

FRACCIONAMIENTO DE ALUMINIO EN SUELOS DE GALICIA BAJO DISTINTAS ESPECIES FORESTALES

ESPERANZA ÁLVAREZRODRÍGUEZ, CARMEN MONTERROSO MARTÍNEZ y MARÍA L. FERNÁNDEZ MARCOS

Departamento de Edafología y Química Agrícola. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostela. 27002 Lugo

Resumen. Se estudian las formas de aluminio extraídas con oxalato ácido, pirofosfato, cloruro de cobre y cloruro amónico, así como el aluminio total en disolución, en suelos de la provincia de Lugo. Los suelos, desarrollados sobre distintos materiales originales (granodiorita, pizarra y caliza) soportan distintos tipos de vegetación forestal (roble, pino y eucalipto) y difieren asimismo en el grado de evolución. Los suelos desarrollados sobre caliza, muy evolucionados y ácidos, presentaron los menores valores de todas las formas de aluminio no cristalino y ligado a la materia orgánica. La vegetación influye significativamente sobre las formas de aluminio más lábiles (aluminio de cambio y aluminio en disolución), cuyos contenidos son mayores en los suelos desarrollados sobre caliza y con vegetación de pino.

INTRODUCCIÓN

La principal característica de los suelos de Galicia es la acidez, relacionada con el clima húmedo, el predominio de sistemas abiertos y la geología, predominantemente ácida. Se trata de sistemas abiertos, fuertemente sustractivos, que provocan que la eliminación de bases se produzca ya en la fase de alteración, antes de formarse los horizontes edáficos (Macías *et al.*, 1982; Macías, 1986). Abundan los suelos aluminicos, sobre granitos y esquistos ricos en cuarzo, en los que la mayor parte de las propiedades se relacionan con la presencia de formas de Al activas (García-Rodeja y Macías, 1984). Los procesos geoquímicos dominantes dan lugar a compuestos aluminicos y aluminosilicatos de bajo grado de orden y altamente reactivos (incluidos compuestos organoaluminicos), principalmente en los medios de alteración que actúan en el rango de pH entre 4 y 5.5 (García-Rodeja *et al.*,

1985). Otra característica general de estos suelos es la abundancia de materia orgánica, que presenta un alto poder complejante, principalmente de Al y que se estabiliza en los perfiles por el predominio de los complejos Al-humus, que protegen la materia orgánica del ataque microbiano, reduciendo su mineralización (Carballas *et al.*, 1978; Jacquin *et al.*, 1978).

El tipo de vegetación puede jugar un papel importante en la fertilidad química y biológica del suelo (Muys y Lust, 1992), por lo que un conocimiento del efecto de diferentes especies puede ser utilizado para la selección de las más adecuadas para un área determinada (Priha y Smolander, 1999). La influencia de diferentes especies forestales sobre los procesos de formación del suelo, es un tema que ha dado lugar a resultados controvertidos. En muchas ocasiones, generalmente en áreas de clima frío, determinadas especies forestales (sobre todo coníferas), han sido asociadas a procesos degradantes, al favorecer la acidificación (Duchaufour y Bonneau, 1961; Messenger, 1980; Alban, 1982; Matzner y Ulrich, 1983; Augusto *et al.*, 1998, entre otros). Por el contrario, en otras áreas el factor vegetación podría ser secundario, apareciendo supeditado al peso que adquieren factores como el clima y el material original, fundamentalmente. Priha y Smolander (1999) señalan que el tipo de especie arbórea no tiene un efecto claro sobre las características del suelo y que es necesario un tiempo prolongado para que los árboles puedan causar cambios en el suelo, estando éstos limitados a ciertos horizontes del mismo. Los estudios realizados hasta la fecha en Galicia relacionados con los efectos de la vegetación han dado resultados contradictorios; así, Calvo *et al.* (1979) y Calvo y Díaz-Fierros (1981) observan una mayor acidez de las aguas de pluviolavado y escurrido de pino, mientras que Alonso y Bará (1989) y Molina *et al.*, (1991) encuentran una mayor acidificación en suelos bajo eucalipto, como consecuencia de la mayor cantidad de ácidos fenólicos en sus hojas y Alvarez *et al.* (1992) obtienen mayor acidez y contenidos más elevados de Al total en disolución de suelos bajo robledal, en un muestreo realizado en primavera.

En este trabajo se pretende estudiar la influencia del tipo de vegetación (pino, roble y eucalipto) y material de partida (granodiorita, pizarra y caliza) en las propiedades químicas de suelos forestales de Galicia, con especial atención a las formas de Al existentes en fase sólida y aluminio total en la disolución del suelo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en la provincia de Lugo, en suelos desarrollados sobre granodioritas, pizarras y calizas. Sobre cada uno de estos materiales de partida se seleccionaron dos parcelas de 1 ha bajo cada una de las siguientes especies vegetales: *Quercus robur*, *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens*, obteniéndose un total de 18 parcelas. La altitud de las parcelas oscila entre 440 y 640 m, siendo la media de 517 m sobre el nivel del mar. La vegetación natural se sitúa dentro de la región eurosiberiana, provincia cantabro-atlántica, sector galaico portugués, subsector compostelano-lucense. Las temperaturas medias mensuales oscilan, de forma general, entre 5,5 y 18,6°C, con un valor medio de 12,0°C. Las precipitaciones anuales superan los 1000 mm, con diferencias pronunciadas entre invierno y verano. Se trata de una zona de clima mediterráneo fresco según Papadakis (1966), con régimen térmico templado y un régimen hídrico mediterráneo húmedo. Siguiendo la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1998), el régimen de humedad del suelo es údico y el régimen de temperatura, méxico. Las edades de las plantaciones seleccionadas son de 7 a 15 años para el eucalipto (*Eucalyptus nitens*), de 17 a 15 años para el pino (*Pinus radiata*) y de más de 35 años para las plantaciones de roble (*Quercus robur*). Esta última especie es considerada clímax en Galicia, mientras que el *Eucalyptus nitens* es una especie de reciente introducción.

En cada parcela se tomaron muestras de suelo a dos profundidades (0-20cm y 20-40cm) en 1997-1998. Las muestras se recogieron en otoño para las determinaciones en la fase sólida y en otoño, invierno y primavera para los análisis de la fase líquida.

Hay que reseñar que los suelos estudiados difieren también en el grado de evolución. Así los suelos desarrollados sobre caliza (caliza de Vegadeo), formados en una superficie plana y estable, presentan un mayor grado de evolución que los desarrollados sobre granodiorita o pizarra, evolución que se pone de manifiesto por la completa descarbonatación y los bajos valores de pH y elevados contenidos de aluminio de cambio.

En la [tabla 1](#) se muestran algunos parámetros generales analizados en la fase sólida del suelo: pH en H₂O y KCl 1M, C, N, S, C/N, capacidad de cambio catiónico efectiva y porcentaje de aluminio de cambio.

La materia orgánica se fraccionó en ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y humina, siguiendo el esquema clásico de Schnitzer (1982).

El Al de la fase sólida se determinó utilizando distintos extractantes: oxalato amónico ácido (Alo), considerado una estimación del Al no cristalino total (Blakemore, 1978); pirofosfato sódico (Alp), considerado una estimación del Al ligado a la materia orgánica (Bascomb, 1968); cloruro de cobre (Alcu), que estima el Al ligado a la materia orgánica en complejos de baja y media

estabilidad (Juo y Kamprtah, 1979), y NH_4Cl 1M (AlNH_4), que es el Al en posiciones de cambio (Peech *et al.*, 1947). La diferencia entre Alp-Alcu, estima el Al ligado a la materia orgánica en complejos de fuerte estabilidad (Urrutia *et al.*, 1988), mientras que la diferencia Alo-Alp, es una estima del Al no cristalino inorgánico (García-Rodeja y Macías, 1986).

La disolución del suelo es obtenida por desplazamiento en columna (Adams, 1974). En la disolución filtrada (filtro de 0,45 μm) se determina el aluminio total, tras digestión ácida, por espectrofotometría visible con violeta de pirocatecol (Dougan y Wilson, 1974).

Se realizaron análisis de varianza y de regresión lineal utilizando el programa estadístico SPSS 9.0 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La [Tabla 2](#) resume los resultados del fraccionamiento de la materia orgánica según el tipo de vegetación y según el tipo de material original. Como puede verse, la vegetación determina diferencias significativas en el contenido y porcentaje de humina. El material original afecta significativamente a los contenidos de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

En la [Tabla 3](#) se muestran los contenidos de Al en fase sólida obtenidos por distintos extractantes. El Al no cristalino, estimado por extracción con oxalato ácido (Alo), oscila entre 1,05 y 0,22% (valor medio, 0,63%). La fracción más representativa del Al total no cristalino, la constituye el Al orgánico total (estimado por extracción con pirofosfato sódico, Alp), cuyos contenidos oscilan entre 0,70 y 0,18% (valor medio, 0,44%), lo que representa entre 60 y 100% del Alo, coincidiendo con lo señalado por Carballas *et al.* (1980) y Alvarez *et al.* (1992) para suelos de Galicia ricos en materia orgánica. Alo y Alp presentan una correlación altamente significativa ($p > 0,01$) con el contenido de materia orgánica ($r = 0,79$ y $r = 0,72$, respectivamente). Considerando distintas fracciones orgánicas, humina, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, Alo y Alp se correlacionan significativamente con la fracción humina ($r = 0,70$ y $0,58$, respectivamente) y con los ácidos húmicos ($r = 0,75$ y $0,78$, respectivamente). Estas correlaciones ponen de manifiesto el papel de la materia orgánica, en particular de los ácidos húmicos y la humina, como inhibidora del paso de Al a formas cristalinas (García-Rodeja y Macías, 1984).

Alo y Alp están influenciados por el material de partida, obteniéndose valores significativamente más bajos de ambas formas en suelos desarrollados sobre caliza ([Figura 1A](#), [1B](#), [1C](#) y [1D](#)) de acuerdo con la fuerte evolución detectada en los suelos sobre este material del presente estudio. Estos suelos presentan una elevada profundidad (en algún caso más de 5 metros) y una intensa coloración rojiza, tratándose de perfiles fuertemente alterados, que han sufrido una intensa descarbonatación (Taboada Castro, 1990), por lo que la acidez en estas muestras, particularmente en los suelos con vegetación de pino, es muy elevada, al igual que el contenido de Al en posiciones de cambio. Los bajos contenidos de materiales no cristalinos en estas muestras se manifiestan no sólo por los bajos valores de Alo y Alp ([Figura 1A](#), [1B](#), [1C](#) y [1D](#)), sino también por la falta de reactividad al NaF, con valores de pH en NaF siempre inferiores a 10 ([Tabla 3](#)).

El tipo de vegetación no parece ejercer un efecto significativo sobre estas fracciones de Al, si bien se observan valores ligeramente inferiores en las muestras bajo robledal ([Tabla 3](#)).

El Al inorgánico no cristalino, estimado a partir de las diferencias entre el Al extraído con oxalato ácido y con pirofosfato sódico, oscila entre 0 y 0,39% (valor medio, 0,20%). Su concentración varía en función del tipo de material y del tipo de vegetación, obteniéndose valores significativamente más bajos en los suelos desarrollados sobre caliza, con cualquier tipo de vegetación, y en los suelos bajo robledal, con independencia del material de partida ([Figura 1A](#), [1B](#), [1C](#) y [1D](#)). En suelos desarrollados sobre caliza, los contenidos de esta fracción son bajos bajo cualquier vegetación. En suelos desarrollados sobre pizarra y granodiorita, estos contenidos son significativamente más bajos bajo roble. Los valores más bajos de Al inorgánico no cristalino en suelos sobre caliza y bajo roble coinciden con los menores valores de pH en fluoruro sódico ([Tabla 3](#)). Se obtienen correlaciones significativas entre esta fracción y las concentraciones de Alo ($r=0,88$) y Alp ($r=0,61$).

El Al extraído con cloruro de cobre, considerado Al en complejos orgánicos de media y baja estabilidad (Urrutia *et al.*, 1988), oscila entre 0,04 y 0,46% (valor medio, 0,25 %), lo que representa entre 24 y 76% del Al extraído con pirofosfato. Esta fracción también se correlaciona significativamente con la materia orgánica total del suelo ($r=0,70$), coincidiendo con los resultados obtenidos por Prabhuraj y Murthy (1997), y con las distintas fracciones orgánicas, siendo la correlación más significativa con los ácidos húmicos ($r=0,70$) que con los ácidos fúlvicos y la humina ($r=0,49$, en ambos casos); esto podría indicar que el cloruro de cobre extrae preferentemente Al ligado a los ácidos húmicos. Se encuentra una influencia significativa del tipo de material en esta forma de Al, correspondiendo los valores más bajos de Alcu a las muestras sobre caliza ([Figura 1A](#), [1B](#), [1C](#) y [1D](#)).

El Al en complejos de fuerte estabilidad (Alpcu), estimado a partir de la diferencia entre Al extraído con pirofosfato sódico y con cloruro de cobre, oscila entre 0,08 y 0,38% (valor medio, 0,23%), lo que representa entre 23 y 76% del Al extraído con pirofosfato. En las muestras estudiadas no se observa un predominio claro de los complejos organoalumínicos de fuerte estabilidad sobre los complejos de media y baja estabilidad, a diferencia de los resultados obtenidos por Alvarez *et al.* (1992) en suelos forestales de Galicia. Por el contrario, Urrutia *et al.* (1988) encontraron un predominio de los complejos de estabilidad media en suelos naturales de Galicia desarrollados sobre distintos materiales. El Al en forma de complejos de fuerte estabilidad en el presente estudio, es significativamente más elevado bajo pino ([Figura 2](#)). Una mayor abundancia de complejos organoalumínicos de fuerte estabilidad bajo pinar fue obtenida por Alvarez *et al.* (1992), que a falta de datos referentes a la naturaleza de los compuestos húmicos, lo atribuían a la mayor relación C/N obtenida en horizontes A bajo este tipo de vegetación. En este estudio la relación C/N es muy similar bajo las tres especies arbóreas ([tabla 1](#)), obteniéndose diferencias en lo referente a la naturaleza de las sustancias húmicas, con contenidos significativamente más elevados de humina en las muestras bajo pinar ([Tabla 2](#)). La mayor proporción de complejos organoalumínicos de fuerte estabilidad bajo este tipo de vegetación parece estar relacionada con la mayor presencia de materia orgánica difícilmente mineralizable, como ya fue señalado anteriormente para suelos de Galicia (García-Rodeja *et al.*, 1987). Se desprende de aquí que la interacción entre materia orgánica y aluminio da lugar a una estabilización de formas no cristalinas de aluminio así como a una estabilización de la materia orgánica. La fuerte estabilidad de los complejos argilo-húmicos y metal- materia orgánica en suelos de Galicia se pone de manifiesto por los largos tiempos de residencia de la materia orgánica, que han llegado a cifrarse en algunos casos en 20.000 años (Pérez Alberti *et al.*, 1999).

El Al cambiante, extraído con NH_4Cl 1M, oscila entre 1,30 y 14,04 $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$ (valor medio, $7.67 \text{ cmol}(+)\text{kg}^{-1}$), con un porcentaje de saturación del complejo de cambio entre 30 y 90% (valor medio, 60%). Los contenidos más elevados de Al cambiante se obtienen en las muestras sobre caliza que sostienen vegetación de pinar, tratándose de las muestras de mayor acidez ([Tabla 3](#)). Coincidiendo con los resultados de otros autores para suelos de Galicia (García-Rodeja *et al.*, 1987), los contenidos de aluminio de cambio son mucho menores que los de aluminio extraído con CuCl_2 , lo que indica un predominio del aluminio unido a la materia orgánica y no fácilmente cambiante sobre el cambiante.

El Al total en muestra filtrada oscila entre 0,02 y 10,2 mg L^{-1} (valor medio, $0,22 \text{ mg L}^{-1}$), siendo usualmente menor de $0,30 \text{ mg L}^{-1}$. La concentración de Al total es significativamente más elevada ($p < 0.01$) en suelos bajo vegetación de pino ([Tabla 3](#)), de acuerdo con los valores más bajos de pH que presentan

estas muestras. Valores más elevados de Al bajo coníferas, con relación a caducifolias, han sido señalados anteriormente por Messenger (1980), Driscoll *et al.* (1985), Freer-Smith y Read (1995). En relación con el material de partida, las concentraciones de Al en disolución fueron significativamente más elevadas en suelos desarrollados sobre caliza ([Tabla 3](#)), de acuerdo con los pH más bajos detectados en estas muestras ([tabla 1](#)) y con la menor tendencia a pasar a la fase sólida en forma de complejos de baja cristalinidad ([Figura 1A](#), [1B](#), [1C](#) y [1D](#)). No se observan diferencias en los contenidos de Al en disolución relacionados con la profundidad de las muestras ni con la fecha de muestreo.

CONCLUSIONES

El material original influye significativamente sobre las concentraciones de aluminio extraídas con oxalato ácido, con pirofosfato y con CuCl_2 , las cuales son significativamente más bajas en los suelos desarrollados sobre caliza. Este hecho se atribuye al mayor grado de evolución de estos suelos.

El aluminio inorgánico no cristalino, estimado como diferencia entre aluminio extraído con oxalato y con pirofosfato, está afectado significativamente por los factores material original y vegetación. En cuanto al material original, los menores valores corresponden de nuevo a los suelos sobre caliza. En lo que se refiere a vegetación, son los suelos bajo robledal los que presentan los valores más bajos, coincidiendo con los valores también más bajos de pH en NaF.

La vegetación ejerce una influencia (no significativa a un nivel de confianza del 95%) sobre el contenido de complejos organoalumínicos de fuerte estabilidad, que es mayor en los suelos bajo pino, lo que podría relacionarse con un mayor contenido de humina.

Las concentraciones de aluminio de cambio son significativamente más elevadas en suelos desarrollados sobre caliza y con vegetación de pino, coincidiendo con los menores valores de pH de estas muestras.

BIBLIOGRAFÍA

Adams, F. (1974). Soil solution. En: The plant root and its environment, Carson, E.W. (ed.). Univ. of Virginia Press, Charlottesville, VA. USA.

Alban, D.H. (1982). Effects of nutrient accumulation by aspen, spruce and pine on soil properties. Soil Soc.Am. J., 46: 853-861.

Alonso, M., Bará, S. (1989). Análisis comparativo del contenido de ácidos fenólicos libres en hojas y horizonte Ao de suelos de *Eucalyptus globulus*, *Pinus pinaster* y *Quercus robur*. Commun. I.N.I.A., Ser Rec. Nat. 49: 5-47.

Alvarez, E., Martínez, A., Calvo, R.M. (1992). Geochemical aspects of aluminium in forest soils in Galicia (NW Spain). Biogeochemistry 16: 167-180.

Augusto, L., Bonnaud, P., Ranger, J. (1998). Impact of tree species on forest soil acidification. Forest Ecology and Management, 105: 67-78.

Bascomb, C.L., 1968. Distribution of pyrophosphate extractable iron and organic carbon in soils of various groups. J. Soil Sci., 19: 251-268.

Blackemore, L.C., 1978. Exchange complex dominated by amorphous material (ECDAM). In: The Andisol proposal, G.D.Smith (ed.). Nueva Zelanda.

Calvo, R., 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. 40: 411-425.

Calvo, R., Paz, A., Díaz-Fierros, F. (1979). 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., 38: 1675-1691.

Carballas, T., Carballas, M., Jacquin, F. (1978). Biodegradation et humification de la matière organique des sols humiferes atlantiques. Anal. Edaf. Agrobiol., XXXVII; 205-212.

Carballas, M., Carballas, T., Guitián, F., y Cabaneiro A. (1980). Organic-metallic complexes in Atlantic humiferous soils. Annal. Edaf. Agrob., 39: 1033-1043

Dougan, W.K., Wilson, A.L. (1974). The absorptiometric determination of aluminium in water. A comparison of some chromogenic reagents and development of an improved method. Analyst, vol. 99: 413-430.

Driscoll, C.T., Van Breemen, N., Mulder, J. (1985). Aluminum chemistry in a forested Spodosol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 437-444.

Duchaufour, P., Bonneau, M. (1961). Evolution d'un sol de forêt feuillée provoqué par une plantation de Douglas d'une trentaine d'années. *Révue Forestière Française*, pp. 793-799.

Freer-Smith, P.H., Read, D.B. (1995). The relationship between crown conditions and soil solution chemistry in oak and sitka spruce in England and Wales. *Forest Ecology and Management* 79: 185-196.

García-Rodeja, E., Macías, F. (1984). Caracterización de suelos ácidos (Podsoles-Andosoles-Suelos aluminicos) de Galicia. Relación con los procesos edafo-geoquímicos. I Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, 589-602.

García-Rodeja, E., Macías, F., Guitián, F., (1985). Reacción con el NaF de los suelos de Galicia: Relación con el material de partida y los procesos de edafogénesis. *Anal. Edaf. Agrobiol.*, XLIV: 357-368.

García-Rodeja, E., Macías, F. (1986). Aplicación de técnicas de disolución selectiva al estudio de los componentes no cristalinos de una secuencia de suelos sobre granito en la Sierra de Ancares (Lugo, Galicia). *Anal. Edaf. Agrobiol.* XLV: 347-366.

García-Rodeja, E., Silva Hermo, B., Macías Vázquez, F. (1987). Andosols developed from non-volcanic materials in Galicia, NW Spain. *Journal of Soil Science*, 38: 131-145.

Jacquin, F., Carballas, M., Carballas, T. (1978). Interactions entre les ions aluminium et la minéralisation de la matière organique dans les sols humifères atlantiques. *Eco-pédologie. C. R. Acad. Sc. Paris*, 286 Série D: 511-514.

Juo, A.S., Kamprath, E.J. (1979). Copper chloride as an extractant for estimating the potentially reactive aluminum pool in acid soils. *Soil Sci. Soc. Am.-J.*, 44: 407-413.

Macías, F., Calvo, R., García-Rodeja, E., García, C., Silva, B. (1982). El material original: su formación e influencia en las propiedades de los suelos de Galicia. *Anal. Edaf. Agrobiol.*, XLI: 1747-1768.

Macías, F. (1986). Materias orixinais e solos de Galiza. Cuad .Seminario de Sargadelos, nº 47, pp. 47-79.

Matzner R., E., Ulrich, B. (1983). The turnover of protons by mineralization and ion uptake in a beech (*Fagus sylvatica*) and a Norway spruce ecosystem.

En: Effects of accumulation of pollutants in forest ecosystems. Ulrich, B., Pankrath, J. (eds). Reidel Pub. Co. Holland, pp:93-104.

Messenger, A.S. (1980). Spruce plantations effects on soil moisture and chemical element distribution. *Forest Ecol. & Management*, 3: 113-125.

Molina, A., Reigosa, M.J., Carballeira, A. (1991). Release of allelochemical agents from litter, throughfall and topsoil in plantations of *Eucalyptus globulus Labill* in Spain. *Journal Chemical Ecology*, 17 (1), 147-160.

Muys, B., Lust, N. (1992). Inventory of the earthworm communities and the state of litter decomposition in the forest of Flanders, Belgium, and its implications for forest management. *Soil Biology & Biochemistry* 24: 1677-1681.

Papadakis, J. (1966). *Climates of the World and Their Agricultural Potentialities*. Papadakis, J. (ed.), Buenos Aires (Argentina).

Peech, M.L., Alexander, T., Dean, C.A., Freed, J. (1947). *Methods of Soil Analysis for Soil Fertility Investigations*, U.S. Departement de Agriculture, pp. 757.

Pérez Alberti, A., Costa Casais, M., Martínez Cortizas, A. (1999). Nuevas aportaciones al conocimiento del cuaternario reciente en la costa atlántica de Galicia. *Geoarqueología i Quaternari litoral, Memorial M.P. Fumaral*: 381-390, Universitat de València, Departamento de Geografía.

Prabhuraj, D.K., Murthy, A.S.P. (1997). A comparison of four reagents for extraction of aluminum in acids soils. *Int. J. Trop. Agric.* 15(4): 215-222.

Priha, O., Smolander, A. (1999). Nitrogen transformations in soil under *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula* at two forest sites. *Soil Biology & Biochemistry* 31: 965-977.

Schnitzer, M. (1982). Organic matter characterization. En: Page, A.L., Miller, R.H. y Keeney D.E. (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. ASA. Madison, Wisconsin, USA, pp. 581-594.

Soil Survey Staff (1998). *Keys to Soil Taxonomy*. United States Department of Agriculture/ Natural Resources Conservation Service.

Taboada Castro, T. (1990). *Caracterización de los suelos formados sobre calizas en Galicia*. Tesis Doctoral. Univ. De Santiago.

Urrutia, M., García-Rodeja, E., Macías, F. (1988). Efectividad de las soluciones no tamponadas (KCl, CuCl₂ y LaCl₃) en la extracción de aluminio

en suelos ricos en materia orgánica. II Congreso Nacional de la Ciencia del suelo. Sevilla.

Figuras y Tablas.

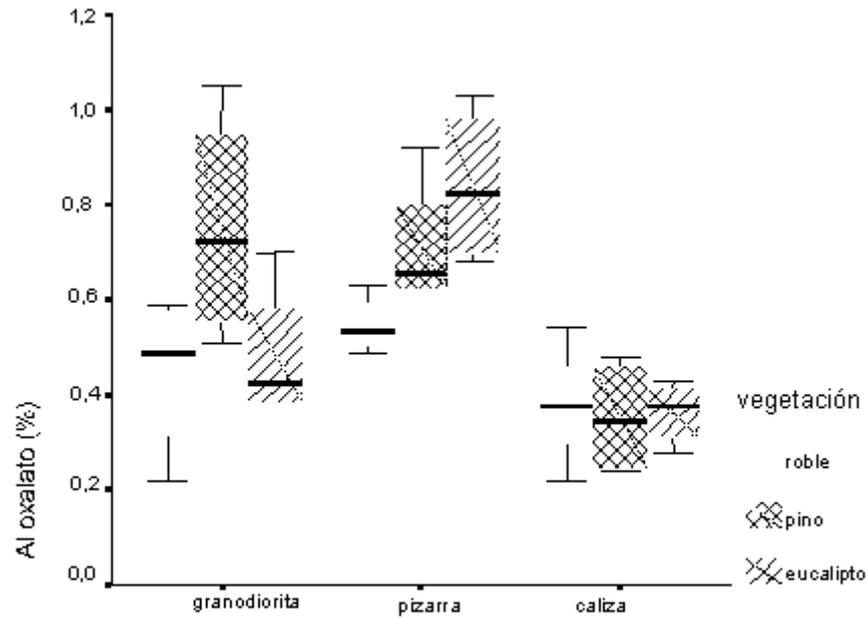


Figura 1. Mediana y rango intercuartílico de los contenidos de distintas formas de aluminio en la fracción sólida, en función del material original y el tipo de vegetación.

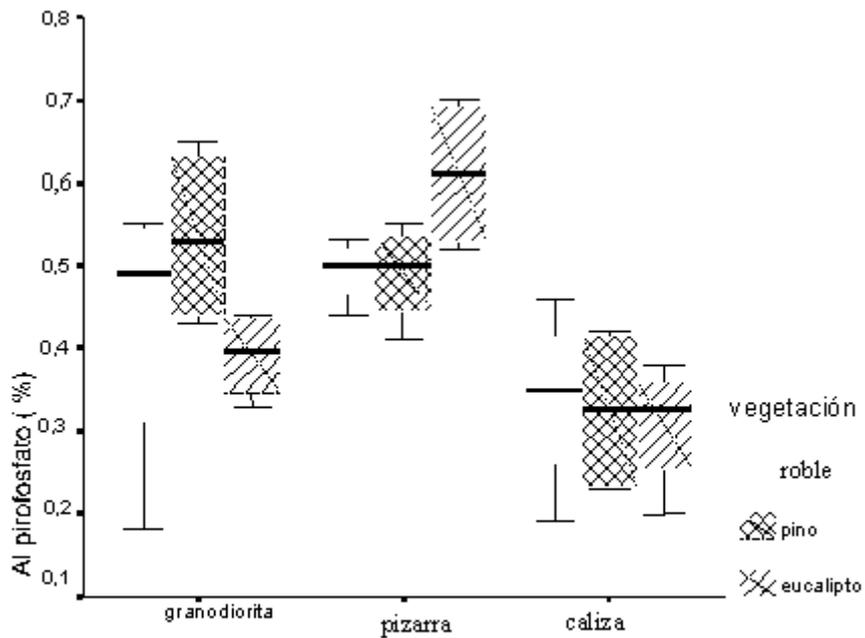


Figura 1. Mediana y rango intercuartílico de los contenidos de distintas formas de aluminio en la fracción sólida, en función del material original y el tipo de vegetación.

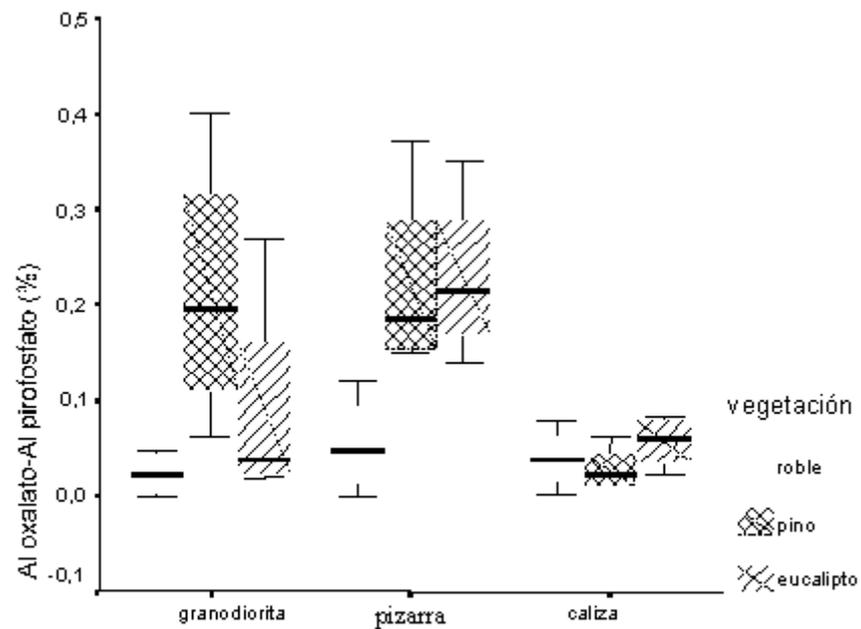


Figura 1. Mediana y rango intercuartílico de los contenidos de distintas formas de aluminio en la fracción sólida, en función del material original y el tipo de vegetación.

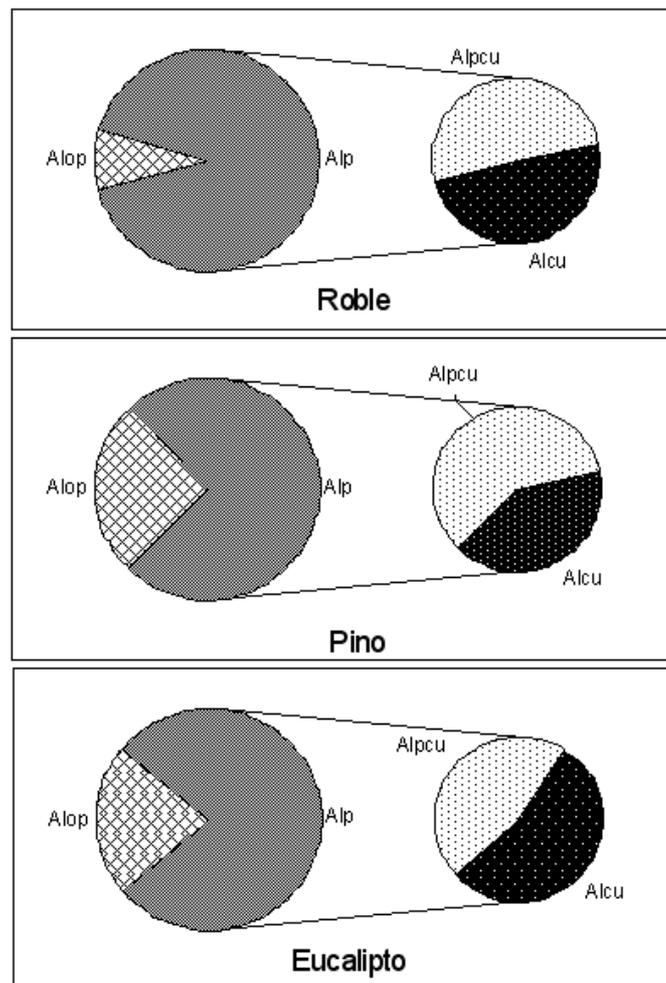


Figura 2. Porcentajes de distintas formas de aluminio en función de la vegetación.

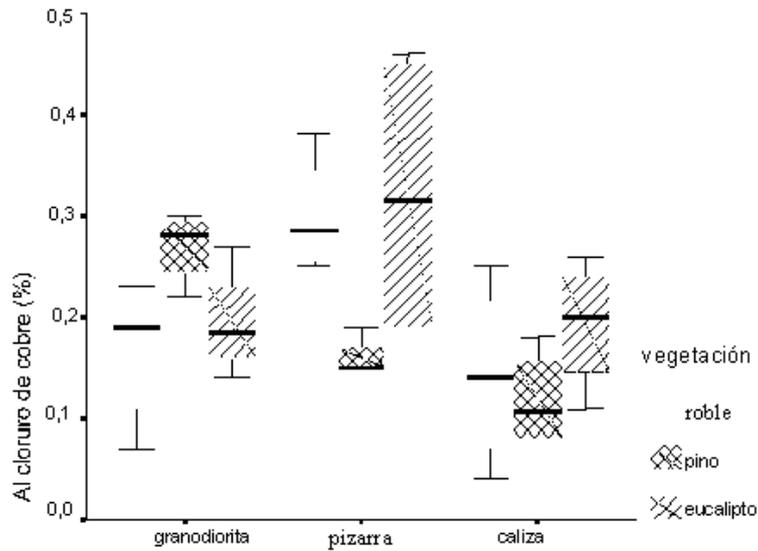


Figura 1. Mediana y rango intercuartílico de los contenidos de distintas formas de aluminio en la fracción sólida, en función del material original y el tipo de vegetación.

	Tipo de vegetación						Tipo de material					
	Pino		Eucalipto		Roble		Caliza		Pizarra		Granodiorita	
	Intervalo	Media	Intervalo	Media	Intervalo	Media	Intervalo	Media	Intervalo	Media	Intervalo	Media
pH H ₂ O	4,5-5,1	4,8	4,7-5,3	5,0	4,5-5,1	4,8	4,5-5,1	4,8	4,6-5,1	4,9	4,5-5,3	4,9
pH KCl	4,0-4,2	4,1	3,7-4,3	4,0	3,7-4,1	3,9	3,7-4,2	3,9	3,7-4,1	3,9	3,9-4,3	4,1
C	2,2-6,1	4,2	1,1-6,8	4,0	1,0-6,3	3,6	1,1-5,1	3,1	2,4-6,8	4,6	1,0-6,1	3,5
N	0,08-0,41	0,24	0,06-0,39	0,23	0,02-0,50	0,26	0,02-0,29	0,15	0,13-0,50	0,31	0,04-0,41	0,22
S	0,04-0,06	0,05	0,01-0,06	0,04	0,01-0,06	0,03	0,02-0,05	0,04	0,04-0,06	0,05	0,01-0,06	0,03
C/N	15-18	17	13-21	17	12-20	16	16-19	17	13-20	16	14-21	18
CICe	3,1-15,6	9,4	3,2-12,0	7,6	2,3-9,2	5,8	2,5-15,6	9,1	6,3-11,0	8,7	2,3-12,0	7,1
%Al	64-90	77	29-82	55	50-90	70	50-90	70	64-90	77	29-88	59

Tabla 1. Parámetros generales (intervalo y media) determinados en la fase sólida del suelo (C, N y S expresados en %; capacidad de intercambio catiónico (CICe), expresada en cmol (+) kg⁻¹).

Tipo de vegetación							Tipo de material					
Pino		Eucalipto		Roble		Caliza		Pizarra		Granodiorita		
	Interv.	Media	Interv.	Media	Interv.	Media	Interv.	Media	Interv.	Media	Interv.	Media
Humina	3,9-10,8	7,4 ^a	2,4-8,5	5,5 ^{ab}	1,2-7,0	4,1 ^b	2,8-7,3	5,0 ^a	3,1-7,0	5,0 ^a	1,2-10,9	6,0 ^a
A.húmicos	1,6-5,5	3,6 ^a	1,1-4,5	2,8 ^a	0,7-5,6	3,3 ^a	0,7-3,0	1,9 ^a	2,2-4,7	3,4 ^{ab}	0,8-6,0	3,4 ^b
A.fúlvicos	2,0-4,4	3,2 ^a	1,3-5,1	3,2 ^a	0,4-8,4	4,4 ^a	1,1-3,8	2,5 ^{ab}	1,3-8,4	4,9 ^a	0,4-4,0	2,2 ^b
Humina*	42-56	49 ^a	35-48	41 ^b	27-54	40 ^b	35-54	44 ^a	27-50	38 ^a	27-56	42 ^a
A.húmicos*	18-29	24 ^a	13-49	31 ^a	11-53	32 ^a	11-32	22 ^a	20-49	34 ^{ab}	20-52	36 ^b
A.fúlvicos*	14-35	25 ^a	15-45	30 ^a	4-47	25 ^a	14-45	30 ^a	15-42	29 ^a	4-47	25 ^a

Tabla 2.- Contenido de sustancias húmicas (Humina, Ácidos húmicos y Ácidos fúlvicos en g/100g de suelo; Humina*, Ácidos húmicos* y Ácidos fúlvicos* en g/100g de materia orgánica). (Letras distintas indican diferencias significativas entre tipos de vegetación o entre tipos de material original, $p < 0,05$).

Tabla 3.- Al extraído con oxalato amónico (Alo), pirofosfato sódico (Alp), cloruro de cobre (Alcu), diferencias Alo-Alp y Alp-Alcu y relaciones Alo/Alp y Alcu/Alp, expresadas en %. Al cambiante, expresado en $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$; Al total en disolución, expresado en mg L^{-1} . (Letras distintas indican diferencias significativas entre tipos de vegetación o entre tipos de material original, $p < 0,05$).

	Tipo de vegetación						Tipo de material					
	Pino		Eucalipto		Roble		Caliza		Pizarra		Granito	
	Intervalo	Media	Intervalo	Media	Intervalo	Media	Intervalo	Media	Intervalo	Media	Intervalo	Media
pHNaF	9,4-11,2	10,3 ^a	8,7-10,0	9,3 ^b	8,5-10,4	9,4 ^b	8,7-10,4	9,5 ^a	9,2-10,8	10,0 ^b	8,5-11,2	9,8 ^b
Alo	1,05-0,24	0,64 ^a	0,28-1,03	0,65 ^a	0,22-0,63	0,42 ^a	0,22-0,54	0,38 ^a	0,43-1,03	0,73 ^b	0,22-1,05	0,63 ^b
Alp	0,23-0,65	0,44 ^a	0,20-0,70	0,45 ^a	0,18-0,55	0,36 ^a	0,19-0,46	0,32 ^a	0,41-0,70	0,55 ^b	0,18-0,65	0,41 ^b
Alcu	0,08-0,30	0,19 ^a	0,11-0,46	0,28 ^a	0,04-0,38	0,21 ^a	0,04-0,26	0,15 ^a	0,15-0,46	0,30 ^{ab}	0,07-0,30	0,18 ^b
Alp/Alo	60-96	78	61-95	78	81-100	90	71-99	85	60-100	80	61-100	81
Alcu/Alp	29-70	49	26-76	51	24-75	49	24-76	50	25-74	50	34-70	52
Alo-Alp	0,01-0,37	0,19 ^a	0,02-0,35	0,18 ^{ab}	0,02-0,12	0,07 ^b	0-0,08	0,04 ^a	0,02-0,37	0,18 ^b	0-0,40	0,20 ^b
Alp-Alcu	0,14-0,38	0,26 ^a	0,08-0,35	0,21 ^a	0,11-0,31	0,21 ^a	0,08-0,28	0,18 ^a	0,13-0,37	0,25 ^a	0,11-0,38	0,24 ^a
Al cambiante	2,2-14,0	8,1 ^a	1,3-5,6	3,5 ^b	1,3-8,2	4,7 ^a	1,3-14,0	7,7 ^{ab}	5,2-9,2	7,2 ^a	1,3-5,7	3,5 ^b
Al disolución	0,08-10,19	0,35 ^a	0,02-1,62	0,19 ^{ab}	0,05-0,88	0,17 ^b	0,05-10,19	0,41 ^a	0,02-0,55	0,13 ^b	0,05-1,62	0,21 ^b