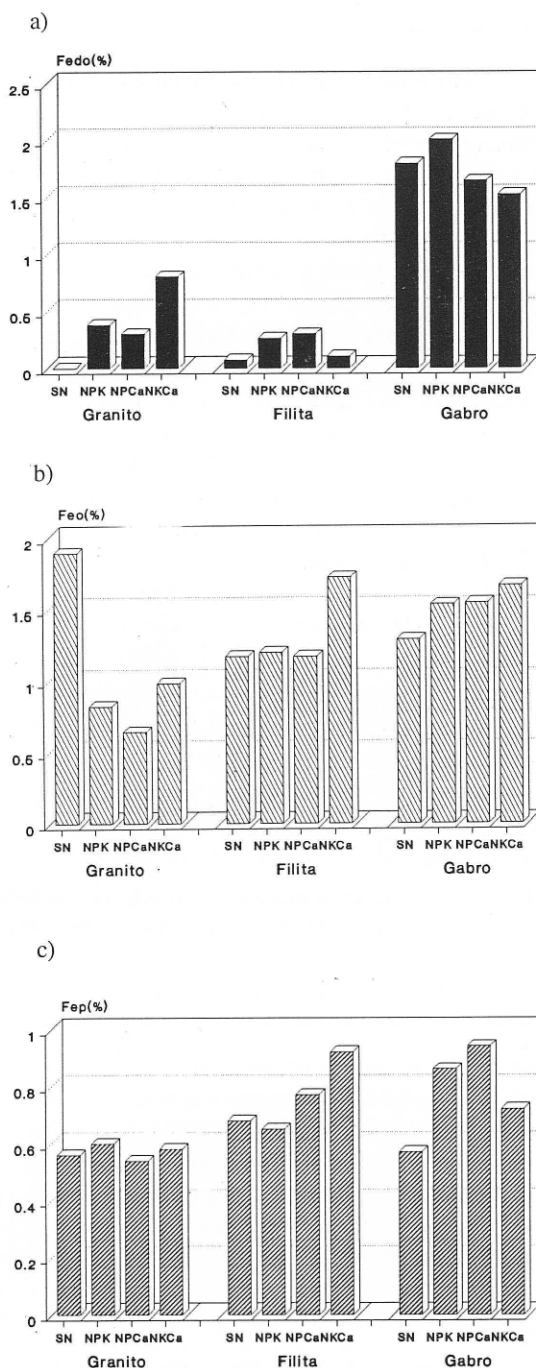


Fig. 2. (a) Diferencia entre el Fe extraído con DCB y Fe extraído con oxalato amónico. (b) Fe extraído con oxalato amónico. (c) Fe extraído con pirofosfato sódico. (SN= suelo natural; NPK= abonado con N, P y K; NPCa= abonado con N, P y Ca; NKCa= abonado con N, K y Ca).

Mineralogía

La mineralogía de la fracción arcilla se recoge en la Tabla IV. Las diferencias entre suelos son evidentes; el suelo más alterado es el de gabro, con una gran proporción de óxidos de hierro y escasa presencia de minerales primarios. En cambio, en el suelo de filita se aprecia un claro predominio de minerales primarios, lo que podría relacionarse con el carácter hidromorfo que presenta este suelo y con la naturaleza del material de partida. El suelo de granito posee una moderada cantidad de minerales alterables y de óxidos de Fe que presentan efectos poco definidos; esta baja cristalinidad podría ser la causa de las pequeñas diferencias en la extracción con oxalato amónico y citrato ditionito observadas en el análisis químico.

Los minerales de estos suelos apenas se modifican con la fertilización, únicamente se aprecia un cierto efecto sobre los polímeros de Al de la intercapa de los minerales vermiculíticos (Fig. 3). Así, en las parcelas fertilizadas de granito y filita, con los tratamientos de diagnóstico efectuados, se observa un colapso de los minerales vermiculíticos a menores temperaturas; esto indicaría que el abonado provoca despolimerización

de los hidróxidos de Al de la intercapa. Las modificaciones son más netas en las parcelas abonadas con NPCa, sobre todo en el suelo de filita, donde no se observa ningún residuo clorítico después del calentamiento a 550°C; la causa podría ser la presencia de K⁺ en las otras parcelas (NPK y NKCa), que cierra los bordes de la intercapa aminorando el efecto del Ca sobre los polímeros de Al. En el suelo de gabro los cambios son mucho menores debido a la gran condensación de los polímeros de Al en la intercapa lo que convierte a las vermiculitas hidroxialumínicas, prácticamente, en unas cloritas secundarias, dificultando la acción del abonado en la despolimerización alumínica.

CONCLUSIONES

La fertilización con NPK, NPCa y NKCa en distintas parcelas provoca un aumento de pH y Ca, tanto en el suelo como en la disolución; el efecto es más acusado cuando el abono contiene CaCO₃. En las parcelas fertilizadas se observa también una clara reducción del Al total en disolución y un aumento de los polímeros,

TABLA IV. Mineralogía de la fracción arcilla

Muestra	Q	FE	M	K	G	O	VHI	M-V
SN-G	+	t	(+)	+	+(+)	++	++	++
NPK-G	(+)	t	(+)	+(+)	++	++(+)	+(+)	+(+)
NPCa-G	(+)	t	(+)	+(+)	++	++	+(+)	+(+)
NKCa-G	(+)	t	t	(+)	++(+)	++(+)	++	++
SN-F	+(+)	+(+)	++(+)	(+)	+(+)	-	(+)	++
NPK-F	+	+(+)	++(+)	(+)	+(+)	-	(+)	++
NPCa-F	+	+(+)	++(+)	+(+)	++	-	++	+(+)
NKCa-F	(+)	+	++(+)	(+)	++	-	(+)	++(+)
SN-Gb	+	-	-	++(+)	t	++++(+)	++	-
NPK-Gb	(+)	-	-	++(+)	(+)	+++++	+(+)	-
NPCa-Gb	(+)	-	-	+++	(+)	++++	++	-
NKCa-Gb	+	-	-	++	+	++++	++	-

Q= cuarzo; FE= feldespato; M= mica; K= caolinita; G= gibbsita; O= óxidos de Fe; VHI= vermiculita hidroxialumínica; M-V= interestratificado mica-vermiculita; t, (+)= <5%; += 5-10%; ++= 10-20%; +++= 20-30%; ++++= 30-40%; +++++=40-50%. Muestra= ver Tabla I.

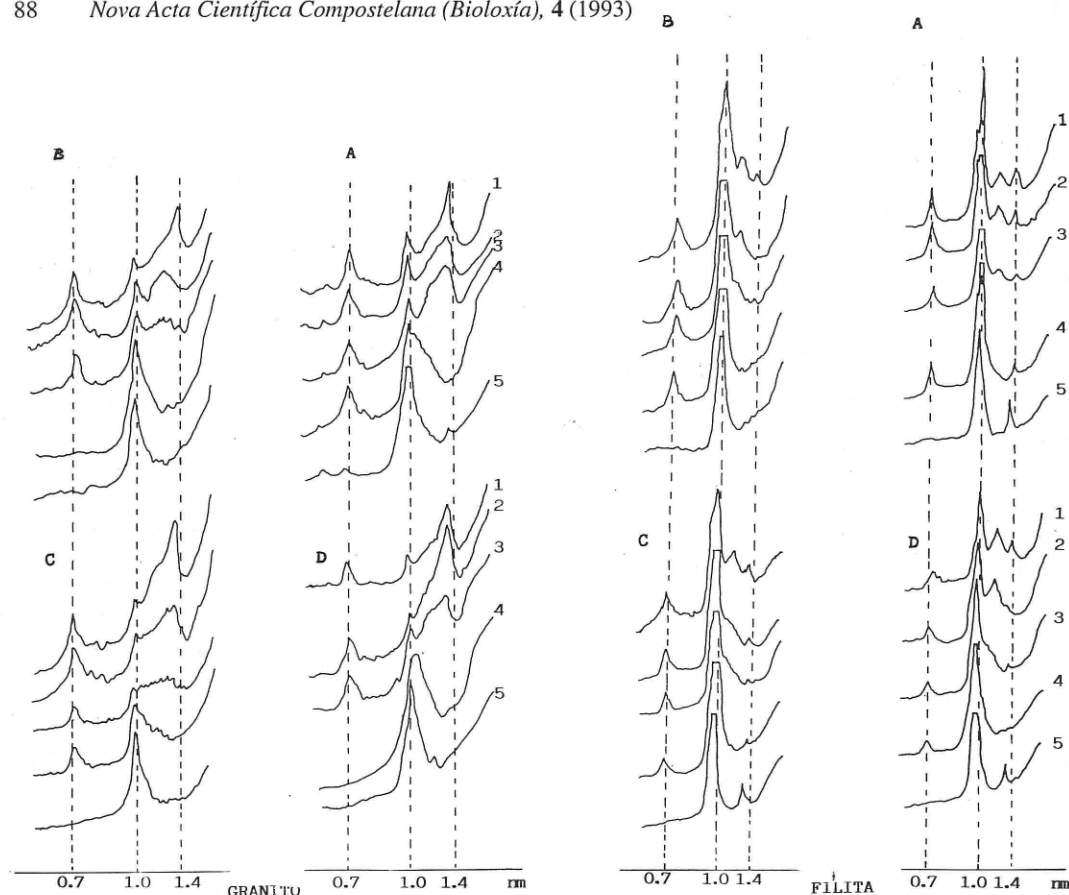


Fig.3. Difractograma de la fracción arcilla. (a) Suelo natural. (b) Parcela abonada con N, P y Ca (NPCa). (c) Parcela abonada con N, P y K (NPK). (d) Parcela abonada con N, K y Ca (NKCa). (1= muestra saturada en Mg; 2= muestra saturada en K; 3, 4 y 5= muestras saturadas en K y calentadas a 110, 330 y 550°C, respectivamente).

coloides y/o complejos organoalúmnicos en disolución (Alsa). El Al cambiable no sigue un comportamiento homogéneo en todos los suelos: en granito se observa una reducción en todas las parcelas fertilizadas, en gabro sólo desciende cuando el abono contiene CaCO_3 y en filita el Al cambiable se reduce únicamente en la parcela que recibió mayor cantidad de Ca. Los mecanismos de neutralización de este Al son distintos dependiendo del tipo de suelo; así, en las parcelas fertilizadas de granito se aprecia un aumento del Alop y de los índices de saturación de gibbsita y caolinita, que unido a un descenso de Si en disolución sugiere una tendencia a la precipitación inorgánica; en el de filita la fertilización provoca un aumento del Al complejado orgánicamente; en el suelo de gabro aparecen los dos mecanismos citados, mayor estabilidad de los complejos organoalúmnicos, aumento del

Al mineral no cristalino y descenso del Si en disolución. El estudio de las formas de Fe confirma las tendencias señaladas: aumento de la cristalinidad del Fe en las parcelas fertilizadas de granito y aumento de la complejación orgánica en los de filita y gabro.

La fertilización aumenta el carácter vermiculítico de los minerales 2:1 hidroxialúmnicos en los suelos de granito y filita, siendo este efecto más acusado en la parcela que recibió mayor cantidad de Ca y no recibió K^+ (NPCa).

En resumen, se observa un efecto residual de los abonados basales estudiados después de dos años de la adición, hecho especialmente importante desde un punto de vista económico. La magnitud de este efecto depende del tipo de abono y del suelo, lo que ha de tenerse en cuenta a la hora de proceder a una fertilización.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ADAMS, F. (1974). Soil solution. In: Carson, E.W. (Ed.), *The plant root and its environment*: 441-481. Univ. Virginia Press, Charlottesville.
- ALVAREZ, E. (1990). *Estudio de las diferentes formas de aluminio presentes en solución de suelos de Galicia*. Tesis doctoral (inéd.). Universidad de Santiago de Compostela.
- BARDSELEY C.E. & LANDCASTER, J.D. (1960). Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils. *Soil Soc. Am. Proc.*, **24**: 265-268.
- BASCOMB, C.L. (1968). Distribution of pyrophosphate extractable iron and organic carbon in soils of various groups. *J. Soil Sci.*, **19**: 251-256.
- BERG, B. (1986). The influence of experimental acidification on nutrient release and decomposition rates of needle and root in forest floor. *Forest Ecol. & Management*, **15**: 195-213.
- BLAKEMORE, L.D. (1978). Exchange complex dominated by amorphous material (ECDAM). In: Smith, G.D. (Ed.), *The Andisol proposal*: 21-22. Soil Bureau, DSIR, New Zealand.
- BOLTON, J. (1977). Changes in soil pH and exchangeable calcium in two liming experiments on contrasting soils over 12 years. *J. Agric. Sci.*, **89**: 81-86.
- COREY, R.B. & JACKSON, M.C. (1953). Silicate analysis by rapid semichromochemical system. *Anal. Chem.*, **25**: 1221-1237.
- DOERGE, T.A. & GARDNER, E.H. (1985). Reacidification of two lime amended soils in Western Oregon. *Soil Sci. Am. J.*, **49**: 680-685.
- DOUGAN, W.K. & WILSON, A.L. (1974). The absorptometric determination of aluminium in water. A comparison of some chromogenic reagents and development of an improved method. *Analyst*, **99**: 413-430.
- FAO (1988). Soil map of the world 1:5.000.000 (revised legend). Rome.
- GARCÍA, P., MOMBIELA, F. & MOSQUERA, A. (1986a). Efecto del encalado sobre la composición química de praderas establecidas en terrenos «a monte». I. Calcio y fósforo. *Inv. Agrar. Prod. San. Anim.*, **1** (3): 135-146.
- GARCÍA, P., MOMBIELA, F. & MOSQUERA, A. (1986b). Efecto del encalado sobre la composición química de praderas establecidas en terrenos «a monte». II. Magnesio, sodio y potasio. *Inv. Agrar. Prod. San. Anim.*, **1** (3): 147-158.
- GARCÍA-RODEJA, E., SILVA, B.M. & MACÍAS, F. (1987). Andosols developed from non-volcanic materials in Galicia, NW Spain. *J. Soil Sci.*, **38**: 573-591.
- JUO, A.S. & KAMPRATH, E.J. (1979). Copper chloride as an extractant for estimating the potentially reactive pool in acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **44**: 407-413.
- KUDEYAROVA, A.Y. (1983). Mobilization and leaching of various chemical elements and organic matter of Gray Forest soil by poly-forms of P_2O_5 fertilizers. *Khimiya v sel'skom khozyaystve*, **21**(10):.
- KUDEYAROVA, A.Y. & KVARATSKHELIYA, M.Z. (1983). Role of polyphosphates in solution and migration of elements in Gray Forest soil. *Izv. Akad. Nauk SSSR, sér. biol.*, **2**:.
- KUDEYAROVA, A.Y. & KVARATSKHELIYA, M.Z. (1989). Effect of fertilizer phosphates on solubility of Ca, Mg, Mn, Zn, Al and Fe compounds in gray forest soil. *Pochvovodeniye*, **8**: 26-34.
- LIN, C. & COLEMAN, N.T. (1967). The measurement of exchangeable aluminium in soils and clays. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **24**: 444-446.
- LINDSAY, W.L. & STEPHENSON, H.F. (1959). Nature of reactions of monocalcium phosphate monohydrate in soils. II. Dissolution and precipitation reactions involving iron, aluminium, manganese and calcium. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **23**, (1).
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. (1960). Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Min.*, **7**: 317-327.
- MOSQUERA, A. (1986). *Transformación de tierras de monte gallego en praderas permanentes: dosis óptimas de cal para establecimiento y mantenimiento*. Tesis doctoral (inéd.). Universidad de Santiago de Compostela.
- NOR, Y.M. & TABATABAI, M.A. (1977). Oxidation of elemental sulfur in soils. *Soil Sci. Am. Proc.*, **41**: 736-741.
- 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**: 1-25.
- PEREIRA, Z.M.R., SALCEDO, I.M. & TIESSEN, H. (1989). Effect of calcium carbonate and of ammonium phosphate additions on electrochemical properties and potassium retention of two Brazilian soils. *Soil Sci.*, **47**: 64-71.
- ROMERO, R. (1989). *Familias mineralógicas en suelos sobre granitos de la provincia de La Coruña*. Tesis doctoral (inéd.). Universidad de Santiago de Compostela.
- REUSS, J.O. & JOHNSON, D.W. (1986). Acid deposition and the acidification of soils and waters. *Ecological Studies*, **59**: 1-119.
- URRUTIA, M.M. (1989). *Procesos ácido-base en suelos de la provincia de la Coruña*. Tesis doctoral (inéd.). Universidad de Santiago de Compostela.
- URRUTIA, M.M., GARCÍA-RODEJA, E. & MACÍAS, F. (1991). Efecto del encalado y de la fertilización con fósforo sobre formas de acidez de dos suelos ácidos de Galicia. *Suelo y Planta*, **1**(1): 49-60.