

MINERALOGIA DE SUELOS FORMADOS SOBRE CALIZAS EN GALICIA

M. T. Taboada*, M. B. Silva* y M. C. Villar**

* *Dpto. Edafología y Química Agrícola. Fac. Farmacia. Univ. Santiago de Compostela.*

** *Instituto de Investigaciones Agrobiológicas de Galicia. CSIC. Santiago de Compostela.*

RESUMEN

Se estudia la mineralogía de las fracciones arena y arcilla de 13 suelos sobre calizas en Galicia, comparándola con la composición de la roca subyacente. Los datos indican una escasa evolución mineralógica y la importancia de la contaminación de los suelos por otros materiales distintos de la caliza (esquistos, pizarras y cuarcitas) debido a fenómenos de dinámica lateral.

En la arena predominan los minerales ligeros, siendo en su mayoría especies primarias, tales como carbonatos, cuarzo y feldespatos potásicos y calcosódicos. En la fracción densa los compuestos de hierro preexistentes en la caliza, son los mayoritarios.

La fracción arcilla está constituida fundamentalmente por minerales heredados, sobre todo illita procedente de las micas existentes en la caliza subyacente o en los materiales contaminantes. En ocasiones evoluciona hacia vermiculita, interestratificados illita-vermiculita o hacia minerales de tipo esmectítico.

Palabras clave: Suelo. Caliza. Arena. Arcilla.

SUMMARY

MINERALOGY OF SOILS OVER LIMESTONE IN GALICIA

The mineralogy of the sand and clay fractions of 13 soils over limestone in Galicia (N. W. Spain) has been studied in relation to the composition of the underlying rock. The data suggest scant mineralogical evolution and significant invasion by foreign materials (schists, slates and quartzites) as the result of lateral translocation. The sand fraction is dominated by light minerals, mainly primary species such as carbonates, quartz, K-feldspar and plagioclases, with a majority of iron compounds in the dense fraction. The clay fraction composed chiefly of minerals (mainly illite) that have been inherited from the micas of underlying limestone or invading material, has in places evolved towards vermiculite, illite-vermiculite interstratified or smectitic minerals.

Key words: Soil. Limestone. Sand. Clay.

INTRODUCCION

Dentro de la región gallega, cuyo sustrato geológico está formado fundamentalmente por rocas cristalinas ácidas, se encuentran también mate-

riales carbonatados, aunque con una escasa representación. Las calizas forman estrechas franjas de dirección aproximadamente N-SE en el E de la provincia de Lugo y en el N.O. de la de Orense, donde aparecen asociadas a materiales metamórficos de edad Paleozoica (esquistos, pizarras y cuarcitas) que han sido afectados por la Orogenia Hercínica (I.G.M.E, 1978, 1981).

Sobre este complejo metamórfico formado por rocas de distinta composición química y mineralógica, actúan los procesos de erosión diferencial, que afectan a los materiales más fácilmente erosionables (esquistos y pizarras) y respetan a los más duros (cuarcitas y calizas). Por ello, las calizas como materiales duros y cristalinos que son condicionan paisajes abruptos con amplias zonas de roca descarnada en las que sólo se favorece un buen desarrollo del suelo en determinadas fisuras o cobijaduras por ser puntos de drenaje preferente, con una fuerte alteración y retención de los productos originados. Estos suelos pueden ser profundos y alcanzar un grado de desarrollo importante, pero con una escasa extensión, por lo que su presencia contrasta con la escasa o nula evolución de las zonas contiguas.

En función de la morfología de los perfiles que se corresponde a su vez, de forma bastante aproximada, con la posición topográfica que ocupan, Taboada (1991) dis-

tingue tres grupos fundamentales de suelos:

1) Suelos de perfil AR, que se encuentran en las áreas erosionadas (cumbre y ladera); constan de un epipedón profundo formado directamente sobre la caliza. Estos suelos están prácticamente descarbonatados.

2) En posiciones receptivas (pie-demonte o zonas acumulativas de la ladera) y sobre depósitos coluviales de materiales calizos, los suelos son de tipo AC y mantienen porcentajes elevados de carbonatos.

3) En situaciones de ladera, pero con cierta estabilidad (pequeños replanos, fisuras y oquedades de las rocas) o en las escasas zonas llanas, se forman suelos con horizontes B. Dentro de estos, se diferencian a su vez unos suelos de desarrollo moderado, con una secuencia de horizontes ABwR o A BC R que poseen una cantidad apreciable de carbonatos y, otros muy evolucionados con horizontes Bt (ABtBwR o ABtR), que aparecen totalmente descarbonatados y, en ocasiones descalcificados.

Sus propiedades físicas, químicas y físico-químicas, están estrechamente relacionadas con el grado de descarbonatación alcanzado.

El objetivo de este trabajo es conocer la composición mineralógica de las fracciones arena y arcilla de los suelos, así como el posible origen de los distintos minerales.

MATERIAL Y METODOS

Se han tomado 13 perfiles representativos de los grupos descritos anteriormente. Suelos de perfil AR:

P. 1, 2 y 3, suelos de perfil AC: P. 4, suelos con horizonte B: ABwR (P. 5, 6, 7 y 8), A BC R (P. 9), ABtBwR

(P. 12), ABtR (P. 10, 11 y 13). Los datos morfológicos y analíticos figuran en Taboada (1991).

Estudio de la fracción arena

Para la preparación de las muestras se ha seguido el método de Doglas *et al.* (1965). Se ha estudiado la fracción comprendida entre 400-50 μm , mediante el microscopio petrográfico, separando las fracciones 400-200 μm , 200-100 μm y 100-50 μm , con el fin de facilitar la identificación y conteo de los minerales.

Estudio de la fracción arcilla

La extracción de la fracción arcilla a partir de la tierra fina se ha realizado por sifonado, tras la dispersión de la muestra con amoníaco,

una vez destruida la materia orgánica con agua oxigenada y los carbonatos alcalinotérreos con ácido acético 0.3 M. Se ha caracterizado mediante DRX y, en ocasiones, ATD. Se obtuvieron diagramas de polvo cristalino (con y sin geles) y de agregado orientado de las muestras desferrificadas y saturadas en Mg, solvatadas con etilenglicol y calcinadas a 550 °C. Se realizaron también saturaciones en K, seguidas de calentamiento a 110 °C y 500 °C durante 2 horas. La estimación de las cantidades relativas de los diferentes minerales se ha hecho teniendo en cuenta los poderes reflectantes dados por Martín Vivaldi y Rodríguez Gallego (1964), Martín Pozas *et al.* (1969) y Mitchel (1959). Los resultados se expresan de acuerdo con la siguiente notación:

- ++++ : más del 50% del total de la arcilla.
- +++ : 30-50% del total de la arcilla.
- ++ : 10-30% del total de la arcilla.
- + : 3-10% del total de la arcilla.
- tr : menos del 3% del total de la arcilla.
- : No identificado.

Estudio de las rocas

Se ha realizado una estimación de la composición mineralógica de las rocas, partiendo de muestras fina-

mente molidas. Se sometieron a DRX, utilizando el método de polvo cristalino, expresando los resultados del mismo modo que para la arcilla.

RESULTADOS Y DISCUSION

El comentario y discusión de los resultados se hace por separado para cada uno de los grupos de suelos indicados anteriormente.

Suelos de perfil AR: Perfiles 1, 2 y 3

De las tres formaciones carbonatadas existentes en Galicia (Caliza de

Vegadeo, Cándana y Aquiana) el sustituto de los perfiles 1 y 3 corresponde a la Caliza de Vegadeo, que en la zona de Becerreá y Piedrafita (lugares donde se encuentran situados respectivamente esos suelos) se caracteriza por poseer intercalaciones de pizarras y dolomías con mineralizaciones de hierro. El perfil 2, ubicado

en la Sierra del Caurel, se encuentra sobre calizas de la formación de Cándana, que en esa zona consta de calizas y dolomías marmóreas compactas y muy recristalizadas (I.G.M.E., 1980).

La alteración de estos materiales compactos y de alto grado de recristalización es lenta, lo que dificulta el desarrollo de los suelos, que se caracterizan por una escasa evolución, acentuada por el aporte de materiales más o menos frescos procedentes de zonas superiores de la ladera. Este hecho que se evidencia ya a nivel morfológico y micromorfológico (Taboada, 1991), ya que en los perfiles se observan abundantes coluvios tanto de caliza como de cuarcita, esquisto y pizarra, se manifiesta también en el análisis mineralógico de las fracciones arena y arcilla.

Fracción arena

En la arena (Fig. 1), con un claro predominio de la fracción ligera sobre la densa, abundan los minerales primarios, destacando el cuarzo y los feldespatos, fundamentalmente potásicos. Los granos de cuarzo en general están bien cristalizados. En el perfil 3 aunque no se separan en la gráfica, dentro del porcentaje de cuarzo se incluye también una variedad microcristalina de SiO_2 identificada por microscopía electrónica como calcedonia.

La mayor parte de los feldespatos potásicos del perfil 2 presentan unas características inclusiones de turmalina; el hecho de que la turmalina no haya sido liberada de los feldespatos, pone de manifiesto la escasa alteración de estos últimos. Por otra parte, la presencia de estos minerales en el suelo, que no existen en la caliza

subyacente (Tabla 1), sólo se puede explicar por un aporte proveniente de las bandas de pizarras adyacentes y de otros afloramientos de caliza (I.G.M.E., 1980, 1981) situados en posiciones topográficas superiores.

Los carbonatos son muy escasos. Solamente destacan en el subhorizonte Ah1 del perfil 1 (Fig. 1) con un 16%, identificados como dolomita después de la tinción con alizarina; aparecen concentrados en la fracción de menor tamaño. Existe también una escasa proporción de granos recubiertos por oxihidróxidos de hierro, lo que dificulta su identificación, que han sido denominados opacos de alteración. En los perfiles 2 y 3 se encuentran pequeñas cantidades de micas y minerales micáceos; estos últimos formados por pequeñas laminillas unidas por un cemento ferruginoso, parecen ser pequeños fragmentos de esquisto o pizarra.

La fracción densa de los perfiles 1 y 3 está compuesta esencialmente por óxidos de hierro: magnetita, goethita y hematita. Los granos de color rojo intenso observados al microscopio óptico con luz reflejada han sido contabilizados como hematita, mientras que los de color pardo amarillento y aspecto terroso se atribuyen a goethita. Para confirmar esta identificación se aislaron manualmente con ayuda de la lupa algunos de esos granos (tanto en estos perfiles como en el resto de los estudiados) y se sometieron a DRX. En la figura 2 se muestran los difractogramas de estos granos correspondientes al perfil 1.

En el perfil 2 la fracción pesada está dominada por granos de feldespato potásico con inclusiones de turmalina, lo cual explica su presen-

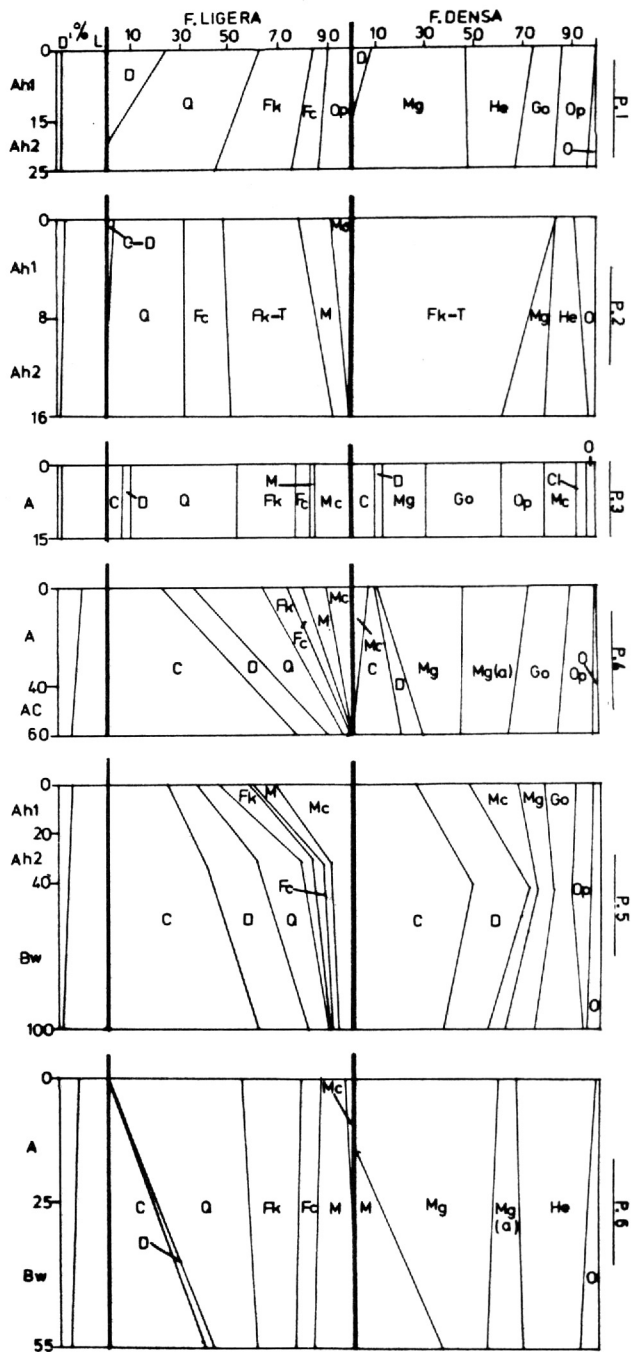


FIG. 1.—Mineralogía de la fracción arena (400-50 μ m).

- | | | | |
|--------------------|---|-----------------------|----------------------------------|
| <i>L</i> : ligeros | <i>Q</i> : Cuarzo | <i>C</i> : Calcita | <i>Mo</i> : Moscovita |
| <i>D</i> : densos | <i>F_c</i> : Feldespato calcosódico | <i>D</i> : Dolomita | <i>B</i> : Biotita |
| | <i>F_k</i> : Feldespato potásico | <i>Mc</i> : Micáceos | <i>Op</i> : Opacos de alteración |
| | <i>Mg</i> : Magnetita | <i>Go</i> : Goethita | <i>He</i> : Hematita |
| | <i>I</i> : Ilmenita | <i>Tr</i> : Tremolita | <i>O</i> : Otros. |
| | <i>F_k-T</i> : Feldespato potásico con inclusiones de turmalina | | |
| | <i>Mg (a)</i> : Magnetita alterándose a goethita (hematita en P. 8) | | |
| | <i>M</i> en los P. 2, 4, 5 y 7: Moscovita y biotita | | |
| | <i>M</i> en el P. 3: Moscovita, biotita y clorita. | | |

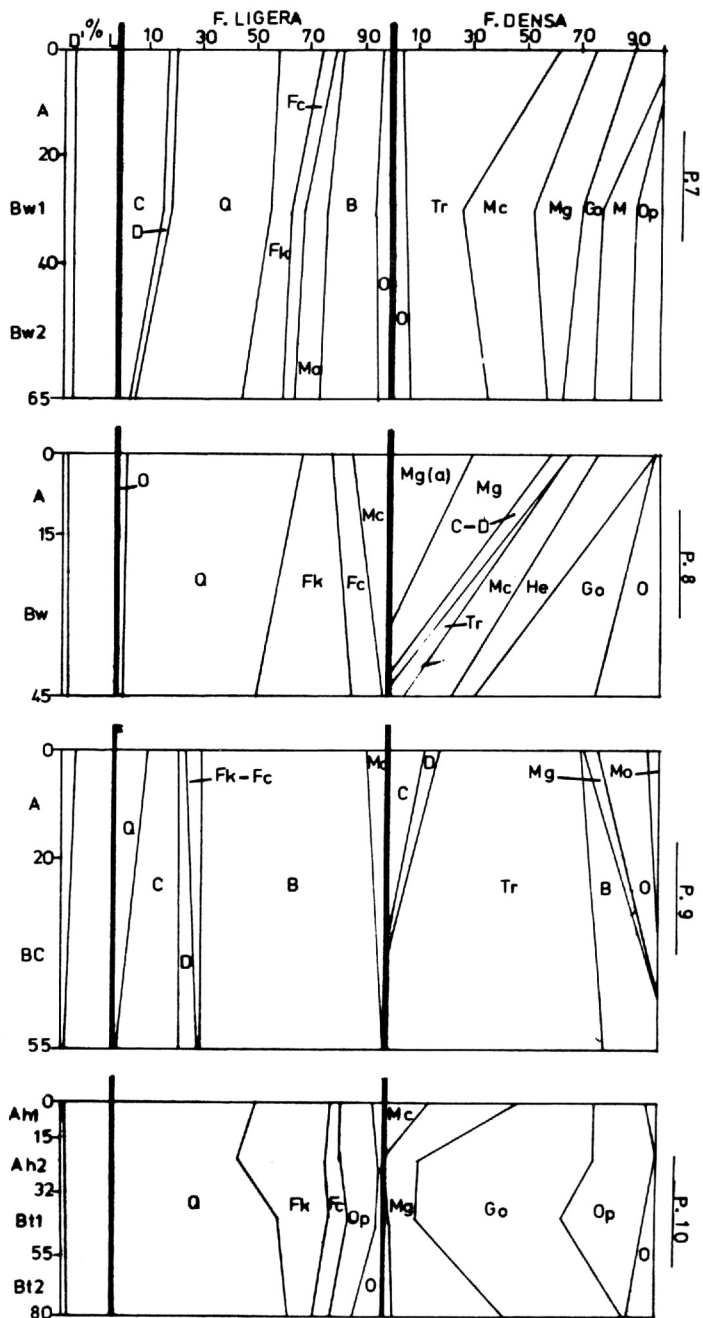


FIG. 1.—Mineralogía de la fracción arena (400-50 µm).

- L*: ligeros *Q*: Cuarzo *C*: Calcita *Mo*: Moscovita
D': densos *F_c*: Feldespato calcosódico *D*: Dolomita *B*: Biotita
F_k: Feldespato potásico *Mc*: Micáceos *Op*: Opacos de alteración
Mg: Magnetita *Go*: Goethita *He*: Hematita
I: Ilmenita *Tr*: Tremolita *O*: Otros.
F_k-T: Feldespato potásico con inclusiones de turmalina
Mg (a): Magnetita alterándose a goethita (hematita en P. 8)
M en los P. 2, 4, 5 y 7: Moscovita y biotita
M en el P. 3: Moscovita, biotita y clorita.

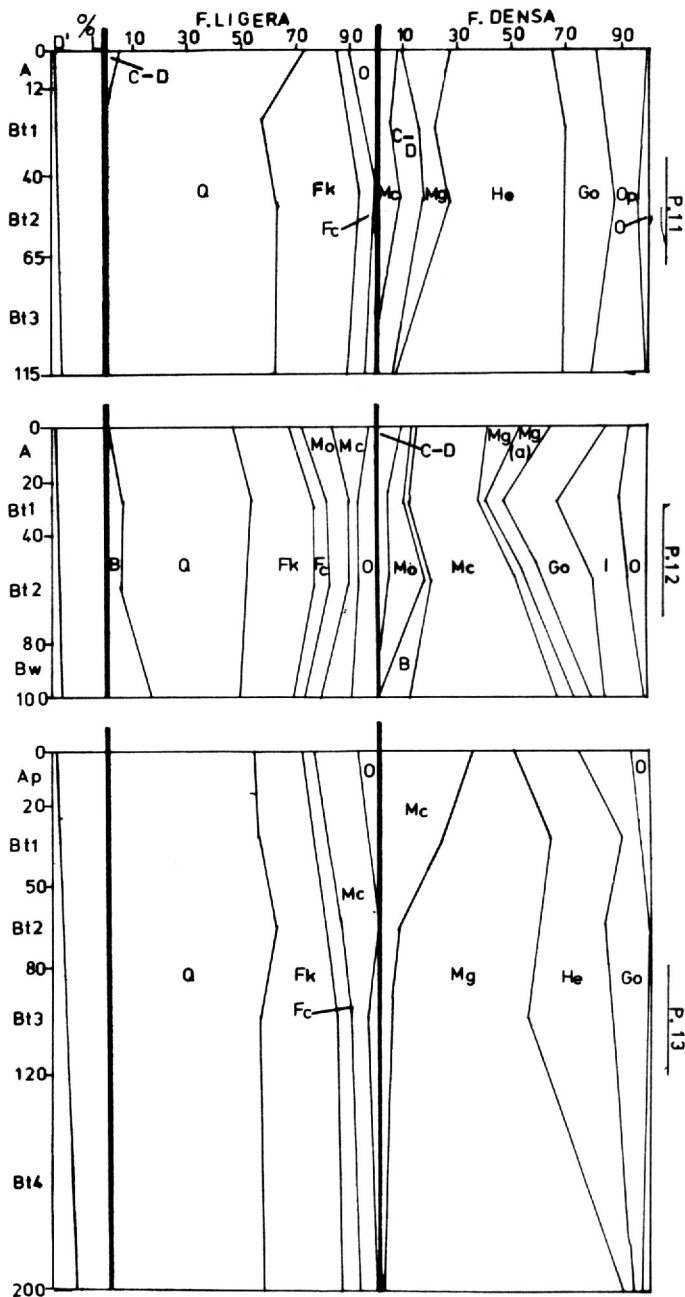


FIG. 1. Mineralogía de la fracción arena (400-50 μ m).

- | | | | |
|------------|---|---------------|--------------------------|
| L: ligeros | Q: Cuarzo | C: Calcita | Mo: Moscovita |
| D': densos | F _c : Feldespato calcosódico | D: Dolomita | B: Biotita |
| | F _k : Feldespato potásico | Mc: Micáceos | Op: Opacos de alteración |
| | Mg: Magnetita | Go: Goethita | He: Hematita |
| | I: Ilmenita | Tr: Tremolita | O: Otros. |
- F_k-T: Feldespato potásico con inclusiones de turmalina
 Mg (a): Magnetita alterándose a goethita (hematita en P. 8)
 M en los P. 2, 4, 5 y 7: Moscovita y biotita
 M en el P. 3: Moscovita, biotita y clorita.

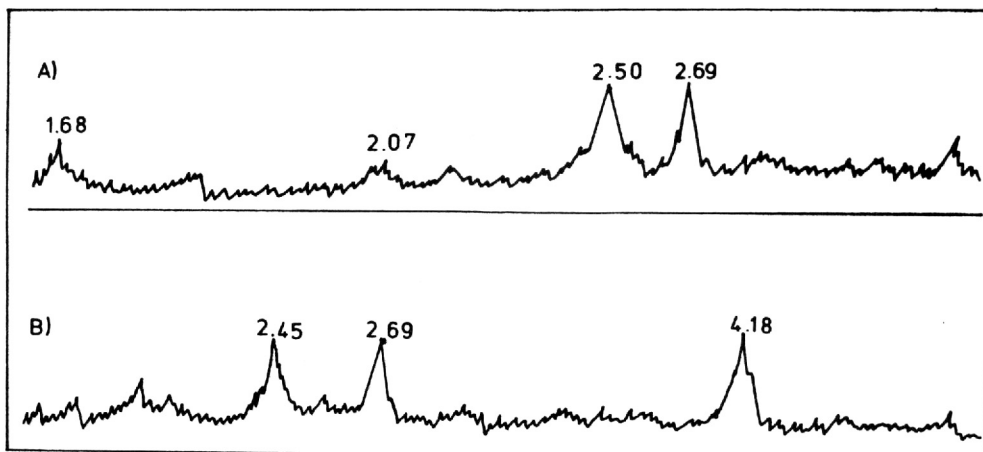


FIG. 2.—Difractogramas de los granos de color: A) rojo (hematita); B) pardo amarillento (goethita) del perfil 1. Los espaciados se expresan en Å.

cia en esta fracción. La naturaleza de ambas especies se corroboró por fluorescencia de rayos X (EDS). En orden de abundancia le siguen los óxidos de hierro: magnetita (9%) y hematita (11%). La turmalina como mineral aislado sólo alcanza un 2%, concentrándose en las fracciones más finas y la casiterita, mineral asociado al anterior, un 3.5%.

Fracción arcilla

La mineralogía de la fracción arcilla (Tabla 2) refleja también la contaminación de los suelos por otros materiales litológicos distintos de la roca subyacente, particularmente esquistos y pizarras. Esto resulta muy llamativo en los perfiles 2 y 3 en los que en la roca subyacente sólo

TABLA 1

Análisis mineralógico (DRX) de las rocas subyacentes a los perfiles.

Roca	Calcita	Cuarzo	Micas	Dolomita	Feldespato	Talco
Perfil 1	+++	+	+++	++	++	-
Perfil 2	++++	tr	tr	-	-	-
Perfil 3	++++	tr	tr	+++	-	-
Perfil 4	++++	tr	+	+++	-	-
Perfil 5	++++	-	tr	++	-	-
Perfil 6	++++	-	tr	-	-	-
Perfil 7	++++	-	tr	-	-	+
Perfil 8	++++	-	tr	-	-	-
Perfil 9	++++	-	+++	++	-	++
Perfil 10	++++	tr	tr	++	-	-
Perfil 11	++++	-	tr	-	-	-
Perfil 12	++++	-	tr	-	-	-
Perfil 13	++++	-	tr	-	-	-

TABLA 2

Mineralogía de la fracción arcilla.

P.	Hor.	Ilita	Vermiculita	Caolinita	Clo-rita	Incr. Verm	Tal-co	Esmec-tita	Cal-cita	Mineral Ferrimag-néico	Cuar-zo	Feldes-pato K	Goe-thita	Hema-tita	Gib-sita
1	Ah1	++	++++	tr	-	-	-	-	-	-	tr	tr	tr	-	-
	Ah2	+++	++++	-	-	-	-	-	-	-	-	-	tr	-	-
2	Ah1	++++	+	tr	tr	-	-	-	-	-	-	tr	-	tr	-
	Ah2	++++	tr	tr	-	-	-	-	-	-	-	tr	-	-	-
3	A	++++	+	tr	tr	-	-	-	-	-	tr	tr	tr	-	-
4	A	++++	tr	tr	-	-	-	-	++	tr	-	tr	tr	-	-
	AC	++++	-	-	-	-	-	-	++	tr	-	tr	tr	-	-
5	Ah1	++++	++	+	-	-	-	-	-	tr	tr	tr	tr	-	-
	Ah2	++++	++	++	-	-	-	-	-	tr	tr	tr	tr	-	-
	Bw	++++	++	++	-	-	-	-	-	tr	tr	tr	tr	-	-
6	A	++++	++	++	tr	++	-	-	-	-	tr	-	+	-	-
	Bw	++++	++	+++	tr	++	-	-	-	-	-	-	+	-	-
7	A	+	tr	+++	++	-	++	-	-	-	-	-	tr	-	-
	Bw1	+	tr	+++	++	-	++	-	-	-	-	-	tr	-	-
	Bw2	+	tr	+++	++	-	++	-	-	-	-	-	tr	-	-
8	A	+++	++	tr	-	++++	-	-	-	-	tr	tr	tr	-	-
	Bw	++++	+	+	-	tr	-	-	-	-	tr	tr	tr	-	-
9	A	tr	-	tr	-	-	-	++++	-	-	-	-	-	-	-
	BC	tr	-	tr	-	-	-	++++	-	-	-	-	-	-	-
10	Ah1	++++	+	+	-	-	-	-	-	-	tr	tr	tr	-	-
	Ah2	++++	+	+	-	-	-	-	-	-	tr	tr	tr	-	-
	Bt1	++++	+	+	-	-	-	-	-	-	tr	tr	tr	-	-
	Bt2	++++	+	+	-	-	-	-	-	-	tr	tr	tr	-	-
11	A	++++	++	+	tr	-	-	-	-	-	tr	tr	tr	tr	-
	Bt1	++++	-	+	+	-	-	-	-	-	tr	tr	tr	tr	-
	Bt2	++++	-	tr	tr	-	-	-	-	-	tr	tr	tr	tr	-
	Bt3	++++	-	++	+	-	-	-	-	-	tr	tr	tr	tr	-
12	A	+++	++++	++	-	-	-	-	-	-	-	tr	tr	-	-
	Bt1	++++	+++	++	-	-	-	-	-	-	-	tr	tr	-	-
	Bt2	++++	+++	++	-	-	-	-	-	-	-	tr	tr	-	-
	Bw	++++	+++	++	-	-	-	-	-	-	-	tr	tr	-	-
13	Ap	tr	++++	+++	-	++	-	-	-	-	-	tr	tr	-	tr
	Bt1	tr	+++	+++	-	++++	-	-	-	-	-	tr	tr	-	tr
	Bt2	++	++++	++	-	+++	-	-	-	-	-	tr	tr	-	tr
	Bt3	+++	++++	++	-	++	-	-	-	-	-	tr	tr	-	tr
	Bt4	+++	++++	++	-	+	-	-	-	-	-	tr	tr	-	tr

se han encontrado como minerales silicatados trazas de micas y de cuarzo (Tabla 1) mientras que en el suelo la illita constituye el mineral dominante de dicha fracción (Tabla 2); se reconocen además vermiculita y trazas de caolinita y clorita.

Entre los minerales no laminares se han identificado en el diagrama de polvo cristalino trazas de feldespato potásico y hematita en el perfil 2 y de cuarzo, feldespato potásico y goethita en el perfil 3.

En el perfil 1 el constituyente fundamental de la fracción arcilla es la vermiculita, acompañada por illita y únicamente en el subhorizonte Ah1

se detectaron indicios de caolinita, cuarzo, feldespato potásico y goethita (Tabla 2).

La vermiculita de este suelo muestra unas características muy típicas en difracción de rayos X. Presenta un pico bien definido a 14.25 Å en el diagrama de la muestra saturada en Mg, que se mantiene al solvatar con etilenglicol y colapsa totalmente a 10 Å tras la saturación en K, provocando un incremento en dicha reflexión (Fig. 3).

Este comportamiento no es el habitual en las vermiculitas de los suelos de Galicia, en su mayoría formados sobre rocas cristalinas ácidas,

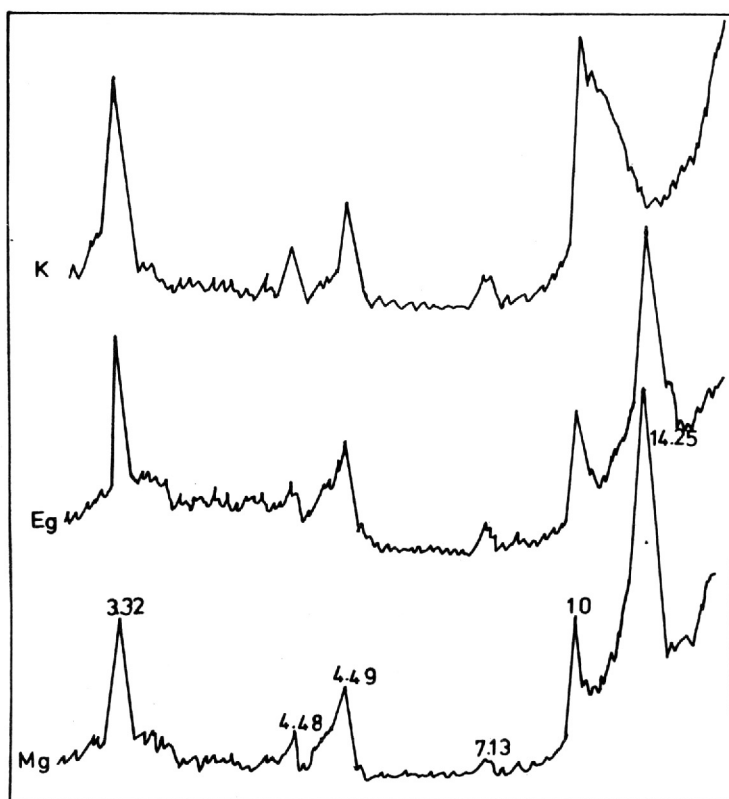


FIG. 3.—Diagramas de DRX de la fracción arcilla del perfil 1 (subhorizonte Ah1). Agregados orientados (Mg, Eg, K). (Espaciados en Å).

donde estos minerales constituyen el principal producto de alteración de las micas (junto a productos intergrados mica-vermiculita, vermiculita-clorita) siendo muy frecuentes sobre todo en los horizontes superficiales. Estas vermiculitas no colapsan al saturar en potasio siendo necesario normalmente, un calentamiento fuerte o un tratamiento previo con oxalato o citrato para que el efecto de 14 Å baje a la zona de los 10 Å. Esto se explica porque se trata de vermiculitas hidroxialumínicas (Macías *et al.*, 1982; Douglas, 1977) propias de medios ricos en aluminio, donde este elemento por efecto de los ácidos orgánicos es desplazado de las capas octaédricas y puesto en solución, quedando atrapado en el espacio interfoliar.

Sin embargo en los suelos presentados en este trabajo, la escasez de aluminio, que no se detecta ni como aluminio de cambio ni siquiera como óxido libre (Taboada, 1991) y el comportamiento de las vermiculitas nos llevan a concluir que se trata de vermiculitas con magnesio y/o calcio en la intercapa (Foster, 1963). Justo *et al.* (1987) encuentran indicios de vermiculita en calizas, pero indican que la vermiculita presente en los suelos desarrollados a partir de estos materiales, es fundamentalmente un producto de transformación de las micas.

En nuestro caso en las muestras de la roca subyacente analizadas (Tabla 1) se han encontrado fundamentalmente micas y una pequeña cantidad de cuarzo y feldespatos, pero no aparece vermiculita ni siquiera a nivel de trazas por lo que deducimos que la vermiculita encontrada en los suelos es un producto de transformación

de las micas, tanto de las procedentes de la caliza subyacente como de los aportes coluviales de esquistos o pizarra.

Suelos de perfil AC: Perfil 4

El perfil representativo de este grupo está ubicado en una zona montañosa (Pena Tallada, Barco de Valdeorras) intermedia entre la Sierra del Caurel y la cuenca del Sil. Esta formado sobre un depósito coluvial de materiales calizos pertenecientes a la formación de la Caliza de la Aquiana, que poseen dolomita, cuarzo y micas como minerales accesorios (Tabla 1).

Se encuentra situado en un pequeño rellano de una ladera de clase 6, por lo que al mismo tiempo que sufre fenómenos de erosión superficial, recibe aportes de materiales carbonatados de cotas superiores, lo que se pone de manifiesto por la presencia de gravas y piedras coluviales de caliza en el epipedon. Estos aportes junto con el carácter coluvial del material de partida justifican la permanencia en el perfil de los carbonatos, que se encuentran tanto en forma de Ca CO_3 equivalente (28.79% en A y 52% en AC) como activo (8.44% en A y 17.3% en AC).

Fracción arena

Los carbonatos, con un claro predominio de calcita sobre dolomita, son los minerales claramente dominantes de la fracción ligera de la arena, la cual supera con creces a la densa; también se encuentran en esta última, aunque con menor representación y en ambos casos se acrecientan con la profundidad (Fig. 1), lo que concuerda con el mayor conte-

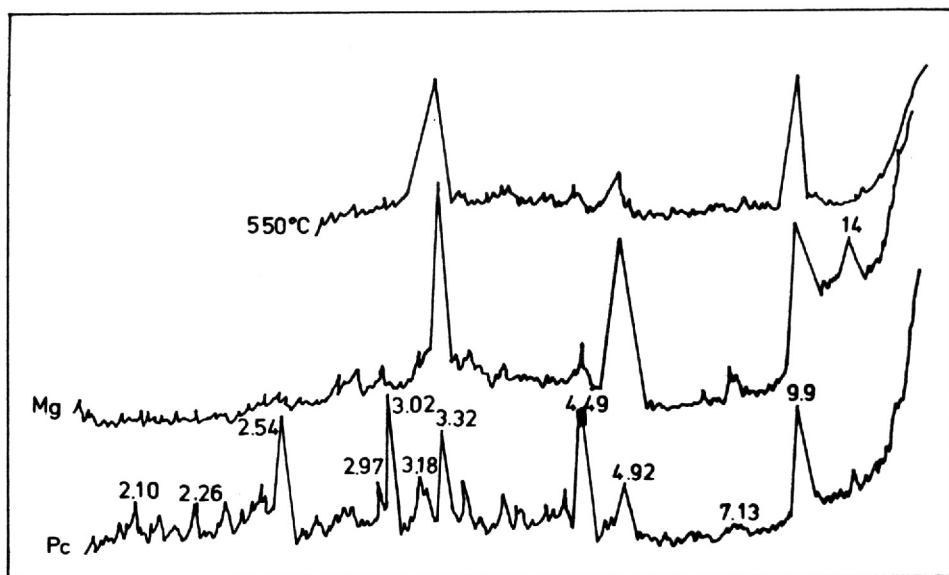


FIG. 4.—Diagramas de DRX de la fracción arcilla del perfil 4 (horizonte A). Polvo cristalino sin desferrificar y agregados orientados. (Espaciados en Å).

nido de gravas y piedras calizas en el horizonte AC. La presencia de carbonatos en la fracción densa se debe a que estos minerales (ya sea calcita o dolomita) contienen impurezas que hacen aumentar su densidad. El cuarzo y los feldspatos, calcosódicos y potásicos, por el contrario son más abundantes en el horizonte A.

La fracción densa está constituida fundamentalmente por óxidos de hierro (magnetita y goethita). La magnetita que disminuye con la profundidad se presenta de forma alotriomorfa y con manchas de color pardo amarillento que evidencian procesos de oxidación y posterior hidratación; la goethita mantiene una distribución uniforme en el perfil.

Fracción arcilla

Los minerales de la arcilla son fundamentalmente heredados, tal

como se puede observar al comparar los diagramas de DRX (Fig. 4) con la mineralogía del material coluvial subyacente (Tabla 1). Persisten en el suelo las micas (ilita), puestas de manifiesto por la permanencia de las intensas reflexiones a 9.9, 4.92 y 3.32 Å tras los distintos tratamientos a los que ha sido sometida la muestra y la calcita identificada en el diagrama de polvo cristalino por la aparición de las reflexiones a 3.02, 2.26 y 2.10 Å; únicamente en la parte superior del perfil se observan trazas de vermiculita y caolinita.

El carbonato cálcico es considerado por diversos autores como un freno o un estabilizador en la evolución de los minerales de la arcilla frente a los agentes que puedan provocar su alteración, de manera que, mientras la caliza no sea eliminada del suelo por disolución, no se produce variación en la composición mineralógica de esta fracción (Yaa-

lon, 1955; Barshad, 1966). Sin embargo Alfás y Hernández (1982) señalan como principal proceso evolutivo de los minerales de la arcilla en suelos que contienen caliza activa, la transformación de micas en vermiculitas.

Existen además en esta fracción trazas de feldespatos, goethita y de un mineral ferrimagnético de tipo magnetita y/o maghemita puesto de manifiesto por la presencia de reflexiones a 2.54, 2.10 y 2.97 Å en el diagrama de polvo cristalino de la muestra sin desferrificar (Fig. 4). La distinción entre magnetita y maghemita por difracción de rayos X no es posible y el análisis térmico diferencial (ATD) sólo ha dejado clara la presencia de la magnetita. Sin embargo, dado que en este perfil se han observado huellas de quemado no descartamos la existencia de maghemita, cuyo origen podría ser la transformación, a causa del incendio, de cualquier óxido de hierro preexistente (Schwertmann y Heinemann, 1959).

Suelos con horizonte B: Perfiles 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13

El material subyacente al perfil 5 (Barco de Valdeorras) corresponde a la formación de las Calizas de la Aquiana, el de los perfiles 6 (Mondoñedo), 8, 12 (Sarria), 10 (Beceerreá) y 13 (Meira) a la Caliza de Vegadeo y finalmente el de los perfiles 11 (Sierra del Caurel), 7 y 9 (ambos en Puertomarín) a la formación de Cándana. Se trata en todos los casos de calizas marmóreas y muy recristalizadas, pero a pesar de esto y de las pendientes acusadas en las que se encuentran (clases 5 y 6, excepto

los perfiles 9 y 13 en clase 3), los suelos de este grupo se caracterizan por ser profundos y con horizonte B bien desarrollado. Esto es debido a que su formación ha tenido lugar en pequeños replanos de ladera (perfil 7) o entre las fisuras de las rocas (perfiles 5, 6, 8, 10, 11, 12), es decir en áreas donde existe una cierta estabilidad y los productos de alteración quedan retenidos. En cualquier caso, los aportes se hacen evidentes tanto a nivel morfológico como micromorfológico por la presencia de gravas y piedras de caliza, esquisto y cuarcita, reflejándose también en la composición mineralógica de las fracciones arena y arcilla.

Dentro de este grupo se incluyen, como hemos señalado anteriormente, unos suelos con un grado de desarrollo moderado, descarbonatación incompleta y en los que el horizonte B es un Bw (perfiles 5, 6, 7, 8 y 9) y otros con una mayor evolución a nivel morfológico y químico, completamente descarbonatados (perfiles 10, 11 y 12) e incluso descalcificados (perfil 13) en los que el horizonte B presenta una acumulación de arcilla (horizonte Bt). Sin embargo a nivel mineralógico prácticamente no hay diferencias entre ellos por lo que se comentan conjuntamente.

Fracción arena

El rasgo más destacable y común en la composición mineralógica de la fracción arena (Fig. 1) es el predominio de los minerales primarios, especialmente ligeros. Así cuarzo, feldespatos y carbonatos están presentes en todos ellos; entre los carbonatos predomina claramente la calcita, excepto en los perfiles 5 y 9 donde la dolomita supone aproxi-

madamente la tercera parte. Otras especies mineralógicas comunes son las micas (moscovita y/o biotita en su mayoría cloritizada), los fragmentos rocosos (esquisto y pizarra, que en las gráficas figuran como micáceos) y en ocasiones opacos de alteración. No obstante, existen ciertas diferencias en lo que se refiere a la proporción y distribución de estos minerales en los distintos perfiles, como puede verse en la figura 1.

Los carbonatos son mucho más abundantes en los perfiles 5, 6, 7, 8 y 9, los cuales mantienen cantidades relativamente importantes de carbonato cálcico, tanto equivalente como activo, frente al resto de los suelos que están totalmente descarbonatados.

La fracción densa presenta una composición similar en todos los perfiles. Así, los óxidos de hierro (magnetita, goethita y/o hematita y en raras ocasiones ilmenita) están presentes en mayor o menor cantidad en todos estos suelos y son los constituyentes esenciales de esta fracción excepto en los perfiles 5, 7 y 9. En el 5 son los carbonatos las especies mayoritarias y en el 7 y 9, destaca por su abundancia la tremolita.

La presencia de micas, micáceos y carbonatos (esencialmente calcita), aunque generalmente en escasas proporciones, es bastante común en todos ellos, así como la de turmalina y opacos de alteración. Aparecen escasamente representados y sólo en algunos perfiles: horblenda, esfena, circón, casiterita, rutilo y clorita.

En cuanto al origen de la tremolita, así como el del talco (componente de la fracción arcilla del perfil 7, como veremos más adelante), estos minerales se consideran here-

dados de la roca, a pesar de que en el análisis mineralógico de las rocas subyacentes a estos perfiles sólo se ha identificado talco y no se detectó tremolita, citándose ambos minerales como componentes accesorios de las calizas de Puertomarín (I.G.M.E., 1982). La ausencia de tremolita en las rocas analizadas puede ser debida a que este mineral no se encuentre uniformemente distribuido y por eso no ha sido encontrado en los fragmentos examinados. La presencia de talco y tremolita en calizas es considerada como el resultado de un proceso de metamorfismo térmico de bajo grado, sobre dolomitas silíceas (Deer *et al.*, 1964).

Con respecto a los óxidos de hierro, tanto de este grupo de suelos como de los anteriores, que tampoco se han encontrado en las muestras de rocas analizadas, se consideran también heredados del material de partida, ya que en la leyenda de los mapas geológicos (IGME, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982) respectivos, se menciona la existencia de minerales opacos.

Fracción arcilla

El análisis de la fracción arcilla (Tabla 2) refleja, así mismo, la escasa evolución mineralógica. Predominan los minerales heredados o ligeramente transformados, siendo muy escasos los de neoformación entre los que se encuentra la caolinita. La ilita generalmente es el constituyente mayoritario y solo en ocasiones es superada por sus productos de transformación: vermiculita o por interestratificados ilita-vermiculita. Estos productos de degradación de la ilita se han identificado en base a los efectos de 11.7 y 14 Å que presentan las muestras saturadas en

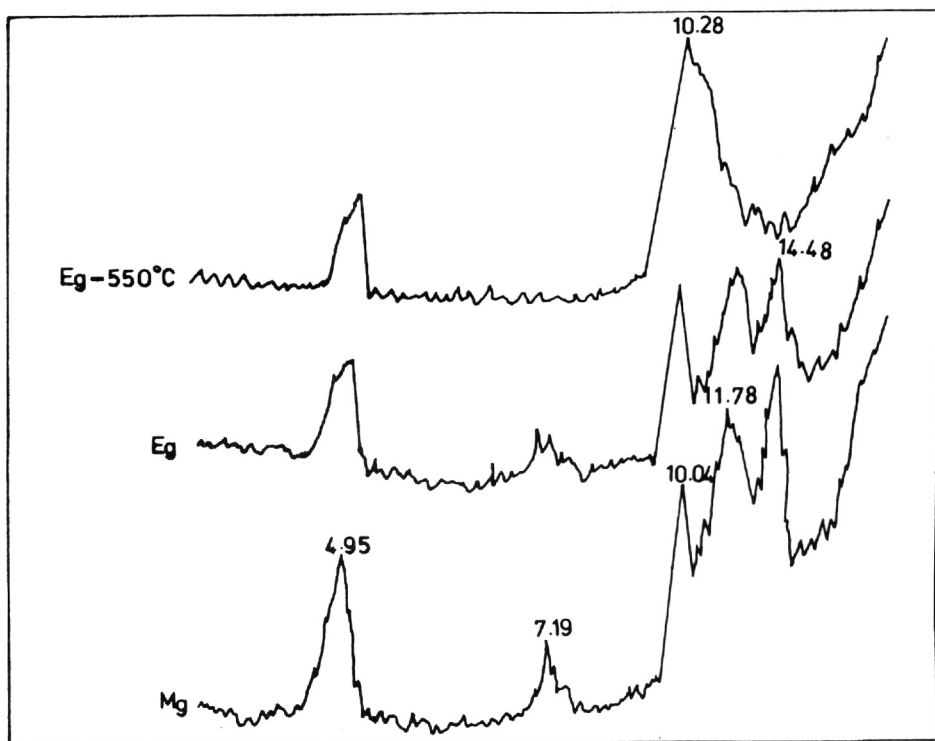


FIG. 5.—Diagramas de DRX de la fracción arcilla del perfil 8 (horizonte A). Agregados orientados (Mg, Eg y calcinados). (Espaciados en Å).

magnesio, los cuales persisten tras el tratamiento con etilenglicol, y colapsan a 10 Å al calentar a 550 °C, provocando un incremento en la intensidad del efecto de la illita (Fig. 5).

Destaca sin embargo la diversidad mineralógica de los suelos (Tabla 2) frente a la uniformidad de las rocas subyacentes (Tabla 1). En todas las rocas la calcita es el mineral fundamental, acompañado en ocasiones por pequeñas cantidades de dolomita (perfiles 5, 9 y 10). Los minerales silicatados en general son muy escasos, pues sólo se detectan trazas de micas (excepto en el perfil 9) y en ocasiones de cuarzo y talco (perfiles 10 y 7 respectivamente).

La roca subyacente al perfil 9

es la única que contiene cantidades relativamente considerables de micas (biotita) y de talco. En el suelo la fracción arcilla está dominada por un mineral cuyo comportamiento en DRX corresponde al de una esmectita trioctaédrica (Fig. 7). Presenta un efecto de primer orden a 12.10 Å en el diagrama de agregado orientado saturado con magnesio, que se desplaza a 17 Å al saturar con etilenglicol, apareciendo nuevas reflexiones basales a 8.5 y 5.6 Å; el efecto de 17 Å tras calentamiento a 550 °C pasa a 10 Å. Al saturar en potasio el espaciado (001) decrece presentándose a 12.10 Å, mientras que al calentar a 500 °C se desplaza a 10 Å, presentando una banda ancha poco definida. El origen de este mineral

se atribuye a la transformación de la biotita, ya que esta es el mineral silicatado más frecuente en el material original. En medios ricos en Ca^{++} y Mg^{++} , estos iones pueden sustituir al potasio interfoliar, al mismo tiempo que se produce la oxidación del hierro de las capas octaédricas, provocando una degradación limitada de los estratos, originándose así una transformación de las micas en minerales esmectíticos por sustitución de iones (Paquet, 1969).

En los demás suelos existe illita, caolinita, vermiculita y en ocasiones algo de clorita e interestratificados illita-vermiculita. En los perfiles 5, 6, 10 y 11 domina la illita y en el 7 la caolinita, que va acompañada de cantidades nada despreciables de talco y clorita. En el 8 y 12 la illita es mayoritaria en el horizonte B, mientras que en el A predomina un interestratificado illita-vermiculita en el primer caso (Fig. 5) y vermiculita en el segundo. En el 13 existe un claro

predominio de los minerales transformados (vermiculita e interestratificados illita-vermiculita) sobre la illita.

Entre los minerales no laminares la presencia de trazas de goethita y feldspatos es bastante común en estos suelos; no lo es sin embargo la del cuarzo, pues sólo se detectaron trazas en los perfiles 5, 6, 8, 10 y 11 y la de hematita y gibsita que aparecen exclusivamente en los perfiles 11 y 13 respectivamente.

En el perfil 5 se encontraron trazas de un mineral ferrimagnético (magnetita o maghemita) puesto de manifiesto por DRX (del mismo modo que en el perfil 4). Para tratar de determinar su naturaleza exacta se sometió la arcilla a ATD, cuyo resultado se presenta en la figura 6. Aparece un amplio endotermo aproximadamente a 100°C producido por la pérdida de agua de hidratación, que en gran medida puede ser debida a la vermiculita, que enlaza con un exotermo con máximo a

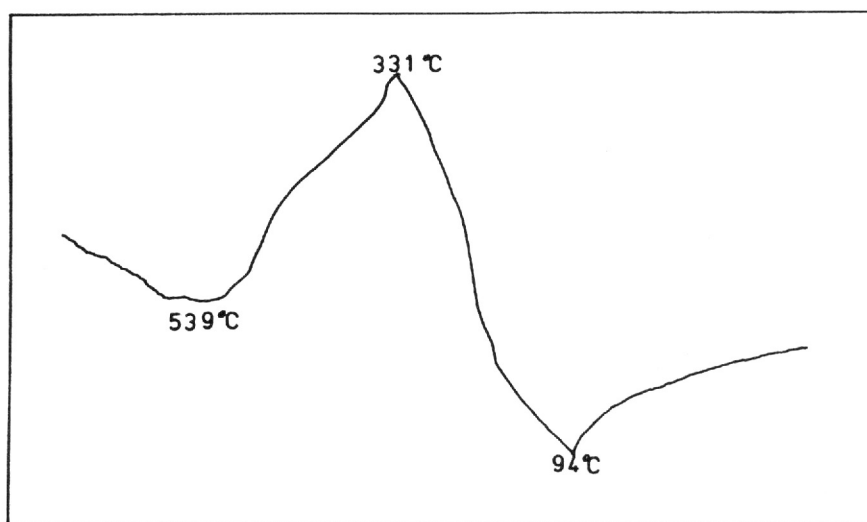


FIG. 6.— Diagrama de ATD de la fracción arcilla del horizonte Bw del perfil 5.

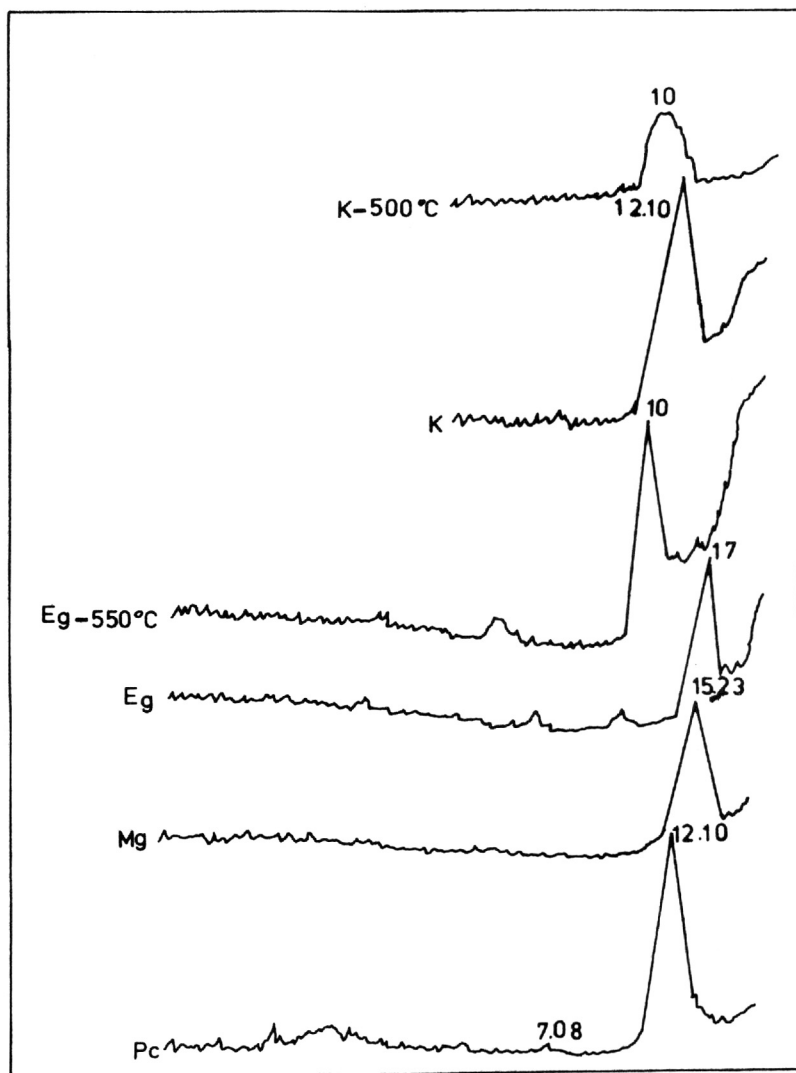


FIG. 7.—Diagramas de DRX de la fracción arcilla del perfil 9 (polvo cristalino y agregados orientados saturados en Mg, K y calcinados). Los espaciados se expresan en Å.

330 °C, que puede ser atribuido a la oxidación del hierro ferroso de la magnetita (transformación de la magnetita, Fe_2O_4 , en maghemita, $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$); el último endotermo a 539 °C, se atribuye a la deshidroxilación de la caolinita. Sin embargo no se ha observado el efecto más carac-

terístico de la maghemita, un exotermo alrededor de 750 °C (Mackenzie, 1970). Estos resultados sirven para confirmar la presencia inequívoca de magnetita, pero no son suficientes para descartar la existencia de maghemita, de baja cristalinidad, cuyo origen podría ser la oxidación direc-

ta de la magnetita primaria, o la recristalización a partir de otras formas de hierro no magnéticas en sucesivos ciclos de humectación y secado (Schwertmann y Taylor, 1977).

Ante esta variedad de especies mineralógicas, frente a la escasez de minerales silicatados en la roca, resulta difícil explicar la formación de los suelos única y exclusivamente

a partir de la caliza, aún cuando no cabe duda de que esta tiene una influencia importante. Esto y su posición topográfica nos lleva a admitir que en su génesis han participado también materiales de origen coluvial, en particular pizarras y cuarcitas, descritos tan frecuentemente a nivel morfológico y micromorfológico.

CONCLUSIONES

La composición mineralógica del conjunto de suelos estudiados en comparación con la mineralogía de la caliza subyacente, pone de manifiesto una importante contaminación de los mismos por los otros materiales, especialmente esquistos, pizarras y cuarcitas, debido tanto a su posición topográfica como a la estrechez de las bandas de caliza dentro del complejo metamórfico.

El distinto grado de desarrollo de los suelos a nivel morfológico y químico, que nos ha llevado a separarlos en tres grupos, no se refleja de forma importante en la mineralogía, ya que todos ellos poseen prácticamente las mismas especies mineralógicas, existiendo únicamente pequeñas diferencias en su proporción.

La evolución mineralógica es muy escasa. La arcilla está constituida principalmente por minerales heredados, siendo la illita el mineral fundamental, que procede de las micas de la caliza subyacente o de los materiales adyacentes contaminantes. Frecuentemente tiene lugar una evolución de la illita hacia vermiculita o hacia interstratificados illita-vermiculita y en uno de los suelos hacia esmectita. Los minerales de neoforación son realmente escasos.

En la arena predominan los minerales primarios. Cuando la descarbonatación es incompleta, los carbonatos, mayoritariamente calcita, constituyen las especies dominantes. Si la descarbonatación es total, el cuarzo y los feldespatos son los minerales mayoritarios.

Los óxidos de hierro cristalinos (magnetita, goethita y hematita) cuyo origen es el heredado de la roca, son relativamente comunes en estos suelos, donde se han identificado tanto en la arena como en la arcilla, aunque los compuestos de hierro mejor cristalizados se encuentran en las fracciones más gruesas como partículas individuales, siendo los componentes fundamentales de la fracción densa de la arena.

Este dato señalado también por Barral *et al.* (1988) es un hecho diferenciador de los suelos calizos con respecto a los demás suelos de Galicia formados sobre otros materiales, en los cuales los óxidos de hierro suelen encontrarse en estado no cristalino o cuando aparecen cristalizados están en tan pequeño tamaño de partícula que prácticamente no resultan detectables por difracción de rayos X (Villar *et al.*, 1983).

BIBLIOGRAFIA

- ALIAS, L. J. y HERNANDEZ, J., 1982. La fracción arcilla de suelos de alta montaña sobre rocas carbonatadas. III. Rendolls. An. Edafol. Agrobiol., 41: 2177-2186.
- BARRAL, M. T., TABOADA, M. T. y GUITIAN, F., 1988. Caracterización química y mineralógica de las formas de hierro en suelos sobre sustrato calizo de Galicia (NW de España). An. Edafol. Agrobiol., 47: 1303-1323.
- BARSHAD, I., 1966. Factors affecting the frequency distribution of clay minerals in soils. Proc. of the forth. Nat. Conf. Clays and Clay Minerals. Berkeley. California. 26: 207. Pergamon Press.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. and ZUSSMAN, J., 1964. Rock-forming minerals. V. 3, Sheet Silicates. Longmans. Gran Bretaña.
- DOEGLAS, D. J., FAVEJEE, J. CH. L., NOTA, D. J. G. and VAN DER PLAS, L., 1965. On the identification of feldspats in soils. Med. Ladoowhagerched Wageningen, 65: 1-14.
- DOUGLAS, L. A., 1977. Vermiculites In: Minerals in Soil Environments. J. B. Dixon y S. B. WEED (Eds). 259-292. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin. USA.
- FOSTER, M. D., 1963. Interpretation of the composition of vermiculites and hydrobiotites. Clays and Clay Miner., 10: 70-89.
- I.G.M.E., 1978. Mapa 1:50.000 y memoria hoja 24. Inst. Geol. Min. Esp. Madrid.
- I.G.M.E., 1979. Mapa 1:50.000 y memoria hoja 48. Inst. Geol. Min. Esp. Madrid.
- I.G.M.E., 1980. Mapas 1:50.000 y memorias hojas 99 y 124. Inst. Geol. Min. Esp. Madrid.
- I.G.M.E., 1981. Mapa 1:50.000 y memoria hoja 190. Inst. Geol. Min. Esp. Madrid.
- I.G.M.E., 1982. Mapa 1:50.000 y memoria hoja 123. Inst. Geol. Min. Esp. Madrid.
- JUSTO, A., MAQUEDA, C., PEREZ-RODRIGUEZ, J. L. and LAGALY, G., 1987. An unusually expandable low-charge vermiculite. Clay Miner. Bull., 22: 319-327.
- MACIAS, F., GARCIA, C. y GARCIA-RODEJA, E., 1982. Mineralogía de las arcillas en suelos y alteraciones sobre materiales graníticos de Galicia. Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe, 2: 387-414.
- MARTIN POZAS, J. M., MARTIN VIVALDI, J. L. y RODRIGUEZ GALLEGO, M. 1969. Análisis cuantitativo de filosilicatos de la arcilla por difracción de rayos X. An. Real Soc. Esp. Fis. y Quim. Serie B, 55: 109-112.
- MARTIN VIVALDI, J. L. y RODRIGUEZ GALLEGO, M., 1964. Estudio mineralógico de la fracción arcilla de los suelos de la Vega de Granada. An. Edafol. Agrobiol., 23: 485-497.
- McKENZIE, R. M., 1970. Differential Thermal Analysis. I. Fundamental aspects. Academic Press. Londres.
- MITCHELL, W. A., 1959. Quantitative analysis by X-ray powder methods. Miner. Mag., 32: 492-499.
- PAQUET, H., 1969. Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranées et tropicaux a saisons contrastées. Tesis Doct. Sc. Estrasburgo.
- SCHWERTMANN, U. and HEINEMANN, B., 1959. Über das Vorkommen und die Entstehung von Maghemit in nordwest deutschen Boden. Neues Jb. Miner. Mh, 8: 174-181.
- SCHWERTMANN, U. and TAYLOR, R. M., 1977. Iron oxides. In: Minerals in Soil

- Environments, J. B. Dixon y S. B. Weed (Eds). 145-180. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- TABOADA CASTRO, M. T. 1991. Caracterización de los suelos formados sobre calizas en Galicia. Tesis Doctoral. Servicio de Publicaciones. Universidad de Santiago.
- VILLAR CELORIO, M. C., SILVA HERMO, B. y MACIAS VAZQUEZ, F., 1983. Composición mineralógica de los suelos del área de Mera (Las Mariñas). Relación con los factores edafogenéticos. Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe, 5: 281-308.
- YAALON, D. H., 1955. Clays and some non carbonate minerals in limestone and associated soils of Israel. Bull. Res. Coun of Israel, 58: 161-173.

Recibido: 19-10-90.

Aceptado: 16-9-91.