

METEORIZACION DE LAS GRANULITAS DE CABO ORTEGAL

López, A.; García, C; Macías, F.
Dpto. de Edafología y Geología
Facultad de Biología - Univ. Santiago .



RESUMEN :

Se realiza el estudio químico y mineralógico del proceso de alteración, en medios sustractivos, de las granulitas de Cabo Ortégala, la precipitación media anual supera los 1.300 mm. y las temperaturas medias mensuales extremas son 23°C y 4,7°C. Durante el proceso de meteorización se origina una fuerte pérdida de Ca, Na y Mg y, en menor proporción, de Si con acumulación relativa de Fe y Al. Como productos de alteración aparecen filosilicatos 1:1 dioctaédricos, gibbsita, oxihidróxidos de hierro y micas y cloritas degradadas. La edafogénesis es de tipo ferromonialítico con una tendencia ferralítica, al menos en sus fases iniciales.

SUMMARY:

This paper is a chemical and mineralogical study about the weathering process, in subtractive environments, of the granulites in Cabo Ortégala. The mean annual precipitation is over 1.300 mm. and the mean monthly extreme temperatures are 23°C and 4,7°C. In the process of weathering there is an intense loss of Ca, Na and Mg and, in a minor level, of Si, with a relative accumulation of Fe and Al. Products of the weathering are 1:1 dioctahedral phyllosilicates, gibbsite, iron oxyhydroxides and degraded micas and chlorites. The pedogenesis is of ferromonialitic type with a ferrallitic tendency, in the first phases at least.

MATERIAL GEOLOGICO Y CONDICIONES DEL MEDIO DE ALTERACION.

El afloramiento granulítico en que se centra este estudio forma parte, junto con gneis, anfibolitas, eclogitas y rocas ultrabásicas serpentinizadas del complejo de Cabo Ortegal, unidad situada al norte de la provincia de La Coruña. Entre las rocas de facies granulítica existentes en esta zona se han seleccionado las que corresponden a la unidad denominada formación Vacariza (1) perteneciente al complejo de la Capelada. Esta elección se debe a que el retrorretromorfismo de facies anfibolita que afecta a las otras formaciones, pese a hacerse también patente, se encuentra aquí menos desarrollado.

Para Den Tex et al. (2) las rocas máficas de Vacariza han estado afectadas, indiscutiblemente, por la subfacies clinopiroxeno-piralmándino (+ hornblenda) de la facies granulítica de alta presión (3) puesto que, en la mayoría de ellas, aparece la asociación mineral crítica de la subfacies clinopiroxeno+piralmándino+plagioclasa sódica conteniendo, con frecuencia, hornblenda parda y clinozoisita, así como escapolita, rutilo, apatito y cuarzo en fases adicionales. Las rocas félsicas de la formación citada están relacionadas con el grado cianita-almandino-moscovita y no está claro para los autores antes mencionados, si representan condiciones de facies anfibolítica, granulítica o eclogítica.

Por lo que se refiere a los componentes mayoritarios de las granulitas aquí estudiadas, es decir anfíboles, clinopiroxenos, granates, plagioclasas y cuarzo, debe precisarse que los anfíboles son bastante abundantes siendo, por el contrario, los clinopiroxenos más escasos. Asimismo cabe destacar la frecuente aparición en muchos de los afloramientos, de bandas leucocráticas - ricas en cuarzo y plagioclasa -, esto hace que el material original de los perfiles de alteración sea inicialmente bastante heterogéneo, por ello se ha considerado necesario analizar los tipos más representativos de granulitas existentes en cada punto de muestreo.

El clima que soporta actualmente el área se caracteriza por registrar una elevada precipitación, la cantidad total de lluvia caída anualmente supera los 1.300 mm, aumentando esta bruscamente desde la lí-

nea de costa hasta la zona de cumbres, donde llegan a rebasarse los 2.000 mm anuales; la sierra de la Capelada en su conjunto funciona como un parafrunte natural de los sistemas nubosos fundamentalmente de componente noroeste. El régimen térmico es suave y regular como consecuencia de la fuerte influencia del mar; así, la temperatura media del mes mas cálido no supera los 23°C en la zona de costa (alcanzándose este máximo en agosto lo cual es un claro efecto de la influencia oceánica) y la temperatura media del mes mas frío no baja de 4,7 °C en las zonas mas altas (4).

El clima del suelo se caracteriza por un régimen hídrico de tipo údico, siendo este ácuico en las zonas hidromorfas, y un régimen térmico generalmente mésico, salvo en las zonas mal drenadas donde es isomésico.

MATERIAL Y METODOS.

Se han tomado muestras (cuya situación se representa en la fig. 1) de rocas en diversos grados de alteración y de horizontes edáficos, tratando de analizar tanto materiales meteorizados bajo condiciones de buen drenaje como sistemas de alteración hidromorfos; las situaciones de este último tipo sólo aparecen en la zonas asociadas a los cauces fluviales o en áreas planoconvexas, susceptibles, en ambos casos, de recibir aportes, por lo que no ha sido posible encontrar un perfil desarrollado "in situ"; debido a esto únicamente se estudian en este trabajo, junto a tres perfiles de alteración bien drenados, dos horizontes edáficos (uno de ellos sometido a condiciones de hidromorfía alternantes y otro permanentemente hidromorfo) cuyos constituyentes, si bien son aloctonos, tienen exclusivamente un origen granulítico.

- La descripción morfológica de los perfiles así como la nomenclatura de sus horizontes se ha realizado según el sistema F.A.O. (5).

- La determinación del color en húmedo y en seco se ha hecho de acuerdo con las claves internacionales "Munsell Soil Color Charts" (6).

Las características morfológicas de los horizontes edáficos estudiados en este trabajo son las siguientes :

Perfil 1 (Coordenadas aprox. 43°36'18"N-7°58'30" W)

Hor. Prof.cm.

- A 0-30 cm. Color pardo oscuro 7,5 YR 3/4 (h) y pardo-amarillento oscuro 10 YR 3/4 (s); franco, con estructura migajosa, ligeramente adherente y ligeramente plástico, firme y blando; abundantes raíces finas.
- BC 30-70 " Horizonte de color pardo-amarillento 10 YR 5/8 (h) y amarillo-parduzco 10 YR 6/8 (s). Franco limoso; masivo en húmedo con estructura en bloques subangulares débil-moderada ; ligeramente adherente, plástico; muy friable; pocas raíces .

Perfil 2 (Coordenadas aprox. 43°41'22"N - 7°59'47" W)

Hor. Prof.cm.

- A 0-60 cm. Color negro 10 YR 2/1 (h) y pardo oscuro 10 YR 2/2 (s) Franco arenoso con estructura migajosa fina, no es adherente no plástico y es muy friable y blando. Raíces finas y gruesas muy abundantes .
- CB 60-100 " Color pardo amarillento 10 YR 5/8 (h) y amarillo parduzco 10 YR 6/8 (s). Franco -franco limoso y con estructura débil- moderada en bloques subangulares. Es ligeramente adherente y plástico , friable y blando. Contenido en raíces escaso.

Perfil 4 (Coordenadas aprox. 43°40'11" N - 7°58' W)

Hor. Prof. cm.

- Bg +80cm. Color amarillo parduzco 10 YR 6/8 (h) y amarillo 10 YR 7/8 (s); franco arcilloso, con estructura masiva en húmedo , tendiendo a dar bloques subangulares. Adherente y plástico, muy firme y muy duro. Pocas raíces.

Perfil 5 (Coordenadas aprox. 43°40'25" N - 7°57'40" W)

Hor. Prof.cm.

- Bg 10-50 cm. Color pardo grisáceo oscuro 2,5 Y 4/2 (h) y pardo amarillento claro 2,5 Y 6/4 (s). Franco arenoso y sin estructura; ligeramente plástico, no adherente , muy friable, sin coherencia. Pocas raíces .

- Análisis mecánico : Según la técnica propuesta por Guitián y Carballas (7).

- Análisis químico : Realizado a partir de la muestra molida y tamizada a través de una malla de 50 micras. La digestión se efectúa en un reactor a presión, utilizando como disolventes ácido nítrico y ácido fluorhídrico, a 120°C durante una hora; terminada la digestión y una vez frío el reactor se añaden 50 ml de solución saturada en ácido bórico, introduciéndolo de nuevo en la estufa a 120°C durante 15 min. Por último, tras enrasar en un matraz, se determinan sus constituyentes por espectrofotometría de absorción atómica (8).

- El cálculo de H_2O^- y H_2O^+ se ha realizado por pérdida de peso tras calentar la muestra a 110°C y 1000°C respectivamente.

La evolución geoquímica que sufren los materiales durante la alteración se ha estudiado con la ayuda de diagramas triangulares del tipo de los propuestos por Chesworth (9) , observando además el comportamiento relativo de los tres componentes de lo que este autor denomina "sistema residual".

Los índices de Parker (10), en cuyo numerador se expresan las cantidades de Ca, Mg, K y Na en átomos gramo y en cuyos denominadores figuran las energías de enlace de estos cationes con el oxígeno :

$$I = \left(\frac{\text{Ca}}{0,7} + \frac{\text{Mg}}{0,9} + \frac{\text{K}}{0,25} + \frac{\text{Na}}{0,35} \right) 100$$

nos proporcionan una buena información de los elementos más móviles del sistema de alteración .

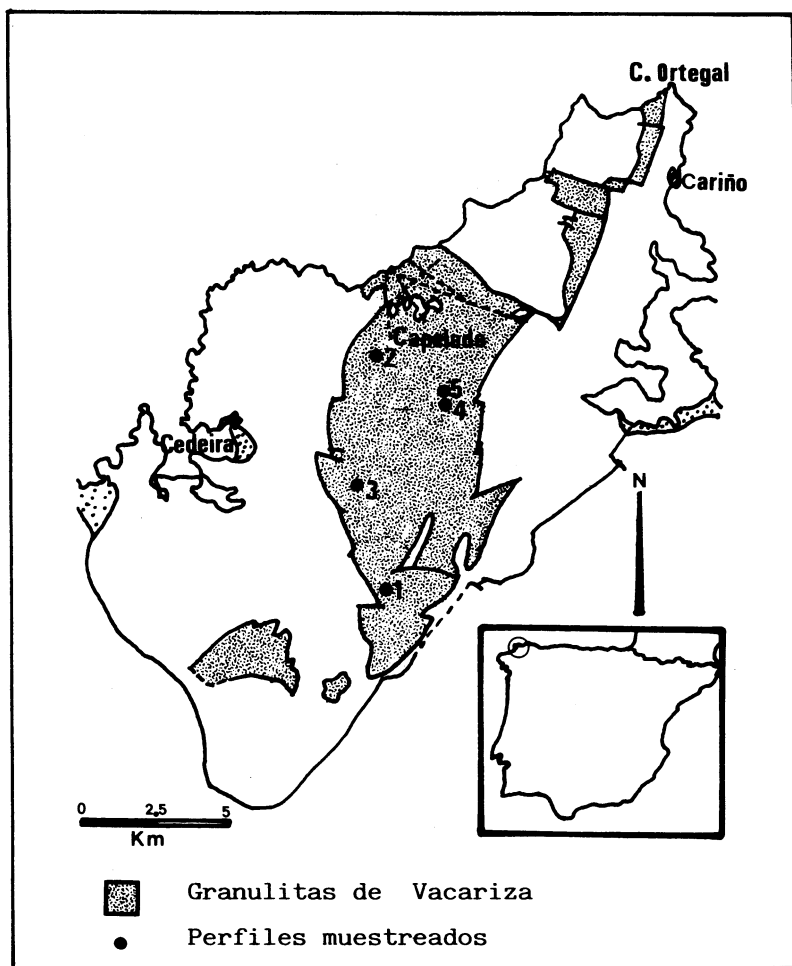


Fig. 1 .- Situación de los perfiles estudiados.

Se ha calculado también la evolución de las relaciones molares mas significativas y representado en diagramas del tipo de los propuestos por Kronberg et al. (11) los valores molares:

$$\frac{\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}} \quad \text{y} \quad \frac{\text{SiO}_2+\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2+\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}}$$

Finalmente se han hecho representaciones gráficas en las que se pretende observar la movilidad del Ca,Na,K,Mg,Si,... frente a un compo-

nente que se considera inmovil ; en este estudio , siguiendo los criterios encontrados en la bibliografía , se utilizan dos tipos de gráficos, considerando en unos el Fe_2O_3 como componente inmovil y el Al_2O_3 en otros.

- Análisis mineralógico: Se aplica tanto a la muestra total como a fracciones granulométricas específicas; en este último caso la separación y concentración de las diversas fracciones se ha realizado según la técnica propuesta por Guitián y Carballas (7). Cada una de las muestras se analiza por D.R.X , realizando diagramas de polvo y agregados orientados saturados en magnesio, solvatados con etilenglicol y calcinados a 550°C (7) .El aparato de difracción utilizado es un Philips PW 1010/30 con registrador PW 1051/31. La transformación de los datos 2 θ en espaciados se realizó mediante el uso de tablas Parrish y Mack (12) .Para la identificación de los compuestos minerales se han seguido los datos tabulados por Grim (13), Brown (14) y Thorez (15) , las fichas de J.C.P.D.J. (16) , Dixón y Weed (17) ..., expresando los resultados según la siguiente notación :

Abundante xxx

Frecuente xx

Presente x

Trazas T

RESULTADOS Y DISCUSION

Perfiles de alteración en medios bien drenados

Evolución mineralógica:

El perfil nº 1 se encuentra desarrollado sobre una granulita muy heterogénea tanto por lo que se refiere al tamaño de grano como al contenido en minerales leuco y melanocráticos; su grado de alteración no guarda relación directa con la profundidad sino con la orientación de la esquistosidad siendo, en muchas zonas, la presencia de filoncillos de cuarzo lo que sirve de límite entre los niveles mas y menos alterados.

En la saprolita se observó un material de textura arcillosa (con un 74% de fracción inferior a 0.002 mm) que aparecía rellenando una

grieta asociada a los planos de esquistosidad , a ambos lados de este material la granulita se encuentra fresca. Los análisis correspondientes a este microsistema de fisural se recogen en la tabla 1; destaca en ellos la presencia de gibbsita en las fracciones mas gruesas y su ausencia en la fracción arcilla (fig. 2) , la explicación podría buscarse en el hecho, frecuente, de que la gibbsita, durante los procesos de meteorización, va sustituyendo pseudomorficamente a minerales tales como los granates o las plagioclasas (18,19) quedando protegida por una película de oxi-hidróxidos de hierro, lo que origina la formación de unas pseudopartículas que no se destruyen por los procedimientos usuales de dispersión. La fracción arcilla aparece constituida por goethita (con claras difracciones a 4,18, 2,69 y 2,4 Å , Fig. 2) y filosilicato 1:1, siendo este último de muy baja cristalinidad (tipo haloisita) ya que los efectos a 3,52 Å son mas bajos que los de 4,4 Å y es muy poco aguda la difracción a 7,08Å.

Tabla nº 1.- Analisis mineralógico por D.R.X. del microsistema fisural.

	Fracción arcilla	Fracción Limo	Fracción Arena
Goethita	XX	X	-
Filosilicato 1:1	XXX	XX	T
Gibbsita	-	XXX	XXX
Cuarzo	T	-	T
Interestratificados	X	X	X
Fondo de radiación*			
a 30º	30	29	32
a 50º	27	28	29

* El fondo de radiación es un índice del contenido relativo de oxi-hidróxidos de hierro no cristalinos o de muy pequeño tamaño; las cifras expresadas en la tabla no tienen valor cuantitativo en cuanto a porcentajes, sino que su validez es solo comparativa, ya que en todas las muestras se han obtenido bajo las mismas condiciones .

En las tablas nº 2 y 3 se recogen los análisis mineralógicos de este perfil, correspondiendo las muestras 1 y 2 a granulitas leuco y melanocráticas respectivamente , diferencia que puede apreciarse sobre todo en las proporciones variables de cuarzo, plagioclasa y anfíbol (fig.3)

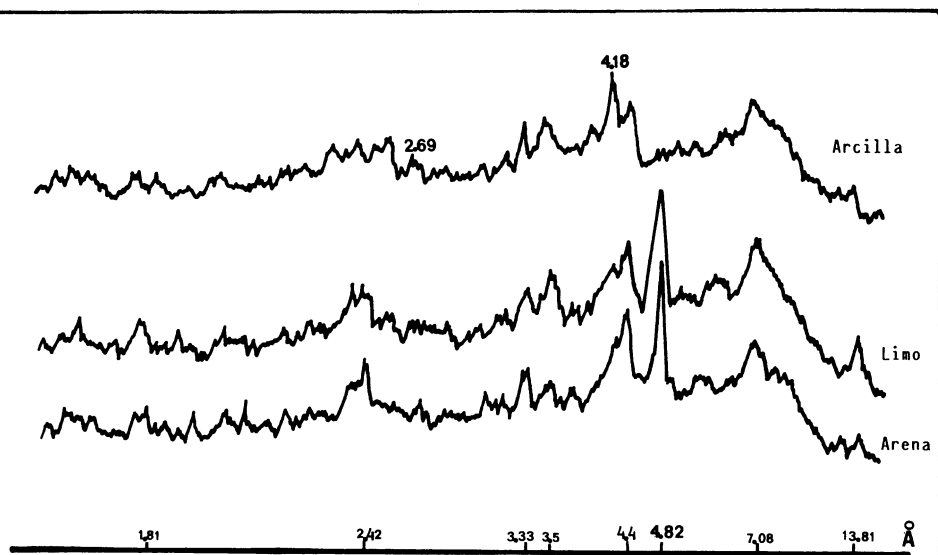


Fig. 2 .- D.R.X. del microsistema fisural

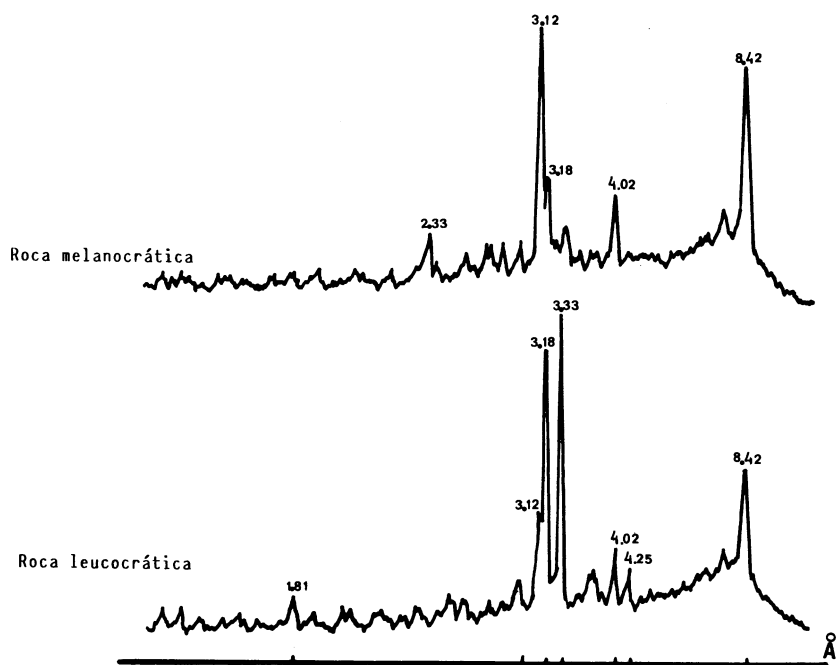


Fig. 3 .- Granulitas leucocráticas y melanocráticas del perfil Nº 1

Tabla nº 2 .- Análisis mineralógico , Perfil Nº 1

Muestra	1	2	3	4	5	6	7
Estado de alt.	Fresca	Fresca	-Alt.	-Alt.	grado de alteración		
Cuarzo	XX	T	X	XX	XX	XXX	XXX
Plagioclasa	XXX	XX	XX	X	X	X	X
Anfiboles	XX	XXX	XXX	XXX	XX	XX	T
Granates	X	X	X	X	-	X	-
Clorita ferrífera	-	-	T	T	-	-	-
Micas y clor.degrad.	-	-	-	-	X	XX	X
Gibbsita	-	-	-	-	-	XX	-
Fondo de radicación							
a 30º	19	23	23	22	27	23	26
a 50º	12	20	19	20	22	20	22

Tabla nº 3.- Análisis mineralógico por D.R.X. Perfil 1 .

	Horizonte BC			Horizonte A		
	Arcilla	Limo	Arena	Arcilla	Limo	Arena
Cuarzo	-	X	XX	-	XX	XXX
Plagioclasa	-	T	X	-	XX	X
Anfiboles	-	-	T	-	XX	X
Goethita	XX	X	-	-	-	-
Filosilicato 1:1	XX	XXX	XXX	-	T	-
Cloritas degrad.	X	-	X	-	T	-
Fondo de radiación						
a 30º	32	26	24	32	28	14
a 50º	29	22	20	30	23	11

Las muestras 3 y 4 se encuentran sólo ligeramente alteradas, por lo que apenas presentan diferencias con las anteriores. El grado de alteración se incrementa de la muestra 5 a la 7, manifestándose en esta secuencia un claro descenso en la proporción de plagioclasas y anfíboles así como un incremento relativo en cuarzo. Entre los productos de alteración destaca el contenido en gibbsita de la muestra nº6, en la fig.4 se observa como el efecto a $4,82\text{\AA}$ de este mineral desaparece tras el calentamiento a 550°C ; esta misma figura permite mostrar el comportamiento de los minerales que hemos denominado micas y cloritas degradadas; se caracterizan por presentar una clara difracción a $13,8\text{\AA}$ y una banda entre $11,6$ y $9,93\text{\AA}$, estos

efectos se mantienen tras el tratamiento con etilenglicol pero al calcinar la muestra a 550°C desaparece la difracción a 13,8 Å, produciéndose un colapsamiento de las estructuras que se manifiesta en un incremento de las difracciones a 9,93 y 11,78 Å ; se observa asimismo un descenso en la intensidad del efecto a 7,02 Å , que puede atribuirse a la presencia de un filosilicato 1:1 o bien de un mineral clorítico muy degradado.

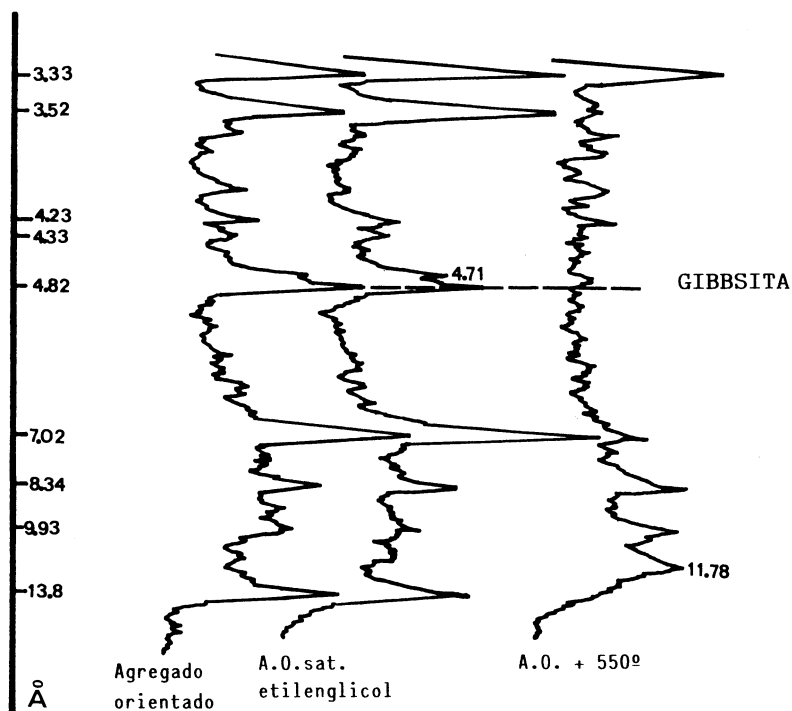


Fig. nº 4 .- D.R.X muestra nº 6 , Perfil nº 1

Por lo que se refiere a los horizontes edáficos cabe señalar el predominio en todas las fracciones del horizonte BC de un filosilicato 1:1 dioctaédrico cuya cristalinidad aumenta, como es lógico, a medida que se incrementa el tamaño de grano; la gibbsita, contrariamente a lo que ocurría en el microsistema fisural, se encuentra en mayor proporción en las fracciones finas, hecho que podría estar relacionado con la destrucción de las pseudopartículas como consecuencia de procesos edáficos.

Los diagramas de la fracción arcilla del horizonte A presentan efectos muy poco claros y un alto fondo de radiación, por lo que simplemente pueden apreciarse indicios de la existencia de cuarzo, micas-cloritas degradadas y un filosilicato 1:1 dioctaédrico de muy bajo grado de orden.

Otro de los puntos de muestreo (perfil nº 2) confirma la variabilidad mineralógica que presentan estas rocas que, ya en el campo, ofrecen claras diferencias no sólo debido a su color sino también a su densidad; atendiendo a este hecho se estudian aquí dos series de alteración distintas (tabla 4). Los resultados del análisis mineralógico señalan que, en efecto, las mas oscuras y densas (8,11,12) son ricas en piroxenos, anfíboles y granates, mientras que las mas claras (9 y 10) presentan mayor proporción de cuarzo, plagioclasa e, incluso, mica. Los diagramas de D.R.X permiten observar como, en el curso de la alteración, desaparecen o se reducen mucho los efectos propios de las plagioclasas y de los minerales ferromagnesianos (fig. 5); los productos de alteración deben ser materiales muy mal cristalizados como lo demuestran los altos fondos de radiación y la presencia de filosilicatos de tipo haloisítico.

Tabla nº 4.- Análisis mineralógico por D.R.X del perfil nº 2 .

	8	9	10	Granulita densa	
	(fresca)	(fresca)	(alter.)	11 (fresca)	12 (alter.)
Cuarzo	x	x	T	-	x
Anfíboles	xx	T	-	xx	xx
Piroxenos	x	T	-	xx	-
Plagioclasas	xx	xx	x	-	-
Granates	x	-	-	xx	-
Mica	-	xx	-	-	-
Cloritas-micas degr.	-	-	-	-	T
Filosilicatos 1:1	-	-	T	-	-
Fondo de radiación					
a 30º	29	17	33	21	30
a 50º	17	13	30	17	26

=====

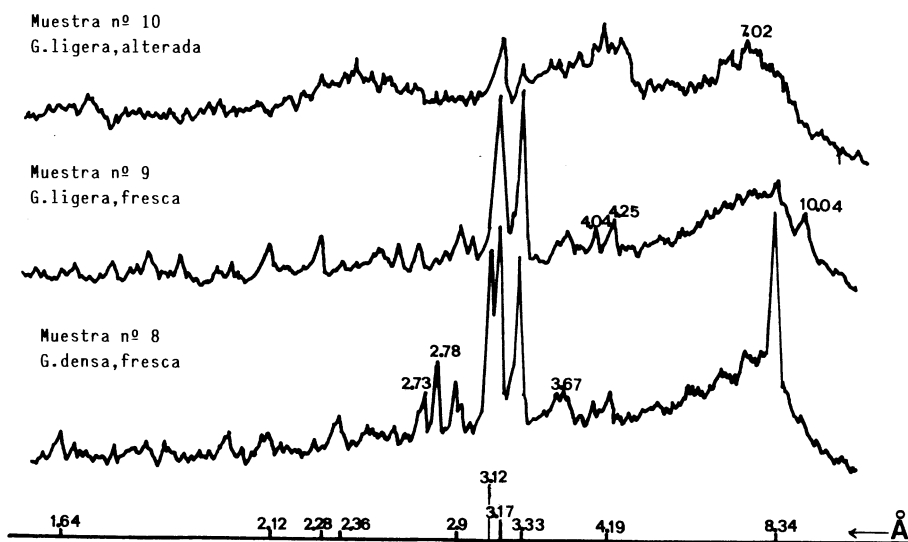
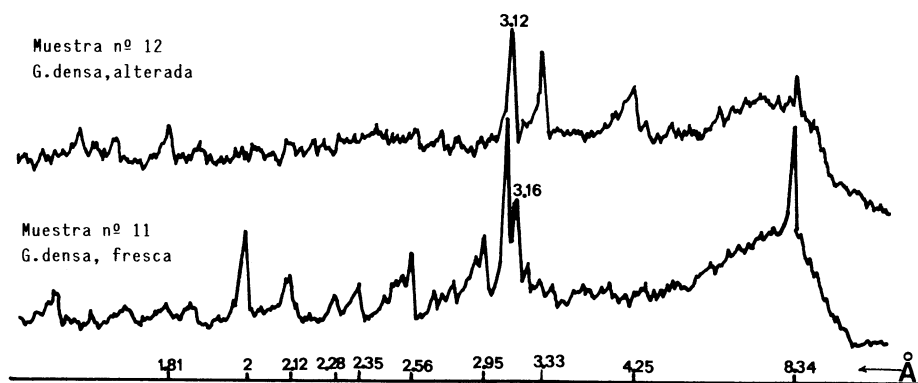


Figura nº 5.- D.R.X (polvo cristalino) de granulitas frescas y alteradas
Perfil nº 2

En el suelo desarrollado sobre estos materiales se observa que la proporción de los minerales mayoritarios en las fracciones finas del horizonte CB (tabla nº 5), es decir, de gibbsita (dominante en la fracción arcilla) y de filosilicato 1:1 de tipo caolínítico bien ordenado (principal componente de la fracción limo) experimenta una disminución neta al pasar al horizonte rico en materia orgánica (A), mientras que no se aprecian diferencias en cuanto al contenido en cloritas y micas degradadas.

Se completa este apartado del estudio de la meteorización en medios bien drenados con el análisis de dos muestras alteradas (perfil 3) cuya composición se presenta en la tabla nº 6. Sus constituyentes mineralógicos son similares a los observados en los otros materiales alterados; en ese caso el filosilicato es de tipo caolinita desordenada en la muestra 13 y algo mejor cristalizada en la número 14, en esta última aparece también un filosilicato cuyo comportamiento coincide con el de los minerales que hemos definido como cloritas y micas degradadas, descrito en el perfil 1.

Tabla nº 5.- Análisis mineralógico por D.R.X. Suelo del perfil nº 2.

	Horizonte CB			Horizonte A		
	Arcilla	Limo	Arena	Arcilla	Limo	Arena
Cuarzo	-	x	xxx	-	xx	xxx
Feldespatos	-	-	x	-	x	xx
Anfiboles	-	-	-	-	T	x
Granates	-	-	-	-	-	x*
Gibbsita	xxx	-	-	x	-	-
Filosilicatos 1:1	x	xxx	xx	-	x	-
Cloritas y micas degr. T		x	x	x	x	-
Fondo de radiación						
a 30º	28	24	27	32	28	18
a 50º	25	21	22	29	22	13

(*) - Al concentrar la fracción densa de esta muestra, se observan con claridad los efectos propios del granate, así como una cierta proporción de anfiboles.

=====

Tabla nº 6 .- Análisis mineralógico por D.R.X

Componentes	Muestra nº 13 (- alt.)	Muestra nº 14 (+ alt.)
Cuarzo	xx	x
Feldespato	x	x
Anfiboles	T	T
Cloritas-micas degradadas	-	x
Mica	T	xx
Filosilicatos 1:1	x	x
Gibbsita	-	T
Fondo de radiación		
a 30º	25	25
a 50º	20	18

Evolución química:

Al igual que se indicaba al comentar la evolución mineralógica, debe señalarse, en primer lugar, la heterogeneidad que presenta la roca original, puesta de manifiesto en este caso por la proporción variable de SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO y MgO (tablas 7, 8 y 9) .

El primer indicio del grado de alteración que presenta cada una de las muestras nos lo proporciona su contenido en H_2O^+ y H_2O^- , puesto que se incrementa a medida que la meteorización progresa. Por otra parte, el curso de la alteración nos muestra una pérdida importante de bases, fundamentalmente Ca, Na, y Mg hecho que queda reflejado en los índices de Parker (10) representados en la fig. 6; en esta figura el punto (nº4) del que se parte en la secuencia correspondiente al perfil 1 es la media aritmética de los índices de muestras de roca fresca recogidos en dicho perfil.

La representación de los índices propuestos por Kronberg et al. (11) se ajustan con gran aproximación a la curva que estos autores proponen como modelo en el dominio de la alteración química en el proceso de meteorización (fig. 7).

Tabla nº 7.- Datos químicos .(Muestra total).Perfil nº 1.

Muestra	1	2	3	4	5	6	7
Estado de alt.	Fresca	Fresca	-alt.	-alt.	grado de alteración		
SiO ₂	60,83	49,23	53,11	40,40	43,94	49,27	51,05
Al ₂ O ₃	18,62	17,48	18,62	18,24	23,81	19,37	19,37
Fe ₂ O ₃	7,43	13,58	10,44	13,58	12,15	12,94	12,87
MgO	3,23	4,97	4,56	5,36	3,70	3,79	2,27
CaO	4,69	8,46	7,20	7,55	3,99	3,64	1,33
Na ₂ O	3,10	2,70	2,43	2,76	1,28	1,41	1,01
K ₂ O	0,42	0,54	0,60	0,78	0,96	0,96	1,14
MnO	0,13	0,19	0,13	0,13	0,13	0,13	0,19
H ₂ O ⁺	1,24	1,70	2,41	2,79	8,20	6,85	7,40
H ₂ O ⁻	0,31	0,29	0,50	0,29	1,84	1,64	3,37
Relaciones molares							
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	5,61	4,82	5,00	3,72	3,17	4,31	4,47
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	4,39	3,28	3,75	2,58	2,35	3,04	3,15
SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	20,02	10,25	15,00	8,37	9,12	10,25	10,62
Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	3,60	2,12	3,00	2,25	2,87	2,37	2,37
Indices de Parker							
	54	69	62	71	42	42	28

Tabla nº 8 .- Datos químicos (muestra total) Perfil nº 2

	8	9	10	11	12
	fresca	fresca	alt.	fresca	alt.
SiO ₂	48,70	57,27	33,55	56,63	47,29
Al ₂ O ₃	17,01	14,17	24,10	12,28	16,54
Fe ₂ O ₃	11,44	6,65	22,87	9,72	18,94
MgO	4,38	3,85	0,93	6,63	2,19
CaO	11,82	13,78	0,98	10,63	2,52
Na ₂ O	3,37	2,90	0,61	2,43	1,55
K ₂ O	0,72	0,96	0,36	0,72	0,42
MnO	0,06	0,06	0,19	0,26	0,26
H ₂ O ⁺	1,94	0,23	12,05	0,41	7,06
H ₂ O ⁻	0,56	0,13	4,36	0,29	3,23
Relaciones molares					
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	4,76	6,78	2,33	7,83	4,94
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	3,37	5,27	1,47	5,20	2,80
SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	11,57	23,75	4,00	15,66	6,58
Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	2,43	3,50	1,71	2,00	1,33
Indice de Parker	84	84	16	72	32

Tabla nº 9.- Datos químicos (muestra total) Perfil nº 3 .

	13 (-alt.)	14 (+ alt.)
SiO ₂	61,58	52,95
Al ₂ O ₃	17,86	21,55
Fe ₂ O ₃	7,86	11,44
MgO	1,52	1,21
CaO	2,10	1,33
Na ₂ O	1,89	0,94
K ₂ O	0,54	1,14
MnO	0,06	0,13
H ₂ O ⁺	4,84	7,26
H ₂ O ⁻	1,75	2,05
Relaciones molares		
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	6,00	4,19
SiO ₂ /Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	4,6	3,14
SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	20,4	12,57
Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	3,4	3,00
Indice de Parker	34	24

Fig. 6.- Indices de Parker

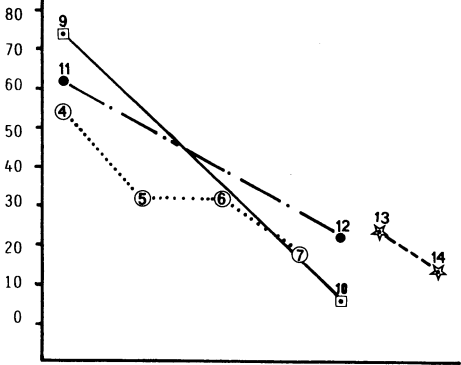
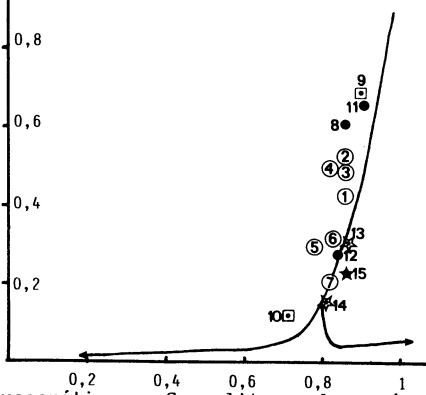


Fig. 7.- Indices de Kronberg et al.



Perfil 1 : ○ . Perfil 2 : □ Granulitas leucocráticas, ● Granulitas melanocráticas
Perfil 3 : ★ Perfil 5 : ★ .

Los diagramas de Chesworth (9),(Fig.8) reflejan, además de la composición variable tantas veces mencionada de las rocas frescas, una neta tendencia, a medida que estas rocas se alteran, a situarse en posiciones próximas al "sistema residual". Por el contrario, las variaciones que experimentan entre sí los tres componentes de dicho sistema no permiten señalar tan claras líneas evolutivas, pues tanto las relaciones molares (tablas 7,8 y 9) como el diagrama $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ (fig.9) muestran oscilaciones y, aunque en líneas generales podría hablarse de una acumulación relativa de hierro y aluminio en el curso de la alteración, no permiten precisar demasiado; quizás sean más significativas, en este aspecto, las gráficas iso- Fe_2O_3 e iso- Al_2O_3 (Fig. 10 y 11) donde puede observarse como, en la mayor parte de los casos, las movilidades siguen, efectivamente, el orden $\text{Si} > \text{Al} > \text{Fe}$.

Por lo que se refiere a los otros componentes del sistema de alteración los mismos cálculos iso- Al_2O_3 e iso- Fe_2O_3 confirman la gran movilidad de las bases salvo el potasio, cuyo comportamiento podría explicarse bien porque los minerales que lo contienen se alteran con menos facilidad que los otros componentes de la roca, o bien porque queda atrapado en la estructura de los propios productos de alteración, tales como micas y cloritas degradadas; sin embargo, debe apuntarse también una posibilidad que puede anular los anteriores razonamientos, se trata de si el método de análisis utilizado es lo suficientemente sensible como para detectar las variaciones que se producen cuando el contenido en potasio de las muestras es tan bajo como en el caso que nos ocupa.

Finalmente y como conclusión cabe añadir que los datos geoquímicos expuestos, así como los mineralógicos, indican que la hidrólisis en medio ácido que afecta a estas granulitas puede definirse como una meteorización de tipo fermonosialítico, con una tendencia ferralítica al menos en sus fases iniciales.

Meteorización en medios hidromorfos

Como ya se ha indicado, ante la imposibilidad de encontrar perfiles hidromorfos desarrollados directamente sobre granulitas, se recurre

Fig. 10.- Gráficas iso- Fe_2O_3

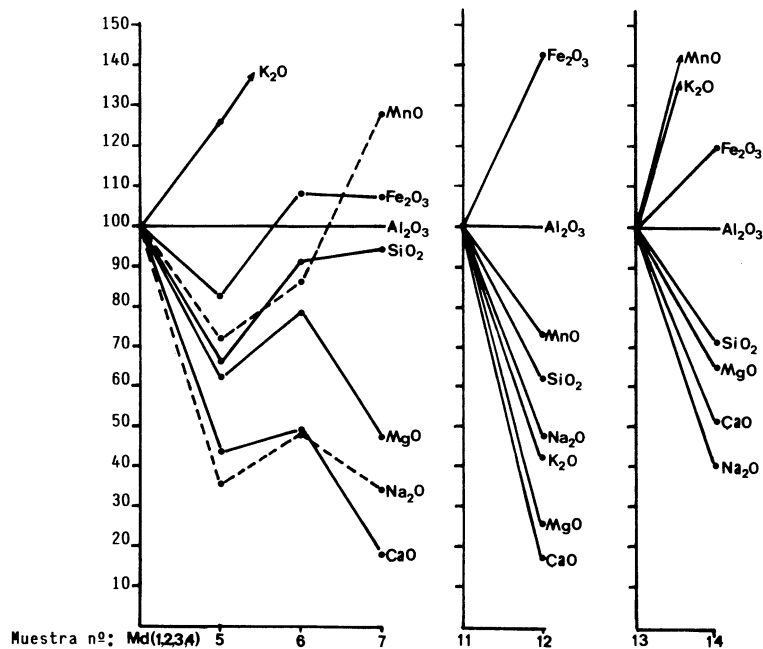
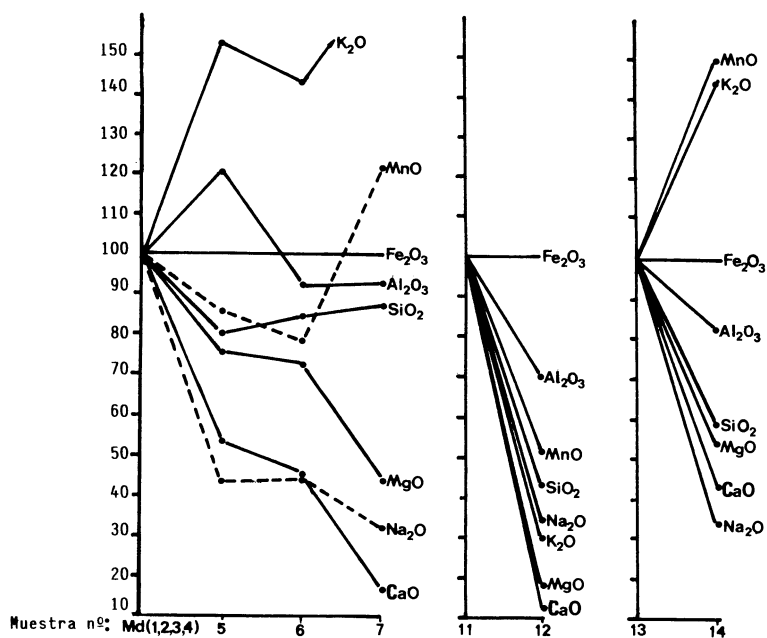


Fig. 11.- Gráficas iso-Al₂O₃

a analizar los horizontes Bg de dos suelos formados sobre materiales alóctonos procedentes de la erosión del macizo granulítico, uno de los cuales soporta condiciones de hidromorfia alternantes (perfil 4) y el otro, el perfil 5, está sometido a condiciones hidromorfas permanentes.

Características mineralógicas.

La mineralogía de ambos perfiles (tabla 10), donde predominan los filosilicatos 1:1 dioctaédricos (en general caolinitas bien ordenadas), es frecuente la gibbsita e incluso aparece goethita en proporciones importantes (en el caso del horizonte con hidromorfía alternante), nos indica que se trata de materiales heredados del marco, muy probablemente bastante evolucionados antes de su acumulación, y actualmente sometidos a un medio hidromorfo pero no confinado, sino en el que el agua en circulación continua lixiviando fuertemente estos materiales.

Características goe químicas

Los datos químicos del horizonte Bg del perfil 5 (tabla nº 11) confirman que se trata de las muestras mas evolucionadas de todas las analizadas, como lo demuestran tanto el índice de Parker como su proximidad al vértice $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (fig. 6 y 8), si bien hay que destacar el bajo contenido en uno de los componentes de este sistema residual, el Fe_2O_3 (fig. 9), ya que por tratarse de un medio reducido la solubilidad del hierro es alta.

Tabla nº 10.- Análisis mineralógico por D.R.X de los horizontes Bg de los perfiles 4 y 5

	Perfil 4			Perfil 5		
	Arena	Limo	Arcilla	Arena	Limo	Arcilla
Cuarzo	xx	T	-	x	x	T
Feldespatos	x	-	-	x	-	-
Anfiboles	-	-	-	xx	T	-
Micas degradadas	-	T	T	x	-	-
Goethita	xx	xx	T	-	-	x
Lepidocrocita	T	-	-	-	-	-
Filosilicatos 1:1	x	xxx	xx	x	xxx	xx
Gibbsita	-	-	xx	-	x	x
Fondo de radiación						
a 30º	33	24	33	13	19	20
a 50º	27	22	31	11	16	18

=====

Tabla nº 11 .- Datos químicos del hor. Bg del perfil nº5 (muestra 15)

SiO ₂	65,86	Na ₂ O	1,48
Al ₂ O ₃	18,90	K ₂ O	0,36
Fe ₂ O ₃	5,07	MnO	0,06
MgO	1,45	H ₂ O ⁺	4,17
CaO	1,75	H ₂ O ⁻	0,90
Indice de Parker	26		

=====

Bibliografía

- (1) - VOGEL,D.E.(1967). Petrology of an eclogite- and pyrigarnite-bearing polymetamorphic rock complex at Cabo Ortegal, NW Spain. Leid. Geol. Meded .40 pag. 121-213.
- (2) - DEN TEX et al.(1972). A High-pressure intermediate temperature facies series in the Precambrian at Cabo Ortegal (Northwest Spain).24th I.G.C.1972 section 2pág.64-73 .
- (3) - DE WAARD,D.(1965)- A proposed subdivision of the granulite facies.Am. J.Sci. 263, pag. 455-461.
- (4) - CARBALLEIRA,A.et al(1983)- Bioclimatología de Galicia. Ed. Fundación Barrié . La Coruña.
- (5) - F.A.O. (1977) - Guía para la descripción de perfiles de suelos. Roma
- (6) - MUNSELL SOIL COLOUR CHARTS (1975) - Macbeth division of kollmorgen corporation.
- (7) GUITIAN ,F.;CARBALLAS,T.(1976) - Técnicas de análisis de suelos .Ed. Pico Sacro. Santiago.
- (8) - GUITIAN RIVERA,F (1980) . Estudio de las materias primas cerámicas gallegas. Tesis Univ. Santiago.
- (9) - CHESWORTH,W. (1973) . The residual system of chemical weathering: A model for the chemical breakdown of silicate rocks at the surface of the Warth. Journal of Soil Sci. Vol.24, nº 1 pag. 490-497.
- (10)- PARKER,A.(1970) - An index of weathering for silicate rocks. Geol. Mag. 501-504.
- (11)- KRONBERG,B.I.; NESBITT,H.W.(1981). Cuantification of weathering, soil geochemistry and soil fertility. Journal of soil Science 32 (3) pag. 453-459
- (12)- PARRISH,W.; MACK,M.(1963) . Data for X-ray analysis I. Philips technical library.Eindhoven (2ªed.)
- (13)- GRIM,R.E.(1968). Clay mineralogy .McGraw-Hill New York
- (14)- BROWN,G.(1961) . The X-ray identification and crystal structure of clay minerals. Mineralogical Society.Londres.
- (15)- THOREZ,J.(1975) . Phyllosilicates and clay-minerals.Ed. G.Lelotte Belgica.
- (16)- J.C.P.D.J. (Joint Committe on powder diffraction standars) (1972) Index (inorganic) to the powder diffraction file.Pennsylvania.

- (17) - DIXON, J.B.; WEED, S.B. Eds. (1977) . Minerals in soil environments. Soil Science Society of America Wisconsin, USA.
- (18) - EMBRECHT, J.; STOOPS, D.J. (1982). Microscopical aspects of garnet weathering in a humid tropical environment. Journal of Soil Science 33, 535-545.
- (19) - GARCIA , C. (1982). Estudio de la meteorización de rocas básicas en Galicia. Tesis Univ. Salamanca .