

Evolución de la facies de borde del macizo granítico de Porriño durante las fases de meteorización y edafogénesis

T. TABOADA RODRÍGUEZ & C. GARCÍA PAZ

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

(Recibido, abril de 1997. Aceptado, mayo de 1997)

Resumen

TABOADA RODRÍGUEZ, T. & GARCÍA PAZ, C. (1997). Evolución de la facies de borde del macizo granítico de Porriño durante las fases de meteorización y edafogénesis. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 7: 111-120

Se realiza un estudio microestructural, mineralógico y geoquímico de las transformaciones que sufre una roca granítica inequigranular de grano grueso durante las fases de meteorización y edafogénesis en la zona suroccidental de Galicia. Actualmente la precipitación media anual en la zona es de 1715 mm y la temperatura media anual de 14°C. En la fase de meteorización se producen cambios mineralógicos importantes, ya que las plagioclasas evolucionan hacia filosilicatos 1:1 dioctaédricos y las biotitas dan lugar a minerales vermiculíticos, mientras el feldespato potásico y el cuarzo permanecen prácticamente inalterados; las transformaciones microestructurales son fundamentalmente pseudomórficas. La edafización está marcada por importantes cambios microestructurales y por la presencia de continuos rejuvenecimientos en el perfil. Los horizontes BC y BA presentan distribución relacionada porfírica y el A enáulica. Las microestructuras, son: de granos compactos en el horizonte BC, esponjosa en el BA y de microagregados entre granos en el A.

Palabras clave: Granito, meteorización, micromorfología, mineralogía, Galicia, España.

Abstract

TABOADA RODRÍGUEZ, T. & GARCÍA PAZ, C. (1997). Evolution of the «Porriño» granite during weathering and pedogenesis. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 7: 111-120

Microstructural, mineralogical and geochemical transformations during the weathering and pedogenesis of an inequigranular, coarse grained, granitic rock are presented. The studied profile is located in the SW of Galicia, where present time mean total annual precipitation is 1715 mm and mean annual temperature is 14°C. During the weathering step important mineralogical transformations took place: plagioclases weather to dioctahedral 1:1 phyllosilicates and biotites to vermiculitic minerals, while K-feldspar and quartz remain almost unaltered. Microstructural transformation is mainly pseudomorphic. Pedogenetic processes are characterized by a rejuvenation with an enrichment in fresh minerals, together with marked microstructural changes compared to saprolite. Related distribution is porphyric in BC and BA horizons and enaulic in the A horizon. Microstructure of the BC horizon is of compact grain, spongy in BA and with intergrain microaggregates in A.

Key words: Granite, weathering, micromorphology, mineralogy, Galicia, Spain.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se estudian las transformaciones microestructurales, mineralógicas y geoquímicas que se producen durante la meteorización y edafización en una roca granítica perteneciente a la facies inequigranular de grano grueso que aparece en los bordes del macizo de Porriño. Esta facies, desde el punto de vista químico, tiene un contenido en potasio mayor que la facies común (biotítico-anfibólica); el feldespato potásico y la plagioclasa se encuentran en proporciones equivalentes o bien abunda más el feldespato potásico, por lo que la roca se podría clasificar como adamellita o como granito con potasificación (ABRIL HURTADO *et al.*, 1985).

El clima actual de la zona se caracteriza por una precipitación media anual de 1715mm y una temperatura media anual de 14°C; estos datos corresponden a la estación meteorológica de Granxa do Louro (O Porriño) y están recogidos en CARBALLEIRA *et al.* (1983). El clima del suelo, teniendo en cuenta los criterios de la Soil Taxonomy (SOIL CONSERVATION SERVICE, 1975) y las modificaciones para el régimen de humedad propuestas por MARTÍNEZ CORTIZAS (1988) y MARTÍNEZ CORTIZAS & CARBALLEIRA (1988), presenta un régimen de temperatura térmico y un régimen hídrico xérico de transición.

Los suelos desarrollados sobre este granito son generalmente de tipo Regosol y Cambisol. Para este estudio se ha seleccionado un perfil representativo de los suelos más evolucionados del entorno.

MATERIAL Y MÉTODOS

El perfil seleccionado para este estudio se encuentra en una ladera con pendiente clase 4, orientación oeste y a una altitud de 120m, siendo sus coordenadas aproximadas 42°07'10"N-8°35'25"W. El perfil consta de los siguientes horizontes:

Hor. Prof.(cm)

- A 0-48 Horizonte mineral rico en materia orgánica. Pardo oscuro 10YR 3/3 (h) y pardo oscuro 10YR 4/4 (s). Franco arenoso. Estructura migajosa, ligeramente adherente y ligeramente plástico, muy friable y suelto. Abundantes raíces que descienden con la profundidad. Las gravas suponen el 37% en peso de la muestra. El límite con el horizonte BA es gradual.
- BA 48-100 Horizonte mineral. Pardo oscuro 10YR 4/3 (h) y pardo amarillento 10YR 5/4 (s). Franco arenoso. Estructura migajosa, ligeramente adherente y ligeramente plástico, muy friable y suelto. Las gravas suponen el 40% en peso. El límite es gradual.
- BC 100-140 Horizonte mineral. Pardo amarillento oscuro 10YR 4/6 (h) y pardo amarillento claro 10YR 6/4 (s). Franco arenoso. Ligeramente adherente y ligeramente plástico, muy friable y suelto. Aparecen muy pocas raíces pero muy gruesas. Presenta un 45% de gravas y el límite con la saprolita es gradual.
- C 140-182 Saprolita de color pardo pálido 10YR 6/3 (h) y pardo muy pálido 10YR 7/3 (s). Arenoso franco, con un 30% de gravas.
- Roca alterada Roca granítica compacta con alteración incipiente.
- Roca fresca Granito de grano grueso inequigranular con tendencia porfídica. Los cristales de menor tamaño son los de biotita que, por lo general, aparecen agrupados.

Se tomaron y analizaron muestras de los horizontes edáficos, de la saprolita, de la roca alterada y de la roca fresca. Las muestras

disgregables se recogieron en cajas de Kubiena, procurando no alterar su estructura y anotando su orientación.

El estudio realizado comprende determinaciones de pH en agua y KCl, contenido en C, análisis mecánico (GUITIÁN OJEA & CARBALLAS, 1976), capacidad de intercambio catiónico (PEECH *et al.*, 1947), cálculo de la densidad real (GUITIÁN OJEA & CARBALLAS, 1976) y de la densidad aparente (en las saprolitas mediante picnómetro, en muestras secas al aire e impermeabilizadas con una laca y en los horizontes edáficos con camisas de densidad), observación al microscopio petrográfico de láminas delgadas y análisis por D.R.X y A.T.D. de las muestras totales (que incluye también la fracción superior a 2 mm) y de las fracciones arena, limo y arcilla en el caso de las muestras disgregables. Las descripciones microestructurales siguen la terminología de STOOPS *et al.* (1979) y BULLOCK *et al.* (1984).

Con objeto de estudiar las transformaciones químicas que se producen en la roca granítica se realizan análisis químicos totales (GUITIÁN RIVERA, 1984) de las distintas muestras del perfil y determinaciones del pH de abrasión y de la concentración de cationes de la disolución de abrasión (GRANT, 1969).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos generales del suelo se presentan en la Tabla I, en donde puede observarse cómo los valores de pH en agua son próximos a 5 y los de pH en KCl cercanos a 4.5, lo que indica que se trata de un suelo ácido con el complejo de cambio dominado por Al; esto se corrobora con los datos de la capacidad de cambio en la que el Al supone más del 60%.

Según el sistema de clasificación F.A.O. el perfil es un Cambisol húmico.

Evolución micromorfológica

La observación microscópica indica que la roca original es un granito calcoalcalino con biotita, inequigranular con tendencia porfídica (Fig. 1). Está constituido por megacristales de

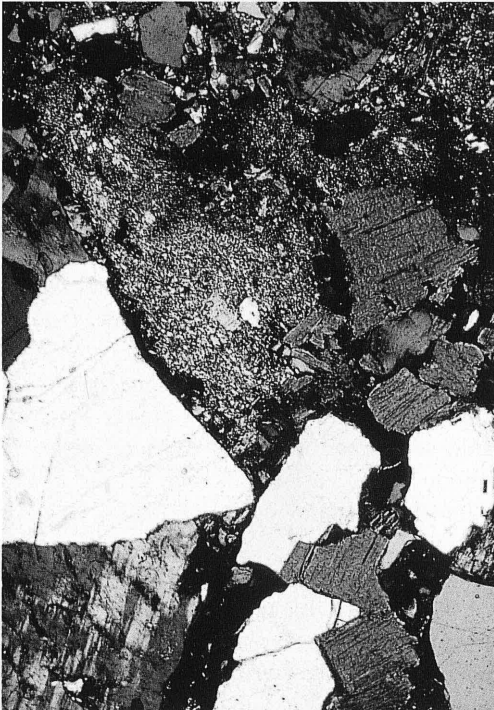
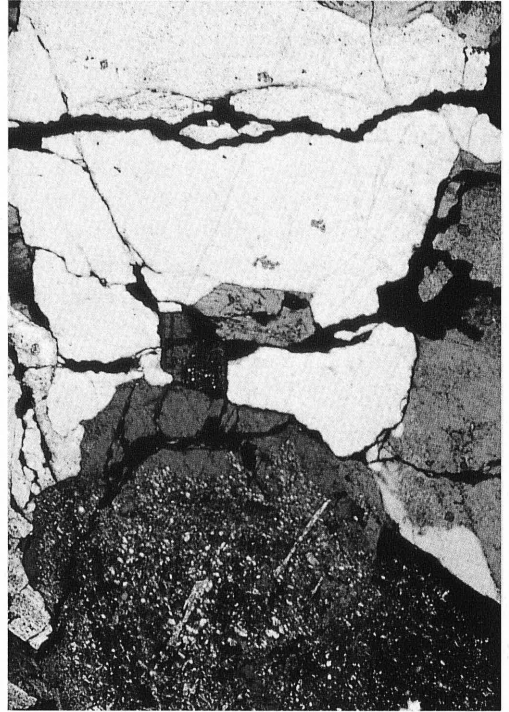
microclina perfitica; plagioclasas (de términos oligoclasa) seritizadas, identificándose claramente en su interior pequeños cristallitos de moscovita, aunque es posible que también exista caolín, ya que este mineral aparece como trazas en la roca fresca; cuarzo alotriomorfo con extinción ondulante y con algunos intercrecimientos mirmequíticos y biotita de color pardo verdoso. Los minerales accesorios son clorita, circón, calcita, fluorita, esfena, casiterita y opacos (sulfuros, magnetita y otros oxi-hidróxidos de color pardo rojizo; estos últimos compuestos se encuentran con frecuencia rellenando los huecos inter- e intraminerales).

La roca alterada compacta presenta muy pocas variaciones respecto a la fresca y sólo cabe mencionar la aparición de fracturas, fundamentalmente transminerales (Fig. 2), que pueden estar parcialmente rellenas por películas de oxi-hidróxidos de hierro.

En la saprolita (Fig. 3) se conserva la estructura de roca. Los primeros minerales que se alteran, las plagioclasas, lo hacen pseudomórficamente, aunque no se puede precisar el modelo de alteración que siguen debido a su seritización previa. El cambio morfológico en las biotitas consiste inicialmente en una débil fracturación, siguiendo el modelo lineal paralelo de grado I definido por STOOPS *et al.* (1979), y en la formación de microfisuras perpendiculares a las líneas de exfoliación.

La resistencia a la alteración de los feldespatos potásicos es siempre mayor que la de las plagioclasas y aquí se ve favorecida por su gran tamaño de grano, lo que supone una menor superficie de ataque. En los granos de cuarzo sólo se aprecia una débil fracturación y, por último, como curiosidad, cabe señalar la clara alteración pseudomórfica que sufre la esfena hacia leucoxeno.

A medida que progresa la edafización aumenta, aunque ligeramente, el porcentaje de fracciones finas, sobre todo el limo a expensas de la fracturación de las micas, y se produce una reorganización de toda esta fracción que da lugar a un horizonte edáfico (BC) (Fig. 4) con distribución relacionada porfirica simple, con zonas de



Figs. 1 a 4: 1. Roca granítica fresca. Nícoles cruzados x 52.- 2. Fisuras en la roca alterada. Nícoles cruzados x 52.- 3. Saprolita. Nícoles cruzados x 52.- 4. Horizonte BC. Nícoles cruzados x 52.

TABLA I. Datos generales del perfil

Hor.	pH H ₂ O	pH KCl	%C	Ca	Mg	Na	K	Al	S	CICe	%Al
A	4.6	4.4	2.8	0.29	0.09	0.11	0.24	1.68	0.73	2.41	69.7
BA	4.9	4.6	1.0	0.16	0.15	0.14	0.23	1.06	0.68	1.74	60.9
BC	4.9	4.1	0.4	0.17	0.33	0.20	0.17	1.65	0.87	2.52	65.5
C	5.2	3.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-

C= carbono. Ca, Mg, Na, K y Al = Cationes del complejo de cambio en cmol(+)kg⁻¹. S= Suma de base. CICe= Capacidad de intercambio catiónico efectiva. Al(%)= Porcentaje de saturación en Al del complejo de cambio.

tendencia quitónica y microestructura en granos compactos con cierta tendencia pelicular, en la que las películas están formadas por material arcillo-limoso. Los granos minerales que constituyen el esqueleto son, fundamentalmente, feldespatos potásicos, cuarzos y minerales micáceos con una alteración de grado 3; también empiezan a aparecer en este horizonte escasos cristales de plagioclasas frescos (en la saprolita las plagioclasas ya estaban muy alteradas).

En el horizonte BA, entre los restos orgánicos se identifican raíces, carbones y «pellets», debiéndose a estos últimos el que en algunas zonas la distribución relacionada de este horizonte tenga tendencia enáulica, aunque continúa siendo porfírica como en el horizonte inferior; la microestructura es esponjosa. Aparecen en este horizonte granos de minerales frescos de tamaño arena, probablemente debido a aportes, entre los que destacan los de plagioclasas, que aunque no son muy abundantes su proporción aumenta respecto al horizonte BC.

En el Horizonte A la distribución relacionada es enáulica y la microestructura de microagregados entre granos.

Evolución mineralógica

El estudio mineralógico por D.R.X confirma el descenso de los contenidos en plagioclasas, biotita y clorita (Tabla II) a medida que ascende-

mos en el perfil, así como el enriquecimiento en plagioclasas de los horizontes superficiales (BA y A), fruto del rejuvenecimiento ya mencionado en la evolución micromorfológica.

A partir de los minerales primarios se forman filosilicatos 1:1 dioctaédricos y gibbsita que proceden de los feldespatos (fundamentalmente de las plagioclasas) y vermiculitas hidroxialumínicas, como productos de degradación de biotitas y cloritas; todos estos minerales secundarios se concentran, fundamentalmente, en las fracciones finas (limo y arcilla) tal y como puede observarse en la Tabla II.

Hay que destacar, que la alteración de la biotita en vermiculita no supone un cambio morfológico importante; así, el análisis por D.R.X de la fracción arena de la saprolita ya pone de manifiesto esta transformación, puesto que en los difractogramas aparecen efectos en torno a 1,4nm, que al saturar en K e ir calentando la muestra a 110°, 330° y 550°C van colapsando hacia 1,0nm, señal de que se trata de vermiculita hidroxialumínica, con la intercapa bastante completa porque es necesario calentar a 330°C para que colapse todo el efecto (Fig. 5).

El filosilicato 1:1 dioctaédrico presenta, en la fracción arcilla, débil cristalinidad puesto que los efectos a 0,44nm son más intensos que a 0,7 y 0,356nm y no desaparecen al orientar las muestras. El contenido en este mineral descien-

TABLA II. Composición mineralógica y granulométrica (USDA)

	Q	F	B	V	1:1	GIB
MUESTRA TOTAL						
Hor. A	xx	xx	T	T	-	-
Hor. BA	xx	xx	T	T	T	T
Hor. BC	xx	x	T	x	T	T
Hor. C	xx	x	T	xx	T	-
R.A.	xx	xxx	xx	T	T	-
R.F.	xx	xxx	xx	T	T	-
ARCILLA						
Hor. A	-	-	T	xx	T	x
Hor. BA	-	-	T	xx	x	xx(35%)
Hor. BC	-	-	T	xx	xx(29%)	x(16%)
Hor. C	-	-	x	x	xxx(80%)	T(4%)
LIMO						
Hor. A	xx	xx	x	x	T	T
Hor. BA	x	xx	x	x	T	T
Hor. BC	x	xx	x	x	x	T
Hor. C	x	x	xxx	xx	x	-
ARENA						
Hor. A	xx	xxx	x	T	-	-
Hor. BA	xx	xxx	x	-	-	-
Hor. BC	xx	xxx	x	x	-	-
Hor. C	xx	xxx	x	x	-	-
Horizonte	Arena gruesa	Arena fina	Limo grueso	Limo fino	Arcilla	Textura
A	53.18	19.07	8.53	11.60	7.72	Franco arenosa
BA	48.61	20.57	8.15	11.60	9.48	Franco arenosa
BC	41.73	26.32	8.03	15.13	8.79	Franco arenosa
C	54.29	21.93 *	5.96	12.20	5.62	Arenoso franca

Q=Cuarzo. F=Feldespatos. B=Biotita. V=Vermiculita. 1:1=Filosilicatos 1:1 dioctaédricos. GIB=Gibbsita. Estimación semicuantitativa: T=trazas; x=presente; xx=frecuente; xxx=abundante.

de a medida que ascendemos en el perfil, pues el A.T.D. indica que en la saprolita el material caolínítico supone un 80% de la fracción arcilla y en el horizonte BC el contenido desciende a un 29%, para pasar en los horizontes superficiales a contenidos del 5% en la arcilla. Paralelamente, las cantidades de gibbsita aumentan a medida que se asciende en el perfil, pasando del 4 al 35% en la arcilla del horizonte BA; por último, en el horizonte A el contenido en gibbsita vuelve a

descender, probablemente debido al efecto complejante de la materia orgánica sobre el aluminio en los horizontes superficiales (WILSON, 1969; MACÍAS, 1981 y ROMERO *et al.*, 1991).

Es posible que los feldespatos, fundamentalmente las plagioclasas, evolucionen en una primera etapa hacia filosilicatos 1:1 dioctaédricos y, posteriormente, debido a que el drenaje es muy fuerte, este filosilicato 1:1 dioctaédrico se transforme en gibbsita.

TABLA III. Análisis químico total (los resultados se expresan en porcentajes de óxidos)

	R.F. 1	R.A. 2	Hor.C 3	Hor.BC 4	Hor.BA 5	Hor.A 6
SiO ₂	75.82	73.13	65.15	65.69	67.81	64.69
Al ₂ O ₃	11.93	12.45	13.16	17.29	13.99	14.10
Fe ₂ O ₃	1.70	2.95	6.90	4.22	3.29	3.35
MnO	0.02	0.05	0.08	0.04	0.04	0.06
MgO	0.09	0.86	1.18	0.74	0.52	0.62
CaO	0.66	0.47	0.14	0.63	0.57	0.61
Na ₂ O	3.09	3.83	0.35	2.23	2.08	2.89
K ₂ O	5.90	4.37	4.79	3.83	4.17	3.42
TiO	0.30	0.30	0.47	0.81	1.67	1.15
P ₂ O ₅	0.10	0.05	0.05	0.10	0.25	0.45
H ₂ O ⁻	0.13	0.41	1.87	1.08	1.49	1.95
H ₂ O ⁺	0.55	1.13	5.86	3.33	4.12	6.71
D. real	2.53	2.46				
D. aparente			1.46	1.54	1.36	1.36

D = Densidad (Mg m⁻³).

Evolución geoquímica

Los resultados de los análisis totales (Tabla III) y los datos, tanto del pH de abrasión como de la concentración de cationes de la disolución de abrasión (Tabla IV), manifiestan una pérdida de bases (Na, Ca y K) en el paso de roca fresca a saprolita; este mismo efecto se observa al representar el índice de PARKER (1970) y el pH de abrasión (Fig. 6). En el horizonte BC, por el contrario, ascienden tanto los contenidos de estos elementos más móviles como los valores del pH de abrasión e índice de Parker debido a los aportes de materiales frescos.

En la representación de los índices de meteorización química propuestos por KRONBERG & NESBITT (1981) (Fig. 7b) se observa cómo los valores obtenidos siguen con gran aproximación la curva teórica definida por estos autores para la meteorización química y muestran también el rejuvenecimiento que tiene lugar en el perfil, ya que los valores de las muestras de los horizontes edáficos retroceden en la curva.

En el diagrama de CHESWORTH (1973) (Fig. 7a) podemos observar cómo se aproximan las muestras más alteradas al sistema residual y

cómo las muestras superficiales, en las que hay aportes, se alejan un poco del vértice 100% SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃.

Por último, la movilidad de los distintos elementos, calculada a partir de diagramas iso-Al₂O₃ e isovolumétricos (MILLOT & BONIFAS, 1955) entre roca fresca y saprolita es:



y la pérdida del material es del 42,5%.

La secuencia de movilidades está de acuerdo con el hecho de que las plagioclasas y la biotita son los minerales más alterables. El sodio y calcio provienen de la lixiviación de bases de las plagioclasas. De las biotitas procedería algo del potasio y del hierro, pero este último precipita en sus proximidades en forma de oxi-hidróxidos, por lo que, globalmente, es un elemento prácticamente inmóvil durante la meteorización. La baja movilidad del magnesio, pese a encontrarse originalmente en minerales muy alterables como biotitas y cloritas, se justifica por su permanencia en las capas octaédricas de sus productos de alteración, es decir, los minerales vermiculíticos.

TABLA IV. pH de abrasión y concentración de cationes de la disolución de abrasión.

Hor.	pH	Ca	Mg	Na	K
A	5.4	0.24	0.96	16.8	1.7
BA	5.8	0.01	0.15	12.6	1.3
BC	5.9	0.01	0.32	10.4	8.4
C	5.7	0.01	0.24	11.2	7.2
R.A.	6.5	0.90	0.60	14.0	7.7
R.F.	9.2	0.00	0.68	14.0	13.6

Ca, Mg, Na y K= Concentración de cationes de la disolución de abrasión en ppm.

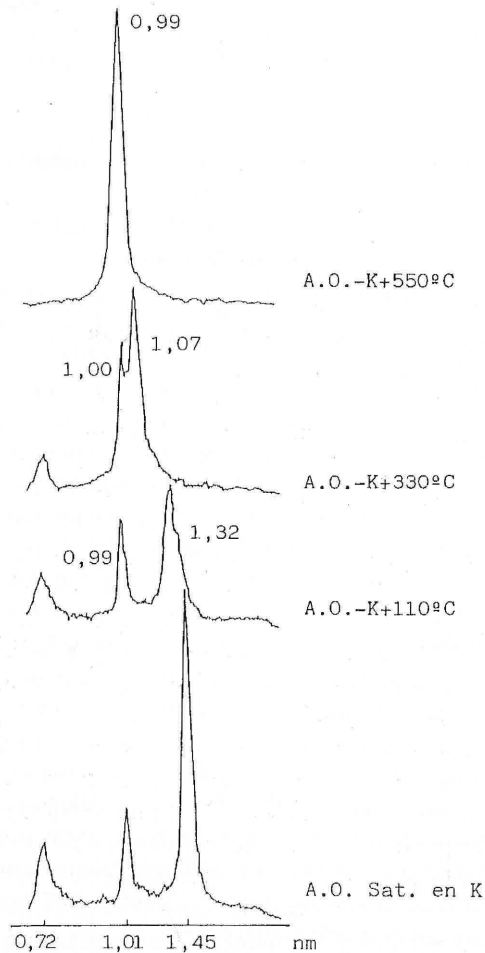


Fig. 5. Diagramas de D.R.X de la fracción arena de la saprolita. A.O. Sat. en K = agregado orientado saturado en potasio. A.O.-K+110°C = calentado a 110°C. A.O.-K+330°C = calentado a 330°C. A.O.-K+550°C = calentado a 550°C.

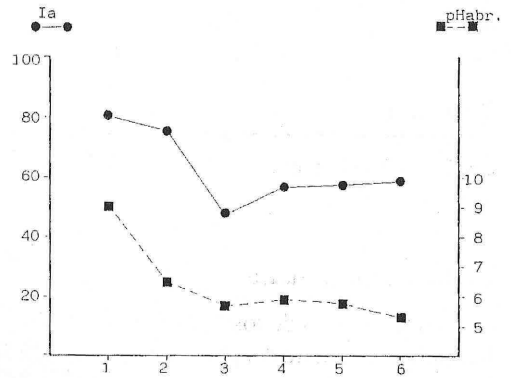


Fig. 6. Índice de Parker (Ia) y pH de abrasión.

CONCLUSIONES

1.- La meteorización pseudomorfa de plagioclasas y biotitas permite que se conserve la fábrica de roca en el horizonte C. En el horizonte BC, con bajo grado de edafización, la microestructura es de granos compactos y evoluciona hacia esponjosa en el horizonte BA. En el horizonte A la asociación entre la materia orgánica y la materia mineral origina una microestructura de microagregados entre granos.

2.- En las etapas iniciales las plagioclasas se alteran a caolinita desordenada que evoluciona posteriormente hacia gibbsita. La biotita y la clorita originan vermiculitas con tendencia hidroxialumínica. Los feldespatos potásicos y el cuarzo permanecen prácticamente inalterados a lo largo de todo el perfil.

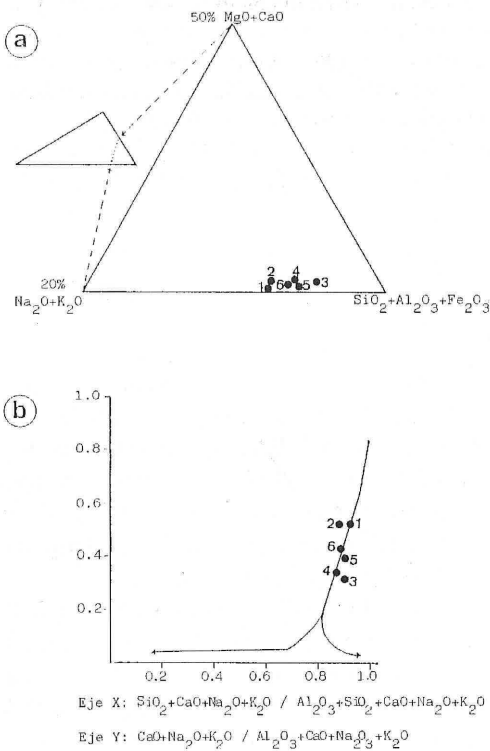


Fig. 7. (a) Diagrama de Chesworth. (b) Diagrama de Kronberg y Nesbitt. 1 = roca fresca. 2 = roca alterada. 3 = saprolita. 4 = Hor. BC. 5 = Hor. BA. 6 = Hor. A.

3.- La movilidad de los elementos químicos, en la fase de meteorización, es: Na > Ca > P > K > Si > Al > Ti > Fe > Mn > Mg. La pérdida de material es del 42.5%. El estudio de los índices de alteración a lo largo del perfil manifiesta un claro rejuvenecimiento a partir del horizonte BC, que también es observable en el estudio microestructural y mineralógico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRIL HURTADO, J., IGLESIAS PONCE DE LEÓN, M., ARPS, C.E.S., FLOOR, P., CORRETGE, L.G. *et al.* (1985). Pontevedra-La Guardia (16/26). *Mapa Geológico de España*. Esc. 1:200.000. I.G.M.E.
- BULLOCK, P., FEDOROFF, N., JONGERIUS, A., STOOPS, G., TURSINA, T., BABEL, U. *et al.* (1984). *Handbook for soil thin section description*. Waine Research Publications, London.
- CARBALLEIRA, A., DEVESA, C., RETUERTO, R., SANTILLÁN, E. & UCIEDA, F. (1983). *Bioclimatología de Galicia*. Fundación Barrié de la Maza, La Coruña.
- CHESWORTH, W. (1973). The residual system of chemical weathering: a model for the chemical breakdown of silicate rocks at the surface of the earth. *J. Soil Sci.*, **24**: 69-81.
- GRANT, W.H. (1969). Abrasion pH, an index of chemical weathering. *Clay and Clays Miner.*, **17**: 151-155.
- GUITIÁN OJEA, F. & CARBALLAS, T. (1976). *Técnicas de análisis de suelos*. Ed. Pico Sacro, Santiago de Compostela.
- GUITIÁN RIVERA, F. (1984). *Obtención de materiales cerámicos a partir de materias primas de Galicia*. Tesis Doctoral (inéd.). Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Santiago.
- KRONBERG, B.I. & NESBITT, H.W. (1981). Cuantificación de weathering, soil geochemistry and soil fertility. *J. Soil Sci.*, **32**(3): 453-459.
- MACÍAS, F. (1981). Formation of gibbsite in soils and saprolites of temperate-humid zones. *Clay Miner.*, **16**: 292-294.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A. (1988). *Evaluación y cartografía de los recursos edáficos. La Comarca de Lalín*. Tesis Doctoral (inéd.). Facultad de Biología, Universidad de Santiago.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A. & CARBALLEIRA, A. (1988). Necesidades de riego para cultivos exigentes en Galicia, deducidas del modelo de Newhall. *Av. Inv. Bioclimatología*, **10**: 393-404.
- MILLOT, G. & BONIFAS, M. (1955). Transformations isovolumétriques dans les phénomènes de latéritisation et bauxitisation. *Bull. Sér. Geol. Alsacie-Lorraine*, **8**: 3-10.
- PARKER, A. (1970). An index of weathering of silicate rocks. *Geol. Mag.*, **107**: 501-504.
- PEECH, M., ALEXANDRE, L.T., DEAN, L. & REED, J.F. (1947). Methods of soil analysis for soil fertility investigations. *U.S. Dep. Agr. Cir.* 757.
- ROMERO, R., TABOADA, T. & GARCÍA, C. (1991). Influencia del grado de complejación de la materia orgánica en la naturaleza de la fracción arcilla en suelos graníticos. *Actas de la XVIII Reunión Nacional de Suelos (Santa Cruz de Tenerife)*: 509-515.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (1975). *Soil Taxonomy*. U.S. Dep. Agric. Washington D.C.

- STOOPS, G., ALTEMULLER, H.J., BISDOM, E.B.S., DELVIGNE, J., DOBROVOLSKY, V.V., FITZPATRICK, E.A., PANEQUE, G. & SLEEMAN, J. (1979). Guidelines for the description of mineral alterations in soil micromorphology. *Pedologie*, **29**(1): 121-135.
- WILSON, M.J. (1969). A gibbsitic soil derived from the weathering of ultramafic rocks on the island of Rhun, Scotland. *J. Geol.*, **5**: 81-89.