

MUNIBE (Ciencias Naturales - Natur Zientziak)	Nº 43	73-83	SAN SEBASTIAN	1991	ISSN0214-7688
---	-------	-------	---------------	------	---------------

# Propiedades de los suelos desarrollados sobre argilitas de Gipuzkoa

## Properties of the soils developed from argillites of Gipuzkoa (Spain)

**PALABRAS CLAVE:** Gipuzkoa, argilitas, componentes de suelos, génesis de suelos, minerales de arcilla.

**KEY WORDS:** Gipuzkoa (Spain), argillites, soil components, soil genesis, clay minerals.

**GAKO-HITZAK:** Gipuzkoa, argilitak, lurtzoru-osagaiak, lurtzoru-genesia. buztinmineraleak.

**A. MERINO** <sup>(1,2)</sup>

**M. P. GEY** <sup>(1)</sup>

**A. MARTINEZ CORTIZAS** <sup>(1)</sup>

### RESUMEN:

El presente trabajo constituye un estudio de las propiedades climáticas, fisicoquímicas y mineralógicas de los suelos desarrollados sobre argilitas de Gipuzkoa. La secuencia típica de horizontes es un A ócrico sobre un B cámbico de tendencia ferrálica; ambos presentan frecuentemente rasgos de hidromorfía. La reserva de agua útil (RAU) de estos suelos es elevada, cifrándose entre 150 y 260 mm; debido a la abundante pluviosidad durante la mayor parte del año se producen condiciones de humedad, sin que en ningún momento el suelo llegue a secarse en su totalidad. Las principales características físico-químicas son su textura arcillosa a limosa, elevada densidad aparente, contenido moderado de materia orgánica, escasa CIC, marcado carácter ácido, déficit importante de nutrientes y elevada saturación en Al. El Al libre se encuentra ligado fundamentalmente a la materia orgánica; la fracción no cristalina de Fe es abundante en los horizontes superficiales, mientras que la cristalina lo es en los horizontes profundos. La fracción arcilla está compuesta mayoritariamente por mica, existiendo frecuentemente caolinita; se encuentran también oxihidróxidos de Fe (goethita y lepidocrocita) y, en escasa cantidad, cuarzo y feldespato. Las principales limitaciones para el uso y conservación de estos suelos son las fuertes pendientes del terreno, el deficiente drenaje, la escasa disponibilidad de nutrientes y la toxicidad por Al.

### SUMMARY:

This paper presents the results of a study about the climatic, physicochemical and mineralogical properties of the soils developed from argillites in Gipuzkoa (Spain). The typical sequence of horizons is an ochric A and a cambic B horizon with ferralic properties, both of them exhibiting hydromorphic mottles. The available water reserve (AWR) is high, between 150 and 260 mm. Because the abundant rain, soils are wet most part of the year, and AWR is never depleted completely, being the drought intensity between medium and low. The main physicochemical characteristics are the clay and silty clay texture, high bulk density, moderate organic matter content, low CEC, nutrient deficiency and high Al saturation in the exchange complex. The free Al is mainly bound to organic matter; non crystalline Fe fractions decrease with depth and crystalline Fe do the opposite. The clay fraction consists mainly on mica, being also frequent the kaolinite; Fe hydroxides (goethite and lepidocrocite), quartz and feldspar are present although in small quantities. The most important limitations to the use and conservation of these soils are the pronounced slopes of the land, the deficient drainage, the nutrient shortage and the Al potential toxicity.

### LABURPENA:

Lan hau Gipuzkoako argiliten gainean garatzen diren lurtzorien ezaugarri klimatiko, fisiko-kimiko eta mineralogikoen azterketan datza. Geruzen sekuentzia arruntena, joera ferralikoko B kanbiko baten gainean dagoen A okrikoa da; aipaturiko biek hidromorfia-aztarnak aurkeztu dituzte sarritan. Lurtzoru hauen ur erabilgarriaren erreserba (RAU) altua da, 150 eta 260 mm. artean kokatuta izanik; plubiositate handiari esker, ia urte osoan zehar hezetasun-baldintzak ematen dira, lurtzoria inongo unetan lehortzen ez delarik. Ezaugarri fisiko-kimiko nagusienak hurrengo hauek dira: buztin eta limo arteko ehundura, uesteko dentsitate altua, materia organikoaren batezbesteko edukina, CIC, eskasa, ezaugarri azido altua, elikagaieskasia garrantzitsua eta Al-an saturazio handia. Al libre materia organikoari loturik dago batez ere; Fe-aren frakzio ez-kristalinoa azalerako geruzetan ugaria da, frakzio kristalinoa geruza sakonetan agertzen den bitartean. Buztin-frakzioa mikaz osaturik dago nagusiki, sarritan kaolinita aurkitu daitekeelarik; era berean, Fe-oxihidroxidoak (goethita eta lepidokrozita) topa daitezke eta, kantitate gutxiagotan, kuartzoa eta feldespatoa. Lurtzoru hauen erabilpeneta kontserbatorako mugapen nagusienak lur-eremuaren alda gogorak, dreñaia eskasa, elikagaien erabilgarritasun txikia eta Al bidezko toxizitatea dira.

(1) Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Biología. 15706 Santiago de Compostela.

(2) Sociedad de Ciencias Aranzadi. Plaza de Ignacio Zuloaga. 20003 Donostia - San Sebastián.

## INTRODUCCION

A pesar de la importante tradición forestal, ganadera y hortícola de Gipuzkoa, son escasos los trabajos sobre las características de sus suelos. En este sentido, recientemente ha sido realizada una caracterización y cartografía de tipo general (DIPUTACION FORAL DE GIPUZKOA, 1991) que además de constituir la base para estudios más detallados del medio edáfico, pone de manifiesto la amplia problemática agroforestal que presentan muchos de estos suelos, como son la escasa disponibilidad de nutrientes y el carácter fuertemente ácido.

Por otra parte, el suelo, se ha dicho en numerosas ocasiones, es un recurso escaso, frágil y de lenta recuperación, que en el caso del País Vasco es objeto de diferentes procesos degradativos a los que, a pesar de su gravedad, se les presta, generalmente, escasa atención. De este modo, determinadas características geomorfológicas –las elevadas pendientes–, edáficas –el carácter arcilloso, fundamentalmente– y climáticas –la abundante precipitación– condicionan severos procesos de erosión hídrica, en forma superficial o como movimientos en masa, que han sido reconocidos entre los más graves problemas medioambientales del País Vasco (DIPUTACION FORAL DE GIPUZKOA, 1991). Otro importante grupo de degradación que sufren estos suelos son los de tipo químico, fundamentalmente los derivados de la acidificación y la adición de compuestos polucionantes. En este sentido, su naturaleza ácida hace que las toxicidades por aluminio, metales pesados, biocidas y otros agentes nocivos sean frecuentes. Con todo ello, la evaluación y el tratamiento de los diferentes procesos degradativos que sufre el suelo y el medio acuático, relacionado con él, precisa de un conocimiento preciso de los componentes y procesos edáficos.

En esta línea, el presente estudio constituye una aportación al conocimiento de las propiedades climáticas, físicoquímicas y mineralógicas de los suelos desarrollados sobre uno de los materiales geológicos más representados de Gipuzkoa. En un trabajo anterior (MERINO y MARTINEZ CORTIZAS, 1992) fueron discutidas las limitaciones que presentan estos mismos suelos a su uso y conservación.

## MATERIAL Y METODOS

La zona de estudio se localiza en el Sur del Territorio y abarca los municipios de Oñati y Arrasate. El área se caracteriza por sus fuertes pendientes y lluvia abundante, así como por presentar un sustrato geológico consistente en argilitas y areniscas, de edad Albiense Superior –Cenomaniense Inferior (IGME, 1975). Este material geológico se localiza en el

territorio guipuzcoano formando distintas bandas de dirección NO-SE (figura 1), siendo la más extensa la elegida para el estudio. Los principales usos del territorio son prados, en pendientes bajas y medias, y la explotación forestal (principalmente de *Pinus radiata*), en pendientes medias y fuertes.

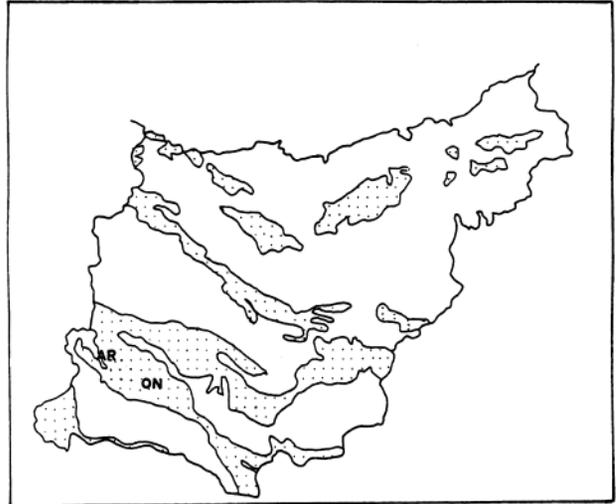


Figura 1.- Distribución de las argilitas en Guipúzcoa. Las letras AR y ON indican la localización de Arrasate y Oñati y delimitan el entorno del área en la que se han muestreado los suelos.

Para este trabajo se han muestreado un total de 13 perfiles de suelo, recogidos bajo diferentes usos, prado (1 perfil), pinar (5), robledal (3) y monte talado o "matarrasa" (4) en las zonas de Urrutxu, Lamiategi, Urkui y Arrasate. En la nomenclatura abreviada de cada perfil se especifica tanto el uso (pr, p, r, m) como la procedencia (UR, LA, UK y AR) de cada uno de ellos (p.e. UR-m1, suelo de Urrutxu bajo matarrasa).

Para el apartado de edafoclima se han empleado los datos de las estaciones meteorológicas de Aránzazu, Legazpia y Mutiloa, recogidos en MERINO (1990). La reserva de agua útil (RAU) se ha estimado mediante el método de cálculo propuesto por MARTINEZ CORTIZAS (1988), que utiliza como variables la textura y el contenido de materia orgánica del suelo. Para el balance hídrico mensual se ha empleado el método de NEWHALL (1976) modificado por MARTINEZ CORTIZAS (1988), que considera un agotamiento de la reserva de tipo exponencial.

Las determinaciones físicas y químicas realizadas han sido las siguientes: granulometría, densidad aparente, C orgánico total por oxidación con  $K_2O_7-Cr_2$ , N total, pH en  $H_2O$  y  $KCl$  0.1 N (relación suelo: disolución de 1:2.5) (GUITIAN y CARBALLAS, 1976); pH en NaF saturado, a los dos minutos de reacción (relación suelo: disolución 1:50) (FIELDES y PERROT, 1966), P asimilable (OLSEN et al., 1954), cationes básicos y Al de intercambio mediante extracción con  $NH_4Cl$

(PEECH *et al.*, 1947) y KCl 1 M (PRAT y BAIR, 1961), respectivamente. La capacidad de intercambio de cationes efectiva (CICe) ha sido estimada mediante suma de cationes básicos y Al (KAMPRATH, 1970). También se han aplicado algunas técnicas de disolución selectiva, la extracción de Fe y Al con ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) (MEHRA y JACKSON, 1960), con pirofosfato sódico (BASCOMB, 1968), oxalato amónico (BLAKEMORE, 1978).

El Fe y Al extraídos con pirofosfato sódico han sido designados como Fe<sub>p</sub> y Al<sub>p</sub>, los extraídos con oxalato amónico, como Fe<sub>o</sub> y Al<sub>o</sub> y el extraído con DCB, como Fe<sub>d</sub> y Al<sub>d</sub>. Aunque la interpretación de los datos derivados de las técnicas de disolución se lectiva debe hacerse con precaución, en general se considera que la extracción con pirofosfato sódico solubiliza el Fe ligado a la materia orgánica; con oxalato amónico, el Fe ligado a la materia orgánica y el inorgánico no cristalino; con DCB, el Fe ligado a la materia orgánica, el inorgánico no cristalino y el cristalino. Para el caso del Al puede aplicarse un esquema parecido en las dos primeras extracciones, sin embargo la extracción con DCB no resulta satisfactoria para este elemento (MACKEAGUE *et al.*, 1971).

Los análisis de Ca, Mg, Fe y Al se han realizado por espectrofotometría de absorción atómica y Na, K, por espectrofotometría de emisión atómica.

También se ha realizado el análisis mineralógico de la fracción arcilla (<2 μ) saturada en Mg y orientada, mediante D.R.X. utilizando un aparato Philips PW 1729 con monocromador de grafito, a 40 Kv y 30 mA, con registrador gráfico PM 8203A y microordenador de control PW 1710. Las transformaciones de los datos 2 θ en espaciados se realiza mediante el uso de las tablas de PARRISH y MACK (1963) y del paquete de software APD-1700 de Philips. Para la identificación de las especies minerales se han seguido, fundamentalmente, los datos tabulados de GRIM (1968), BROWNG (1961), THOREZ (1975) y DIXON y WEED (1989), así como las fichas J.C.P.D.S. (1972).

## RESULTADOS Y DISCUSION

Descripción general de los perfiles de suelos empleados

La tabla 1 recoge el tipo de horizonte así como diferentes características de estos suelos. Los epipedones de los suelos muestreados son de tipo A ócrico, de color pardo a pardo amarillento y de escasa profundidad (entre 10 y 20 cm.); la estructura está mal desarrollada en húmedo, de tendencia masiva, siendo firme y dura a muy dura en seco, en bloques subangulares; la textura es de tipo franco-arcillo-limosa y sólo ocasionalmente más gruesa. En zonas de baja pendiente aparecen moteados característicos de

áreas con hidromorfía. Presentan un límite gradual, a veces con un horizonte de transición AB.

Los horizontes B son de naturaleza cámbica, color similar al del epipedón y espesor ligeramente superior (20 a 30 cm.). Son masivos en húmedo y duros o firmes en seco. Un rasgo dominante es la gran abundancia de gravas y la presencia de un límite gradual o difuso hacia el material de partida. Al igual que en el caso de los epipedones son frecuentes los moteados, reflejo de condiciones de hidromorfía alterante.

En ocasiones, algunos suelos sufren una intensa degradación como consecuencia de prácticas forestales muy agresivas, que dan lugar a la homogeneización de los horizontes del suelo. Además, en zonas de prados ubicados en pendientes fuertes se observan fenómenos de deslizamiento de ladera.

### Edafoclima

La precipitación media anual en la zona es de 1.500-1.700 mm., la ETP de 625-725 mm., la temperatura media anual 10.6-12.9 °C y la amplitud térmica extrema de 23.4 a 18.2 °C. El régimen de temperatura calculado según los datos atmosféricos transformados según la propuesta de THOMAS *et al* (1980) es de tipo Méjico (MERINO, 1990).

A una profundidad máxima de 1 m. la RAU toma valores comprendidos entre 150 y 260 mm. (tabla 2), los cuales pueden considerarse elevados y son consecuencia de la abundancia de elementos finos.

RAU (mm)	PERFILES
150	AR-m
200-210	UR-pr, UK-m2yUK-r2
230-240	UR-py UK-p1, LA-p, AR-m
250-260	LA-m, UK-r1, UK-m1 y UK-p1.

Tabla 2. Reserva de agua útil del suelo (RAU) hasta una profundidad de 1 m.

El balance hídrico se encuentra representado en la figura 2 y en ella puede apreciarse como durante la mayor parte del año predominan las condiciones húmedas en el suelo, especialmente en los meses de diciembre a marzo, mientras que la sequía no llega a ser importante. El período de déficit hídrico tiene una duración de 100 días en Aránzazu (principios de julio-mediados de noviembre). En Aránzazu el máximo agotamiento de la reserva del suelo se cifraría entre 20 y 34% (en función de la RAU) en agosto, mientras que en Legazpia y Mutiloa el agotamiento sería de 46 - 68%, dándose en septiembre. El régimen de humedad es, por tanto, Perúdic.

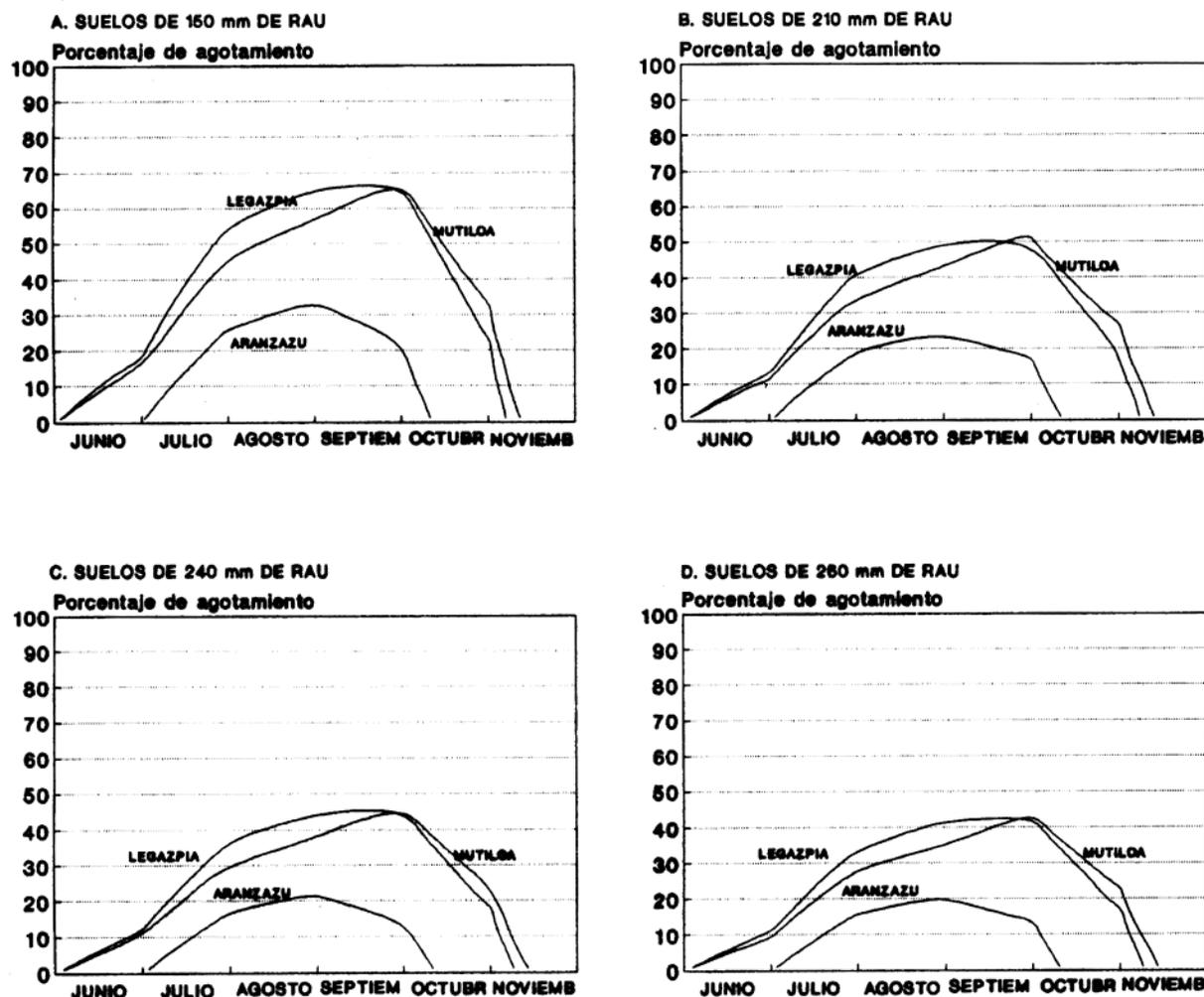


Figura 2.- Evolución de la sequía a lo largo del año para diferentes valores de reserva de agua (RAU) y estaciones meteorológicas.

### Características físicas y químicas

En todos los horizontes, superficiales y subsuperficiales, las fracciones granulométricas dominantes son el limo fino (28-47.7%) y la arcilla (23.7-36.8%); la suma de ambas fracciones representa casi siempre más del 60% de la fracción tierra fina. A éstos les siguen las fracciones limo grueso (12.6-50.9%) y arena (6.8-28.9%). La mayor parte de las muestras (7 horizontes superficiales y 14 subsuperficiales) se incluyen en la clase textural franco-arcillo-limoso, fpl; el resto son de tipo franco limoso, fl (3 y 2 muestras superficiales y subsuperficiales, respectivamente), franco, f, (2 y 1) o franco arcilloso, fp, (1 y 1, respectivamente) (tabla 3).

Estas texturas finas son responsables de la estructura masiva y dan lugar a tasas muy bajas de conductividad hidráulica (1 a 1.5 cm. d<sup>-1</sup>, según DRISSEN, 1986).

Los valores de densidad aparente son bastante elevados en todos los horizontes A (0.97-1.42) y B, (1.32-1.63) reflejando la riqueza en elementos finos (tabla 1).

Los valores de pH en H<sub>2</sub>O oscilan entre 3.7 y 5.3, siendo en general, inferiores a 4.5. El pH determinado en KCl se encuentra entre 2.9 y 4.2, siendo, normalmente, inferior a 3.6 (tabla 1). Los valores de pH de algunas de las muestras de los perfiles UR-pr y UR-p, ligeramente más elevados, posiblemente sean reflejo de enmiendas de fertilidad que en ellos han podido practicarse.

El contenido en materia orgánica de las muestras superficiales oscila entre 3.2% (UR-pr) y 8.6% (UK-r2), siendo, en general, superior al 4% (tabla 3). En los horizontes subsuperficiales disminuye notablemente, presentando siempre valores inferiores al 3%. En la mayoría de las muestras superficiales, la

relación C/N se encuentra comprendida entre 15 y 20; el valor más elevado, 29, se halla en el perfil de UK-p1 (pinar), mientras que los menores aparecen en los perfiles UK-r1 y UK-m1 (roble y matarrasa, respectivamente).

Los valores de CICe son muy bajos en todos los casos. En los epipedones estos oscilan entre 4.6 y 8.8  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  de suelo, mientras que en el resto de los horizontes este intervalo es 3.0-7.1  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  de suelo (tabla 1). En virtud de sus mayores contenidos en materia orgánica, los horizontes superficiales presentan, valores ligeramente más elevados de CICe. En este sentido todas las muestras subsuperficiales poseen un valor inferior a 16  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  de arcilla, presentando por ello propiedades ferrálicas.

La cantidad total de cationes de intercambio alcalinos y alcalinotérreos es muy baja. En las muestras superficiales estos valores oscilan entre menos de 1 y 8.5  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  de suelo, siendo comunes niveles inferiores a 2  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ . En el resto de los horizontes son frecuentes valores inferiores a 1  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  (tabla 1). Valores algo superiores aparecen en los perfiles UR-pr y UK-r2. En la mayor parte de los suelos, el orden de abundancia es  $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{Na}$ . La saturación en cationes básicos es siempre inferior a 50%, siendo frecuentes los valores inferiores a 15%.

El complejo de intercambio, por el contrario, está dominado por Al, que en los horizontes superficiales oscila entre 2.2 y 5.5  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  (con la excepción de los suelos que parecen presentar enmiendas), y en el resto, entre 1.8 y 5.0  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$  de suelo; representando saturaciones entre el 40 y 90% del complejo de intercambio.

Las cantidades de P asimilable son extraordinariamente bajas, normalmente inferiores a 1  $\text{mg kg}^{-1}$  (tabla 1). Como característico de suelos ácidos, al estar fijado en compuestos insolubles de Fe y Al, la mayor parte de este elemento se encuentra en forma poco asimilable (BOHN *et al.*, 1975), además, el material de partida es pobre en este elemento.

Todos los suelos presentan una escasa reacción al test del NaF, proporcionando en la mayoría de los casos valores de pH inferiores a 9.4 (tabla 1). Bajos valores han sido observados en otros suelos desarrollados a partir de sedimentos arcillosos de elevado grado de evolución y en medios con drenaje impedido (GARCIA-RODEJA *et al.*, 1985).

El contenido de Al extraído en DCB es bastante constante, no observándose diferencias entre los perfiles ni horizontes; sus valores varían entre 0.22 y 0.45% (tabla 1). Destaca la escasa cantidad de Al extraíble en oxalato y pirofosfato, en general, inferior a 0.2%. Las diferencias  $\text{Al}_o\text{-Al}_p$  proporcionan valores ligeramente negativos, reflejando la ausencia de formas inorgánicas no cristalinas de Al. Los valores lige-

ramente superiores de  $\text{Al}_p$  frente al  $\text{Al}_o$  pueden deberse al hecho de que la extracción con pirofosfato disuelve también parte del Al no ligado al humus (GARCIA-RODEJA, 1983).

El contenido en Fe extraído en DCB oscila entre 0.8 y 1.74. La fracción no cristalina de Fe ( $\text{Fe}_o\text{-Fe}_p$ ) es dominante en los horizontes superficiales, disminuyendo con la profundidad, mientras que el Fe cristalino ( $\text{Fe}_d\text{-Fe}_o$ ) sigue la tendencia contraria; la cantidad de Fe ligado a la materia orgánica ( $\text{Fe}_p$ ) es intermedia a ambas fracciones.

### Mineralogía

La mica aparece como mineral dominante en la fracción arcilla, encontrándose más alterada a medida que se asciende en el perfil. Se observa también, aunque en mucha menor cantidad, cuarzo y feldespato. Existen, además, cantidades variables de un filossilicato 1:1 dioctaédrico de tipo caolinita que puede proceder directamente del material de partida o de la alteración de las micas, aunque no se descarta una cierta contribución por alteración de los feldespatos. En mayor o menor cantidad según el perfil, están presentes también oxihidróxidos de Fe, goethita y, probablemente, lepidocrocita; éste último normalmente presente en suelos con hidromorfía alternante (DIXON y WEED, 1989). La existencia de lepidocrocita, sin embargo, es cuestionable puesto que sus efectos más característicos (0.62, 0.24 y 0.19 nm) se encuentran muy próximos a los de los feldespatos; no obstante, el hecho de que su reflexión a 0.62 nm permanezca a lo largo del perfil y desaparezca al calentar a 550 °C parece indicar la existencia de este oxihidróxido de Fe.

En los perfiles Ar-m, Ar-m, LA-p (horizontes BC y B), LA-m, UK-m2 (horizontes A y B) y UK-r2 (horizonte B), también puede observarse una banda más o menos definida en torno a 1.3-1.4 nm cuyo comportamiento frente a los distintos tratamientos responde al de filossilicatos 2:1 con intercapas hidroxialumínicos, pudiendo tratarse, en concreto de una mezcla de clorita y clorita-vermiculita (figura 3 y 4).

La mineralogía observada coincide con la descrita por MORENO e IÑIGUEZ (1981) para suelos similares del norte de Navarra.

### Clasificación

Los epipedones de los suelos muestreados son de tipo A ócrico, mientras que los horizontes subsuperficiales son de naturaleza cámbica de tendencia ferrálica.

Según la clasificación de la FAO/UNESCO (1988) estos suelos podrían clasificarse como Gleysol dístico (3 perfiles), Cambisol gleyco (1), Cambisol ferrálico (7), Cambisol eútrico (1), Antrosol árico (1). Para el

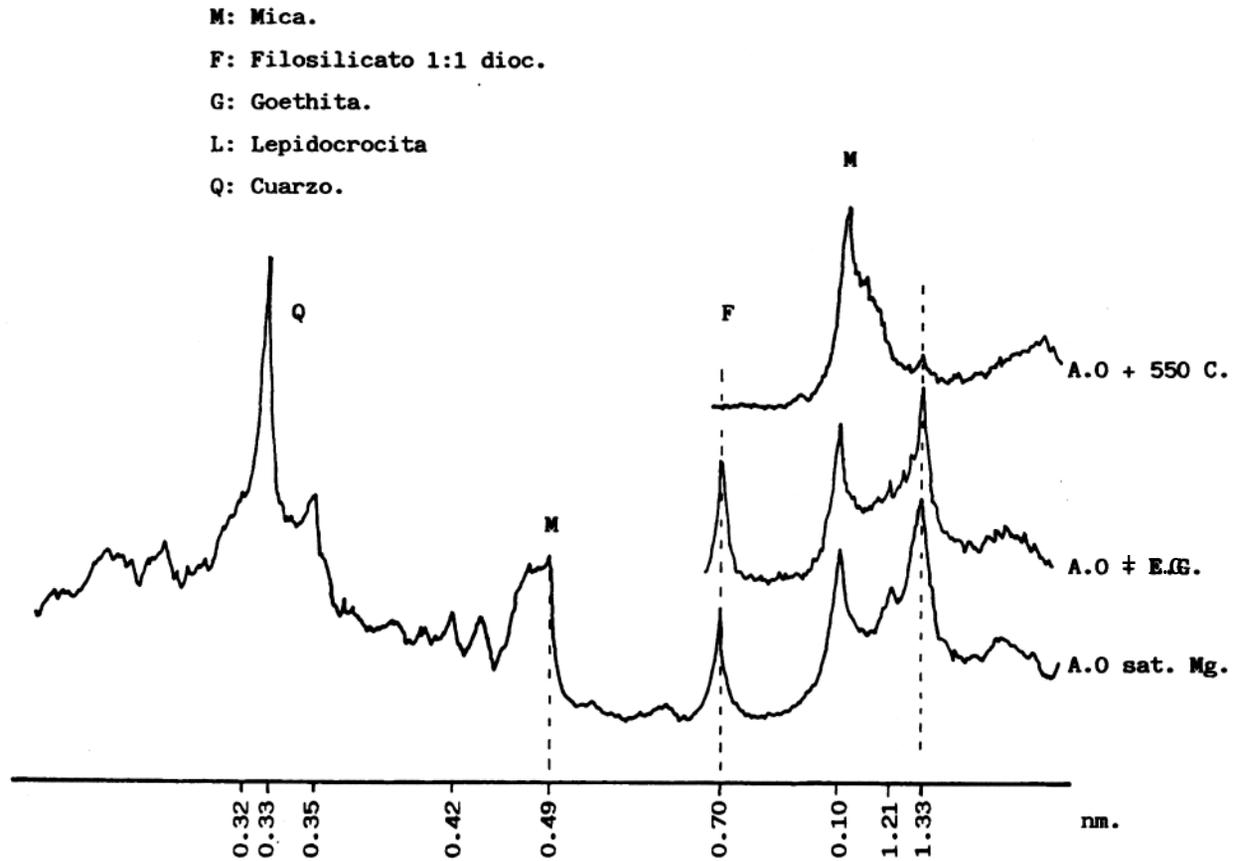


Figura 3.- Composición mineralógica y comportamiento de la fracción arcilla (<2 $\mu$ ) del horizonte B de Ar-m1.

USDA (1975) estos serían: Typic Hapludoll (1 perfil), Aeric Haplaquept (3), Typic Dystrochrept (5), Udarent (1) (tabla 1). En pendientes fuertes es frecuente la asociación Cambisol ferrálico- Cambisol gleyco (Typic Dystrochrept), mientras que en pendientes moderadas suele encontrarse, además, Gleysol dístico (Aeric Haplaquept).

## CONCLUSIONES

La secuencia típica de horizontes consiste en un A ócrico sobre un B de tipo cámbico de tendencia ferrálica. Según el sistema FAO/UNESCO se clasifican como Cambisoles ferrálicos, Cambisoles dísticos o Gleysoles dísticos; mientras que para el sistema Soil Taxonomy son Typic Dystrochrept o Aeric Haplaquept. Algunos suelos han sufrido la desaparición de los horizontes de diagnóstico como resultado de determinadas prácticas forestales por lo que se clasifican como Antrosoles áricos (FAO) o Udarent (USDA).

Las texturas finas confieren a estos suelos importantes propiedades como son su estructura masiva en húmedo, elevada reserva de agua útil, deficiente drenaje y elevada densidad aparente. Son suelos

con un marcado carácter ácido, por lo que el complejo de intercambio se encuentra dominado por Al; mientras que la saturación en cationes alcalinos y alcalinotérreos es baja. Destaca la escasa capacidad de intercambio catiónico, como consecuencia de una mineralogía de baja carga. En este sentido, en la fracción arcilla son dominantes las micas, siendo, en ocasiones, abundante la caolinita; se encuentran también presentes oxihidróxidos de Fe, fundamentalmente goethita, y, en menor proporción, cuarzo y feldespato.

Los métodos de disolución selectiva ponen de manifiesto que la mayor parte del Al libre se encuentra formando complejos con la materia orgánica, siendo muy escasa la fracción no cristalina. En el caso del Fe, la distribución de sus fracciones varía con el tipo de horizonte, las formas no cristalinas tienden a ser abundantes en los horizontes superficiales, mientras que las cristalinas lo son en los horizontes subsuperficiales, sin que en ningún caso la fracción ligada a la materia orgánica sea importante.

Las principales limitaciones para el uso y conservación de estos suelos son las fuertes pendientes del terreno, el carácter arcilloso, la escasa disponibili-

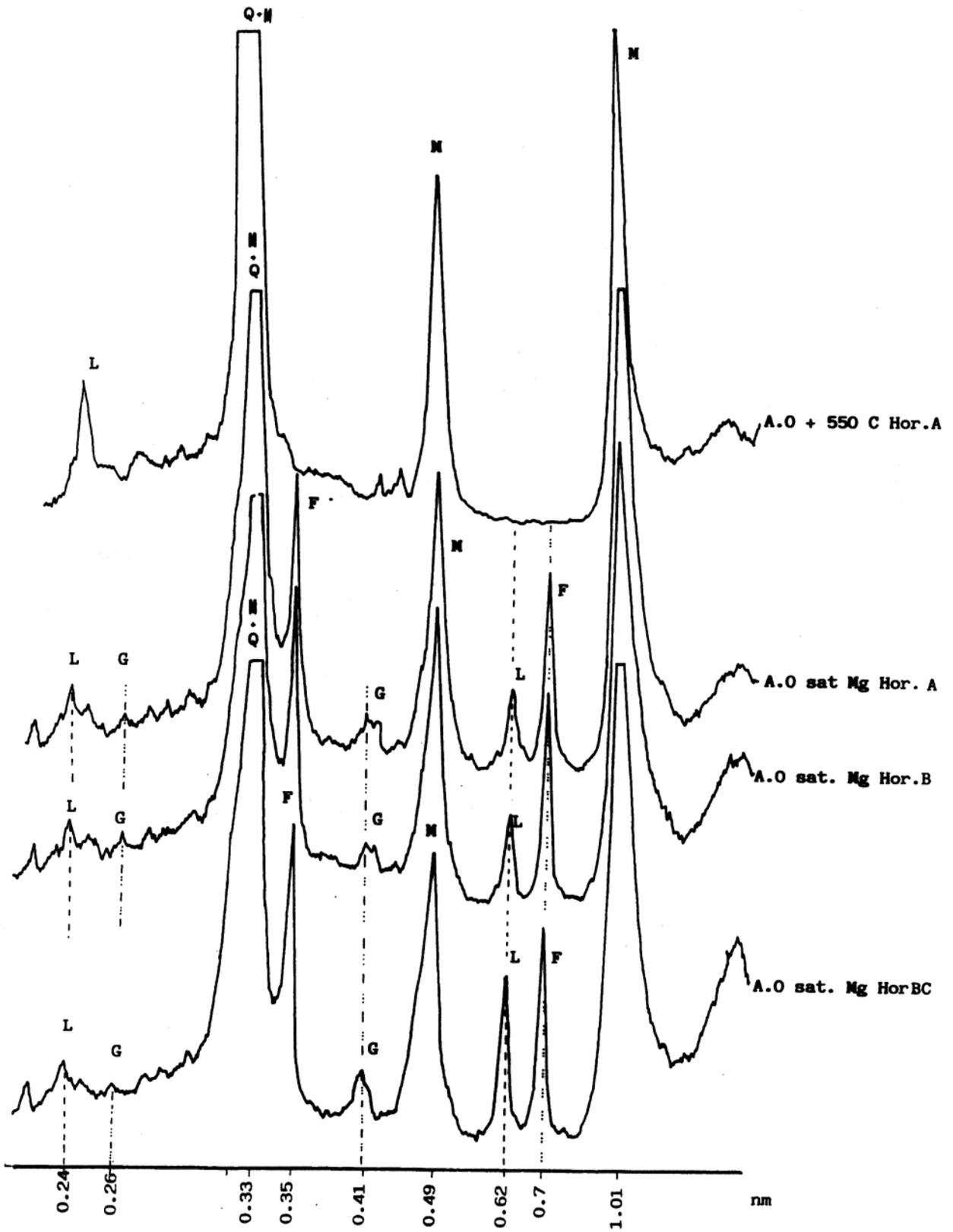


Figura 4.- Composición mineralógica y comportamiento de la fracción arcilla (< 2 μ) de los horizontes A, B, BC de UK-r1.

dad de nutrientes y la toxicidad potencial por Al. Como consecuencia de la elevada pluviosidad y escasa infiltración, el riesgo de erosión de estos suelos es elevado. De hecho, son frecuentes en el área fenómenos de "piping" y deslizamientos de ladera, formación de cárcavas, en terrenos desprovistos de vegetación arbórea.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Prof. Dr. Félix M. Ugarte, compañero y amigo desaparecido recientemente, quien nos brindó la oportunidad de realizar este trabajo. Así como a Itxaro Latasa, que colaboró de manera intensiva en el muestreo de suelos.

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación 0017-88, "Las repercusiones de los cambios del uso del suelo en la evolución de geosistema", financiado por el Gobierno Vasco.

## BIBLIOGRAFIA

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.C.

1978. Exchange complex dominated by amorphous material (ECDAM). En Smith, G.D. (ed.) *The Andisol Proposal*: 21-22.

BROWNG, G.

1961. The X-ray identification and crystal structure of Clay minerals. Mineralogical Society London. Gran Bretaña.

DIMANCHE, F., RASSEL, A., TARTE, P., THOREZ, J.

1974. The kaolins: mineralogy deposits. *Mineral Sci.Engng*, 6: 184-205.

DIPUTACION FORAL DE GIPUZKOA

1991. Geomorfología y edafología de Gipuzkoa. Diputación Foral de Gipuzkoa.

DIXON, J. B., WEED, S.B

1989. Minerals in soil environments. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin, Estados Unidos.

FAO/UNESCO

1988. Soil map of the world. Roma, Italia.

FIELDES, M., PERROT, K.W.

1966. The nature of allophane in soils. III. Rapid field and laboratory test for allophane. *N.Z.J.Sci.*, 9: 623-629.

GARCIA-RODEJA, E., MACIAS, F., GUITIAN, F.

1985. Reacción con el NaF de los suelos de Galicia V. Relación con el material de partida y los procesos de edafogénesis. *Ann.Edafol. Agrobiol.* 44: 357-368.

GARCIA-RODEJA, E.

1983. Componentes no cristalinos de suelos de Galicia: distribución, naturaleza y propiedades. Tesis doctoral. Universidad de Santiago. Santiago de Compostela.

GRIM, R. E.

1968. Clay mineralogy. McGraw. Hill. New York, Estados Unidos.

GUITIAN, F., CARBALLAS, T.

1976. Técnicas de análisis de suelos. Pico Sacro. Santiago de Compostela.

INSTITUTO MINERO GEOLOGICO DE ESPAÑA

1975. Mapa geológico nacional, escala 1:50 000, hoja 88, Vergara. Ministerio de Industria, Madrid.

J.C.P.D.S. (Joint Committee on Powder Diffraction Standards)

1972. Index (inorganic) to the powder diffraction file. Pennsylvania, Estados Unidos.

KAMPRATH, E. J.

1970. Soil acidity and response to liming. *Int. Soil Testing Techn. Bull.*, 4.

MARTINEZ CORTIZAS, A.

1988. La reserva de agua útil de los suelos de Galicia. I. Relación con la textura y el contenido de materia orgánica. *An. Edaf. Agrobiol.* 47: 561-572.

MACKEAGUE, J. A., BRYDON, J. E., MILES, N. M.

1971. Differentiation of forms of extractable iron and aluminium in soils. *Soil Sci.Soc.Am.Proc.*, 35: 33-38.

MEHRA, O. P., JACKSON, M. L.

1960. Iron oxide removal from soils and clays by dithionitecitrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals Proceedings Seventh Conference National Academy Science Natural Resources. Council Publication.* Washington, Estados Unidos.

MERINO, A.

1990. Bioclimatología de Gipuzkoa. *Lurralde*, 13: 63-116.

MERINO, A., MARTINEZ CORTIZAS, A.

1992. Suelos de Gipuzkoa sobre argilitas. Factores limitantes a su uso y conservación. *Eusko Ikaskuntza, "in memoriam" Félix Ugarte (en prensa).*

MORENO, A. M., IÑIGUEZ, J.

1981. Estudio mineralógico de las arcillas en suelos de la Navarra húmeda. *Ann.Edafol. Agrobiol.*, 40: 1.147-1.183.

NEWHALL, F.

1976. Calculation of moisture regimen from the climatic record. *Soil Surv. Inv. Rep. Soil Conservation Service, USDA,* Washington, Estados Unidos.

OLSEN, S.R., COLE, C.V., BATANABE, F. S., DEAN, L. A.

1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA, Circ. No. 939,* Washington, Estados Unidos.

PARRISH, W., MACK, M.

1963. Data for X-ray analysis. I. Philips Technical Library. Eindhoven, Holanda.

PEECH, M., ALEXANDER, L. T., DEAN, L. A., REED, J. F.

1947. Methods of soil analysis for soil fertility investigations. *US. Department of Agriculture, 757,* Washington, Estados Unidos.

PRATT, P. F., BAIR, F. L.

1961. A comparison of three reagents for the extraction of aluminum from soils. *Soil Sci.* 91,357-359.

THOMAS, R. F., BLAKEMORE, L. C., KINLOCH, D. I.

1980. Flow-diagram keys for "soil Taxonomy". B. Soil moisture and temperature regimes, and diagnostic horizons and properties for organic spoils. Dept. Scientific and industrial research, Nueva Zelanda.

THOREZ, J.

1975. *Phyllosilicate and clay minerals*. G. Lelotte. Bélgica.

USDA

1975. *Soil Taxonomy. A basic System for Interpreting and Making Soil Survey*. Agric. Handbook No. 465.S.S.S. Washington, Estados Unidos.

PERFIL	HOR.	pH		D.A. gcm-3	MO -----%-----	N C/N	Ar	L	Arc	TXT.	Ca	Mg	Na	K	S	Al	ClCe	Sat. %	P mg kg <sup>-1</sup>	
		H <sub>2</sub> O	KCl																	
AR-m	A	4.58	3.47	n.d.	7.19	0.26	16	10.2	61.7	28.1	FPL	1.79	0.33	0.05	0.18	2.35	3.15	5.50	42.7	0.36
	Bw	4.63	3.59	n.d.	2.71	0.14	11	9.2	64.9	25.9	FL	0.37	0.07	0.04	0.07	0.55	2.41	2.96	18.6	0.24
Ar-p	A	4.48	3.43	1.17	7.14	0.22	19	8.8	57.1	34.1	FPL	0.53	0.19	0.05	0.18	0.95	3.78	4.73	20.1	0.24
	Bw	4.55	3.62	1.42	2.34	0.10	14	7.1	61.6	31.2	FPL	0.13	0.06	0.04	0.10	0.33	2.63	2.96	11.1	0.64
LA-P	A	4.50	3.38	1.27	5.28	0.18	17	21.6	53.5	24.8	FL	1.40	0.54	0.05	0.34	2.33	3.00	5.33	43.7	0.84
	Bw	4.38	3.43	1.32	2.31	0.18	7.4	19.9	52.9	27.2	FPL	0.58	0.25	0.05	0.13	1.01	3.19	4.20	24.0	0.36
	BC	4.53	3.58	n.d.	1.55	0.05	18	18.8	52.7	28.4	FPL	1.50	0.93	0.06	0.13	2.62	1.78	4.40	59.5	0.36
LA-m	A	4.23	3.44	n.d.	4.45	0.15	17	28.9	47.4	23.7	F	0.95	0.31	0.04	0.20	1.50	3.60	5.10	29.4	0.52
UK-r1	A	4.41	3.28	1.12	5.60	0.19	17	14.4	56.4	29.1	FPL	1.45	0.74	0.04	0.32	2.55	3.41	5.96	42.8	1.12
	Bw	4.12	3.39	1.63	1.34	0.05	16	6.8	58.6	34.6	FPL	0.50	0.17	0.05	0.19	0.91	3.71	4.62	19.7	0.16
	BC	4.15	3.35	1.52	0.71	0.05	8.2	13.5	56.4	30.9	FPL	0.07	0.11	0.04	0.10	0.32	3.49	3.81	8.4	0.24
UK-m1	A	4.11	3.11	1.36	3.71	0.11	20	12.5	56.6	30.8	FPL	0.42	0.17	0.04	0.16	0.79	5.19	5.98	13.2	0.44
	Bw	4.34	3.45	1.60	0.48	0.04	7.0	14.5	52.9	32.6	FPL	0.16	0.13	0.04	0.07	0.40	3.60	4.00	10.0	0.16
	C	4.53	3.33	n.d.	0.45	0.04	6.5	10.6	53.6	35.8	FPL	0.03	0.58	0.05	0.09	0.75	3.97	4.72	15.9	0.00
UK-p1	A	3.83	2.85	n.d.	6.03	0.12	29	13.8	62.0	24.1	FL	0.44	0.18	0.06	0.12	0.80	5.49	6.29	12.7	0.32
	BC	3.98	3.23	n.d.	1.33	0.05	15	9.9	58.0	32.0	FPL	0.14	0.07	0.05	0.11	0.37	5.30	5.67	6.5	0.60
UK-m2	A	4.36	3.33	1.42	5.83	0.20	17	18.2	51.1	30.7	FPL	0.57	0.17	0.05	0.14	0.93	3.86	4.79	19.4	0.44
	Bw	4.38	3.56	1.35	0.86	0.07	7.1	16.4	52.8	30.7	FPL	0.17	0.08	0.04	0.11	0.40	2.93	3.33	12.0	0.44
	BC	4.47	3.53	1.50	0.59	0.05	6.8	18.7	50.3	31.0	FPL	0.14	0.10	0.04	0.10	0.38	2.86	3.24	11.7	0.48
UK-p2	A	4.64	3.42	n.d.	4.36	0.12	21	23.8	51.5	24.7	FL	1.42	0.65	0.05	0.25	2.37	2.23	4.60	51.5	0.60
	BC	4.67	3.51	n.d.	1.19	0.07	9.9	22.4	53.3	24.3	FL	0.42	0.30	0.04	0.09	0.85	2.08	2.93	29.0	0.12
UK-r2	A	4.55	3.22	n.d.	8.59	0.28	18	24.8	48.7	26.4	F	2.59	0.84	0.04	0.27	3.74	3.26	7.00	53.4	1.36
	Bw	4.33	3.42	n.d.	1.50	0.07	12	25.9	47.3	26.8	F	0.17	0.07	0.03	0.06	0.33	2.78	3.11	10.6	0.20
	C	4.52	3.52	n.d.	0.52	0.07	4.3	24.0	46.0	30.0	FP	0.22	0.13	0.03	0.07	0.45	2.93	3.38	13.3	0.12
UR-pr	A	3.73	3.35	0.97	3.22	0.18	10	12.1	55.1	32.8	FPL	0.85	0.21	0.05	0.19	1.30	4.26	5.56	23.4	0.88
	BC	5.28	4.10	1.48	2.00	0.12	9.7	22.6	47.7	29.7	FP	6.40	0.34	0.06	0.11	6.91	0.22	7.13	96.9	0.24
	C	4.92	3.70	1.59	1.17	0.11	6.2	17.2	50.4	32.4	FPL	4.86	0.12	0.05	0.07	5.10	1.60	6.70	76.1	0.12
U R-p	A	5.17	4.19	1.40	5.10	0.33	9.0	22.5	47.5	29.9	FP	6.99	1.28	0.07	0.15	8.49	0.30	8.79	96.6	0.76
	BC	4.32	3.47	1.44	0.72	0.11	3.8	11.5	54.1	34.4	FPL	0.59	0.16	0.03	0.07	0.85	4.12	4.97	17.1	0.60
U R-r	A	4.09	3.25	1.36	3.41	0.11	18	14.5	54.0	31.4	FPL	0.11	0.09	0.04	0.08	0.32	5.04	5.36	6.0	0.36
	AB	4.09	3.44	1.34	1.88	0.07	16	11.6	51.6	36.8	FPL	0.30	0.08	0.05	0.12	0.55	4.78	5.33	10.3	0.32
	Bw	4.15	3.44	1.46	1.60	0.07	13	11.2	54.5	34.3	FPL	0.13	0.07	0.04	0.10	0.34	5.04	5.38	6.3	0.60

D.A.: densidad aparente; MO: materia orgánica; Ar: arena; L: limo; Arc: arcilla; TXT: textura, f: franca; fp: franca arcillosa; fpl: arcillo limosa; fl: franca limosa; Sat.: porcentaje de saturación en cationes básicos.

Tabla 1. Propiedades generales de los perfiles de argilitas estudiados.

PERFIL	VEGETACION	PEND <sup>(1)</sup>	HOR	PROF. (cm)	COLOR EN HUMEDO	FAO/UNESCO (1988)
AR-m	Matarrasa <sup>(2)</sup>	6	A	(0-20)	7.5 YR 4/6	Cambisol ferrálico
			B	(20-42)	7.5 YR 5/6	
AR-p	Pinar	5	A	(0-20)	10 YR 4/6	Cambisol ferrálico
			B	(20-57)	10 YR 6/6	
LA-p	Pinar	6	A	(0-19)	10 YR 4/6	Cambisol gleyco
			B	(19-45)	10 YR 4/6	
			BC	(> 45)	10 YR 4/6	
LA-m	Matarrasa <sup>(2)</sup>	6	A			Antrosol árico
UK-r1	Robledal	5	A	(0-12)	10 YR 4/6	Cambisol ferrálico
			B	(12-32)	10 YR 4/6	
			BC	(32-52)	10 YR 4/6	
UK-m1	Matarrasa <sup>(2)</sup>	5	A	(0-32)	10 YR 5/6	Cambisol ferrálico
			B	(32-137)	10 YR 5/6	
			BC	(>137)	7.5 YR 5/8	
UK-p1	Pinar	5	A	(0-27)	10 YR 6/2	Gleysol dístrico
			BC	(27-58)	10 YR 5/6	
UK-m2	Matarrasa <sup>(2)</sup>	3	A	(0-30)	10 YR 5/6	Cambisol ferrálico
			B	(30-55)	10 YR 5/6	
			BC	(55-95)	2.5 Y 6/6	
UK-p2	Pinar	3-4	A	(0-20)	10 YR 4/3	Cambisol ferrálico
			B	(20-52)	10 YR 5/6	
UK-r2	Robledal	2	A	(0-12)	7.5 YR 3/4	Cambisol eútrico
			B	(12-48)	7.5 YR 3/4	
			BC	(> 46)	7.5 YR 3/4	
UR-pr	Prado	2	A	(0-16)	10 YR 5/6	Gleysol dístrico
			B	(16-45)	10 YR 5/6	
			BC	(> 45)	10 YR 7/4	
UR-p	Pinar	2	A	(0-10)	10 YR 3/4	Gleysol dístrico
			BC	(10-27)	10 YR 5/6	
UR-r	Robledal	2	A	(0-20)	10 YR 4/6	Cambisol ferrálico
			AB	(20-32)	10 YR 4/6	
			B	(32-52)	10 YR 5/6	

(1): Pendientes Clase FAO. (2): Tala total de pinar.

Tabla 3. Perfiles de suelo estudiados, características generales y clasificación