

EVOLUCIÓN GEOQUÍMICA DURANTE LA METEORIZACIÓN Y EDAFOGÉNESIS DE ROCAS GRANÍTICAS EN GALICIA.

T. TABOADA RODRÍGUEZ y C. GARCÍA PAZ

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

Abstract: This paper presents a geochemical study of the evolution, during weathering and pedogenesis, of granitic rocks from Galicia. The obtained results indicate that mass loss is up to 39% as a mean, being very significant the losses of Ca and Na during the first steps of weathering. Using Pedro's terminology, the geochemical trend can be described as "monosiallitic", though some of the profiles showed an "allitization" trend.

Key words: Granite, weathering, geochemistry

Resumen: En este trabajo se presenta un estudio geoquímico de la evolución de rocas graníticas de Galicia durante las fases de meteorización y edafogénesis. Los resultados obtenidos indican que la pérdida de material llega a alcanzar un valor medio del 39%, siendo muy significativas las pérdidas de Ca y Na que se producen en las primeras fases de la alteración. En terminología de Pedro la tendencia geoquímica de la meteorización de estas rocas es monosialítica, aunque en alguno de los perfiles se observa una tendencia alitizante.

Palabras clave: Granito, meteorización, geoquímica

INTRODUCCIÓN

Dado que alrededor del 40% de la superficie de Galicia (NW de España) está ocupada por rocas graníticas, se consideró oportuno realizar un estudio de la evolución geoquímica que sufren estas rocas durante los procesos de meteorización y edafogénesis; para ello se han seleccionado once perfiles situados sobre granitos calcoalcalinos (perfiles nº 1, 2, 3, 4, 5 y 6) y alcalinos (perfiles nº 7, 8, 9, 10 y 11). Los suelos desarrollados sobre estas rocas presentan texturas arenosas y son ácidos con fuerte carácter alíco, de tipo Regosol y Cambisol con horizonte A úmbrico (Taboada, 1992).

MÉTODOS

En cada uno de los afloramientos se tomaron muestras de la roca fresca, de la saprolita a distintas profundidades y de los horizontes edáficos. La metodología utilizada es la siguiente:

- Digestión ácida por vía húmeda en reactores a presión, tanto de la muestra total como de la fracción arcilla de las muestras disgregables.

- Determinación de las pérdidas de agua a 110° y a 1000°C.

- Cálculo de las densidades reales y aparentes (Gutián y Carballas, 1975). En el caso de las

saprolitas la determinación de la densidad aparente se realizó, mediante picnómetro de boca ancha, en muestras secas al aire e impermeabilizadas con una laca.

- Determinación del pH de abrasión y de la concentración de cationes de la disolución de abrasión (Grant, 1969).

RESULTADOS

Estudio de la muestra total

El estudio geoquímico de los granitos indica que se mueven en un campo bastante homogéneo de composición química, si bien la proporción de Fe y Ca es ligeramente superior en los calcoalcalinos, mientras que los alcalinos presentan una mayor proporción de Al y K (Tabla 1).

La evolución geoquímica se estudia con ayuda de índices y diagramas de meteorización como los propuestos por Parker (1970), Kronberg y Nesbitt (1983) y Chesworth (1973). Para establecer el balance geoquímico global se utilizaron los cálculos isovolumétricos propuestos por Millot y Bonifas (1955), que se basan en el principio de que la roca se altera sin que se produzcan variaciones de volumen importantes y, por tanto, estos cálculos se realizaron entre la roca fresca y la saprolita más evolucionada de cada uno de los perfiles.

1) Los valores de los índices que marcan la pérdida de bases, como el índice de Parker o el valor del pH de abrasión y la concentración de cationes en la disolución de abrasión, van descendiendo a medida que avanza la meteorización y edafogénesis y ponen de manifiesto la presencia de rejuvenecimientos en todos los perfiles estudiados. Cabe destacar que existe una correlación significativa entre los valores del índice de Parker y del pH de abrasión.

En las rocas analizadas el índice de Parker oscila entre 85,88 y 64,57; siendo el valor medio de las once rocas estudiadas 73,25. El valor de este índice sufre un descenso significativo en el paso de roca fresca a saprolita y continua descen-

diendo paulatinamente hacia los horizontes edáficos no rejuvenecidos (Tabla 1).

2) Las posiciones que ocupan sobre el diagrama de Chesworth (1973) las muestras analizadas coinciden con el campo definido por este autor para las rocas graníticas (Chesworth, 1979) y manifiestan, en el curso de la alteración, una lixiviación de bases y un enriquecimiento en Si, Al y Fe, elementos constituyentes del denominado "sistema residual" (Fig. 1).

3) Al representar las muestras analizadas sobre el diagrama propuesto por Kronberg y Nesbitt (1981) se observa que, en cada perfil, la evolución se ajusta a la curva de alteración de los feldespatos que estos autores proponen. En la Fig. 2 se recogen los ejemplos de dos perfiles graníticos, uno alcalino y otro calcoalcalino; en ambos se puede comprobar, además, el aporte de minerales frescos que se produce en el horizonte A en el perfil 2 y en el horizonte C en el perfil 11.

4) Los cálculos isovolumétricos indican que las pérdidas de material oscilan entre el 19% y el 54%, siendo el valor medio 38,97%, valor similar al encontrado por Sequeira Braga (1988) en rocas graníticas del noroeste de Portugal.

- Las pérdidas de Ca y Na son elevadas, la media en los perfiles analizados es del 84% para el Ca y de 77,5% para el Na, ello es debido a la fácil alteración de las plagioclasas.

- El lavado de K y de Mg es menos intenso ya que, por un lado, los granitos presentan feldespato potásico y moscovita como fuentes fundamentales de potasio y estos minerales se meteorizan sólo débilmente y, por otro, a que en el proceso de degradación de las biotitas hacia vermiculitas (Taboada, 1992) es posible que permanezca una parte importante del magnesio estructural.

- Por último las menores pérdidas se producen en el caso de los elementos que constituyen el sistema residual, ya que estos permanecen tanto en las estructuras de los minerales más resistentes, como el cuarzo, como en la de los minerales de neoformación como la gibbsita y los oxihidróxidos de hierro.

Tabla 1.- Análisis químico de la muestra total (los datos se expresan en porcentajes de óxidos), densidades en gcm^{-3} (D.r.= densidad real y D.a.= densidad aparente), índice de Parker (Ia), pH de abrasión (pHa) y disolución de abrasión (datos expresados en ppm).

	Análisis químico de la muestra total											Densidades			Disol. de abrasión					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O	H ₂ O*	D.r.	D.a.	Ia	pHa	Ca	Mg	Na	K
Perfil 1																				
Hor.Ah	50,53	16,11	3,63	0,07	0,91	0,53	1,86	3,62	1,13	0,25	4,70	16,84	-	0,78	51,72	6,3	3,00	2,12	16,4	8,4
Hor.2Bw	53,24	22,82	5,52	0,08	1,51	0,13	0,01	2,16	0,96	0,01	3,53	10,04	-	1,34	22,90	5,2	0,01	0,20	4,8	3,6
Hor.2C1	59,57	19,30	5,24	0,06	1,56	0,22	0,08	3,27	0,78	0,01	2,38	7,54	-	1,01	33,33	5,3	1,20	0,78	6,4	6,4
Hor.2C2	63,67	15,69	4,65	0,06	1,50	0,67	0,86	3,44	0,43	0,01	2,02	7,05	-	1,28	42,95	5,4	1,80	0,68	6,8	5,6
R.A.	62,27	17,65	5,31	0,08	1,83	2,44	2,99	3,39	0,60	0,15	0,77	2,52	2,70	-	67,60	6,3	2,80	1,04	32,0	9,2
R.F.	64,94	16,77	4,72	0,07	1,42	2,90	3,17	4,11	0,60	0,30	0,09	0,91	2,76	-	75,41	8,1	3,60	2,36	21,6	19,2
Perfil 2																				
Hor.A	62,96	19,44	2,88	0,02	0,76	0,07	0,66	3,87	0,73	0,13	1,66	6,82	-	0,89	41,18	5,8	0,01	1,70	5,2	11,6
Hor.CA	61,50	22,80	3,06	0,02	0,81	0,07	0,42	3,96	0,46	0,21	1,20	5,49	-	1,29	46,11	5,7	0,10	1,00	3,6	10,9
Hor.C1	66,00	18,26	2,47	0,02	0,70	0,09	0,69	3,89	1,34	0,15	1,19	5,20	-	1,40	39,87	5,5	0,10	0,02	4,0	10,0
Hor.C2	70,39	15,52	2,52	0,02	0,78	0,12	0,35	3,48	0,49	0,21	1,17	4,95	-	1,35	41,51	5,4	0,01	0,44	3,6	7,0
Hor.C3	68,70	16,44	2,50	0,08	0,84	0,22	1,11	3,89	0,49	0,10	1,97	3,66	-	1,35	35,20	6,0	0,01	0,15	8,1	3,5
R.F.	69,73	15,95	2,59	0,03	0,95	0,97	3,22	3,51	0,61	0,32	0,51	0,51	2,66	-	64,57	7,4	0,80	1,43	26,5	21,3
Perfil 3																				
Hor.Ah	66,61	11,53	1,41	0,02	0,15	0,19	2,03	4,65	0,88	0,10	2,99	9,44	-	1,35	59,06	5,9	0,01	0,61	18,0	22,0
Hor.Bt	67,19	16,25	1,98	0,03	0,29	0,34	2,77	4,49	0,58	0,01	1,40	4,68	-	1,52	65,30	5,9	0,01	0,50	16,4	17,2
Hor.2C1	73,41	14,46	1,57	0,03	0,29	0,16	1,84	4,83	0,41	0,10	0,10	2,80	-	1,89	59,15	5,7	0,01	0,36	13,6	18,8
Hor.2C2	73,00	14,46	1,30	0,03	0,17	0,23	2,60	5,06	0,24	0,05	0,64	2,22	-	2,03	67,96	6,2	0,01	0,52	16,8	28,0
R.F.	74,03	13,23	1,59	0,03	0,16	0,41	3,38	4,59	0,34	0,15	0,33	1,76	2,71	-	71,60	7,1	0,01	0,24	21,2	13,2
Perfil 4																				
Hor.Ah	66,77	15,03	1,64	0,02	0,12	0,45	3,68	5,51	0,95	0,48	0,99	4,36	-	1,61	82,16	5,3	2,50	0,30	20,8	10,6
Hor.Bt	69,66	15,07	1,84	0,03	0,20	0,40	2,95	5,13	0,57	0,43	0,73	2,99	-	1,49	72,30	5,8	1,00	0,20	8,6	4,0
Hor.2C1	68,20	16,07	2,50	0,03	0,28	0,22	2,73	4,64	0,53	0,32	1,17	3,31	-	1,62	65,87	5,3	0,50	0,30	6,0	2,6
Hor.2C2	68,96	15,73	2,32	0,03	0,31	0,23	2,80	4,58	0,65	0,21	1,21	2,97	-	2,09	66,12	5,7	0,50	0,40	5,6	2,4
R.A.	75,87	12,45	1,54	0,03	0,08	0,51	3,56	4,29	0,59	0,05	0,12	0,91	2,71	-	70,75	7,5	1,00	0,50	11,4	9,2
R.F.	74,84	13,25	1,41	0,03	0,27	0,66	3,59	4,59	0,34	0,05	0,13	0,84	2,76	-	74,48	8,0	2,10	0,60	14,4	12,4

	Análisis químico de la muestra total													Densidades		Disol. de abrasión					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	F ₂ O ₃	H ₂ O'	H ₂ O''	D.R.	D.a.	Ia	pHa	Ca	Mg	Na	K	
Perfil 5																					
Hor.A	64,69	14,10	3,35	0,06	0,62	0,61	2,89	3,42	1,15	0,45	1,95	6,71	-	1,36	58,93	5,4	0,24	0,96	16,8	1,7	
Hor.BA	67,81	13,99	3,29	0,04	0,52	0,57	2,08	4,17	1,67	0,25	1,49	4,12	-	1,36	57,44	5,8	0,01	0,15	12,6	1,3	
Hor.BC	65,69	17,29	4,22	0,04	0,74	0,63	2,23	3,84	0,81	0,10	1,08	3,33	-	1,54	56,79	5,9	0,01	0,32	10,4	8,4	
Hor.C	65,15	13,16	6,90	0,08	1,18	0,14	0,35	4,79	0,47	0,05	1,87	5,86	-	1,46	47,44	5,7	0,01	0,24	11,2	7,2	
R.A.	73,13	12,45	2,95	0,05	0,86	0,47	3,83	4,37	0,30	0,05	0,41	1,13	2,46	-	75,97	6,5	0,90	0,60	14,0	7,7	
R.F.	75,82	11,93	1,70	0,02	0,09	0,66	3,09	5,90	0,30	0,10	0,13	0,55	2,53	-	80,47	9,2	0,00	0,68	14,0	13,6	
Perfil 6																					
Hor.Ah	67,06	10,99	1,64	0,02	0,17	0,23	1,86	4,70	1,34	0,37	2,41	9,21	-	1,14	58,08	6,2	5,60	1,70	16,4	24,0	
Hor.AC	70,48	13,58	1,73	0,03	0,23	0,25	2,46	4,55	0,53	0,26	1,46	4,39	-	1,41	62,69	5,9	0,40	0,18	20,8	16,4	
Hor.2C	71,05	14,69	1,56	0,03	0,30	0,07	1,13	5,75	0,21	0,05	1,80	3,36	-	2,20	60,19	4,9	0,01	0,12	8,0	12,4	
R.F.	75,78	12,40	2,04	0,05	0,27	0,31	3,00	4,62	0,21	0,05	0,29	0,98	2,70	-	68,40	7,5	0,20	0,86	22,4	18,0	
Perfil 7																					
Hor.Ah	65,09	14,84	1,73	0,01	0,29	0,20	1,84	4,56	1,31	0,45	1,87	7,81	-	0,81	59,69	5,8	0,01	0,26	36,4	22,4	
Hor.Bw	64,86	18,14	1,98	0,02	0,41	0,05	0,95	4,78	0,07	0,10	2,33	6,31	-	0,97	50,57	5,1	0,01	0,20	8,0	10,8	
Hor.C1	62,59	19,73	2,15	0,02	0,62	0,03	0,30	5,57	0,16	0,15	2,81	5,87	-	1,28	51,79	5,2	0,01	0,16	4,4	8,0	
Hor.C2	59,54	22,56	2,77	0,03	1,04	0,04	0,12	5,13	0,07	0,10	2,89	5,71	-	1,74	45,58	4,7	0,01	0,24	8,0	15,6	
Hor.C3	61,66	20,27	2,68	0,03	1,03	0,02	0,19	6,20	0,07	0,15	2,92	4,78	-	1,74	57,22	4,9	0,01	0,12	6,8	8,8	
R.F.	75,37	13,30	0,73	0,03	0,22	0,23	3,05	5,40	0,07	0,15	0,14	1,31	2,69	-	75,13	7,4	0,01	0,20	36,0	33,2	
Perfil 8																					
Hor.A1	61,56	14,28	1,36	0,02	0,22	0,25	1,84	4,56	0,73	0,21	2,51	12,46	-	1,00	54,90	6,2	2,20	1,66	16,4	20,4	
Hor.A2	60,63	12,69	1,14	0,01	0,20	0,18	1,76	4,44	1,22	0,32	2,70	14,71	-	1,00	56,89	5,5	2,00	0,28	14,8	5,2	
Hor.BA	62,28	17,22	1,50	0,04	0,29	0,21	1,99	4,71	1,10	0,37	1,81	8,48	-	1,10	59,64	5,1	0,01	0,64	12,0	12,8	
Hor.2BC	69,33	14,86	1,04	0,01	0,17	0,18	1,77	4,70	0,61	0,21	1,12	6,00	-	1,96	57,12	5,3	0,01	0,10	16,4	19,2	
Hor.2C1	73,27	13,92	0,80	0,02	0,17	0,22	1,81	4,79	0,49	0,10	0,54	3,87	-	2,01	58,35	6,3	0,01	0,02	10,6	11,6	
Hor.2C2	70,94	15,97	1,16	0,02	0,23	0,24	2,08	4,83	0,42	0,26	0,53	3,31	-	2,01	61,40	6,5	0,01	0,26	10,9	17,9	
R.F.	73,39	14,46	1,11	0,02	0,24	0,41	3,56	5,00	0,42	0,26	0,18	0,95	2,56	-	76,96	7,6	2,00	0,74	32,0	31,6	

	Análisis químico de la muestra total											Densidades		Disol. de abrasión							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	D.r.	D.a.	Ia	pHa	Ca	Mg	Na	K	
Perfil 9																					
Hor. Ah	63,40	12,76	1,57	0,02	0,41	0,08	2,21	4,91	0,53	0,53	2,90	10,68	-	1,12	63,37	6,2	0,50	1,45	13,0	16,0	
Hor. AC	57,72	18,66	2,43	0,01	0,36	0,07	0,93	4,29	2,65	0,47	2,59	9,82	-	1,12	46,90	5,1	0,20	0,60	10,4	12,0	
Hor. 2C1	59,67	22,21	2,38	0,01	0,46	0,01	0,01	4,32	0,53	0,2	1,81	8,41	-	1,35	38,07	5,4	0,10	0,06	5,5	6,4	
Hor. 2C2	62,95	22,04	2,57	0,02	0,42	0,06	0,01	4,19	0,29	0,22	1,09	6,18	-	1,27	37,60	5,7	0,10	0,02	4,4	3,6	
R.A.	70,45	16,21	2,27	0,02	0,55	0,54	2,31	5,34	0,39	0,36	0,24	1,32	2,60	-	71,02	7,3	0,20	1,20	17,2	23,2	
R.F.	70,52	14,74	1,89	0,06	0,40	1,69	3,73	5,43	0,50	0,21	0,10	0,72	2,68	-	85,88	8,5	2,80	2,38	27,3	20,7	
Perfil 10																					
Hor. Ah	47,53	14,48	1,89	0,02	0,63	0,42	3,26	3,95	1,13	0,65	6,63	19,41	-	1,09	66,39	6,1	0,01	0,44	20,4	13,6	
Hor. BA	55,36	20,72	3,41	0,03	1,00	0,14	2,92	3,36	0,43	0,3	3,44	8,89	-	1,04	58,56	5,3	0,01	0,12	12,4	4,4	
Hor. BC	53,37	23,18	3,74	0,04	1,03	0,06	3,54	2,88	0,25	0,2	3,61	8,10	-	1,17	60,08	4,9	0,01	0,02	13,2	3,6	
Hor. C1	54,78	22,66	4,42	0,05	1,06	0,02	2,09	5,13	0,07	0,15	3,27	6,30	-	1,59	65,76	5,4	0,01	2,34	11,2	22,4	
Hor. C2	56,53	22,18	3,50	0,02	1,01	0,01	3,12	3,57	0,43	0,2	3,24	6,19	-	1,61	61,88	5,6	0,01	2,34	11,0	12,9	
R.F.	70,48	14,81	2,48	0,02	1,29	0,43	3,21	3,95	0,52	0,25	0,36	2,20	2,58	-	67,77	6,4	0,20	2,84	23,2	16,8	
Perfil 11																					
Hor. Ah	67,60	13,37	3,32	0,04	1,39	0,33	4,52	4,05	0,30	0,45	0,80	3,83	-	1,22	80,73	6,5	1,26	5,70	11,4	2,0	
Hor. C	65,47	15,85	5,85	0,05	1,34	0,45	1,91	4,13	0,64	0,15	1,25	3,55	-	1,08	57,49	6,0	0,01	0,80	13,4	12,2	
Hor. 2C1	60,33	19,89	5,86	0,07	2,09	0,20	0,54	3,98	1,32	0,05	1,49	5,50	-	1,43	45,00	5,4	0,30	0,18	4,5	7,2	
Hor. 2C2	68,74	15,92	3,79	0,05	1,12	0,20	0,98	4,89	0,64	0,15	0,70	3,46	-	1,42	54,11	6,4	0,50	0,15	4,4	5,6	
R.F.	72,70	14,27	2,36	0,04	0,85	0,51	2,31	4,73	0,30	0,15	0,36	1,72	2,68	-	65,07	7,2	0,72	0,78	19,8	6,0	

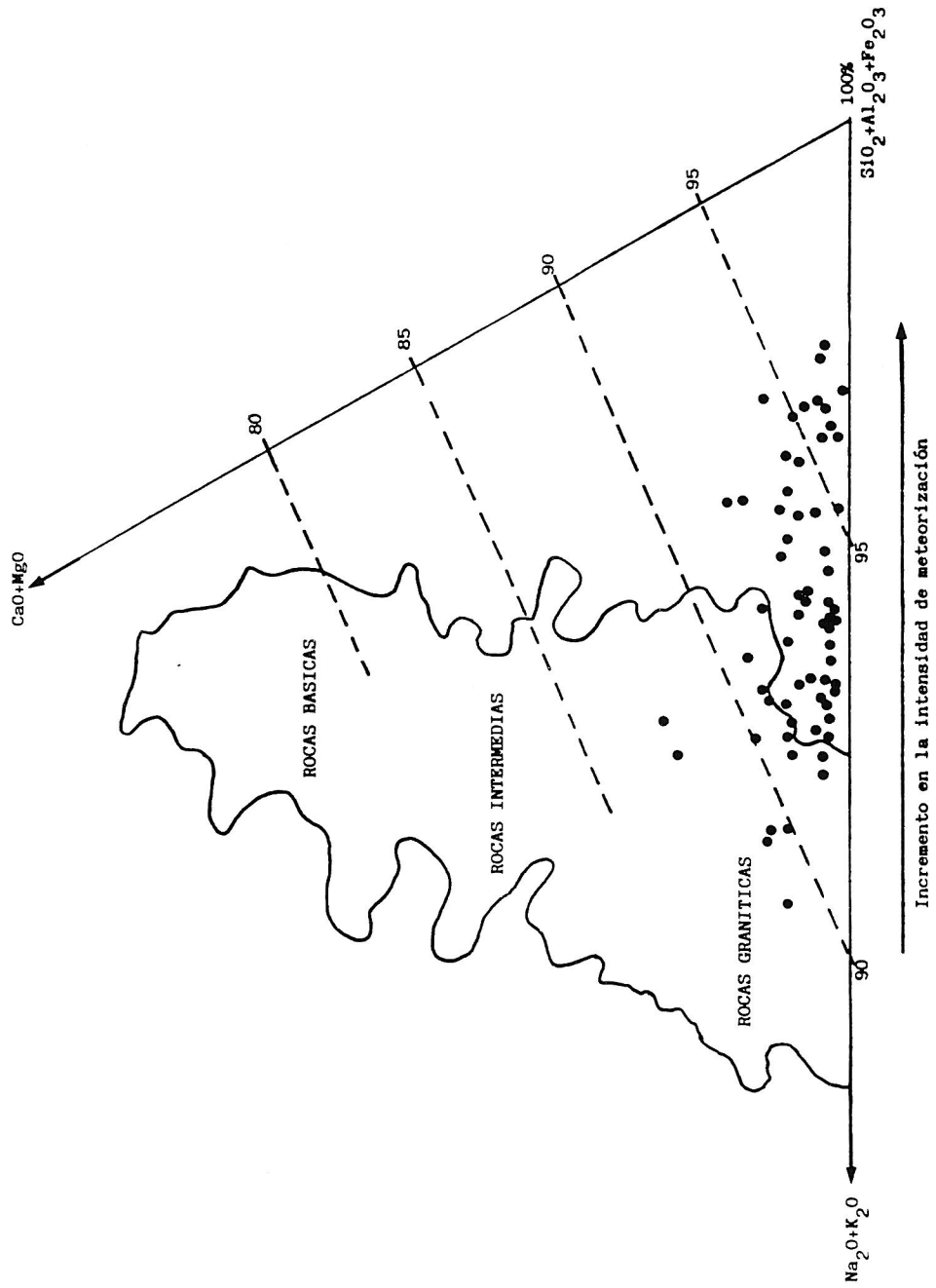
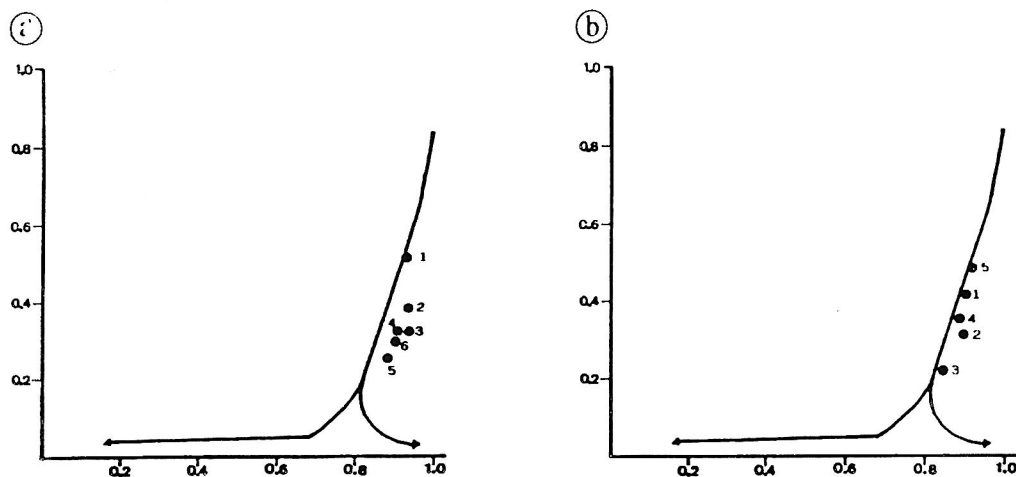


Fig. 1.- Representación de las muestras totales sobre el diagrama de Chesworth (1973).



Eje X: $\text{SiO}_2 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$

Eje Y: $\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$

Fig. 2.- Representación en el diagrama de Kronberg y Nesbitt.

a) Perfil 2, sobre granito calcoalcalino: roca fresca (1), hor. C3 (2), hor. C2 (3), hor. C1 (4), hor. CA (5) y hor. A (6).

b) Perfil 11, sobre granito alcalino: roca fresca (1), hor. 2C2 (2), hor. 2C1 (3), hor. C (4) y hor. Ah (5).

Estudio de la fracción arcilla

La representación sobre un diagrama SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 - H_2O (Chesworth, 1979) de la composición de la arcilla demuestra la tendencia geoquímica de la meteorización de las rocas graníticas de Galicia. En la Fig. 3 se observa que la mayoría de las arcillas analizadas se encuentran próximas al punto donde se representan los filosilicatos 1:1 dioctaédricos (caolinita y halloysita), si bien en muchos casos este punto se supera y las muestras manifiestan una tendencia a aproximarse al vértice alumínico, que representaría el predominio de gibbsita.

Si los resultados obtenidos se traducen a la terminología de Pedro (1979), podemos decir que el tipo de meteorización predominante en las rocas graníticas de Galicia es la monosialitización, aunque en algunos de los perfiles analizados predomina la alitización.

CONCLUSIONES

En todos los perfiles estudiados se observa un proceso de meteorización propio de ambientes abiertos, sustractivos, con fuerte pérdida de Ca y Na en las fases iniciales de la alteración y tendencia hacia el "sistema residual". El análisis de la fracción más evolucionada indica que se trata de un proceso fundamentalmente monosialítico, aunque en algunos de los perfiles predomine la alitización.

BIBLIOGRAFÍA

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.* **245**,69-81.

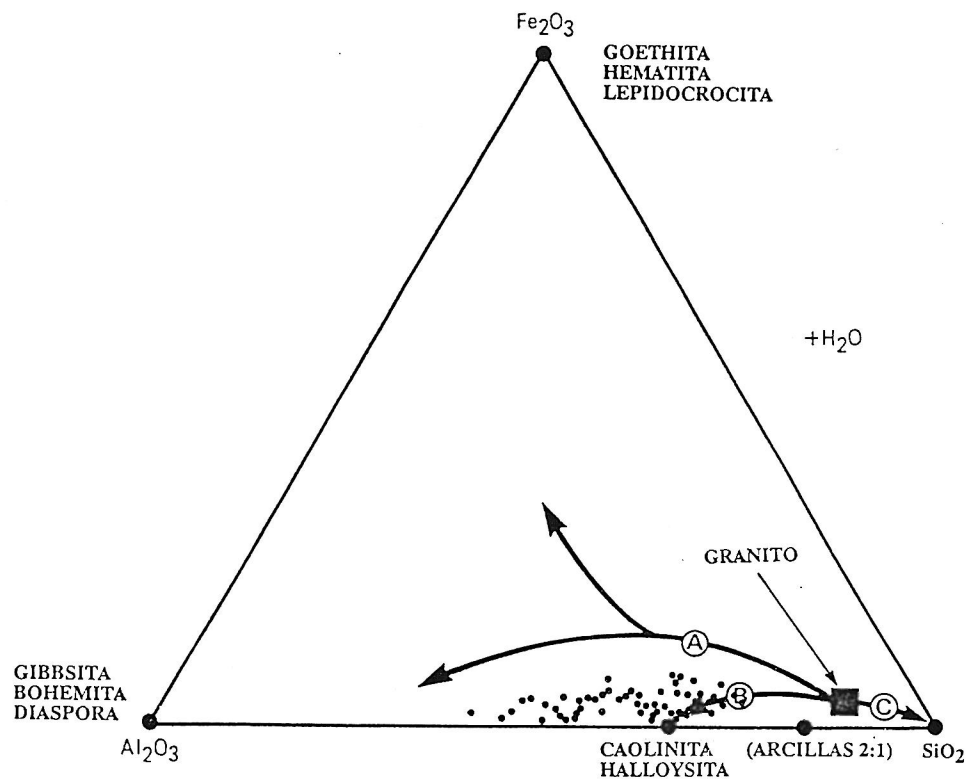


Fig. 3.- Representación de las arcillas de los perfiles analizados en el diagrama $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$.

- Chesworth, W. (1979): The major element geochemistry and the mineralogical evolution of granitic rocks during weathering. En Origen y distribución de los elementos. L.H. Ahrens ed., pp:305-313. Pergamon Press. London.
- Grant, W.H. (1969): Abrasion pH, an index of chemical weathering. *Clay and Clay Minerals* **17**, 151-155.
- Gutián Ojea, F. y Carballas, T. (1976): Técnicas de análisis de suelos. Ed. Pico Sacro. Santiago.
- Kronberg, B.I. & Nesbitt, H.W. (1981): Cuantificación de weathering, soil geochemistry and soil fertility. *J. Soil Sci.* **32**(3), 453-459.
- Millot, G. y Bonifas, M. (1955): Transformations isovolumétriques dans les phénomènes de lateritisation et bauxitisation. *Bull. Ser. Corte Geol. Alsacia-Lorraine*. Strasbourg **8**, 3-10.
- Parker, A. (1970): An index of weathering for silicate rock. *Geol. Mag.* **107**, 501-504.
- Pedro, G. (1979): Caractérisation générale des processus de l'altération hydrolytique. *Science du Sol* **2-3**, 93-105.
- Sequeira Braga, M.A. (1988): Arenas e depósitos associados da bacia de drenagem do rio Cávado (Portugal). Contribuição para o estudo da arenização. Tesis Doctoral. Universidade do Minho.
- Taboada, T. (1992): Procesos de meteorización de rocas graníticas de Galicia bajo diferentes ambientes edafoclimáticos. Tesis Doctoral. Facultad de Biología. Universidad de Santiago.