

## COMPOSICION IONICA DE LA DISOLUCION DE SUELOS DE GALICIA: RELACION CON EL TIPO DE CUBIERTA ARBOREA Y MATERIAL DE PARTIDA

E. ALVAREZ RODRÍGUEZ<sup>1</sup>, A. MARTÍNEZ CORTIZAS<sup>1</sup> y A. VEIGA<sup>1</sup>

### RESUMEN

Se estudia la influencia de tres especies forestales, *Quercus robur*, *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*, sobre la composición iónica de la disolución de los suelos desarrollados sobre esquistos y granitos. Los valores medios indican pH más bajos en las disoluciones de suelo bajo roble ( $\bar{x}=4.96$ ) frente a eucalipto ( $\bar{x}=5.14$ ) y pino ( $\bar{x}=5.44$ ) y, mientras estos dos últimos presentan los menores pH sobre granito, en los robledales la mayor acidez está asociada a los esquistos, coincidiendo con el mayor contenido de materia orgánica soluble en las muestras tomadas sobre este material. Correlacionado con el pH está el contenido de Al ( $r=-0.57$ ), que sigue una secuencia similar en granitos y esquistos, decreciendo en el orden robledal-eucaliptral-pinar, con valores medios del orden de, respectivamente, 45, 34 y 27  $\mu\text{mol/l}$  sobre granitos y 48, 13 y 15  $\mu\text{mol/l}$  sobre esquistos. Por su parte, el carácter diluido de estas disoluciones se manifiesta en unos valores de conductividad eléctrica normalmente inferiores a 500  $\mu\text{mhos/cm}$ , contenidos de Ca y Mg menores de 4 mg/l, K menor de 2 mg/l y Na, que es el mayoritario, menor de 25 mg/l, no observándose una influencia clara del tipo de vegetación.  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3$  y  $\text{SO}_4$  presentan contenidos más elevados bajo robledal, mientras que la concentración de flúor total está asociada al tipo de material, con valores más altos en las disoluciones de suelos sobre granitos.

### INTRODUCCION

Algunos autores han tratado de establecer los posibles efectos que podrían inducir diferentes cubiertas arbóreas en el suelo y particularmente en lo relacionado con procesos de acidificación (DUCHAFOUR y BONNEAU, 1961; NIHLGARD, 1971; GRIEVE, 1978; MESSENGER, 1980; RUNGE y WIENERS, 1984), observando una clara relación con la especie forestal y con las características iniciales del lugar estudiado.

En nuestro caso se pretende conocer la influencia que ejercen tres tipos diferentes de vegetación en la composición iónica de la disolución de suelos desarrollados sobre dos tipos de materiales de partida y ampliar el escaso conocimiento que se tiene sobre esta fase, pues la mayor parte de los datos existentes están encaminados, principalmente, a la

obtención de diagramas de estabilidad (FERNÁNDEZ MARCOS y MACÍAS, 1987; CALVO *et al.*, 1987b).

### MATERIAL Y METODOS

Se tomaron 60 muestras superficiales (5-35 cm) de suelos desarrollados sobre granitos de 2 micras (27) y esquistos ricos en biotita (33), bajo cubiertas vegetales diferentes: *Quercus robur*, *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*. Estos suelos se clasifican como Umbric/Distric Cambisols según la FAO (1989) y Typic o Entic Haplumbrepts según la Soil Taxonomy (SSS, 1990), sobre esquistos y granitos, respectivamente, siendo algunos de ellos extremadamente ricos en materia orgánica. En la fracción coloidal de los primeros predominan las arcillas de tipo 1:1 y los oxihidróxidos de Fe, mientras que en los segundos abundan las vermiculitas hidroxialumínicas en los horizontes ricos en materia orgánica y la halloysita, gibbsita e illitas en los horizon-

<sup>1</sup> Departamento de Edafología y química Agrícola. Universidad de Santiago de Compostela.

res subsuperficiales. La toma de muestras se efectuó en primavera.

La fase líquida del suelo fue obtenida por desplazamiento en columna siguiendo el método de ADAMS (1974) que utiliza KSCN al 0.4% como disolución desplazante y FeCl<sub>3</sub> 0,5 N como indicador de su presencia en el efluente.

La fase líquida obtenida se filtró por 0,45 µm y en ella se determinaron pH, conductividad eléctrica, Al total soluble (por complejación con violeta de pirocatecol, previa digestión ácida, DOUGAN y WILSON, 1974), Si (COREY y JACKSON, 1953), Ca y Mg (por espectrofotometría de absorción atómica), Na y K (por espectrofotometría de emisión), SO<sub>4</sub> (por turbidimetría, BARDSELEY y LANDCASTER, 1960), NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y Cl (mediante electrodos selectivos para cada ión), F libre y total (mediante un electrodo selectivo al ión F<sup>-</sup> y adición de TISSAB II para descomplejar y ajustar la fuerza iónica de la disolución y con ello determinar el F total soluble).

El tratamiento estadístico ha consistido en un análisis de varianza multifactorial, un análisis de varianza simple con test de Tukey, para definir las diferencias entre las especies forestales, y un análisis de correlación.

## RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla I se recogen valores medios, desviación típica, máximos y mínimos de diferentes parámetros determinados, y en la Tabla II se muestran los resultados del análisis multifactorial aplicado.

### Conductividad eléctrica, pH y materia orgánica

Es común a todas las soluciones desplazadas de estos suelos su gran dilución, como reflejan los valores medios de conductividad eléctrica, 277, 267 y 293 µmhos/cm para roble, eucalipto y pino, respectivamente, no pudiendo observarse influencia por parte de la vegetación. Los bajos niveles de este parámetro están relacionados con la fuerte alteración de los materiales geológicos de esta región, que ya en un estado incipiente muestran una intensa pérdida de bases y se aproximan al estado re-

sidual (MACÍAS, 1986). La dilución es mayor en las soluciones de suelo sobre material granítico comparada con esquistos, como lo demuestran las diferencias estadísticamente significativas entre ambos materiales de partida, con los siguientes valores medios de conductividad eléctrica expresados en µmol/l:

	Pino	Roble	Eucalipto
Granito .....	162	150	162
Esquisto .....	411	395	411

En relación con el pH, la vegetación ejerce un efecto notable, tal y como se deduce del análisis multifactorial realizado (Tabla II), existiendo diferencias significativas al nivel del 5% (test de Tukey) entre las soluciones de suelo bajo pino, cuyos valores medios son de 5.44, en relación a las de roble ( $\bar{x}$  = 4.96) y eucalipto ( $\bar{x}$  = 5.14).

La influencia del material de partida en este parámetro no es tan clara, pues mientras bajo pino y eucalipto los granitos presentan pH más bajos, coincidiendo con los datos publicados para Galicia, en roble los menores niveles corresponden a los esquistos. Ello puede estar relacionado con el hecho de que algunas muestras recogidas sobre este material son muy ricas en materia orgánica, con porcentajes superiores, en ocasiones, al 30%, presentando contenidos medios de materia orgánica soluble de 4.6, 2.2 y 1.3 meq/l en robledales, pinares y eucaliptales, respectivamente. Se produce así una mayor acidificación en las disoluciones de suelo bajo las cubiertas arbóreas que presentan una mayor descomposición de los restos vegetales; este hecho viene apoyado por la correlación significativa existente entre pH y sustancias orgánicas solubles ( $r$  = -0.46). El coeficiente de correlación aumenta notablemente considerando simplemente los robledales ( $r$  = -0.74) y muy en particular aquellos desarrollados sobre esquistos ( $r$  = -0.86). En este último caso la materia orgánica explica un 74% de la variabilidad en el pH.

### Amonio, aluminio total y silicio

Los niveles de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en disolución son muy bajos, no superándose los 0.4 mg/l, correspondiendo las medias más altas, de nuevo, a los suelos bajo ro-

TABLE I  
VALORES MEDIOS, MAXIMOS, MINIMOS Y DESVIACION TIPICA DE LOS PARAMETROS  
DETERMINADOS EN LA SOLUCION DEL SUELO

VEGETACION		MATERIAL	$\bar{x}$	std	máx.	mín.
pH	Pino	Esquisto	5.64	0.36	6.10	4.80
		Granito	5.42	0.37	5.80	4.70
	Roble	Esquisto	4.89	0.74	6.20	3.70
		Granito	5.03	0.47	6.10	4.50
	Eucalipto	Esquisto	5.36	0.45	6.30	4.70
		Granito	4.79	0.40	5.40	4.10
C.E. µS/cm	Pino	Esquisto	411.00	76.00	616.00	311.00
		Granito	162.00	42.00	244.00	98.00
	Roble	Esquisto	395.00	41.00	465.00	311.00
		Granito	150.00	25.00	195.00	99.00
	Eucalipto	Esquisto	334.00	23.00	359.00	285.00
		Granito	162.00	24.00	194.00	124.00
Al µmol/l	Pino	Esquisto	15.16	6.37	25.29	6.44
		Granito	27.31	18.34	65.85	7.40
	Roble	Esquisto	47.85	34.96	121.00	10.85
		Granito	45.37	18.13	74.81	13.70
	Eucalipto	Esquisto	13.25	8.09	31.81	1.81
		Granito	33.95	15.49	67.40	15.11
M.O. meq/l	Pino	Esquisto	2.42	1.02	4.00	0.80
		Granito	1.81	1.23	4.90	0.70
	Roble	Esquisto	5.72	3.50	12.65	1.70
		Granito	3.35	1.36	5.70	1.50
	Eucalipto	Esquisto	1.20	0.56	2.20	0.60
		Granito	1.57	0.62	2.60	0.60
Si mg/l	Pino	Esquisto	4.20	1.65	7.70	2.12
		Granito	3.73	1.56	7.60	1.76
	Roble	Esquisto	6.49	2.10	10.57	2.62
		Granito	9.53	4.69	16.25	2.87
	Eucalipto	Esquisto	3.74	0.95	5.14	2.06
		Granito	8.00	5.14	20.06	3.74
Ca mg/l	Pino	Esquisto	3.60	2.12	8.44	1.11
		Granito	1.96	0.60	5.11	1.22
	Roble	Esquisto	3.24	1.15	5.44	1.44
		Granito	1.93	0.63	3.11	1.00
	Eucalipto	Esquisto	2.45	3.03	11.88	0.55
		Granito	1.12	0.67	2.66	0.66
Mg mg/l	Pino	Esquisto	3.30	2.22	7.55	1.11
		Granito	2.14	0.74	3.55	1.22
	Roble	Esquisto	2.84	0.91	4.44	1.44
		Granito	2.10	1.06	5.11	1.00
	Eucalipto	Esquisto	2.18	1.98	7.77	0.33
		Granito	1.15	0.41	2.11	0.88
Na mg/l	Pino	Esquisto	22.07	7.89	39.80	10.30
		Granito	15.59	6.22	26.10	6.30
	Roble	Esquisto	15.48	4.75	28.70	10.50
		Granito	16.19	12.19	53.80	8.70
	Eucalipto	Esquisto	17.97	15.27	50.00	7.90
		Granito	17.61	2.52	22.20	14.30

TABLA I (continuación)  
 VALORES MEDIOS, MAXIMOS, MINIMOS Y DESVIACION TIPICA DE LOS PARAMETROS  
 DETERMINADOS EN LA SOLUCION DEL SUELO

	VEGETACION	MATERIAL	$\bar{x}$	std	máx.	mín.
K mg/l	Pino	Esquisto	1.19	0.67	2.30	0.30
		Granito	1.10	0.64	2.60	0.50
	Roble	Esquisto	4.16	2.72	9.50	0.40
		Granito	4.68	2.18	7.60	0.90
	Eucalipto	Esquisto	1.30	0.94	3.50	0.20
		Granito	0.77	0.35	1.30	0.30
NH <sub>4</sub> mg/l	Pino	Esquisto	0.09	0.03	0.17	0.06
		Granito	0.08	0.02	0.11	0.06
	Roble	Esquisto	0.17	0.04	0.27	0.11
		Granito	0.11	0.04	0.18	0.06
	Eucalipto	Esquisto	0.10	0.07	0.33	0.06
		Granito	0.07	0.01	0.08	0.06
F mg/l	Pino	Esquisto	30.45	7.27	43.69	16.84
		Granito	135.87	69.57	259.03	46.32
	Roble	Esquisto	42.68	63.86	252.75	12.11
		Granito	143.64	211.87	787.87	13.68
	Eucalipto	Esquisto	31.74	11.13	58.96	18.95
		Granito	60.09	15.22	91.63	38.43
SO <sub>4</sub> mg/l	Pino	Esquisto	13.36	7.43	25.26	1.47
		Granito	5.05	1.96	8.86	2.27
	Roble	Esquisto	28.13	17.34	64.26	5.01
		Granito	5.68	3.62	11.76	0.74
	Eucalipto	Esquisto	9.93	8.68	26.79	0.01
		Granito	9.01	2.09	13.87	7.02
NO <sub>3</sub> mg/l	Pino	Esquisto	1.81	2.07	6.84	0.01
		Granito	2.59	2.07	6.60	0.68
	Roble	Esquisto	6.83	4.10	15.97	0.01
		Granito	8.78	5.17	16.53	1.32
	Eucalipto	Esquisto	2.93	2.72	8.30	0.01
		Granito	1.40	0.76	3.10	0.68
Cl mg/l	Pino	Esquisto	49.11	32.68	122.70	22.65
		Granito	48.36	34.00	137.55	14.20
	Roble	Esquisto	32.65	18.64	64.46	5.18
		Granito	43.78	27.64	116.60	15.05
	Eucalipto	Esquisto	37.76	31.62	111.30	11.76
		Granito	35.31	11.29	56.79	22.65

ble con independencia del material de partida. Ello coincide con una mayor presencia de sustancias orgánicas en la disolución de los suelos bajo esta especie forestal, obteniéndose entre ambos una correlación significativa ( $r = 0.50$ ). Los bajos niveles de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> detectados pueden entenderse si se tiene en cuenta que este catión tiende a oxidarse a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

En cuanto al Al total soluble (Al total determinado en muestra filtrada por un poro de 0.45  $\mu\text{m}$ ),

aparece una clara influencia del tipo de vegetación (Tabla II), observándose sobre granitos y esquistos una secuencia similar que decrece en el orden robledal-eucaliptal-pinar (Fig. 1). Los valores medios obtenidos son del orden de, respectivamente, 45, 34 y 27  $\mu\text{mol/l}$  sobre granitos y 48, 13 y 15  $\mu\text{mol/l}$  sobre esquistos, obteniéndose diferencias estadísticamente significativas al nivel del 5% entre el roble y las otras dos especies. Esto parece concordar, en principio, con anteriores trabajos, que atribu-

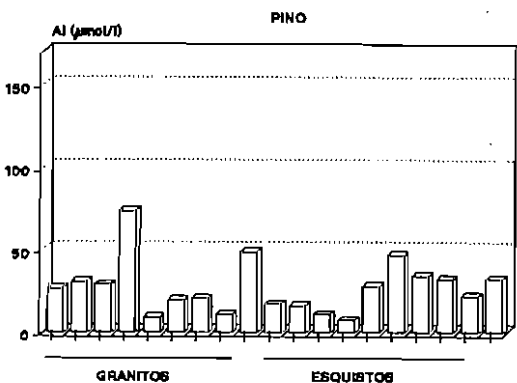
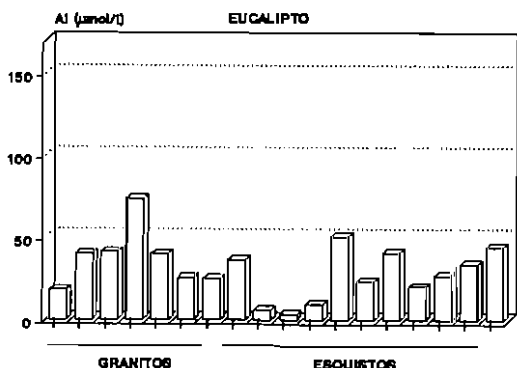
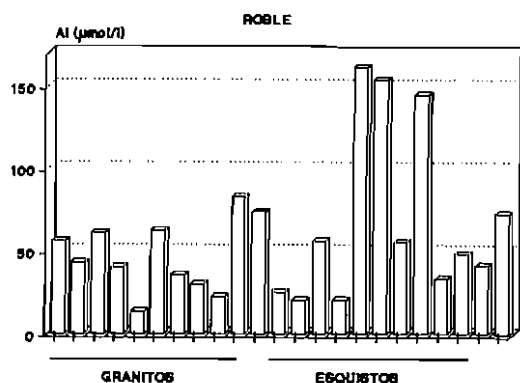


Fig. 1. Niveles de aluminio total en las muestras analizadas, dependiendo del tipo de cobertura arbórea y material de partida.

TABLA II  
EFECTOS PRINCIPALES E INTERACCIONES  
AL APLICAR UN ANALISIS  
DE VARIANZA MULTIFACTORIAL

	Efectos principales	Interacciones
pH .....	Vegetación	No hay
M.O. ....	Vegetación	No hay
C.E. ....	Vegetación	No hay
Al total .....	Vegetación	No hay
Si .....	Vegetación, material	No hay
Ca .....	Material	No hay
Mg .....	Material	No hay
Na .....	No hay	No hay
K .....	Vegetación	No hay
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	No hay	No hay
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	Vegetación	No hay
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> .....	Vegetación, material	Veg./Mat.
F <sup>-</sup> .....	Material	No hay
Cl <sup>-</sup> .....	No hay	No hay

yen a los extractos de hojas de pino mayor poder movilizador de Fe y Al en relación con eucalipto y roble, siendo esta última especie la que presenta una menor capacidad movilizadora (GUITIÁN OJEA, 1963) y, por tanto, cabe esperar que los mayores contenidos aparezcan asociados a las soluciones de suelo bajo esta cubierta forestal. Sin embargo, esta no es la única explicación para los mayores contenidos de Al en la fase líquida de los robledales a juzgar por la buena correlación existente entre el pH de la solución y el Al ( $r = -0.57$ ) (considerando conjuntamente todas las muestras), correlación que mejora sensiblemente en el caso de los robledales ( $r = -0.86$ ) y particularmente cuando consideramos únicamente los que están sobre esquistos ( $r = -0.91$ ), de manera que las muestras de roble sobre este material que presentan un pH más bajo son las que tienen los valores más altos de Al total (Fig. 2). En todo caso, cabe señalar que una buena parte de ese Al está, en los robledales, en forma de polímeros y/o coloides (aluminio soluble en ácido) y también como monómeros orgánicos (Al no lábil) (ALVAREZ, CALVO y BOURRIÉ, 1991), coincidiendo con los mayores contenidos de materia orgánica que presentan las soluciones de suelo bajo esta especie forestal.

Las diferencias encontradas entre los materiales originales siguen un claro paralelismo con lo señalado para el pH, pues mientras los eucaliptales y pinares sobre granitos presentan contenidos de Al total soluble más elevados que en esquistos, bajo robledales (coincidiendo con los pH más ácidos y los más altos niveles de materia orgánica soluble)

algunas muestras de esquisto presentan valores particularmente elevados que llegan a alcanzar los 121  $\mu\text{mol/l}$  (Fig. 1).

Respecto al silicio, el análisis multifactorial aplicado (Tabla II) indica la presencia de efectos principales ligados tanto al tipo de vegetación, debido al considerable aporte en Si en los restos frescos de medios forestales, cifrado en 8 kg/ha/año (CALVO *et al.*, 1979a), como al material de partida, asociado con procesos de alteración. En relación con el primer factor, las soluciones de suelo bajo roble se diferencian significativamente de las obtenidas para las otras dos especies, con valores medios del orden de 8, 5 y 4 mg/l, respectivamente. Entre materiales, bajo roble y eucalipto los granitos presentan mayores contenidos de Si que los esquistos, lo que puede relacionarse con el mayor contenido en Si de la roca madre unido a la calidad y cantidad de materia orgánica, pues en el caso del pino las diferencias existentes entre los dos tipos de materiales considerados son poco importantes.

### Cationes alcalinos y alcalinotérreos

El Na es el catión más abundante (Fig. 3) debido, probablemente, a que es el que está más débilmente adsorbido en el complejo de cambio (BOWER, 1959). Como consecuencia de ello, su concentración es relativamente alta en la solución del suelo, siendo también importantes los aportes de este elemento en el agua de lluvia (CALVO *et al.*, 1979a). No obstante, su concentración no parece depender ni del material de partida ni del tipo de cubierta arbórea (Tabla II).

Por su parte, el Ca, catión mayoritario en el complejo de intercambio, presenta en la solución de suelo unos contenidos muy inferiores a los del Na debido a su mayor adsorción a las posiciones de cambio. Los valores más frecuentes no sobrepasan los 4 mg/l, coincidiendo con los datos aportados por CALVO *et al.* (1987) para soluciones de suelos naturales de Galicia. No se observa una influencia clara de la vegetación en el contenido de este elemento aunque sí del material de partida (Tabla II), apareciendo los valores más altos, generalmente, en los esquistos. Ello puede deberse a una menor

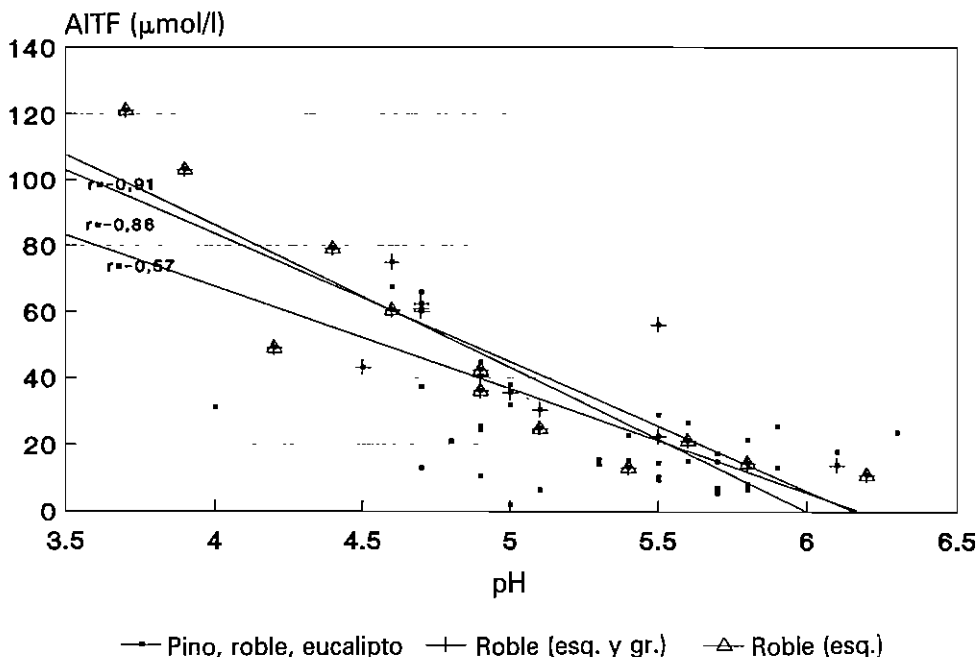


Fig. 2. Relación entre el aluminio total y el pH de las muestras.

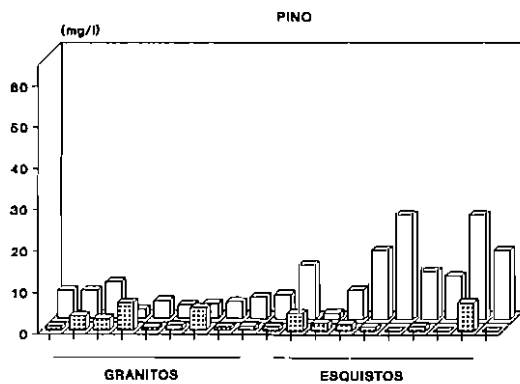
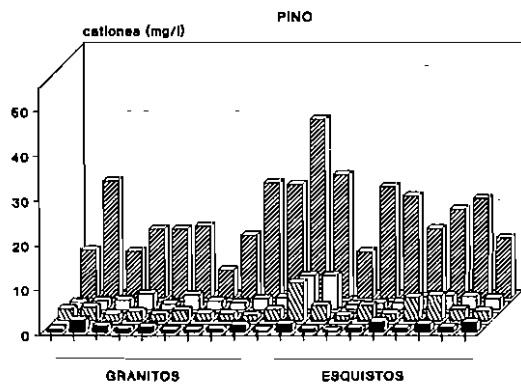
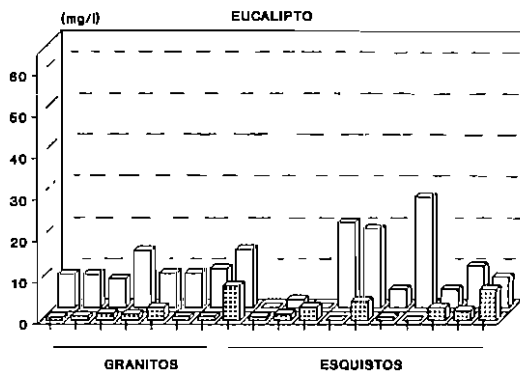
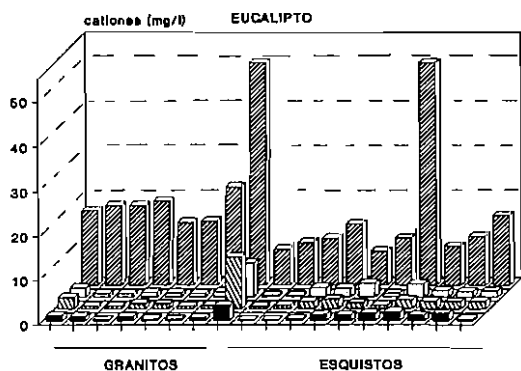
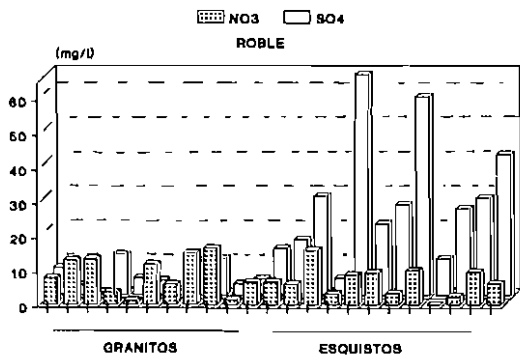
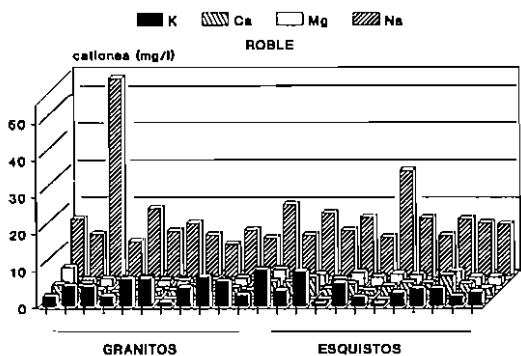


Fig. 3. Niveles de cationes (Ca, Mg, Na y K) en las muestras analizadas, dependiendo del tipo de cobertura vegetal y material de partida.

Fig. 4. Niveles de nitratos y sulfatos en las muestras, dependiendo de la cobertura vegetal y el material de partida.

pérdida de este elemento y/o a una menor adsorción a los lugares de cambio del material esquistoso, con el consiguiente paso a la disolución, pero no al distinto contenido inicial pues ambos materiales presentan contenidos muy similares en roca fresca (CALVO *et al.*, 1987a).

Los contenidos de Mg son muy próximos a los del Ca, no apreciándose diferencias entre especies forestales, con valores medios de 2.48, 1.78 y 2.75 para roble, eucalipto y pino, respectivamente (Tabla I). Las diferencias vienen determinadas por el material de partida, que presenta valores más elevados en esquistos coincidiendo con la mayor proporción de este elemento tanto en la roca fresca como en la saprolita (CALVO *et al.*, 1987a).

El K es, en general, el elemento minoritario en las disoluciones de estos suelos (Fig. 3), lo cual está relacionado con la menor movilidad geoquímica que presenta este elemento durante la alteración (MACÍAS *et al.*, 1980; CALVO *et al.*, 1981; GARCÍA PAZ, 1982) y con la fuerte adsorción a los lugares de cambio, oponiendo mayor resistencia al paso a la disolución. Las diferencias encontradas entre los dos materiales considerados no son muy importantes, mientras que sí lo son para el tipo de vegetación, pues el roble presenta contenidos significativamente distintos a eucalipto y pino (valores medios de 4.41, 1.09 y 1.15 mg/l, respectivamente, Tabla I).

La escasa influencia de la vegetación en el contenido de cationes alcalinos y alcalinotérricos en la disolución parece contradecir la mayor presencia de materia orgánica en la fase líquida de los suelos de roble, cuya descomposición previa tendría que llevar asociada una mayor producción de estos cationes, tanto por la mayor intensidad de destrucción de los tejidos foliares como por la mayor concentración de estos elementos en su hojarasca (CARBALLAS y GUITIÁN OJEA, 1966; CALVO y DÍAZ-FIERROS, 1981). Sin embargo, la mayor producción de H<sup>+</sup> de origen biológico por parte de los robledales (CALVO y DÍAZ-FIERROS, 1981) parece inducir un mayor lavado de cationes básicos, por lo que los contenidos detectados en solución son similares a las otras especies forestales estudiadas.

## Aniones

Algunas de las disoluciones analizadas presentan altos contenidos de nitratos asociados con una mayor acidez del sistema, tal y como pone de manifiesto la correlación significativa encontrada entre ambos parámetros ( $r = -0.46$ ). Ello parece indicar una cierta descompensación entre la producción y la toma de NO<sub>3</sub> por la planta, pues en la oxidación de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a NO<sub>3</sub> se desprenden 2 H<sup>+</sup> (REUSS, 1975) que debieran ser neutralizados en el proceso de absorción de dicho anión. La concentración de nitratos dependerá, en último término, de la calidad y cantidad de materia orgánica, como lo demuestra el hecho de que el tipo de cubierta arbórea presenta el principal efecto sobre el contenido de este anión en disolución, obteniéndose los valores medios más elevados en roble ( $\bar{x} = 7.76$  mg/l) frente a eucalipto ( $\bar{x} = 2.34$  mg/l) y pino ( $\bar{x} = 2.18$  mg/l), no observándose relación con el material de partida (Tabla I). Este mayor contenido de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en las soluciones de suelo bajo robledal tiene particular importancia en el período en que se ha muestreado (primavera), ya que este anión presenta una secuencia estacional muy marcada dependiendo de las condiciones ambientales que regulan la actividad biológica del suelo (CALVO y DÍAZ-FIERROS, 1979), responsable de la descomposición de los restos orgánicos.

En cuanto a los sulfatos, el análisis multifactorial indica la presencia de efectos principales sobre su contenido en solución que están ligados al tipo de vegetación y a la roca madre, siendo muy difícil establecer la importancia de cada uno de ellos, ya que existe una clara interacción entre ambos factores (Tabla II). En relación con el material de partida, los valores más elevados corresponden a disoluciones de suelos sobre esquivo (Fig. 4), lo que puede deberse a que es aquí donde aparecen las muestras de robledal con mayor contenido en materia orgánica.

El tipo de cubierta arbórea va a determinar unos valores más elevados en robledales (Fig. 4) con contenidos medios de 14.1 mg/l frente a 9.6 y 9.4 mg/l en eucalipto y pino, respectivamente (Tabla I), lo que coincide con los mayores niveles de materia orgánica soluble detectados en aquellas soluciones, parámetro con el que presenta una buena correlación ( $r = 0.68$ ). Esto se interpreta teniendo



do en cuenta que la mayor parte de los  $\text{SO}_4$  proceden de la oxidación de los sulfuros ( $\text{S}^{2-}$ ) que están formando parte de los aminoácidos.

El  $\text{SO}_4$  en disolución se puede unir al Al dando complejos del tipo  $\text{Al}(\text{SO}_4)$  y  $\text{Al}(\text{SO}_4)_2$ , que son de cierta consideración en disoluciones de pH menor de 4 y con más de 20 mg/l de  $\text{SO}_4$ , por lo que, en este caso, aparecen fundamentalmente en muestras bajo robledal de esquisto de mayor acidez (ALVAREZ, CALVO y BOURRIÉ, 1991), contribuyendo a la disminución del Al libre ( $\text{Al}^{3+}$ ), que es la forma más tóxica de este elemento.

El contenido de flúor total en las disoluciones de estos suelos es independiente del tipo de vegetación pero fuertemente dependiente de la litología, hallándose concentraciones muy superiores en áreas graníticas frente a las esquistosas debido a la presencia de minerales del tipo de la turmalina y apatito en los granitos, obteniéndose los siguientes valores medios expresados en  $\mu\text{mol/l}$ :

	Pino	Roble	Eucalipto
Granito .....	2.02	2.75	0.96
Esquisto .....	0.58	0.43	0.48

Este anión se une fundamentalmente al Al dando complejos  $\text{AlF}^{2+}$ ,  $\text{AlF}_2^+$ ,  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{AlF}_4^-$ . Las formas Al-F representan la mayor parte del Al lábil (que a pH ácido está constituido principalmente por monómeros de naturaleza inorgánica pues los polímeros sólo adquieren cierta importancia a pH superiores a 5.5, BOURRIÉ, 1989). Mientras exista flúor en disolución, el Al se unirá a él, siendo normalmente la cantidad de Al lábil el factor limitante, pues en muchas muestras se observa la existencia de F libre (ALVAREZ, CALVO y BOURRIÉ, 1991). Así, el flúor es el anión que presenta la mayor afinidad por el Al y cuando el pH aumenta y con ello se produce un descenso en los contenidos de Al, aparece F libre que sigue una buena correlación con el ascenso del pH (Fig. 5).

El contenido de cloruros no guarda relación ni con el tipo de roca ni con la cubierta arbórea (Tabla II), ya que su presencia se debe fundamentalmente a aportes atmosféricos. Sin embargo, los valores ligeramente más elevados bajo pino pueden justifi-

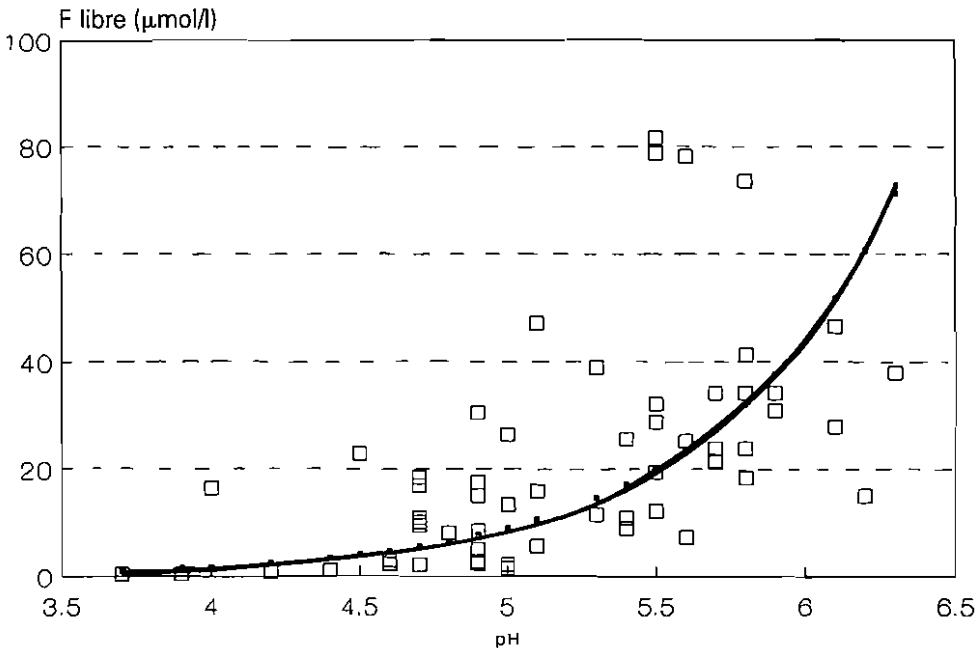


Fig. 5. Relación entre el flúor libre y el pH.

carse teniendo en cuenta que el pluviolavado de esta especie aporta una mayor cantidad de este anión (CALVO *et al.*, 1979).

## CONCLUSIONES

El estudio de la composición iónica de las soluciones de suelos desarrollados sobre granitos y esquistos con tres cubiertas arbóreas diferentes: (*Q. robur*, *P. radiata*, *E. globulus*) pone de manifiesto unos valores de pH más bajos en las disoluciones de suelos bajo roble relacionados con un mayor contenido de compuestos orgánicos solubles con los que este parámetro, en el caso de esta especie forestal, guarda una alta correlación ( $r = -0.74$ ). Asociado a esta mayor cantidad de materia orgánica aparecen en los robledales niveles más elevados de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3$  y  $\text{SO}_4$ , si bien este último muestra, además, una clara dependencia del material de partida. La concentración de Al total soluble es más elevada en las muestras de roble y esquistos de ma-

yor acidez, en las que Al y pH presentan un elevado coeficiente de correlación ( $r = -0.91$ ), correlación que, aunque menor, también se obtiene considerando el conjunto de las muestras ( $r = -0.57$ ).

El carácter diluido de estas disoluciones, con unos valores de conductividad eléctrica normalmente inferiores a 500  $\mu\text{mhos/cm}$ , tiene como consecuencia concentraciones bajas de cationes alcalinos y alcalinotérreos, de los que el  $\text{Na}^+$  es el predominante, no observándose un efecto claro de la vegetación.

El flúor total es también independiente del tipo de vegetación y sus contenidos están determinados por el material original, obteniéndose los mayores niveles en granitos. Este anión está en su mayor parte unido al Al (ALVAREZ, CALVO y BOURRIÉ, 1991), pero cuando desciende la concentración del mismo en disolución aparece F libre, lo que ocurre a pH superiores 5.0.

## SUMMARY

It is studied the influence of three forestry covers, *Quercus robur*, *Pinus radiata* and *Eucalyptus globulus* on the soil solution ionic composition of soils developed on schists and granites. Mean values indicate that pH is lower in soil solutions under oak (4.96) as compared to eucalyptus (5.14) and pine (5.44) and, while these two last present the minor pH on granite, in the first one the greater acidity is associated to schists, coinciding with the greatest soluble organic matter content in the samples taken on this material. Aluminium content is correlated with pH ( $r = -0.57$ ), and has a similar sequence in granites and schists, decreasing in the order: oak-eucalyptus-pine, with mean values of 45, 34 and 27  $\mu\text{mol/l}$  on granites and 48, 13 and 15  $\mu\text{mol/l}$  on schists, respectively.

The diluted character of these solutions is manifested in some values of electrical conductivity normally minor to 500  $\mu\text{mhos/cm}$ , contents of Ca and Mg lower than 4 mg/l, K lower than 2 mg/l and Na, that it is the main one, lower than 25 mg/l, not been observed a clear influence of vegetation type.  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3$  and  $\text{SO}_4$  present the higher levels under oak while the total F concentration is associated with parent material, with the highest values in granite soil solutions.

## BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, E.; CALVO, R., y BOURRIÉ, G., 1991: En prensa.
- ADAMS, F., 1974: «Soil solution». En: *The Plant Root and its Environment*. E. W. CARSON (ed.), 1974, 441-481.
- BARDSELEY, C. E., y LANDCASTER, J. D., 1960: «Determination of reserve sulfur and soluble sulfates in soils». *Soil Soc. Am. Proc.*, 24: 265-268.
- BOURRIÉ, G., 1989: «Deux voies de formation des hydroxydes alumineux en fonction du compartiment des complexes polynucléaires d'aluminium: voie lixivie à gibbsite et bohemite et voie confinée a gels de bayérite». *C. R. Acad. Sci. Paris*, 310: 1221-1226.

- BOWER, C. A., 1959: «Cation exchange equilibria in soils affected by sodium salts». *Soil Sci.*, 88: 32-25.
- CALVO, R., y DÍAZ-FIERROS, F., 1981: «Consideraciones acerca de la acidificación de los suelos de la zona húmeda española a través de la vegetación». *Anal. Edaf. Agrobiol.*, XL, 3-4: 411-425.
- CALVO, R.; FERNÁNDEZ, M. L., y VEIGA, A., 1987a: «Composición de la solución del suelo en medios naturales de Galicia». *Anal. Edaf. Agrobiol.*, XLVI: 621-641.
- CALVO, R.; FERNÁNDEZ, M. L., y VEIGA, A., 1987b: «Estabilidad mineral de suelos desarrollados a partir de rocas básicas y ultrabásicas de Galicia». *Anal. Edaf. Agrobiol.*, XLVI: 643-665.
- CALVO, R.; GUITIÁN, F., y MACÍAS, F., 1981: «Aspectos geoquímicos de la alteración de un granito de 2 micas en Galicia». *Acta Científica Compostelana*, 18: 287-313.
- CALVO, R.; PAZ, A., y DÍAZ-FIERROS, F., 1979a: «Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia. II. Aportes de elementos por lavado de cubierta y tronco». *Anal. Edaf. Agrobiol.*, XXXVIII: 1675-1691.
- CALVO, R.; PAZ, A., y DÍAZ-FIERROS, F., 1979b: «Nuevos datos sobre la influencia de la vegetación en la formación del suelo en Galicia. III. Aportes por hojarasca, pérdidas por drenaje y escorrentía. Balance del agua y los elementos a través del suelo». *Anal. Edaf. Agrobiol.*, XXXVIII: 1983-2000.
- CARBALLAS, T., y GUITIÁN, F., 1966: «Evolución de la composición mineral de los restos vegetales al incorporarse al suelo». *Anal. Edaf. Agrobiol.*, 25: 151-162.
- COREY, R. B., y JACKSON, M. C., 1953: «Silicate analysis by rapid semicromochemical system». *Anal. Chem.*, 25.
- DOUCHAUFOR, P., y BONNEAU, M., 1961: «Evolution d'un sol de forêt feuillue provoquée par une plantation de Douglas d'une trentaine d'années». *Revue Forestiere Francaise*, pp. 793-799.
- DOUGAN, W. K., y 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, M. L., y MACÍAS, F., 1987a: «Análisis de los procesos de alteración y neoformación en sistemas edáficos a partir de consideraciones termodinámicas de equilibrios solución-mineral». *Anal. Edaf. Agrobiol.*, 46: 1-25.
- GARCÍA PAZ, C., 1982: *Estudios de la meteorización en rocas básicas de Galicia*. Tesis. Univ. de Salamanca.
- GRIEVE, I. C., 1978: «Some effects of plantation of conifers on a freely drained lowland soil forest of Dean». *Forestry*, 51: 21-28.
- GUITIÁN, F., 1963: «Acción de las hojas de algunas especies vegetales en la movilización del hierro y de la arcilla del suelo». *Trab. del Jardín Botánico*, Santiago de Compostela, 9: 31-39.
- MACÍAS, F., 1986: «Materiais orixinais e solos de Galicia». *Cuad. Sem. Estudos de Sargadelos.*, 47: 47-49.
- MACÍAS, F.; GARCÍA PAZ, C.; GIMÉNEZ, M., y VILLAR, M. C., 1980: «El factor material original en los suelos de las Mariñas. I. Alteración de rocas metabásicas». *Cuad. Lab. Xeol. de Laxe*, 1: 205-223.
- MESSINGER, A. S., 1980: «Spruce plantation effects on soil moisture and chemical element distribution». *Forest Ecol. & Management.*, 3: 113-125.
- NIHLGARD, B., 1971: «Pedological influence of spruce planted on former beech forest soils on Scania, southern Sweden». *Oikos*, 22: 302-314.
- REUSS, J. D., 1975: *Chemical and biological relationships relevant to ecological effect of acid rainfall*. EPA 660/3-75-032 Ecological Research Series, US Environmental Protection Agency Corvallis, Oregon, 46 pp.
- RUNGE, M., y WIENERS, G., 1984: «Aluminium for men in Pseudogleyen unten lanb-ind Nadelwarld». *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.*, 147: 159-170.
- SOIL SURVEY STAFF: *Keys to Soil Taxonomy*. SMSS Technical Monograph no 19, Fourth Edition, 1990.