

EVOLUCION GEOQUIMICA DE LAS ROCAS GABROICAS DE GALICIA DURANTE SU METEORIZACION.

C. García Paz y F. Macías Vazquez

Edafología y Geología

Facultad de Biología -Santiago -

Resumen:

Se realiza un estudio de la evolución geoquímica de las rocas gabroicas del macizo de Monte Castelo (La Coruña) en el curso de su meteorización. En medios bien drenados se produce una fuerte pérdida de bases, y en menor medida de Si, ya desde las primeras fases de la alteración, por el contrario, en los medios donde la hidromorfía es permanente la lixiviación de bases decrece, la movilidad del Si se aproxima a la del Al y se incrementa la del Fe y el Mn.

Summary:

This paper is a study of the geochemical evolution of the gabbroic rocks of Monte Castelo (La Coruña) in the progress of their weathering. In well drained environments there are an intense loss of bases and, in a minor level, of Si, even in the first phases of the weathering; but in hydromorphic environments, the leach of bases decreases; the mobility of Si comes near of the Al and that of Fe and Mn increases.

INTRODUCCION.

Con el presente trabajo se trata de establecer las transformaciones geoquímicas originadas durante el proceso de meteorización del macizo gabroico de Monte Castelo (La Coruña). Este afloramiento, son una extensión aproximada de 200 Km² fué citado por Parga Pondal en 1935 (1) y posteriormente estudiado por diferentes autores, realizando Waarnars en 1967 (2) una tesis doctoral sobre las características geológicas de la zona.

Los constituyentes mineralógicos de los gabros son clino y orto-

piroxenos, plagioclasas (48-80% An) con olivino y hornblenda parda e ilmenita, pirrotina y grafito como minerales accesorios; en ocasiones presentan biotita, granates y cuarzo como consecuencia de su contaminación con rocas semipelíticas(2). El clima de la zona, siguiendo la clasificación de Thornthwaite, se define como Perhúmedo mesotérmico I con pequeño déficit de agua. En cuanto al clima del suelo (3), resulta ser de régimen térmico México, pudiendo llegar a Isoméxico en las zonas peor drenadas (4). El régimen hídrico es Udico con zonas de transición hacia Ustico tipo I; pero las características geomorfológicas permiten la aparición de un régimen de humedad Acuico en las zonas deprimidas. Utilizando como criterios las condiciones de drenaje y la "intensidad de meteorización" (5) se han establecido los siguientes tipos de sistemas :

- | | | |
|---------------------------|---|---|
| Sistemas no hidromórficos | { | <ul style="list-style-type: none"> 1) Meteorización incipiente, sin formación de horz.edáficos. 2) Meteorización profunda en perf. con horz. C muy desarrollados (≥ 100 cm.) |
| Sistemas hidromórficos | { | <ul style="list-style-type: none"> 1) Meteorización en perfiles con hidromorfia alternante: Ambientes oxidante y reductor con fuerte alternancia estacional, producida por la variación del nivel freático . 2) Meteorización en condiciones hidromorfas permanentes : Constantemente saturadas de agua, con ambiente reductor, pero con cierta circulación de agua . |

2.- MATERIAL Y METODOS.

Una vez seleccionados los perfiles representativos de las diferentes condiciones de meteorización (fig.1) se han tomado muestras de la roca fresca y en diversos grados de alteración, así como de los horizontes edáficos cuyo proceso de formación se encuentra relacionado fundamentalmente con los componentes inorgánicos del suelo. Se han realizado las siguientes determinaciones :

Análisis químico total:









Se realiza 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 fluorhídrico a una temperatura de 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. Los elementos constituyentes se determinan por espectrofotometría de absorción atómica(6)

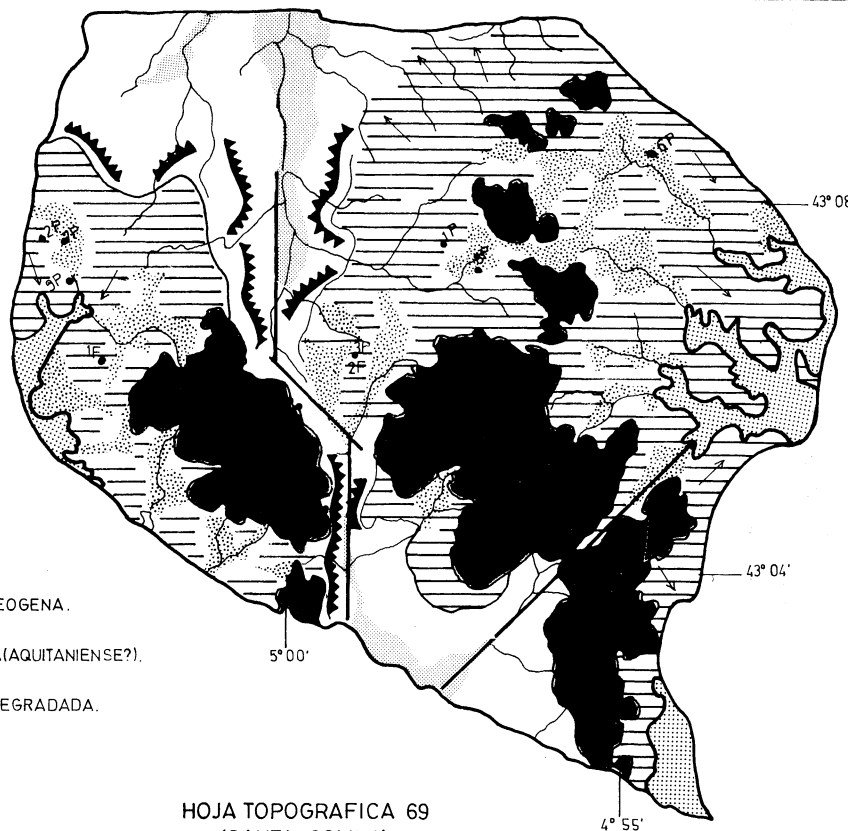
Densidad.

La densidad real y aparente (impermeabilizando con laca) se determinan con picnómetro (7) .

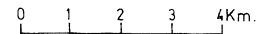
FIGURA Nº 1

ESQUEMA
GEOMORFOLOGICO
(Elaborado a partir de Nonn 1966
y observaciones de Puga 1982.)

-  PENDIENTE.
-  FRACTURA.
-  ABRUPTO DE FALLA.
-  SUPERFICIE FUNDAMENTAL EOGENA.
-  SUPERFICIE FINIOLIGOCENICA(AQUITANIENSE?).
-  SUPERFICIE "AQUITANIENSE" DEGRADADA.
-  SEDIMENTOS ALUVIALES.
-  BRAÑAS.



HOJA TOPOGRAFICA 69
(SANTA COMBA)



La comparación entre los análisis químicos totales de la roca fresca y de la roca en diversos grados de alteración, así como de muestras de los horizontes mas profundos del suelo permiten apreciar las pérdidas y ganancias relativas de los diferentes elementos químicos durante el proceso de meteorización; sin embargo, la evolución que sufren los materiales durante este proceso se pone de manifiesto mucho mas claramente utilizando algunos de los métodos propuestos con este objeto por diversos autores; así, en el presente estudio, se ha realizado el cálculo isovolumétrico propuesto por Millot y Bonifas (8) gracias al cual pueden determinarse las pérdidas de elementos en un volumen dado de muestra, siempre y cuando no se haya producido una fuerte modificación estructural durante el proceso de alteración ; el balance geoquímico global nos permite conocer el grado de movilidad de los elementos a medida que transcurre la meteorización .

Por otra parte se ha intentado mediante un test (según proponen Lelong y Souchier, (9) y describen Chesworth et al. (10)), la búsqueda de un componente inmóvil, evaluando las relaciones entre aquellos componentes que presentan menor movilidad y representando estas relaciones en diversos tipos de diagramas .

La evolución geoquímica de los materiales se ha estudiado también representando los datos analíticos obtenidos en diagramas del tipo de los propuestos por Chesworth (11) y los clásicos QLM obtenidos a partir de los índices de Niggli (12) . Asimismo, se ha calculado el índice de alteración de Parker (I_a) (13) que relaciona las cantidades de los elementos más móviles en los diferentes estadios de la evolución.

$$I_a = \left[\frac{\text{Ca}}{0,7} + \frac{\text{Mg}}{0,9} + \frac{\text{K}}{0,25} + \frac{\text{Na}}{0,3} \right] \times 100$$

En el numerador se expresan las cantidades de elementos calculadas en átomos gramo y en los denominadores figuran las energías de enlace de estos cationes con el oxígeno.

3.- RESULTADOS Y DISCUSION

3.1.- Meteorización en medios bien drenados.

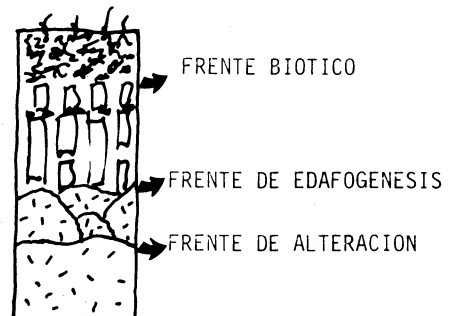
En este apartado se incluye el estudio de un gabro alterado en capas concéntricas (en el que morfológicamente se han diferenciado cuatro zonas) (fig. 2) y de tres muestras de gabro en distintas fases de meteorización recogidas en el frente de alteración de un perfil (fig.2, perfil 5P). Ambos casos, cuyos datos analíticos se encuentran en las tablas 1 y 2 , representan las fases iniciales de la alteración.

 Tabla nº 1.- Gabro alterado en capas concéntricas

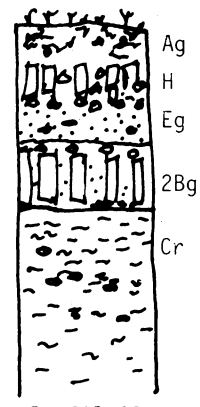
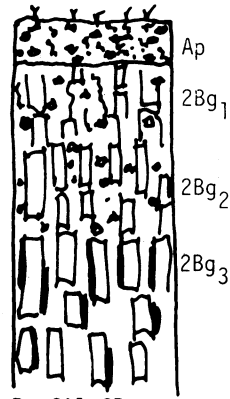
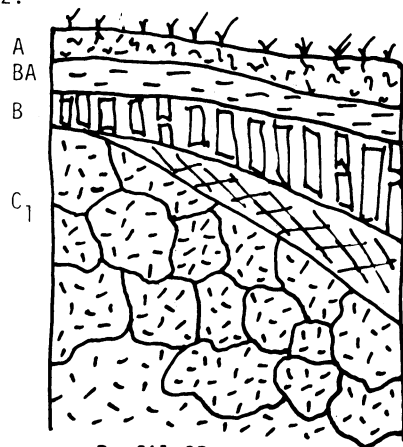
<u>ANALISIS QUIMICO TOTAL</u>				
	Interior 1	Int.Md.2	Md-Ext. 3	Exterior 4
SiO ₂	45,15	46,31	35,15	37
Al ₂ O ₃	16,48	15,91	19,49	21
Fe ₂ O ₃	9,92	11,73	17,04	19,30
MnO	0,87	0,89	1,49	0,30
MgO	10,24	9,17	6,92	7,30
CaO	8,16	6,81	5,86	2,40
Na ₂ O	2,62	2,67	0,53	0,18
K ₂ O	0,11	0,12	0,11	0,09
H ₂ O ⁺	2,11	2,68	8,14	8,58
H ₂ O ⁻	0,18	0,24	0,31	1,45
TiO ₂	3,15	3,04	3,94	1,80
<u>DENSIDADES</u>				
D. real	2,88	2,87	2,91	n.d.
D.aparente	2,87	2,86	2,50	1,96

=====

Figura Nº 2 .



Horiz.



Perfil 2P

Perfil 6P

Perfil 8P

50cm

25 cm

25 cm

Tabla nº 2 .- Frente de alteración del perfil 5P

<u>ANALISIS QUIMICO TOTAL</u>			
	Roca Fresca	Roca -Alterada	Roca + Alterada
SiO ₂	47,44	47,6	42,2
Al ₂ O ₃	18,45	17,8	21,7
Fe ₂ O ₃	8,41	11,0	18,3
MnO	0,30	0,18	0,21
MgO	11,63	6,50	2,10
CaO	7,93	7,60	1,90
Na ₂ O	2,03	1,50	0,60
K ₂ O	0,10	0,18	0,19
TiO ₂	0,75	0,90	0,60
H ₂ O ⁺	2,50	5,09	13,70
H ₂ O ⁻	0,32	2,14	
<u>DENSIDADES</u>			
D.real	2,88	n.d.	n.d.
D.aparente	2,87	2,54	1,94

Por otra parte, como representante de los perfiles de alteración profundos con horizontes C muy desarrollados, se ha seleccionado un suelo (perfil 2P ,Fig. 2), en el que se tomaron muestras correspondientes a diversas profundidades, lo que permite observar las transformaciones que se originan en las fases mas avanzadas de la alteración (tabla nº3); en dicho perfil el horizonte CB, que vendría a representar una fase de edafización más avanzada , presenta material alóctono , lo que supone un claro inconveniente a la hora de establecer relaciones con los horizontes subyacentes . Como complemento al estudio de este último tipo de horizontes se analizan los horizontes B y BC de dos perfiles(3P y 4P , tabla nº 4) cuyas características son similares a las del suelo anteriormente citado.

Tabla nº 3.- Perfil 2P .

<u>ANALISIS QUIMICO TOTAL</u>					
	2 m.	1,60 m.	1,10 m.	60-80 cm.	CB
SiO ₂	39,80	38,80	34,50	36,90	41,30
Al ₂ O ₃	22,50	22,50	22,90	24,30	22,80
Fe ₂ O ₃	19,10	20,30	22,40	20,60	19,30
MnO	0,27	0,26	0,30	0,25	0,21
MgO	2,00	1,30	1,10	1,00	1,40
CaO	1,80	1,50	1,30	0,43	0,26
Na ₂ O	0,32	0,28	0,28	0,13	0,33
K ₂ O	0,18	0,09	0,10	0,09	0,09
TiO ₂	1,20	1,00	1,50	1,10	1,80
H ₂ O ⁺	10,03	10,93	12,25	12,50	10,68
H ₂ O ⁻	3,47	3,43	3,71	3,95	2,30

<u>DENSIDADES</u>					
D. aparente	1,22	1,37	1,29	1,34	1,15

Tabla nº 4 .- Horizontes de los perfiles 3P y 4P .

	Perf. 4P ;Hor.B	Perf. 3P ;Horz.2Bc	Perf. 3P ; Horz,2B
SiO ₂	37,63	36,95	32,45
Al ₂ O ₃	24,36	24,63	28,02
Fe ₂ O ₃	19,11	19,31	19,41
MnO	0,22	0,17	0,15
MgO	0,80	0,50	0,60
CaO	0,21	0,30	0,30
Na ₂ O	0,15	0,30	0,13
K ₂ O	0,12	0,10	0,09
TiO ₂	0,60	1,10	0,70
H ₂ O ⁺	12,35	12,67	14,44
H ₂ O ⁻	4,52	4,00	3,80

La representación de los resultados sobre diagramas del tipo de los propuestos por Chesworth pone de manifiesto que ya en las etapas iniciales de la meteorización (Fig.nº3) hay clara tendencia hacia el vértice $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, vértice en el que dicho autor considera representando "el sistema residual"(al que sólo habría que añadirle el agua) En la fig. 3 y a título comparativo se han proyectado también los valores correspondientes a algunas muestras de gabros no alterados pertenecientes al afloramiento estudiado.

Por otra parte, la representación de los índices de Parker (Fig.4) permite comprobar que las mayores diferencias se producen en las primeras fases de la alteración, por lo que es posible afirmar que la fuerte pérdida de bases que sufren los sistemas bien drenados de esta zona corresponde precisamente a dichas etapas iniciales.

Por lo que se refiere al análisis de los componentes del sistema residual, los diagramas triangulares $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ permiten observar que en los medios bien drenados existe una clara tendencia a la pérdida de SiO_2 así como un neto enriquecimiento relativo en Fe_2O_3 en las etapas iniciales de la meteorización (fig. 5).

Este hecho, así como el ligero enriquecimiento relativo en Al_2O_3 se pone de manifiesto al calcular las relaciones molares $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ de cada una de las fases de alteración (tablas 5a,b,c,d) correspondiendo las únicas anomalías a los horizontes que presentan estructura edáfica, (caso de los dos horizontes superiores del perfil 2P). En el caso concreto de la relación $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$, si bien los valores de todas las relaciones son superiores a los que corresponderían a los filosilicatos 1:1 y, sobre todo, a los hidróxidos de aluminio (minerales que se han detectado en los análisis mineralógicos como productos de la alteración de estas rocas gabroicas) (14), conviene recordar que los análisis utilizados corresponden a la muestra total, no a la fracción arcilla, por lo cual puede hablarse, sin contrasentido, de una tendencia monosialítica global para el curso de la meteorización.

Tabla N° 5a .- Relaciones molares. Gabro alterado en capas concéntricas.

	Inter. 1	Inter. Md. 2	Md. Ext. 3	Ext. 4
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	4,69	4,81	3,05	2,95
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,38	3,30	1,95	1,87
$\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$	12,1	10,55	5,42	5,12
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$	2,58	2,19	1,77	1,73

Tabla n° 5b.- Relaciones molares.Frente de alteración del perfil 5P

	Roca fresca	- Alterada	+ Alterada
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	4,39	4,51	3,33
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,39	2,54	1,84
$\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$	3,39	3,24	2,16
$\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$	14,9	11,45	6,14

Tabla 5c.- Relaciones molares . Perfil 2P

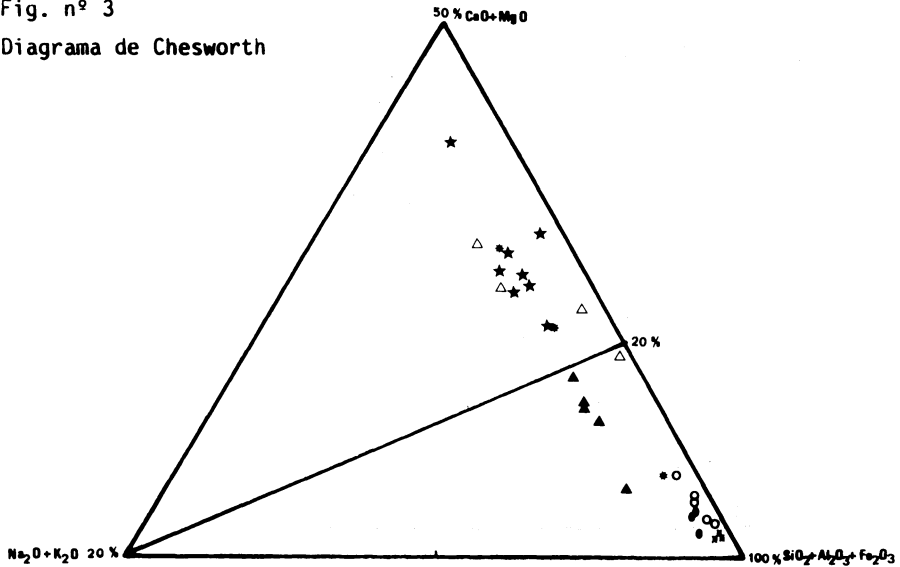
	2 m.	1,60 m.	1,10 m.	60-80 cm.	CB
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	3	2,95	2,59	2,54	3,14
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,95	1,87	1,58	1,65	2,02
$\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$	5,55	5,12	4,07	4,73	5,7
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,85	1,73	1,57	1,86	1,82

Tabla 5d .- Relaciones molares . Horizontes de los perfiles 3P y 4P

	Perf. 4P; hor. B	Perf. 3P,Hor.2BC	Perf.3P;Hor.2B
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	2,62	2,54	2
$\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$	5,25	5,08	4,5
$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,75	1,69	1,38
$\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3$	2	2	2,25

Fig. nº 3

Diagrama de Chesworth



Alt. del gabro en capas concentricas Δ

Gabros frescos \star

Frente alt. Perfil 5P \bullet

Perfil 8P \blacktriangle

Perfil 2P \circ

Perfil 6P \bullet

Perfiles 4P y 3P \times

Fig. nº 4.- Diagramas de Parker

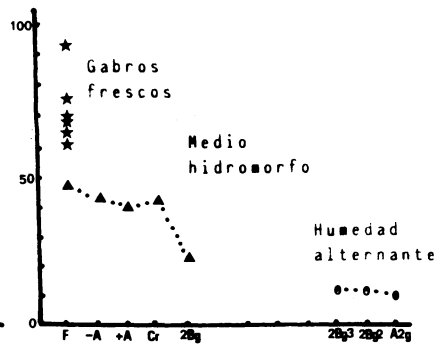
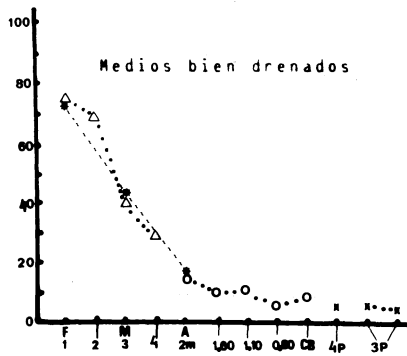


Fig. nº 5
 Diagrama $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$

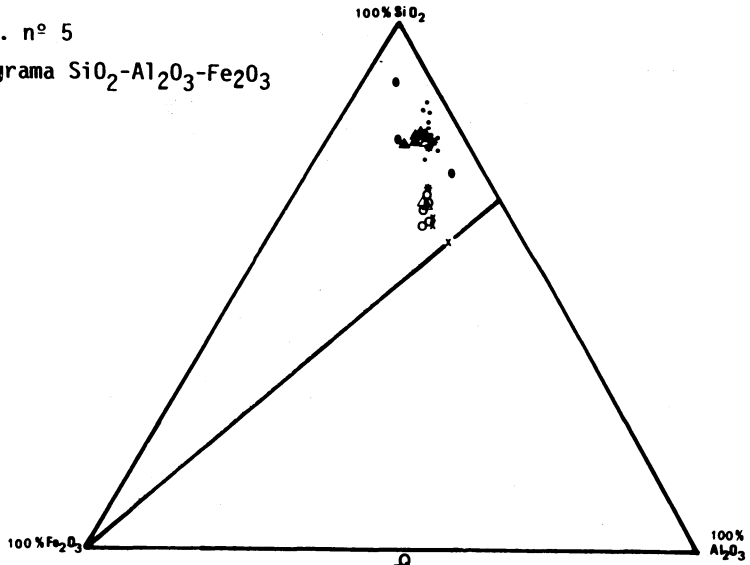
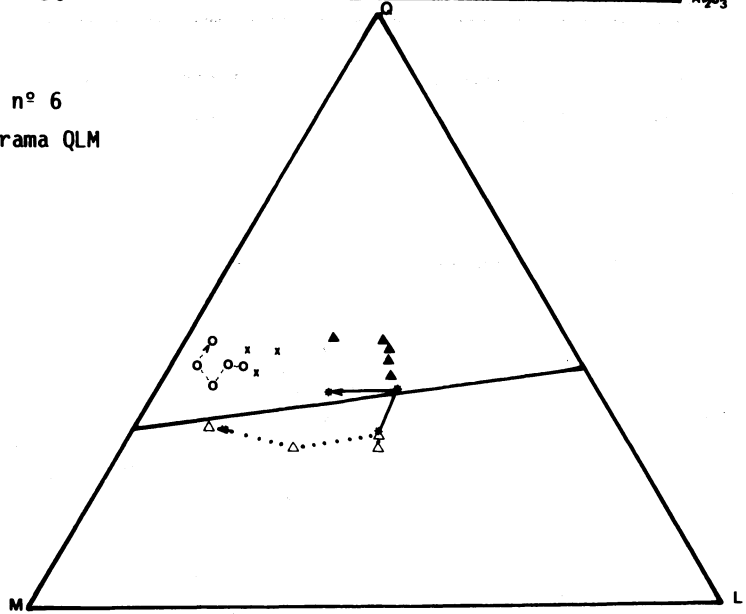


Fig. nº 6
 Diagrama QLM



Alt. del gabro en capas concéntricas Δ
 Frente alt. Perfil 5P \bullet
 Perfiles 3P y 4P \times
 Perfil 2P \circ

Gabros frescos \cdot
 Perfil 8P \blacktriangle
 Perfil 6P \bullet

Los cálculos isovolumétricos indican los siguientes ordenes de movilidades:

En la muestra con alteración en capas, si los resultados se refieren a la comparación entre las capas interior (1) y exterior (4) se obtiene la secuencia : Na,Ca > Mn > Ti > Mg > Si,K > Al > Fe, que presenta una movilidad muy alta para los elementos Ti y Mn. Dado que en la capa externa pueden haberse producido modificaciones por pérdidas y/o ganancias , no atribuibles al propio proceso de meteorización, se ha calculado la secuencia entre las capas (1) y (3), obteniéndose una posición más lógica para estos elementos: Na > Mg,Ca > Si > K > Al > Ti > Fe,Mn .

En el perfil 5P, y para el frente de alteración, se obtiene el siguiente orden : Mg,Ca,Na > Mn,Ti > Si > Al > K > Fe , que resulta bastante próximo al encontrado en las fases avanzadas:Ca > Na > K,Mg > Mn,Ti > Si > Fe,Al si se hace abstracción de la posición del potasio, que al presentarse en muy bajos porcentajes en estas rocas puede inducir errores muy fuertes en la determinación de la movilidad .En cualquier caso, parece que puede generalizarse que los elementos de mayor y menor movilidad son por una parte Ca,Na y Mg y, por otra, el Al y el Fe, quedando el Si en una posición intermedia.

Finalmente las proyecciones sobre diagramas QLM (Fig. 6) presentan, sobre todo en las primeras fases de la alteración , un alejamiento progresivo del vértice L, así como una tendencia a superar la línea que define la existencia de cuarzo en las rocas ígneas; en las fases más avanzadas todas las muestras se sitúan por encima de esta línea y su clara separación del vértice L indica la fuerte destrucción que han sufrido las plagioclasas que, al menos en las etapas iniciales, son los minerales más lábiles del sistema de alteración.

3.2.- Sistemas hidromorfos.

3.2.1.- Meteorización en medios con hidromorfía alternante.

Este tipo de condiciones sólo han sido localizadas, dentro del área de estudio, en algunas zonas deprimidas que, debido a sus características geomorfológicas, constituyen pequeñas cuencas de acumulación de los materiales procedentes del área gábrica. Este hecho ha impedido

encontrar un perfil donde la roca madre esté directamente sometida a condiciones de hidromorfía alternante y, por ello, nos hemos limitado al estudio de un suelo desarrollado sobre los depósitos sedimentarios existentes en una de las cuencas (perfil 6P y Fig.2).

Los datos analíticos se expresan en la tabla 6 pero, como no se trata de materiales inicialmente homogéneos, las comparaciones entre los distintos horizontes no resultan significativas para el estudio de la evolución geoquímica en estos ambientes . Solamente se puede afirmar que se trata de materiales muy evolucionados y muy desbasificados, como lo manifiestan la proximidad al sistema residual (diagrama de Chesworth, fig. 3) y los bajos índices de Parker (Fig. 4) , sin embargo, esta gran evolución, que podría ser en parte debida a las condiciones muy agresivas propias de los medios con hidromorfía alternante (15), puede deberse al menos parcialmente, a que los materiales sobre los que se desarrolla el suelo hubiesen sufrido fuertes transformaciones mineralógicas y geoquímicas previas a su depósito en la cuenca.

Las amplias diferencias que presentan las relaciones $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (fig. 5 y tabla 7) deben asociarse , por una parte, con la naturaleza aloctona de los materiales del perfil y, por otra, con el hecho de que el hierro sufre una gran redistribución en este tipo de medios; finalmente, el enriquecimiento en SiO_2 del horizonte A2g está justificado por la naturaleza mineralógica de dicho horizonte, puesto que aparece constituido fundamentalmente por cuarzo.

3.2.2.- Meteorización en medios permanentemente hidromorfos.

Como representante de este tipo de medios se ha seleccionado el perfil (nº 8P) que, si bien se encuentra desarrollado "in situ" a partir de una roca gabroica (un metagabro en este caso) , presenta material aloctono en su parte superior (a partir del horizonte 2Bg); ello se debe, al igual que ocurría en el caso anterior, a que las condiciones hidromorfos se desarrollan preferentemente en pequeñas cubetas que facilitan la acumulación de sedimentos.

Al estudiar la evolución geoquímica (tabla 8) de estos materiales

Tabla nº 6 .- Perfil 6P .

ANALISIS QUIMICO TOTAL			
	A2 g	2 Bg2	2 Bg3
SiO ₂	67,65	51,50	43,90
Al ₂ O ₃	7,18	13,00	24,10
Fe ₂ O ₃	12,30	20,10	9,20
MnO	n.d.	0,16	0,10
MgO	0,46	1,50	1,50
CaO	1,04	0,87	0,50
Na ₂ O	0,62	0,25	0,20
K ₂ O	0,1	0,32	0,45
TiO ₂	5,82	2,20	0,90
H ₂ O ^f	3,46	7,35	13,61
H ₂ O ⁻	1,17	2,31	4,37

Tabla nº 7 .- Relaciones molares . Perfil 6P

	A2g	2Bg2	2Bg3
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	16,14	6,61	3,09
SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	14,67	6,82	4,87
SiO ₂ /Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃	7,69	3,36	1,89
Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	9,09	1,57	1,03

Tabla nº 8 .- Perfil 8P

	Roca fresca	R.-Altr.	R. +Alt.	Cr	2Bg
SiO ₂	51,0	51,9	52,9	50,8	49,9
Al ₂ O ₃	16,1	15,7	16,5	17,6	14,1
Fe ₂ O ₃	15,5	14,7	13,4	11,5	18,0
MnO	0,18	0,17	0,10	0,10	0,18
MgO	4,3	3,6	3,0	3,6	1,2
CaO	6,6	5,5	5,2	5,5	2,6
Na ₂ O	1,9	1,9	1,81	1,88	1,75
K ₂ O	0,08	0,19	0,2	0,08	0,17
TiO ₂	2,1	1,8	2,2	1,8	4,2
H ₂ O ^f	2,96	3,48	3,95	4,84	5,47
H ₂ O ⁻	0,45	0,83	1,18	1,63	1,87

DENSIDADES

D. aparente	2,73	2,55	2,08	1,58	1,49
-------------	------	------	------	------	------

Tabla nº 9.- relaciones molares . Perfil 8P

	R.fresca	R. - alt.	R.+Alt	Cr	2Bg
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	5,31	5,73	5,5	5	5,93
SiO ₂ /Fe ₂ O ₃	8,76	9,35	10,47	11,8	7,41
SiO ₂ /Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃	3,31	3,55	3,61	3,51	3,29
Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃	1,65	1,63	1,9	2,36	1,25

se observa, en primer lugar, que los índices de Parker (fig. 4) apenas se modifican en el curso de la alteración y que todas las proyecciones de las diferentes muestras sobre los diagramas de Chesworth (fig.3) y QLM (fig. 6) se encuentran muy próximas, siendo la representación del horizonte 2Bg la única que presenta un cierto alejamiento.

Por otra parte, si comparamos todos estos datos con los correspondientes a la evolución de las rocas gabroicas en sistemas bien drenados se hace todavía más patente el escaso grado de evolución geoquímica de estos materiales cuya alteración se realiza en medio hidromorfo. Esto se debe a que se trata de sistemas mucho menos sustractivos y, por lo tanto, con menor eliminación de compuestos. Así, incluso el hecho de que el horizonte 2Bg presente una cierta evolución puede estar relacionado con su contenido en material alóctono que, muy probablemente, ya habría sufrido un proceso de meteorización (con el consecuente lavado de bases) previo a su depósito.

El orden de movilidades obtenido a partir de los cálculos isovolumétricos (comparando la muestra de roca fresca y la más alterada) es el siguiente: $Mn > Mg > Ca, Fe > Na > Al, Si, Ti > K$ lo que, como es lógico, pone de manifiesto la gran movilidad del Mn y Fe en estado reducido. Puede resultar llamativo el hecho de que se sitúe el K como uno de los elementos menos móviles; con respecto a esto se puede señalar que se trata de un elemento muy escaso en estas rocas (por ello su cálculo no tiene gran significado) y debe encontrarse en ellas formando parte de los feldspatos, minerales que en este tipo de medios no sufren una alteración muy intensa. Por otra parte, en estos medios existen minerales susceptibles de fijar K, tales como determinados interlaminares con capas vermiculíticas (14) que pueden retener fuertemente las pequeñas cantidades de K liberadas en el curso de la meteorización.

Como dato simplemente estimativo, puesto que las muestras ya no conservan estructura de roca (dato que es preceptivo en el cálculo isovolumétrico), se ha determinado el orden de movilidades respecto a los horizontes 2 Cr y 2 Bg:

Con respecto a 2 Cr : $Mn > Fe > Ca, Mg, Ti > Na, Si, K > Al$

Con respecto a 2 Bg : $Mg, Ca > Al, Na > Si > Mn > Fe > Ti, K$

En el horizonte más profundo, y de mayor reducción, se confirma la gran movilidad del Fe y Mn, que pasan a ser los elementos más móviles del sistema; por el contrario, en el horizonte 2Bg, donde se produce la transición a un medio oxidante, tanto el Fe como el Mn pierden su movilidad.

De igual forma, el cálculo de las relaciones molares (tabla 9) frente al Fe_2O_3 manifiesta claramente este comportamiento pues tanto las relaciones $\text{SiO}_2 / \text{Fe}_2\text{O}_3$ como $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3$ sufren un aumento progresivo alcanzando su máximo en el horizonte Cr, y un descenso brusco cuando se pasa del horizonte Cr al 2Bg.

En cuanto a la relación $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$ podemos señalar que se mantiene prácticamente constante en todas las muestras, puesto que se trata de sistemas menos sustractivos para la sílice que los medios no hidromorfos.

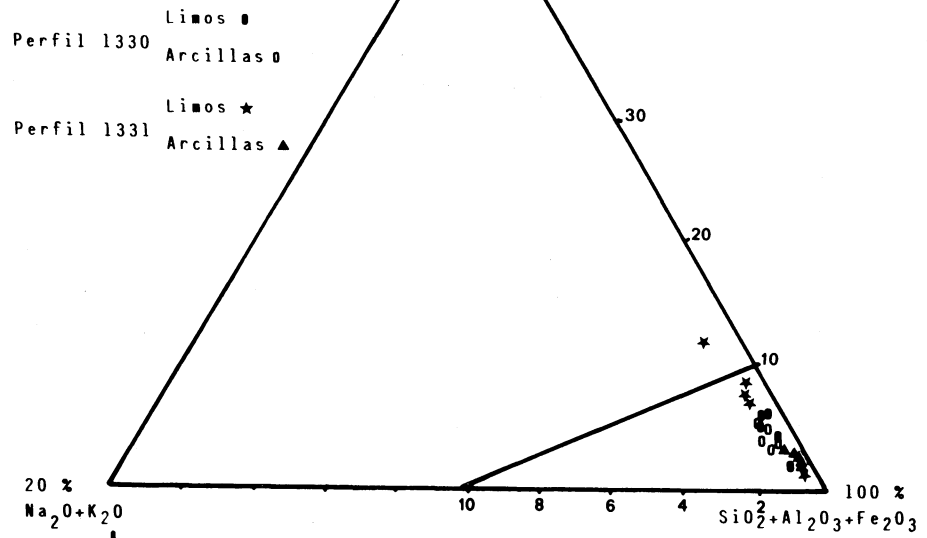
3.3.- Estudio de la fracción fina.

Como complemento al estudio anterior se ha tratado de conocer el grado de evolución de la fracción fina de dos suelos que habían sido analizados por Puga (16). Uno de estos suelos (nº 1330) ocupa una posición de ladera y está bien drenado, el otro, (nº 1331), situado en un rellano, presenta hidromorfía en su horizonte más profundo; ambos contienen material alóctono, por lo que no son significativas las comparaciones entre los diferentes horizontes del perfil.

Las proyecciones sobre diagramas de Chesworth (fig. 7) y el cálculo de los índices de Parker (fig. 8) manifiestan, como es lógico, una mayor evolución geoquímica en las fracciones arcillosas que son las limosas. El estudio sobre diagramas $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ (fig. 9) indican mayor proximidad al vértice Al_2O_3 y un simultáneo descenso de la sílice en las fracciones más finas de los suelos bien drenados, siendo la muestra más próxima al vértice 100 % de Al_2O_3 la que corresponde a la fracción arcilla de la línea de piedras de este último tipo de suelos. En este caso se ha comprobado que los contenidos de gibbsite tanto en la muestra total como en la fracción arcilla alcanzan su máximo en los perfiles situados en zona de ladera con drenaje muy rápido y dentro de ellas en los horizontes con acumulación de fragmentos de roca alterada (líneas de piedras) (16, 17).

Fig. nº 7

Diagrama de Chesworth



Fog. nº 8.- Indices de Parker

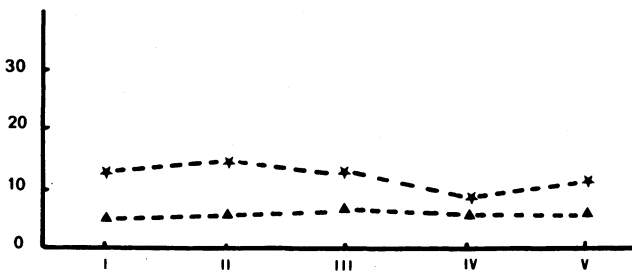
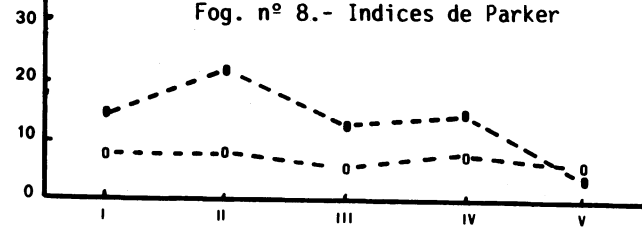


Fig. nº 9 .- Diagrama $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$

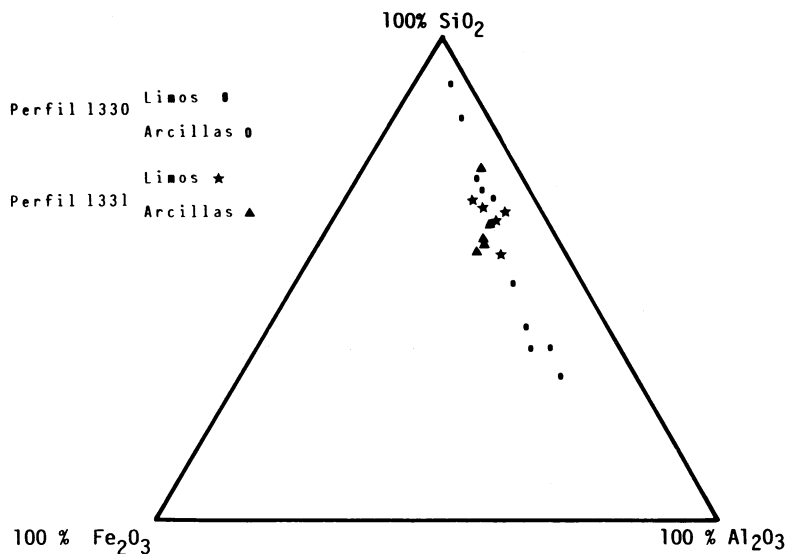
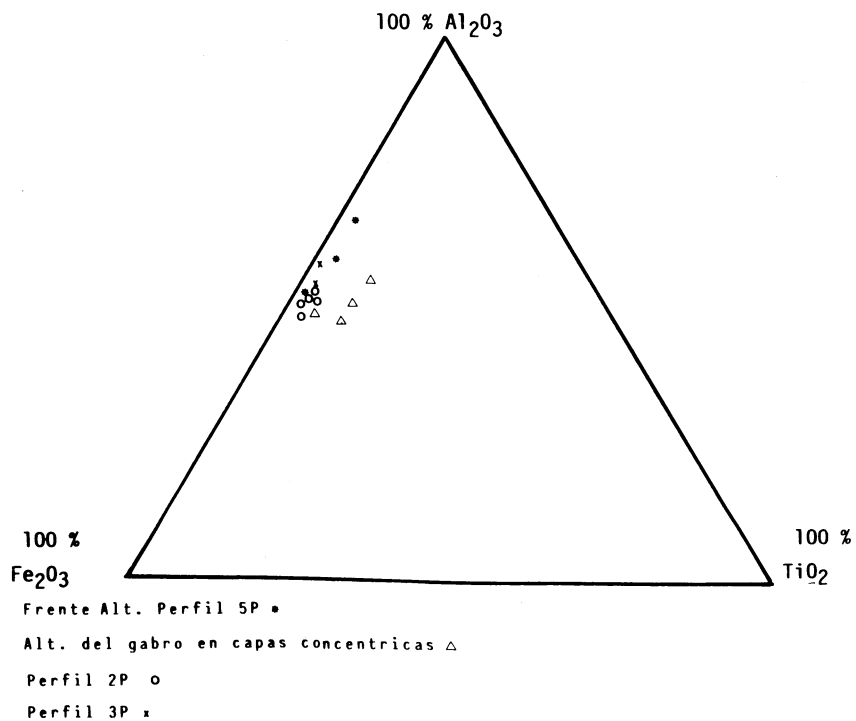


Fig. nº 10.- Diagrama $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$



3.4.- Test del componente inmóvil.

Además del método isovolumétrico se ha intentado la búsqueda de un elemento de referencia (inmóvil). Con este fin se han evaluado las relaciones entre aquellos componentes que presentan menor movilidad, representando estas relaciones en diversos tipos de diagramas, según el método utilizado por Chesworth et al.(10).

Analizando las relaciones de los componentes del sistema residual Al_2O_3 , Fe_2O_3 y SiO_2 se observa que no se mantienen constantes durante las distintas etapas de la alteración, lo que se manifiesta por un alejamiento de las proyecciones en el diagrama triangular correspondiente (fig. 5). Esto implica que, al menos, uno de estos elementos no puede considerarse como inmóvil.

Para los medios bien drenados diversos autores proponen como referencia los elementos $Al_2O_3 - Fe_2O_3 - TiO_2$ (10). En las secuencias de alteración analizadas (Fig.10) puede afirmarse que esta relación no es invariante durante las primeras etapas del proceso, pero si parece claro que puede utilizarse cuando la meteorización es suficientemente avanzada. Esta diferencia puede atribuirse a un cambio de comportamiento según el estadio del proceso, siendo el Al el elemento de mayor movilidad relativa en las primeras etapas y permaneciendo constantes, y dentro del mismo orden, las movilidades de los tres elementos en las fases avanzadas. Esta hipótesis, que parece contradecir la clásica secuencia de Goldich (18) en la que se basan los cálculos isoalúmina realizados por diversos autores, se explicaría por los datos cinéticos obtenidos por Wollast (19) y Busenberg (20) que ponen de relieve la gran velocidad de saturación del medio en Al en las etapas iniciales. Posteriormente, cuando la alteración es muy intensa ya se producen situaciones próximas al equilibrio en las que este elemento puede considerarse como prácticamente inmóvil. Por otra parte, recientes trabajos (10,21) obtienen conclusiones semejantes que indican que el Al puede mobilizarse en los medios de alteración en formas inorgánicas de baja cristalinidad (22) o como complejos organo-alumínicos (23) incluso a los valores de pH donde su solubilidad es menor. En consecuencia tanto los cálculos isoalúmina (fig. 11) como los referentes al sumatorio $Al_2O_3 - Fe_2O_3 - TiO_2$ solo serán

Figura N° 11.- Gráficas isoalúmina

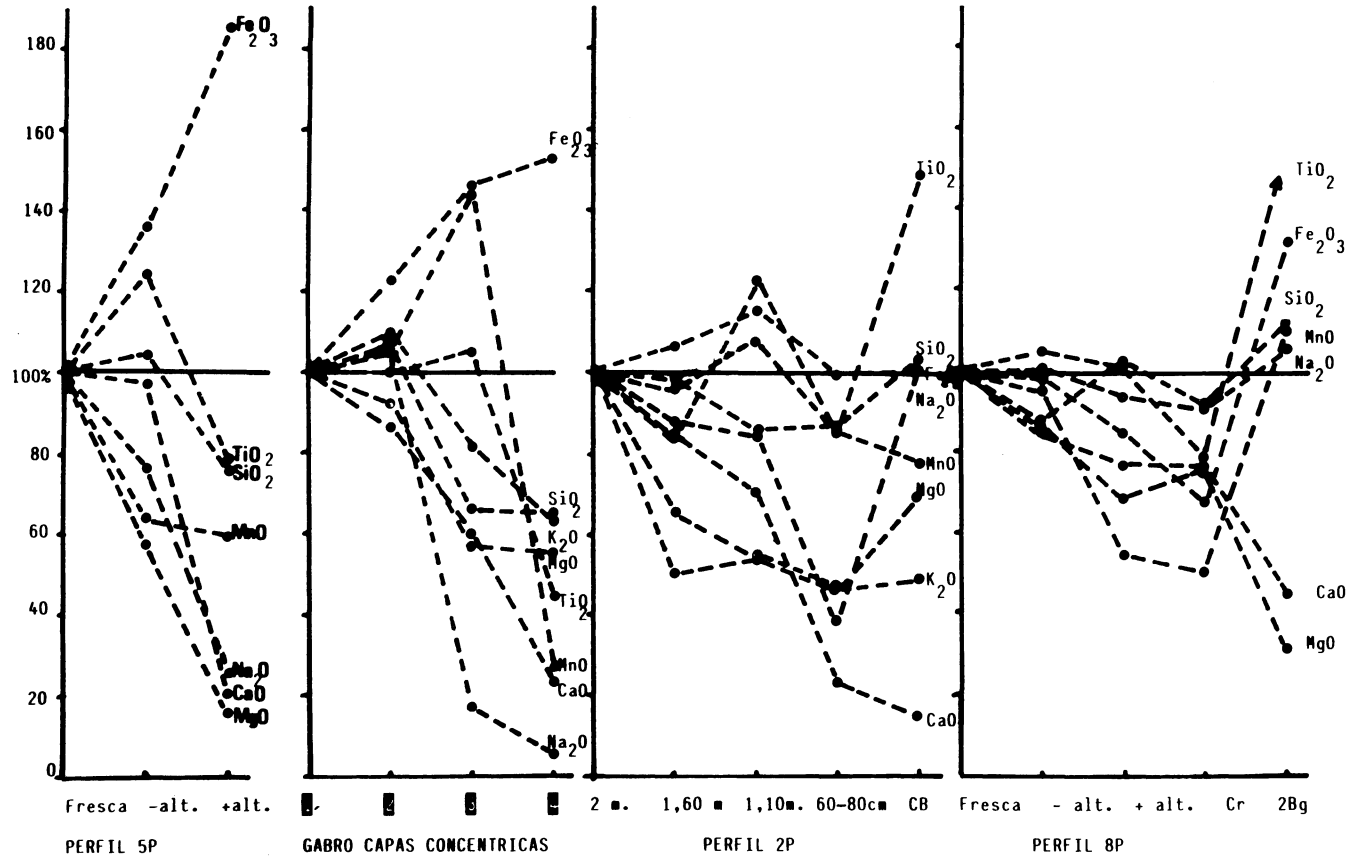
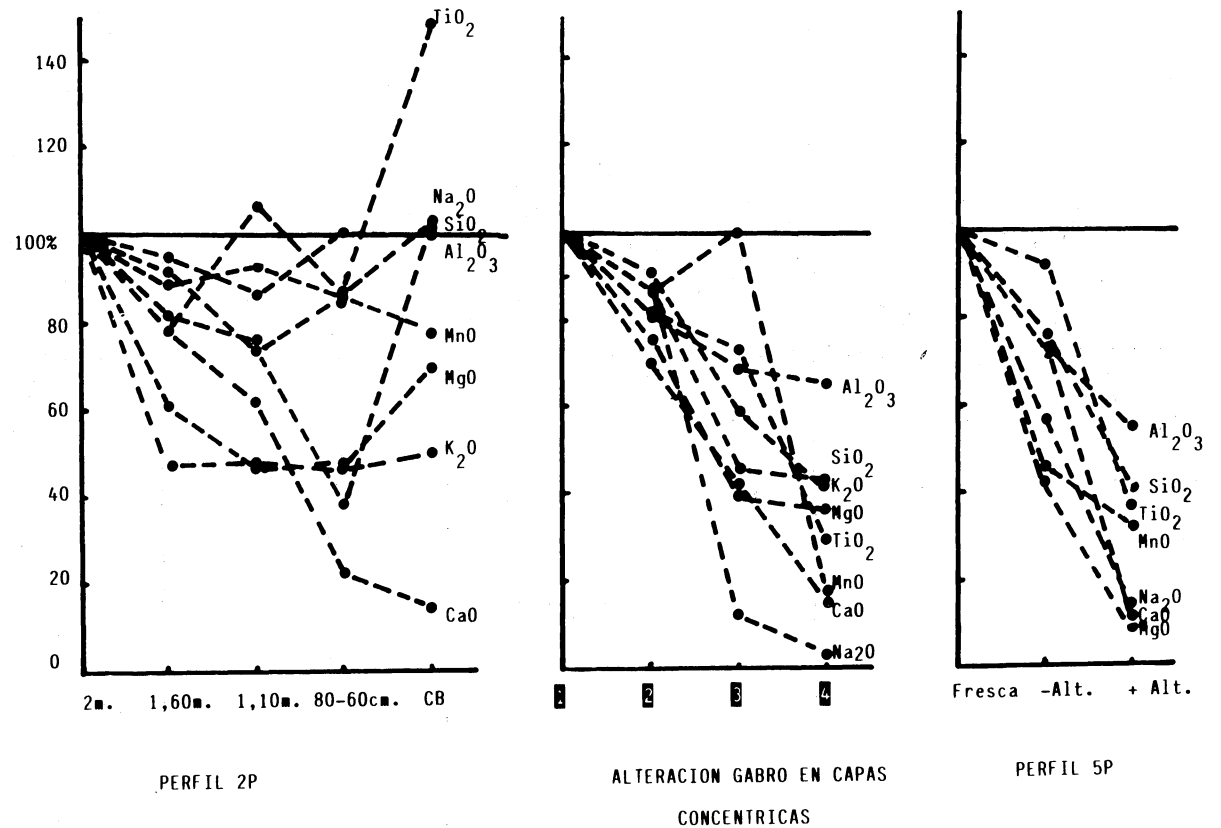


FIGURA N° 12 .- Gráficas iso-hierro



adecuados para comparar fases de meteorización avanzadas . De los otros componentes se observa que la suma $Fe_2O_3 + TiO_2$ apenas sufre modificaciones, si bien de los cálculos iso-hierro (Fig.12) parece concluirse que este elemento es el más adecuado como referencia en los medios oxidantes (con buen drenaje).

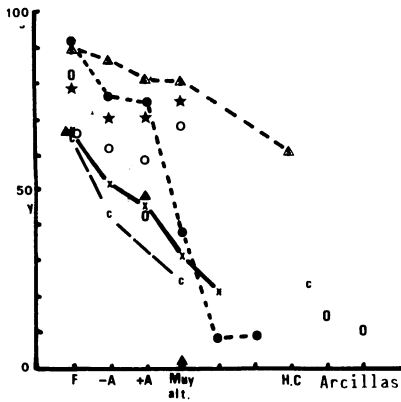
En los sistemas hidromorfos debe destacarse la menor movilidad del Si, quizás atribuible a la existencia de un aporte de formas no cristalinas de origen biogénico y alta solubilidad que saturarían la solución y relentizarían la salida del Si de las estructuras silicatadas . Por otra parte, la suma $Al_2O_3 + SiO_2$ no experimenta grandes modificaciones en el curso de la alteración.

En síntesis parece concluirse que ninguno de los elementos estudiados permanece inmóvil durante la alteración , pero que pueden definirse uno o varios elementos de referencia adecuados para cada una de las condiciones del medio y estadio de la meteorización .

3.5.- Relación entre los procesos de meteorización de rocas básicas en Galicia y en otras áreas.

Cuando se compara la evolución geoquímica de las rocas básicas en Galicia con la que tiene lugar en otras áreas, se observa como diferencia fundamental el fuerte lavado de bases que se produce en los medios bien drenados durante las fases iniciales de la meteorización de las rocas gallegas, así como una clara tendencia a la formación de compuestos cuya relación SiO_2/Al_2O_3 es del orden de 2 (fig. 3,4 y 5). Por el contrario, la pérdida de bases es mucho más suave en las otras zonas (Fig. 13 y 14),siendo frecuente en ellas la aparición de minerales con relación SiO_2/Al_2O_3 próxima a 4 . En Galicia , los únicos medios estudiados en los que se observa este último tipo de tendencia evolutiva corresponden a ambientes mal drenados, cuya velocidad de lixiviación del Si y bases es menor .

Fig. 13.-



- x Bain et al. (1980) . Basaltos. Escocia
- △ f. arcilla
- Chesworth et al (1981).Basaltos.Belbex
- ▲ Dejou e Ildefonse (1979).Gabros.Cantal
- ★ Clement et al(1978).Gabros . Quebec
- Dejou e Ildefonse(1979).Gabros.Loira
- ◐ Clemency (1975).Anfibolita .Brasil
- ▲ Clemency y Busemberg(1974).Diabasa.Brasil
- ◑ Navrot y Singer (1975).R.básicas,clima mediterráneo .
- ◒ f. arcilla

Fig. 15

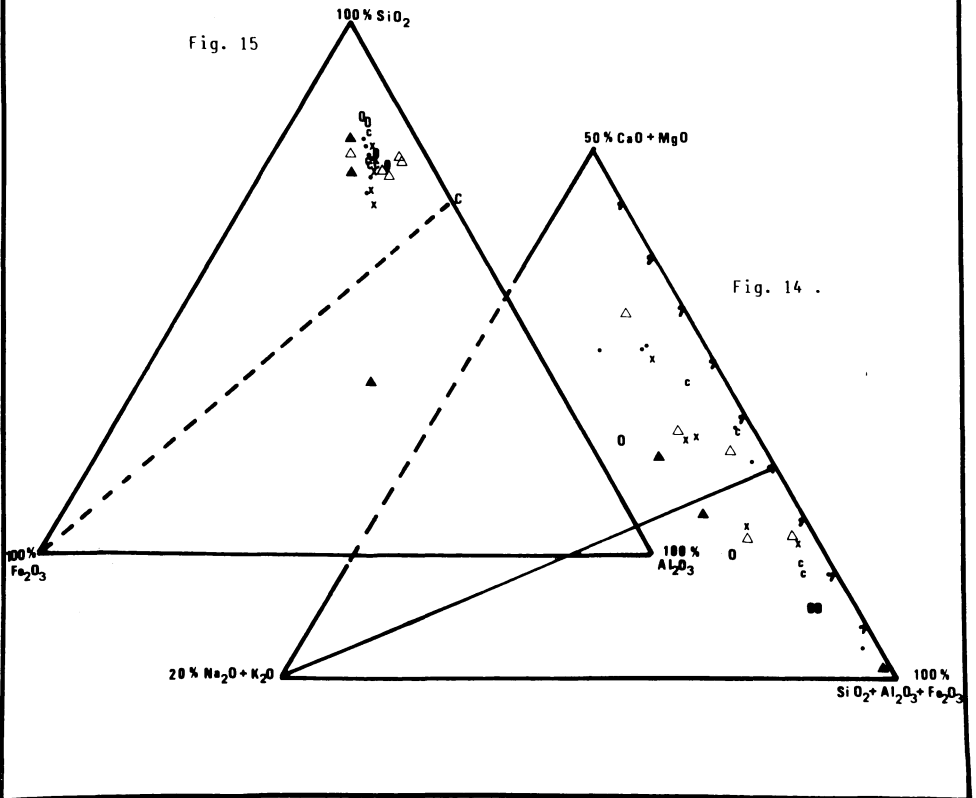


Fig. 14 .

- 1) PARGA PONDAL, I. (1935)-Citado en Parga Pondal (1966)- Datos geológico-petrográficos de la prov.de La Coruña."Est. Agrobiol. de la Prov. de La Coruña" . Publ. Excma.Dipt.Prov. La Coruña, 34-76
- 2) WARNAARS, F.W.(1967)-Petrography of a peridotite-, amphibolite-, and gabbro bearing polyorogenic terrain NW of Santiago de Compostela (Spain). Ph.D.Thesis Leiden Univ., 208 pp.
- 3) U.S.D.A. (1975)- Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys.Washington.
- 4) DIAZ DE BUSTAMANTE, J.; GIL SOTRES, F.; DIAZ-FIERROS, F (1977)-Estudio de algunos factores que determinan el régimen de temperaturas en los suelos gallegos .Trabajos Compost. de Biol., 6,9-28
- 5) PEDRO, G. et al. (1975) -Sur la nécessité et l'importance d'une distinction fondamentale entre typo et degré d'alteration. Application au problème de la définition de la ferrallitisation. C.R.Acad. Paris, 280, ser.D. 825-828 .
- 6) GUITIAN RIVERA, F. (1981) - Comunicación personal.
- 7) GUITIAN OJEA, F.; CARBALLAS, T. (1976)- Técnicas de análisis de suelos. Ed. Pico Sacro. Santiago de Compostela.
- 8) MILLOT, G y BONIFAS, M. (1955)- Transformation isovolumétrique dans les phénomènes de latéritisation et de bauxitisation . Bull Serv. Carte Geol. Alsace-Lorraine.Strasbourg,8, 3-10.
- 9) LELONG, F. y SOUCHIER, B. (1979)- Les bilans d'altération dans les sols. Methodes, résultats, perspectives. Science du sol 1979, n.2-3 , 267-279.
- 10) CHESWORTH, W; DEJOU, J.; LARROQUE, P (1981)- The weathering of basalt and relative mobilities of the major elements at Belbex (France). Geochim.et Cosmochimica Acta , 45, 1235-1243
- 11) CHESWORTH, W. (1973) -The residual system of chemical weathering: A model for the chemical breakdown of silicate rocks at the surface of the Earth. Journal of Soil Sci 24 69-81
- 12) BURRI, C. (1964)- Petrochemical calculations based on equivalents (Methods of Paul Niggli) Davey&Co. New York
- 13) PARKER, A. (1970)- An index of weathering for silicate rocks. Geol. Mag. 501-504.
- 14) GARCIA PÁZ, C. (1982) - Estudio de la meteorización de rocas básicas en Galicia .Tesis Univ.Salamanca.
- 15) MACIAS, F. et al. (1981)- Alteración de los esquistos de las Mariñas en medios confinados y con humedad alternante. Acta Científica Compostelana XVII , 247-263.
- 16) PUGA PEREIRA , M. (1982)- Estudio de los suelos sobre gabros .Tesis Univ. Santiago.
- 17) MACIAS, F.; GUITIAN OJEA, F. (1980)- La presencia de gibbsita en suelos de climas templados: Una revisión de los conocimientos actuales (1) An.Edafol.Agrobiol. 39 , 301-341.
- 18) GOLDICH, S.S. (1938) - A study on rock weathering. J.Geol. 46 17-58
- 19) WOLLAST, R. (1967)- Kinetics of the alteration of K-feldspar in buffered solutions at low temperature. Geochim. Cosmochim. Acta ,31 635-648.
- 20) BUSENBERG, E. (1978)- Les products of the interaction of feldspars with aqueous solutions at 25°C. Geochim.Cosmochim.Acta 42. 1679-1686.
- 21) GARDNER, L.R. (1980)- Mobilization of Al and Ti during weathering iso-volumetric geochemical evidence. Chemical Geology, 30, 151-165

- 22) FARMER, V.C.; FRASER, A.R. (1982) - Chemical and Colloidal stability of Soils in the Al_2O_3 - Fe_2O_3 - SiO_2 - H_2O System: their role in podzolisation. J. Soil Science, 33, 737-742.
- 23) PETERSEN, L. (1978) - Solubility interactions between iron, aluminum and soil organic matter during podsolization. Presented to Commission V, 11th. Congr. Soc. Soil Sci. Edmonton, Canada.
- 24) NAVROT, J.; SINGER, A. (1976) - Geochemical changes accompanying basic igneous rocks-clay transition in a humid mediterranean climate. Soil Sci. 121, 337-345.
- 25) BAIN, D.C. et al. (1980) - Geochemistry and mineralogy of weathered basalt from Morvern, Scotland. Mineralogical Magazine 43, 865-872.
- 26) CLEMENCY, Ch.V. (1975) - Simultaneous weathering of a granitic gneiss and an intrusive amphibolite dike near Sao Paulo, Brasil, and the origin of clay minerals. Proc Int. Clay Conference Mexico (ed. S.W. Bailey). 15-25.
- 27) CLEMENCY, C.V.; BUSENBERG, E. (1976) - A comparison of the chemistry and mineralogy of weathering sequences from quartz-rich and quartz-free rock from Brazil. Proc Symp. on Water-rock interaction. Geol. Survey Praga. 54-63.
- 28) DEJOU, J.; ILDEFONSE, Ph. (1979) - Analogies et différences enregistrées au cours des altérations superficielles naissantes et anciennes développées sur roches basiques en régions tempérées humides. Cas des roches gabbroïques de la haute vallée de la Jordane (Cantal) et du massif di Pallet (Loire-Atlantique). C. R. Acad. Sci. Paris 288, sér. D. 465-468.
- 29) CLEMENT, P.; DEJOU, J.; KIMPE, C. de (1979) - Caractérisation chimico-minéralogique d'une évolution géochimique récente observée dans un site de versant sur les gabbros du Mont-Mégantic, Québec (Canada). Présence de gibbsite dans les fractions fines de leur arènes. C.R. Acad. Sci. Paris, 288, sér. D., 1063-1066

*

Las determinaciones analíticas se han realizado en el Departamento de Edafología de la Facultad de Farmacia - Santiago de Compostela.