

Caracterización de las fases sólida y líquida de suelos desarrollados sobre esquistos biotíticos de la serie de Ordes

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

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

(Recibido, enero de 1995. Aceptado, diciembre de 1995)

Resumen

ALVAREZ, E., FERNÁNDEZ-SANJURJO, M. J., MERINO, A. & GARCÍA-RODEJA, E. (1996). Caracterización de las fases sólida y líquida de suelos desarrollados sobre esquistos biotíticos de la serie de Ordes. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 6: 49-59

Se estudian distintos parámetros de las fases sólida y líquida de varios tipos de suelo desarrollados sobre esquistos de Ordes. El complejo de cambio de estos suelos presenta contenidos similares de Ca, Mg y Na y elevada saturación en Al (56-91%). Con respecto a los subsuperficiales, los horizontes A muestran valores de pH más altos, menor saturación en Al y mayores contenidos de Al ligado a la materia orgánica (especialmente de carácter muy estable) y no cristalino. La concentración de Al total en disolución no supera en ningún caso 1 mg L^{-1} . Gran parte de este Al lo constituyen coloides, complejos y/o polímeros con la materia orgánica, especialmente en los horizontes superiores, donde pueden representar más del 50%. Por el contrario, los monómeros organoaluminicos son muy escasos, inferiores al 5%. En concordancia con los valores de pH superiores a 5.5, en la mayor parte de las disoluciones los monómeros Al-OH son la especie de Al lábil mayoritaria. De los diagramas de equilibrio mineral se deduce que estas muestras se encuentran en el campo de estabilidad de la caolinita próximas a los minerales 2:1.

Palabras clave: Esquistos de Ordes, formas de Al, disolución de suelo, estabilidad mineral, Galicia, España.

Abstract

ALVAREZ, E., FERNÁNDEZ-SANJURJO, M. J., MERINO, A. & GARCÍA-RODEJA, E. (1996). Characterization of solid and liquid phases of soils developed from schists, serie Ordes (Galicia, NW Spain). *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 6: 49-59

In this paper different parameters of the solid and liquid phases of some soils developed from schists «Ordes serie» were studied. The exchange complex of these soils showed similar contents of Ca, Mg and Na and high Al saturation (56-91%). With respect to subsoils, the A horizons showed higher pH values, lower Al saturation and higher content of stable organic bound and non crystalline Al. In all cases the Al concentrations in solution were lower than 1 mg L^{-1} . Al was mostly in colloidal forms, complexes and/or polymers of Al-organic matter, specially in the upper horizons where they represented more than 50%. On the contrary, the organic monomers were very scarce, representing less than 5% of total Al. In accordance with the pH values higher than 5.5, in most solutions the Al-OH monomers were the more important Al labile species. The solubility diagrams indicated that these solutions were in the stability field of the kaolinite, although close those 2:1 minerals.

Key words: Schists «Ordes serie», Al forms, soil solution, mineral stability, Galicia (NW Spain).

INTRODUCCIÓN

Debido al riesgo de toxicidad para las plantas que supone la movilización de Al en los suelos, en los últimos años se ha prestado especial atención al estudio de los aspectos relacionados con la química de este elemento, prestando especial atención a movilidad, distribución en especies y fases mineralógicas que controlan su concentración en disolución.

De este modo, en los suelos de la provincia de La Coruña se ha estudiado recientemente el contenido de las diferentes formas de Al de la fracción sólida (URRUTIA *et al.*, 1988) y líquida (CALVO *et al.*, 1987a,b; FERNÁNDEZ & MACÍAS, 1987; ALVAREZ *et al.*, 1992a,b) de diferentes tipos de suelos. Estos trabajos muestran una elevada variabilidad de los niveles de Al, tanto en la fracción sólida como en disolución, que depende fundamentalmente del material de partida sobre el que se desarrollan los suelos.

Los suelos desarrollados sobre esquistos de Ordes ocupan una importante superficie de Galicia. La génesis de estos suelos ha sido caracterizada en trabajos anteriores (MACÍAS *et al.*, 1981; SILVA *et al.*, 1984), sin embargo, a diferencia de otros suelos, como los desarrollados sobre granitos o pizarras, la química del Al no ha sido abordada con profundidad.

La alteración que sufren estas rocas puede llegar a ser muy intensa, de tipo ferromonilitización (MACÍAS *et al.*, 1981). Se trata de suelos de carácter aluminico, con elevado contenido en materia orgánica y texturas predominantemente limosas con tendencia a arcillosas. En zonas de inestabilidad de ladera los suelos más abundantes son Leptosoles o Cambisoles en fases incipientes; en penillanuras se observan, frecuentemente, Cambisoles húmicos y, en zonas deprimidas, Cambisoles gleicos. En los suelos jóvenes se encuentran minerales alterables (biotita o feldespatos), filosilicatos 1:1, componentes no cristalinos de Al y gibbsita (MACÍAS, 1981). En los más evolucionados, sin embargo, son escasos los minerales alterables y abundan

los filosilicatos 1:1 poco cristalinos y los oxihidróxidos de Fe, pudiendo existir pequeñas cantidades de clorita (SILVA *et al.*, 1984).

El presente trabajo se centra en el estudio de las fracciones sólida y líquida, prestando especial atención a la química del Al, de los suelos desarrollados sobre los esquistos de la serie Ordes-Bergondo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material

Para este estudio se seleccionaron 11 perfiles de suelos desarrollados sobre esquistos de la serie de Ordes, localizados en el norte de las provincias de La Coruña. Todos ellos bajo vegetación de bosque, *P. pinaster* (9 casos), y *Q. robur* (2 casos). Según el sistema FAO (1991) se clasifican como Cambisoles húmicos (4 suelos), Cambisoles ándico-húmicos (2), Cambisoles dístricos (1), Acrisol háplico (1), Leptosoles úmbricos (2) y Fluvisol úmbrico (1) (Tabla I).

Métodos

Fase sólida

En la fracción sólida, secada al aire y tamizada por 2 mm, se determinaron los siguientes parámetros: pH en agua (relación suelo: disolución, 1 : 2.5); Ca, Mg, Na, K y Al de cambio mediante extracción con NH_4Cl al pH del suelo (PEECH *et al.*, 1947); Fe y Al extraídos con pirofosfato sódico (BASCOMB, 1968) y con oxalato amónico (BLAKEMORE, 1978); Al extraído con CuCl_2 (JUO & KAMPRATH, 1989) y con LaCl_3 (HARGROVE & THOMAS, 1981). La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) se estima mediante la suma de cationes extraídos con NH_4Cl (KAMPRATH, 1970); Fe, Al, Ca y Mg se analizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica; Na y K, por espectrofotometría de emisión.

TABLA I. Nomenclatura, localización y clasificación según el sistema FAO (1991) de los suelos

PERFIL	LOCALIZACION	VEGETACION	CLASIFICACION
CMu-M3	Monte Vilar	pinar	Cambisol húmico
CMu-M4	Moraleda	pinar	Cambisol húmico
CMu-7	Sarandóns	pinar	Cambisol húmico
CMu-M9	Cesuras	pinar	Cambisol húmico
CMA-M5	Tordoia	pinar	Cambisol andico-húmic
CMA-M6	Vilagudín	pinar	Cambisol ándico-húmic
CMd-M21	Pontoxo	robleal	Cambisol dístrico
ACh-M2	S. Vicente	pinar	Acrisol háptico
LPu-M1	Pontoxo	pinar	Leptosol úmbrico
LPu-M8	Cerceda	pinar	Leptosol úmbrico
FLu-M20	Vilagudín	robleal	Fluvisol úmbrico

Fase líquida

Las disoluciones fueron extraídas por el método de desplazamiento (ADAMS, 1974), y en ellas fueron determinadas, previo filtrado por 0.45 µm, pH, Ca y Mg, por espectrofotometría de absorción atómica y Na y K por emisión; SO₄²⁻ y NO₃⁻ y Cl⁻, por cromatografía iónica; F⁻ total mediante electrodo selectivo, empleando disolución TISAB como descomplejante; Si por colorimetría (COREY & JACKSON, 1953).

El fraccionamiento del Al se realizó según el esquema general propuesto por DRISCOLL (1984), incluyendo las modificaciones de ALVAREZ & CALVO (1992). El procedimiento incluye la determinación del Al total (AlTF) en muestra filtrada, por el método colorimétrico del violeta de pirocatecol (DOUGAN & WILSON, 1974), previa digestión ácida; por el mismo método y con un tratamiento ácido suave se obtiene el Al reactivo (Alr). La diferencia entre estas dos formas se denomina Al soluble en ácido (Alsa) que incluye polímeros, coloides y/o complejos organo-alumínicos (DRISCOLL, 1984). El Al reactivo se separa en dos fracciones mediante una resina de cambio iónico (Amberlita IR-120): Al no lábil (AlNL: monómeros orgánicos, quedan retenidos en la resina) y Al lábil (AlL: monómeros inorgánicos, no retenidos por la resina) (DRISCOLL, 1984). La distribución del Al lábil en especies, monómeros inorgánicos con F⁻, OH⁻ y SO₄²⁻, se

ha obtenido a partir de los valores de pH y concentración de AlL, SO₄²⁻, F⁻ total y otros cationes y aniones, mediante la aplicación del programa de cálculo Solmineq-88 (KHARAKA *et al.*, 1989).

Los diagramas de estabilidad mineral se han confeccionado tomando los datos termodinámicos proporcionados por ROBIE *et al.* (1978), HEM & ROBERSON (1967) y FARMER & FRASER (1982).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase sólida

pH en agua

En los horizontes superficiales el rango de pH varía entre 4.6 en el Fluvisol y valores próximos a 5.0 en el resto de los suelos (Tabla II). En todos los perfiles estudiados, a excepción del Fluvisol, se observa un descenso de pH en los horizontes subsuperficiales, situándose alrededor de 4.8, sin diferencias apreciables entre los horizontes B (Bt, Bw y BA). La disminución de este parámetro en profundidad no concuerda con lo señalado por FERNÁNDEZ & MACÍAS (1987) y ALVAREZ *et al.* (1992a) para suelos de Galicia desarrollados sobre materiales de carácter ácido. El mayor valor de pH de los horizontes A de los suelos de esquistos de Ordes puede atribuirse a

TABLA II. Algunos parámetros de la fracción sólida y líquida de los suelos estudiados

PERFIL	HOR	Prof.	pHH	pHD	S	%Al	CICe	Alo	Alp	Alcu	Alla	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	Si
CMu-M3	Au1	0-10	5.1	7.0	1.9	65	5.7	115.5	62.2	17.4	3.8	17.4	0.01	16.9	5.8
	Au2	10-40	4.7	6.3	0.6	89	6.1	98.8	44.4	13.1	3.4	11.4	1.53	14.5	2.4
	Bw	40-66	4.7	5.2	0.9	88	8.4	32.2	24.4	9.3	3.4	11.9	5.30	18.0	2.1
CMu-M4	A	0-15	4.9	6.8	1.1	75	4.7	92.2	124.4	32.2	6.0	14.3	1.52	19.6	5.5
	Bw	15-30	4.8	5.6	0.7	85	5.1	51.1	24.4	10.6	2.9	84.9	0.93	18.8	2.6
CMu-M7	A	0-15	4.9	6.7	1.8	70	6.3	126.6	105.5	28.3	5.0	29.6	0.01	82.1	3.0
	Bw	15-30	4.8	6.6	0.8	82	5.1	76.6	66.6	11.8	2.6	23.2	0.39	19.2	2.2
CMu-M9	A	0-10	5.0	6.5	2.9	56	6.9	136.6	100.0	18.8	4.4	31.7	0.01	31.8	5.8
	AB	10-30	4.8	5.9	0.8	81	4.4	117.7	75.5	17.7	2.7	15.7	0.01	41.9	4.9
	Bw	30-55	4.9	nd	0.5	85	3.4	47.7	37.7	8.5	1.8	nd	nd	nd	nd
	2BC	55-70	4.9	nd	0.3	85	2.6	24.4	17.7	5.5	0.9	nd	nd	nd	nd
CMa-M5	Au1	0-10	5.0	6.4	1.4	69	4.7	205.5	173.3	40.1	4.7	60.5	0.01	27.5	3.9
	Au2	10-30	4.9	6.6	0.6	83	3.9	186.6	174.4	37.2	4.9	91.8	0.01	23.3	2.9
	Bw1	30-55	4.8	3.0	0.3	91	3.7	57.7	40.0	8.5	1.7	50.7	0.01	9.4	1.9
	Bw2	55-70	4.8	nd	0.5	87	3.9	24.4	16.6	6.0	1.9	nd	nd	nd	nd
CMa-M6	Au1	0-10	4.8	5.7	1.5	74	5.9	205.5	161.1	38.3	5.2	12.9	0.01	69.5	3.6
	Au2	10-22	4.8	5.0	0.8	83	5.1	211.1	155.5	39.7	4.5	6.2	0.01	69.8	1.9
	Bw	22-40	4.8	6.1	0.4	83	2.5	57.7	62.2	9.1	2.2	14.0	1.37	19.3	1.3
CMD-M21	A	0-10	5.0	6.6	2.0	65	6.1	161.1	130.0	28.1	0.4	16.4	7.38	8.9	4.5
	Bw	16-44	4.7	6.6	0.7	84	4.7	83.3	31.1	13.3	2.4	13.2	19.20	31.2	4.9
	BC	44-65	4.8	nd	0.6	90	6.4	22.2	16.6	7.5	0.0	nd	nd	nd	nd
ACh-M2	A	0-10	4.9	6.7	1.5	62	4.2	103.3	58.8	20.8	3.5	40.7	0.01	79.5	7.1
	BA	10-30	4.7	4.7	1.0	83	6.2	48.8	38.8	12.0	3.8	25.9	2.44	224.8	4.7
	Bt	30-55	4.7	5.2	0.8	84	5.2	54.4	56.6	9.6	2.3	15.9	2.57	48.1	2.7
	2Bt	55-75	4.8	4.6	0.7	88	5.8	27.7	46.6	8.1	6.0	13.3	0.01	64.1	1.3
	2C	>75	5.0	nd	0.7	88	6.0	21.1	11.1	7.7	3.4	nd	nd	nd	nd
LPu-M1	Au1	0-10	5.0	nd	2.1	70	7.2	106.6	77.7	33.3	5.6	nd	nd	nd	nd
	Au2	10-25	4.7	5.3	1.4	75	5.8	121.1	108.8	31.1	5.4	18.8	0.01	148.6	6.8
LPu-M8	Au1	0-10	5.0	6.8	1.0	79	5.0	173.3	182.2	41.3	8.1	8.4	0.01	25.0	0.9
	Au2	10-22	5.0	6.5	0.9	84	5.6	111.1	136.6	32.2	4.9	55.1	0.01	340.0	nd
FLu-M20	A	0-10	4.6	5.2	1.6	73	6.2	72.2	71.1	18.3	7.5	12.5	48.8	14.7	9.2
	Ag	10-40	4.7	5.0	0.7	79	4.0	82.2	62.2	16.6	4.0	29.0	147.7	202.8	9.2
	ACg	40-80	5.0	nd	1.0	72	3.9	74.4	47.7	14.4	3.2	nd	nd	nd	nd
	Cg	80-100	5.2	nd	1.7	62	4.6	47.7	45.5	10.2	2.2	nd	nd	nd	nd

pHH, pHD: valores de pH del suelo (H₂O) y en disolución, respectivamente.

Suma de bases (S) y capacidad de intercambio catiónica efectiva (CICe): cmol(+) kg⁻¹.

%Al: saturación de Al en el complejo de cambio.

Alo, Alp, Alcu, Alla: Al extraído con oxalato amónico, pirofosfato sódico, cloruro de cobre y cloruro de lantano, respectivamente (cmol(+) kg⁻¹).

SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻, Si: concentración en disolución (mg L⁻¹).

un mayor contenido en minerales alterables, que es consecuencia del carácter policíclico de estos suelos, en los que el ciclo superior está formado a partir de depósitos coluviales con abundantes fragmentos de roca no o poco alterada (SILVA *et al.*, 1984; MACÍAS & CALVO, 1992). Este hecho coincide con una mayor concentración de Si en las disoluciones de esos horizontes (Tabla II).

Cationes básicos y Al en el complejo de cambio

En los horizontes A los valores de la capacidad de cambio efectiva oscilan entre 4.2 cmol(+) kg⁻¹ del Acrisol y 7.2 cmol(+) kg⁻¹ de un Leptosol; en los horizontes subsuperficiales se registran, en general, valores más bajos, excepto en los perfiles ACh-M2, correspondiente al Acrisol háplico, y CMu-M3, CMu-M4 clasificados como Cambisoles húmicos.

El complejo de cambio se caracteriza por no presentar un predominio claro de ninguno de los cationes básicos con contenidos similares de Ca, Mg y Na (Fig. 1), a diferencia de lo señalado en otros suelos de Galicia en los que el Ca es el catión mayoritario y Na y Mg se encuentran en muy pequeñas cantidades. La mayor proximidad al mar de las muestras estudiadas podría explicar los mayores valores de Na y Mg existentes, sobre todo en los horizontes superficiales.

En general, el contenido en bases en el horizonte A oscila entre 2.9 cmol(+) kg⁻¹ de un Cambisol húmico y 1.0 cmol(+) kg⁻¹ de un Leptosol, observándose una fuerte reducción (próxima al 50%) en los horizontes subsuperficiales, sin que sea posible apreciar diferencias claras entre los distintos tipos de suelo (Fig. 1).

El comportamiento del Al de cambio a lo largo del perfil no está relacionado con el tipo de suelo. En general sus valores no superan los 4 cmol(+) kg⁻¹ sin observarse grandes diferencias entre los distintos tipos de suelo ni entre horizontes, si bien el Fluvisol presenta valores ligeramente más bajos en los horizontes subsuperficiales (Fig. 1).

La saturación del complejo de cambio por Al se sitúa alrededor del 70% en los horizontes

superficiales, aproximándose al 85% en los subsuperficiales. Esta tendencia es común a todos los perfiles, a excepción del Fluvisol, y se corresponde con el descenso de pH que muestran los mismos (Tabla II).

Formas de Al

Los resultados muestran importantes contenidos de Al extraído con oxalato amónico y pirofosfato sódico (valores medios de 141 y 116 cmol(+) kg⁻¹, respectivamente) en los horizontes superficiales (Tabla II), que son superiores a los obtenidos en otros suelos de naturaleza más ácida (FERNÁNDEZ-SANJURJO *et al.*, 1995); asimismo se observa una fuerte reducción de estas fracciones en los horizontes subsuperficiales (valores medios de 46.6 y 36.6 cmol(+) kg⁻¹, respectivamente), lo que puede relacionarse con la naturaleza orgánica de las mismas. La diferencia entre el Al extraído con oxalato amónico y pirofosfato sódico es también más elevada en los horizontes superficiales, lo que indica una mayor presencia de compuestos de Al mineral no cristalino, tal vez por la influencia de la materia orgánica en la inhibición de la cristalinización mineral (KODAMA & SCHNITZER, 1977).

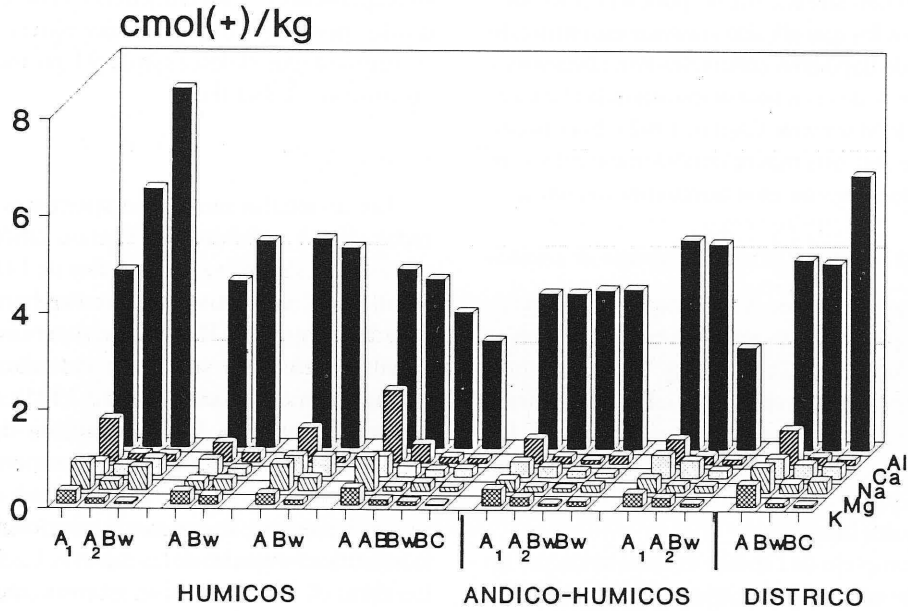
Las formas orgánicas más lábiles de Al en la fase sólida, extraídas con CuCl₂ y LaCl₃, son también más abundantes en los horizontes superficiales que en profundidad, si bien presentan unos valores mucho más bajos que las fracciones comentadas anteriormente (Tabla II); la gran diferencia entre el Al extraído con pirofosfato sódico y CuCl₂ sugiere que en estos suelos existe una tendencia a formar complejos organoaluminicos muy estables, teniendo menor importancia las formas de Al de carácter más lábil (URRUTIA *et al.*, 1988).

Fase líquida

pH de la disolución

En los horizontes superficiales los valores de pH de la disolución oscilan entre 5.2 del Fluvisol y 7.0 de un Cambisol húmico, situándose el resto

CAMBISOLES



ACRISOL, LEPTOSOLE, FLUVISOL

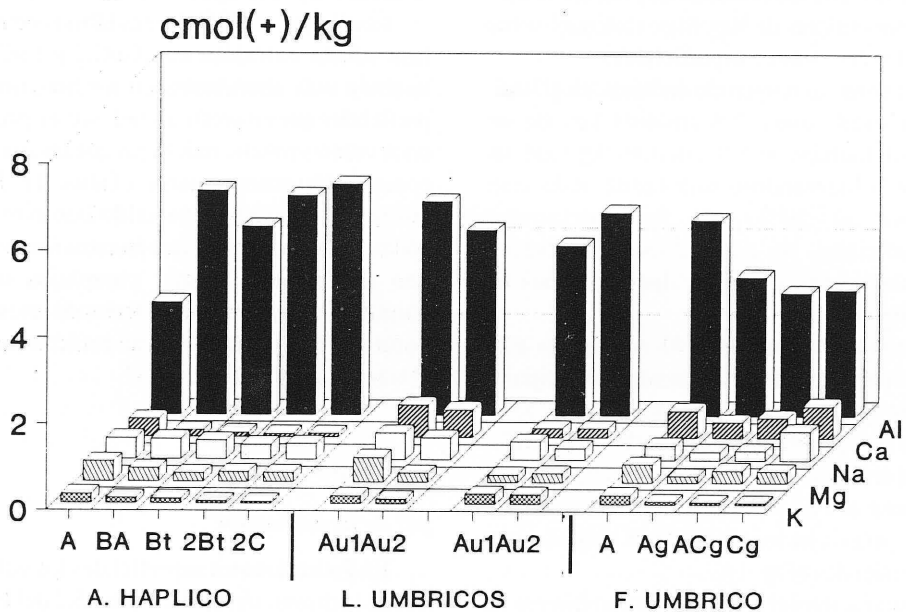


Fig. 1. Cationes en el complejo de cambio de los suelos.

de los horizontes A con un pH alrededor de 6.5 (Tabla II). Al igual que se señalaba para la fase sólida, el pH de la disolución del suelo también muestra un descenso generalizado en profundidad, que es más acusado en los Cambisoles húmicos y en el Acrisol háplico. Al igual que en la fracción sólida, esta tendencia al descenso de pH hacia los horizontes subsuperficiales podría estar ligada al menor contenido en minerales alterables de estos horizontes; además, las importantes concentraciones de SO_4^{2-} , procedentes de la oxidación de sulfuros, cuya presencia en la roca ha sido señalada por FERNÁNDEZ & MACÍAS (1985) y de NO_3^- , cuya deposición en los suelos se explica por la elevada actividad ganadera en la zona de estudio, pueden contribuir a la mayor acidez de estos horizontes (Tabla II).

Cationes y aniones en disolución

El contenido de cationes básicos, especialmente Na, en disolución es menor en los Cambisoles que en el resto de los suelos estudiados (Fig. 2). Coincidiendo con lo señalado para otros suelos de Galicia (CALVO *et al.*, 1987a), el Na es el catión mayoritario, Ca y Mg presentan niveles muy similares, siendo el K minoritario.

En cuanto a los aniones en disolución, se observa que los niveles de SO_4^{2-} en los horizontes superficiales oscilan entre 12.5 y 60.5 mg L^{-1} sin poder establecer ninguna relación con el tipo de suelo; en las capas subsuperficiales el rango de variación es todavía más amplio (entre 11.4 y 91.8 mg L^{-1}) (Tabla II).

El contenido de NO_3^- en los horizontes superficiales no supera, en general, los 2 mg L^{-1} , a excepción del Cambisol dístrico y sobre todo del Fluvisol (valores próximos a 8 y 50 mg L^{-1} , respectivamente); los niveles de este anión aumentan con la profundidad, especialmente en los dos últimos suelos señalados anteriormente, que llegan a alcanzar valores cercanos a 20 y 150 mg L^{-1} , respectivamente (Tabla II).

El Cl^- no sigue una tendencia clara y los rangos de variación son muy amplios tanto en los horizontes superficiales como en los subsuperficiales (Tabla II).

Formas de aluminio en disolución

Los concentraciones de Al total disuelto (AlTF) no superan en ningún caso 1 mg L^{-1} , correspondiendo los valores más altos al Acrisol háplico en todos sus horizontes. Asimismo se observa una disminución del Al con la profundidad, especialmente en los Cambisoles (Fig. 3ab).

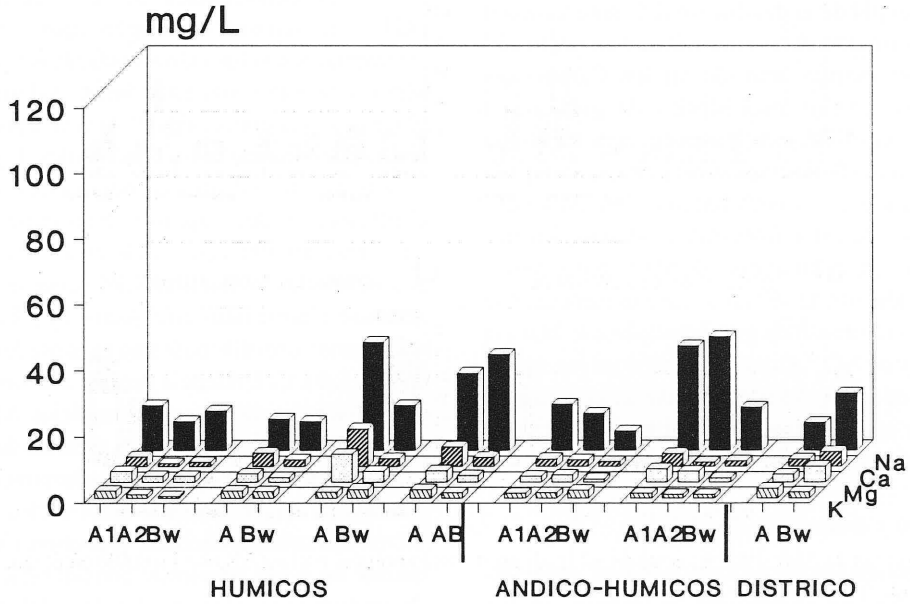
En los horizontes superficiales de los Cambisoles y del Leptosol, gran parte del Al total (más del 50%) es soluble en ácido (Alsa) y prácticamente la totalidad del restante se encuentra en forma lábil; en el Acrisol y el Fluvisol, no obstante, esta última forma es la predominante (Fig. 3ab). La tendencia general a la formación de polímeros, coloides y/o complejos Al-materia orgánica en la fase líquida, concuerda con la abundancia de complejos organoaluminicos muy estables en la fase sólida de estos suelos. En los horizontes subsuperficiales, la proporción de Al soluble en ácido desciende considerablemente, observándose un claro predominio del Al lábil, con la excepción del horizonte Bt del Acrisol y el Bw de un cambisol ándico-húmico, que de nuevo presentan altos contenidos de Alsa. En todos los casos el Al no lábil es poco significativo.

La distribución del Al lábil en especies muestra que esta fracción está constituida mayoritariamente por monómeros hidroxilados, a diferencia de lo encontrado en suelos desarrollados sobre materiales de partida de carácter más ácido (rocas graníticas, micaesquistos), en los que las formas monoméricas fluoradas son dominantes (ÁLVAREZ *et al.*, 1992b). En los horizontes subsuperficiales que presentan un pH en general inferior, se observa un aumento de los monómeros Al-F. En todos los casos las especies Al-SO_4 y el Al libre (Al^{3+}) son minoritarias (Fig. 3cd). Por tanto, la distribución del Al lábil en especies está fuertemente condicionada por los valores de pH; los mayores valores encontrados, sobre todo en los horizontes A, favorecen al OH^- sobre el F^- en su competencia por el Al.

Estabilidad mineral

En la Fig. 4 se representan los campos de estabilidad de distintos minerales a una tempera-

CAMBISOLES



AGRISOL, LEPTOSOLELES, FLUVISOL

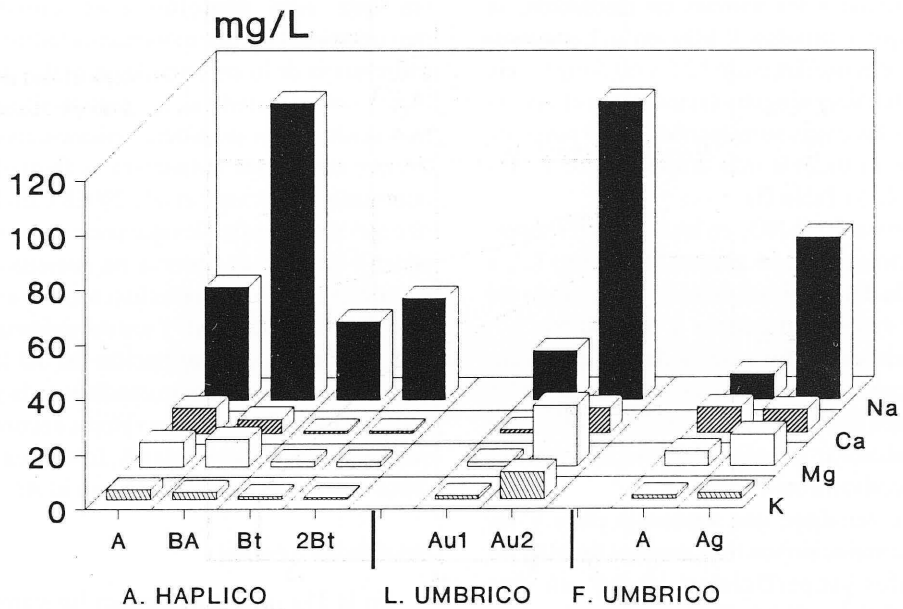


Fig. 2. Cationes en la disolución del suelo.

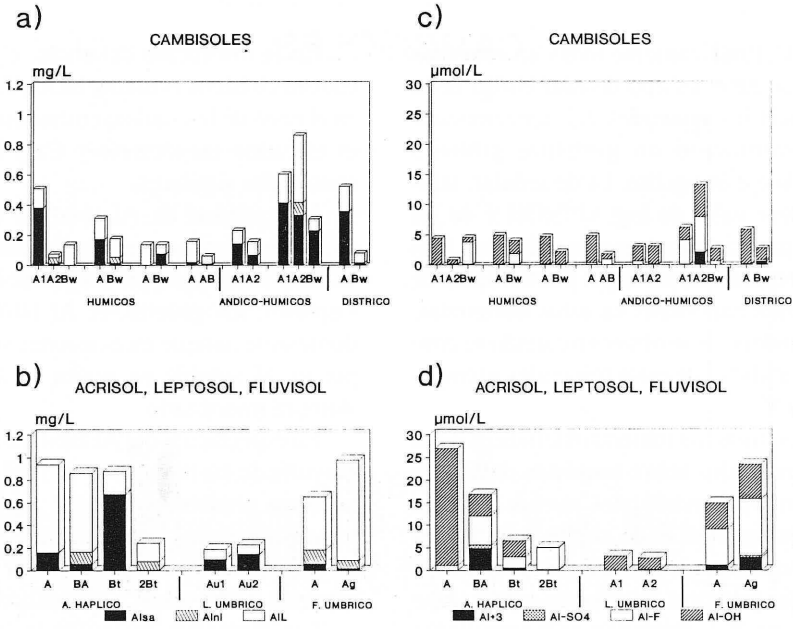


Fig. 3. Formas de Al (a, b) y especies de Al (c, d) en la disolución del suelo. (Alsa= Al soluble en ácido; Alnl= Al no lábil; All= Al lábil).

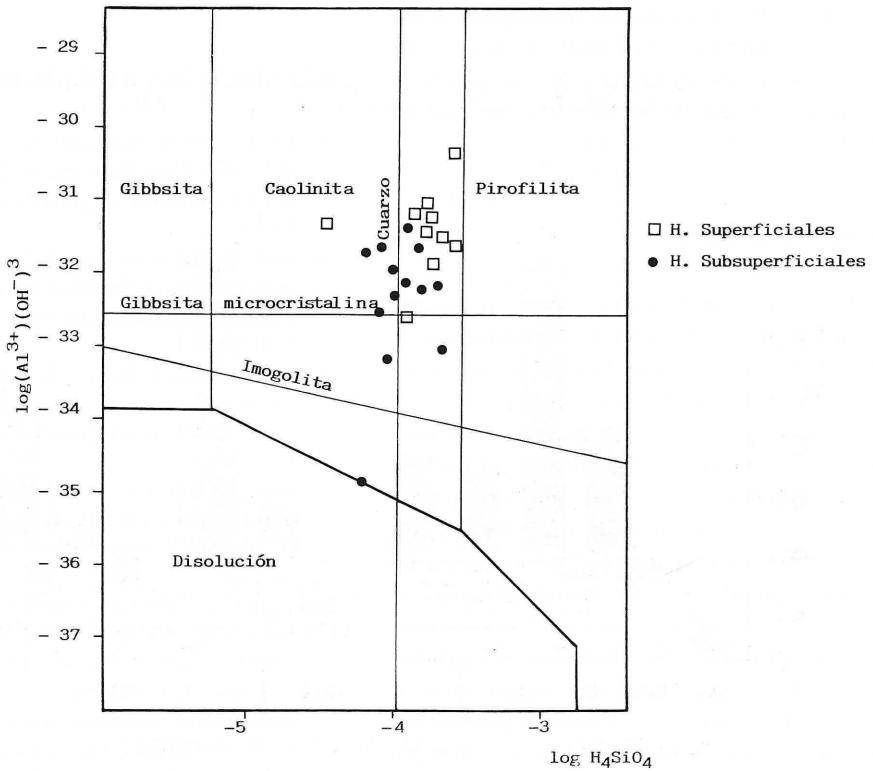


Fig. 4. Campos de estabilidad mineral en el sistema $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$.

tura de 25 °C. Prácticamente todas las muestras se encuentran en el campo de estabilidad de la caolinita hacia los minerales 2:1, apreciándose una sobresaturación en gibbsita, gibbsita microcristalina e imogolita. Es de señalar, también, el mayor valor de $\log(\text{Al}^{3+})(\text{OH}^-)^3$ de las muestras superficiales, que puede atribuirse, fundamentalmente, a valores de pH y actividades de Al ligeramente superiores en estos horizontes. Similares tendencias se obtienen cuando se considera la estabilidad de estos minerales a temperatura de 10 °C.

La sobresaturación mineral obtenida en estos suelos desarrollados sobre esquistos de Ordes, contrasta con lo observado por CALVO & ALVAREZ (1992) en horizontes A de suelos más ácidos (granitos, esquistos micacíticos), en los que buena parte de las muestras se situaban en el campo de la disolución. Esta diferencia en los resultados puede relacionarse, de nuevo, con la mayor abundancia de minerales alterables, elevando el valor del pH en superficie y la concentración de Si (Tabla II). De este modo, las disoluciones de los horizontes superficiales de estos suelos, en general, muestran valores de pH superiores a 6.5, en contraste con los de áreas graníticas que no suelen superar el valor de 4.8.

CONCLUSIONES

Los suelos estudiados presentan, en general, valores de pH en agua y en disolución más bajos en los horizontes subsuperficiales, lo que puede deberse a la mayor alteración de los materiales de estos horizontes, a la oxidación de sulfuros nativos o al lavado de NO_3^- en estos horizontes.

Las características del complejo de cambio no difieren en los distintos tipos de suelo: Ca, Mg y Na presentan contenidos muy similares, no pudiendo establecerse un claro predominio de ninguno de ellos; en los horizontes subsuperficiales se observa un descenso general de todos los cationes básicos, unido a un aumento en la saturación por Al. En estos suelos existe una clara tendencia a la formación de complejos organoaluminícos de carácter muy estable.

En la disolución del suelo, el contenido en cationes básicos es menor en los Cambisoles que en el resto de los suelos; en cualquier caso, el Na es el catión mayoritario y Ca y Mg presentan contenidos similares.

La cantidad de Al total en disolución no supera en ningún caso 1 mg L^{-1} , obteniéndose los valores más bajos en los Cambisoles y en el Leptosol. En general, el Al lábil es la forma dominante aunque en ocasiones se ve superado por el Al soluble en ácido; el Al no lábil es siempre minoritario.

La especiación del Al lábil muestra que en la mayoría de los horizontes con pH superior a 5.5 la forma predominante es el Al-OH; en los de mayor acidez los complejos Al-F desempeñan un papel importante y, en todos los casos, las especies Al^{3+} y Al- SO_4 son minoritarias.

Los diagramas de equilibrio indican que estas muestras se encuentran en el campo de estabilidad de la caolinita y próximas a la de los minerales 2:1.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, F. (1974). Soil solution. In: Carson, E. W. (Ed.), *The Plant Root and its Environment*: 441-481. University of Virginia Press, Charlottesville, EE UU.
- ALVAREZ, E. & CALVO, R. (1992). Aplicación de un método de fraccionamiento de especies aluminícas a soluciones de suelos de Galicia. *Suelo y Planta*, **2**: 215-230.
- ALVAREZ, E., GARCÍA-RODEJA, E. & CALVO, R. (1992a). Parent soil materials and toxic species of Al in acid soils of Galicia (Spain). *Fres. Envir. Bull.*, **1**: 553-558.
- ALVAREZ, E., MARTÍNEZ, A. & CALVO, R. (1992b). Geochemical aspects of aluminium in forest soils in Galicia (NW Spain). *Biogeochemistry*, **16**: 167-180.
- BASCOMB, C.L. (1968). Distribution of pyrophosphate extractable iron and organic carbon in soils of various groups. *J. Soil Sci.*, **19**: 251-256.
- BLAKEMORE, L.D. (1978). Exchange complex dominated by amorphous material (ECDAM). In: Smith, G. D. (Ed.), *The Andisol Proposal*: 21-22. Soil Bureau, DSIR, Nueva Zelanda.

- CALVO, R. & ALVAREZ, E. (1992). Aluminium activity in soil solution and mineral stability in soils from Galicia (NW Spain). *Clay Minerals*, **27**: 325-330.
- CALVO, R., FERNÁNDEZ, M.L. & VEIGA, A. (1987a). Composición de la disolución del suelo en medios naturales de Galicia. *An. Edafol. Agrobiol.*, **46**: 621-641.
- CALVO, R., FERNÁNDEZ, M.L. & VEIGA, A. (1987b). Estabilidad mineral de suelos desarrollados a partir de rocas básicas y ultrabásicas de Galicia. *An. Edafol. Agrobiol.*, **46**: 643-665.
- COREY, R.B. & JACKSON, M.C. (1953). Silicate analysis by rapid semimicrochemical system. *Anal. Chem.*, **25**: 1233-1238.
- DOUGAN, W.K. & WILSON, A.L. (1974). The absorptometric determination of aluminium in waters. A comparison of some chromogenic reagents and development of an improved method. *Analyst.*, **99**: 413-430.
- DRISCOLL, C.T. (1984). A procedure for the fractionation of aqueous aluminium in dilute acidic waters. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, **16**: 267-283.
- FAO (1991). *Mapa Mundial de Suelos*. FAO. Roma.
- FARMER, V.C. & FRASER, A.R. (1982). Chemical and colloidal stability of soils in the Al_2O_3 - Fe_2O_3 - SiO_2 - H_2O system: Their role in podzolisation. *J. Soil Sci.*, **33**: 737-742.
- FERNÁNDEZ, M.J. & MACÍAS, F. (1985). Contribución a la caracterización químico-mineralógica de los esquistos del «Complejo de Ordes». *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, **9**: 469-494.
- FERNÁNDEZ, M.L. & MACÍAS, F. (1987). Variación estacional de la composición de la disolución de suelos de Galicia en relación con el tipo de horizonte y material original. *An. Edafol. Agrobiol.*, **46**: 53-65.
- 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 (N.O. de España). *Agrochimica*, **39**: 43-52.
- HARGROVE, W.L. & THOMAS, G.W. (1981). Extraction of aluminium from aluminium-organic matter complexes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **48**: 1458-1460.
- HEM, J.D. & ROBERSON, C.E. (1967). *Form and stability of aluminium hydroxide complexes in dilute solutions*. U. S. Geol. Surv. Water Suppl. Pap. **1827-A**. EE UU.
- JUO, A.S. & KAMPRATH, E.J. (1989). Copper chloride as an extractant for estimating the potentially reactive aluminium pool in acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **44**: 207-413.
- KAMPRATH, E.J. (1970). Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **34**: 252-254.
- KHARAKA, Y., GUNTER, W., AGGARWAL, P., PERKINS, E. & DEBRAAL, J. (1989). *Solmineq.88: A computer program for geochemical modelling of water-rock interactions*. U.S. Geological Survey. Menlo Park, California, EE UU.
- KODAMA, H. & SCHNITZER, M. (1977). Effect of fulvic acid on the crystallization of Fe (III) oxides. *Geoderma*, **19**: 272-291.
- MACÍAS, F. (1981). Formation of gibbsite in soils and saprolites at temperate humid zones. *Clay Minerals*, **16**: 43-52.
- MACÍAS, F. & CALVO, R. (1992). *Suelos de la Provincia de A Coruña*. Publicaciones de la Excma. Diputación Provincial de A Coruña.
- MACÍAS, F., GARCÍA, C., GIMÉNEZ, M. & VILLAR, M.C. (1981). El factor material de partida en los suelos de Las Mariñas. 1. Alteración de los esquistos en medios bien drenados. *Acta Científ. Compostelana*, **17**: 265-292.
- 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**. EE UU.
- ROBIE, R.A., HEMINGWAY, B.S. & FISHER, J.R. (1978). *Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298.15 K and 1 bar*. U. S. Geol. Surv. Bull. **1452**. EE UU.
- SILVA, B., GARCÍA-RODEJA, E. & MACÍAS, F. (1984). Caracterización y génesis de los suelos sobre esquistos de Las Mariñas (La Coruña). *An. Edafol. Agrobiol.*, **43**: 523-546.
- URRUTIA, M., GARCÍA-RODEJA, E. & MACÍAS, F. (1988). Aplicación de las disoluciones no tamponadas para la extracción de Al «activo» ligado a la materia orgánica en suelos de Galicia. *An. Edafol. Agrobiol.*, **47**: 1289-1301.