

Cuadernos Geología Ibérica	Vol. 7	Págs. 509-517	Madrid 1981
----------------------------	--------	---------------	-------------

GENESIS DE ULTRAMILONITAS BLANCAS
 EN LA FALLA AZUAGA
 (ANTICLINORIO BADAJOZ-CORDOBA)

J. CHACÓN *, J. A. MARTÍN-RUBÍ ** y J. RODRÍGUEZ-GORDILLO ***

RESUMEN

Las ultramilonitas blancas de la falla de Azuaga se han formado por un metasomatismo silíceo-sódico y deformación dúctil a temperaturas bajas de blastomilonitas anteriores durante el funcionamiento sinextrorso de la falla. La composición química de las ultramilonitas blancas y blastomilonitas s. l. asociadas parecen sugerir un origen ígneo.

ABSTRACT

White ultramytonites have been formed by Si-Na metasomatism and low temperature ductile deformation of blastomytonites resulting from the sinistral movement of the Azuaga fault. The major element composition of 14 samples of white ultramytonites and the associated blastomytonites suggests an igneous origin.

INTRODUCCION

Analizados los procesos geológicos y petrogenéticos que condujeron a la formación de la banda de ultramilonitas blancas que jalona

* Departamento de Geotectónica. Departamento de Investigaciones Geológicas. Universidad de Granada.

** Sección de Laboratorios del IGME. Madrid.

*** Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias. Granada.

la falla de Azuaga (CHACON, 1981), el objeto de esta nota es estudiar el quimismo de estas rocas y su relación con los procesos geológicos que las han originado.

Tres aspectos se tratarán en especial: 1.º, origen «para» u «orto» derivado; 2.º, transformaciones y movimiento de materia que acompañaron a la deformación dúctil superficial que originó las ultramilonitas, y 3.º, diferencias entre las rocas de la serie blastomilonítica y las de la serie de milonitas superficiales originadas a partir de las anteriores.

Para ello se han analizado los óxidos mayoritarios de diez muestras de ultramilonitas blancas, dos muestras de gneises milonita, una de blastomilonitas y otra de ultramilonitas biotíticas negras. Aunque el número de muestras es reducido (14) consideramos que los resultados obtenidos justifican la presente nota.

La indagación del origen para u ortoderivado de las muestras se realizó mediante proyección en diagramas adecuados a ese fin por MIYASHIRO (1973), LA ROCHE (1978), LEAKE (1970) y DUDEK y SUK (1964). Las variaciones de los contenidos de mayoritarios se analizaron mediante el método de la «celdilla standart» de BARTH (1948), definida como una unidad que contiene 160 oxígenos. La comparación resulta útil por cuanto permite observar cambios químicos volumen a volumen. Como el mayor porcentaje volumétrico corresponde al oxígeno se puede seguir la variación de cationes entre las diferentes muestras de una manera cuantitativa, bajo el presupuesto de que el metamorfismo fue esencialmente isovolumétrico (KRONER, 1971). Para este fin los porcentajes en óxidos se recalcularon al de cationes contenidos en 160 oxígenos para cada muestra. Después se estudió la correlación existente entre estas variaciones y la distancia absoluta a la falla de Azuaga, por un lado, y entre las diferentes series de rocas, por otro.

El número de muestras elegido estuvo determinado por el tamaño de grano de las rocas. En efecto, las ultramilonitas presentan tamaños que oscilan entre 1 micra y 1 mm, los gneises milonitas entre 1 mm y 10 cm, las blastomilonitas igual, aunque predominan tamaños inferiores a 2 cm, y las ultramilonitas biotíticas entre menos de 1 micra (matriz) y hasta 6 cm (clastos). Estas diferencias imponen la selección de muestras estadísticas de pesos comprendidos entre 10-25 gramos para las de grano más fino y 50 kg para las más gruesa (LAFFITE, 1957). Por esta razón sólo se escogieron dos muestras de gneises milonitas que pesaron 65 kg cada una, antes de ser limpiadas. Los 47 y 52 kg resultantes, respectivamente, después de la limpieza de alteraciones, se sometieron a trituración hasta tamaño de grano homogéneo inferior a 3 cm y después de un muestreo, por cuarteo sucesivo, de 250 gr, se pulverizaron y se escogieron las muestras fina-

les igualmente por cuarteos sucesivos. Las rocas finas no presentan problema alguno.

El procedimiento analítico se realizó mediante Absorción atómica y Fluorescencia de Rayos X, por fusión de la muestra en metaborato de litio. Se llevó a cabo en la Sección de Laboratorios del IGME y en el Laboratorio de Geoquímica de la Sección de Geológicas de la Universidad de Granada.

RESULTADOS

La tabla I resume los datos de composición química y cálculos petroquímicos realizados para la proyección gráfica. La tabla II presenta la composición de las celdillas «standart» calculadas y algunas comparaciones entre diferentes rocas tipo.

1.º Origen de las ultramilonitas blancas son rocas silíceas compuestas en un 95 % por SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O y CaO . Muestran una proporción menor de K_2O y escasas cantidades de Fe, Mg, Mn, etc. En el diagrama de LEAKE (1970) la proyección de los números de Niggli al-alk/c expresa las diferencias entre la disposición de rocas sedimentarias e ígneas. Mientras que estas últimas se disponen de forma subparalela a la línea feldespató potásico-anortita, las series sedimentarias o los metasedimentos lo hacen de forma casi perpendicular al campo de rocas ígneas. La proyección en este diagrama de las 14 muestras estudiadas indican una disposición general más coherente con la de una serie ígnea (Fig. 1a).

La proyección en el diagrama ACF de MIYASHIRO (1973) de las muestras indica que una parte importante de las mismas quedan dentro del campo de composición de pizarras y grauvacas, mientras siete de los análisis quedan fuera de este campo de composición (Figura 1b).

El diagrama SS/AC/MM de LA ROCHE (1979) está concebido para analizar la variación de la composición de los magmas básicos durante la contaminación sílica y su diferenciación hasta granitos. La proyección de las muestras analizadas las sitúa fuera del campo de las rocas sedimentarias en posiciones más silíceas que las rocas ígneas ácidas, en el caso de las ultramilonitas blancas, y ligeramente por encima de las granodioritas, en el caso de los gneises milonitas.

En el diagrama de DUDEK y SUK (1964) los valores $(\text{al} + \text{fm}) / (\text{alk} + \text{c}) / \text{si}$ de las muestras analizadas permite observar que las ultramilonitas blancas caen fuera de los campos de rocas ígneas y sedimentarias por sus altos contenidos en al y si. Los gneises milo-

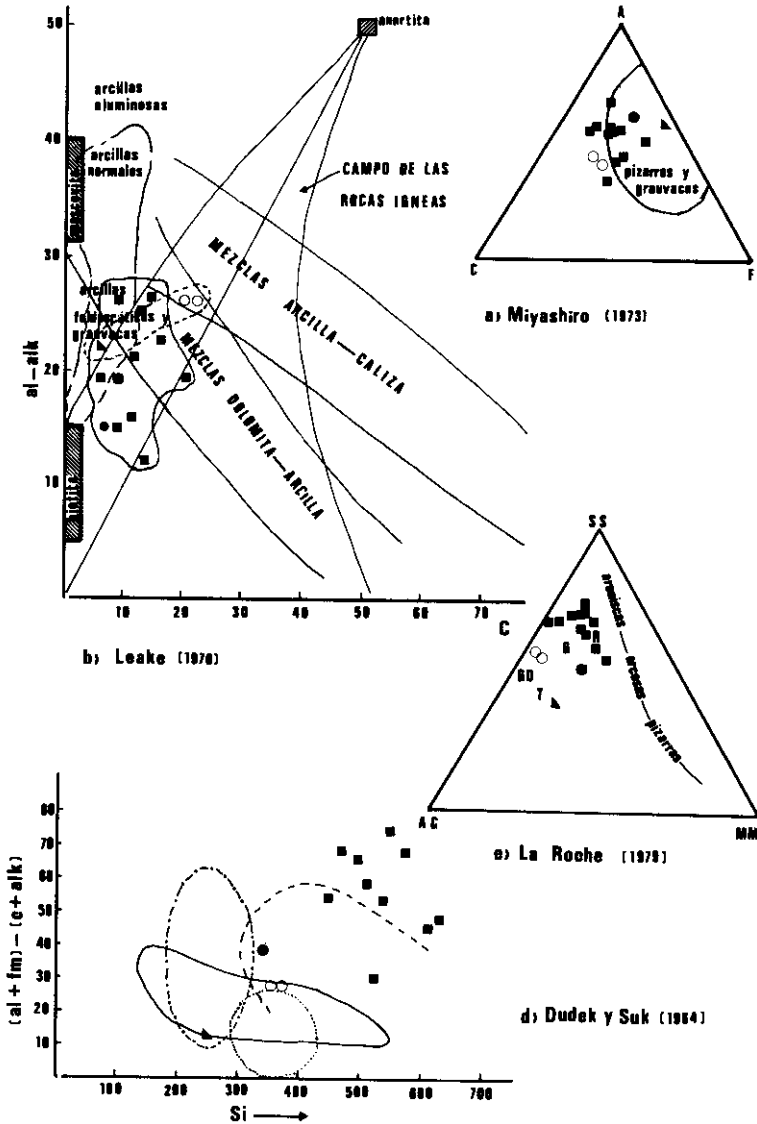


FIG. 1.—Diagramas de composición química de los UB. a) Diferenciación de campos de composición propios de rocas ígneas y sedimentarias según parámetros al-alk.—b) Campo de grauwacas y pizarras en el diagrama ACF.—c) Campo de rocas sedimentarias pelíticas frente a rocas ígneas de LA ROCHE (1979). Se indica las posiciones de rocas ígneas tipo como el granito (G), riolita (R), granodiorita (GD) y la traquita (T).—d) Diagrama de composición de rocas ígneas (línea continua), ortogneis (línea de puntos), grauwacas (línea de puntos y rayas), arcosas (línea discontinua). En todos ellos se proyecta UB (cuadrados negros), GM (círculos vacíos), B (triángulo negro) y UN (círculo negro).

NOCA	UB	UB	UB	UB	UB	UB	UB	UB	UB	UB	UB	\bar{X}	\bar{D}	R	GM	GM	\bar{X}	\bar{D}	UN
SiO ₂	79.53	80.49	77.32	78.20	78.82	77.70	78.53	80.17	76.11	76.63	78.15 ^{+1.4}	1.8%	81.73	71.97	72.4	72.2 ^{-0.1}	2.9%	88.88	
Al ₂ O ₃	13.08	10.99	13.83	12.79	13.71	12.94	11.38	10.74	12.75	12.79	12.5 ^{+1.03}	8.2%	18.36	15.21	15.38	15.3 ^{+0.08}	0.5%	5.51	
FeO	0.54	0.89	0.50	0.63	0.45	0.90	1.10	0.93	1.12	0.99	0.81 ^{+0.24}	29.7%	4.44	1.64	1.50	1.57 ^{-0.07}	4.5%	1.30	
Fe ₂ O ₃	0.32	0.23	0.08	0.04	0.07	0.08	0.07	0.02	0.32	0.02	0.13 ^{-0.11}	89.96%	2.67	0.36	0.44	0.40 ^{-0.04}	10%	3.81	
CaO	1.18	1.65	1.67	0.98	1.64	1.74	2.05	1.68	0.84	1.99	1.59 ^{+0.39}	25.14%	1.47	4.08	4.18	4.11 ^{-0.05}	1.2%	1.43	
MgO	0.29	0.48	0.27	0.32	0.25	0.50	0.85	0.68	0.75	0.42	0.48 ^{+0.20}	41.92%	2.66	0.91	0.82	0.87 ^{-0.05}	5.2%	0.91	
Na ₂ O	3.86	2.85	4.62	3.05	5.28	3.60	3.08	2.74	1.95	5.33	3.84 ^{+1.13}	29.45%	2.21	3.17	3.28	3.23 ^{-0.05}	1.7%	2.41	
K ₂ O	0.45	0.59	0.47	0.49	0.46	0.56	0.91	1.09	4.12	0.54	0.97 ^{+1.06}	109.7%	3.48	1.16	0.98	1.07 ^{-0.09}	8.4%	4.52	
TiO ₂	0.15	0.54	0.17	0.07	0.18	0.44	0.42	0.36	0.54	0.07	0.29 ^{-0.18}	60%	0.91	0.58	0.58	0.58	-	0.62	
MnO	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04 ^{-0.02}	53%	0.05	0.03	0.03	0.03 ^{+5*10⁻⁴}	1.6%	0.05	
ZnO	0.59	1.00	0.78	0.73	0.55	0.72	1.02	1.06	1.10	0.61	0.82 ^{-0.20}	34.44%	3.95	0.73	0.40	0.57 ^{-0.17}	29.2%	0.91	
TOTAL	99.94	99.73	99.72	99.31	99.42	99.20	99.48	99.42	99.65	99.54	99.54 ^{-0.21}	0.21%	99.93	99.72	99.97	99.9 ^{-0.07}	0.07%	100.1	
(alk+fm)	68	48	66	74	88	54	30	46	58	56				12	28	28			38
-(alk+ic)																			
al-alk	47	38	46	45	45	41	27	35	34	36				1	30	31			21
Si	987	818	498	532	479	522	518	805	502	458				280	380	358			333
C	8	14	11	7	11	13	20	14	6	13				6	21	22			8
A	64	81	59	40	50	63	50	51	52	33				116	188	90			88
C	18	26	30	18	29	31	37	30	15	38				26	73	74			26
F	12	24	14	16	12	25	37	31	35	28				105	47	42			37
SS	69	70	67	72	69	65	85	68	50	68				40	55	56			70
AC	18	23	24	20	25	26	34	25	18	31				43	41	41			28
NM	13	7	9	8	8	9	1	7	22	1				17	4	3			24
Si	67.33	68.05	66.38	67.22	66	66.97	67.20	67.80	65.80	66.40	66.9 ^{-0.7}		67.10	62.56	62.61	62.59 ^{+0.03}			62.1
Al	13.02	10.9	13.95	12.95	13.87	13.11	11.01	10.8	13	13	12.6 ^{-1.1}		17.8	15.84	15.67	15.80 ^{-0.7}			16.4
Fe ⁺⁺⁺	0.54	0.71	0.38	0.41	0.36	0.63	0.8	0.6	0.9	0.6	0.6 ^{-0.2}		4.94	1.31	1.24	1.27 ^{-0.3}			3.3
Ti	0.09	0.36	0.1	0.05	0.1	0.28	0.27	0.3	0.4	0.1	0.2 ^{-0.1}		0.59	0.37	0.37	-			0.9
Mn	0.02	0.02	0.001	0.01	0.01	0.02	0.09	0.1	0.4	0.1	0.08 ^{-0.1}		0.1	0.03	0.02	0.02 ^{-0.1}			0.0
Ca	0.98	1.47	1.55	0.93	1.5	1.61	2.67	1.5	0.8	1.8	1.5 ^{-0.5}		1.45	3.8	3.84	3.82 ^{+0.02}			1.4
K	0.54	0.68	0.55	0.52	0.51	0.62	0.98	1.0	4.6	0.7	1.1 ^{-1.2}		4.15	1.31	1.09	1.2 ^{-0.1}			5.2
Na	6.33	4.57	7.67	8.41	8.77	6.0	4.89	4.5	3.2	9.0	6.3 ^{+1.9}		3.95	5.32	5.49	5.4 ^{-0.08}			4.2
Mg	0.38	0.61	0.36	0.41	0.31	0.65	1.07	1.9	1.0	0.6	0.6 ^{-0.3}		3.75	1.2	1.09	1.14 ^{-0.06}			0.9
cation. 160 "0"	89.2	87.5	90.9	90.9	91.4	89.9	89.0	86.6	89.1	92.3	89.7 ^{-1.7}		93.9	91.4	91.4	91.43 ^{-0.01}			94.6
Oxygen. 100 cat.	179	183	176	176	175	178	180	185	180	173	179 ^{-3.5}		170	175	175	-			169

TABLA I.—Porcentajes en óxidos, parámetros de Niggli, parámetros de Eskola, parámetros de La Roche y valores de las celdillas standard de Barth. En éstos se incluye la relación entre el número de oxígenos que contienen 100 cationes y la densidad catiónica expresada por el número total de cationes por celdilla de 160 oxígenos. X expresa el valor de la media \pm la desviación típica. D es un índice de dispersión de la población expresado en el porcentaje de la media que representa la desviación típica. $D = \sigma \times 100/\text{Media}$.

nititas y blastomilonitas se sitúan en el borde del campo de rocas ígneas.

De estos gráficos se puede extraer la conclusión de que, en conjunto, la composición química de los elementos mayoritarios de las muestras analizadas coinciden más bien con la de las rocas ígneas. Esto parece especialmente válido para gneises milonitas y blastomilonitas, aunque es muy reducido el número de análisis disponibles. Las ultramilonitas blancas acusan una composición anómala en el diagrama de DUKED y SUK (1964) y ello no es de extrañar si se

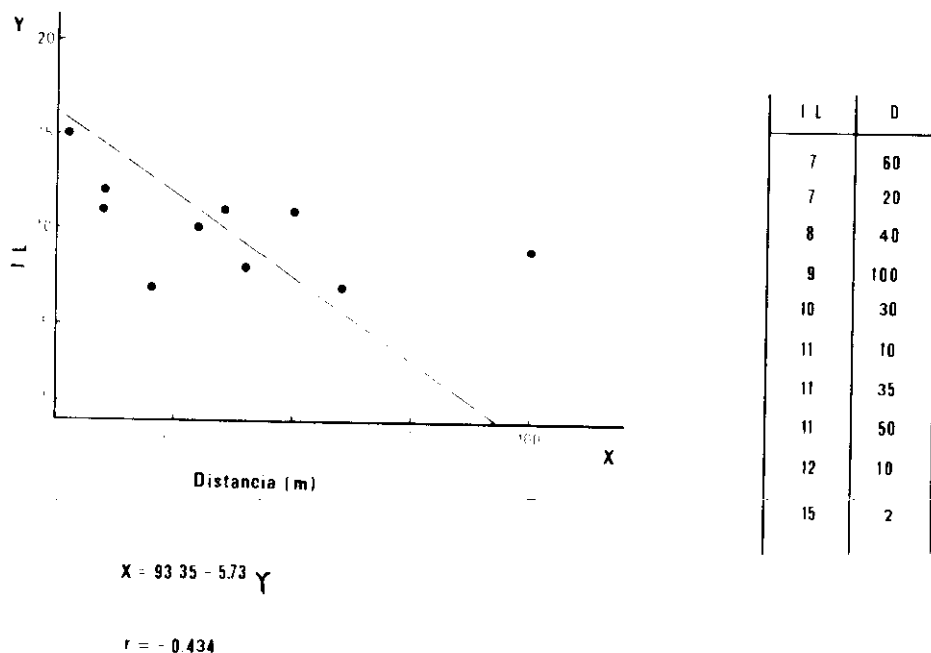


Fig. 2.—Correlación entre la distancia a la falla de Azuaga (X) de las UB y su índice de lavado, IL (Y). Se indica la expresión funcional de la recta de regresión de Y respecto a X y el índice de correlación r.

considera que son rocas resultantes de tres ciclos petrogenéticos penetrativos a escala de grano. Por esta razón la coincidencia de su composición química con la de las rocas ígneas puede ser, incluso para las blastomilonitas y gneises milonitas, más fruto de un proceso de convergencia que de un cierto origen ortoderivado.

2.º Correlación de la composición química de las ultramilonitas blancas con la distancia a la falla de Azuaga.

Para analizar este aspecto se ha establecido un INDICE DE LAVADO IL que expresa la expulsión de ferromagnesianos durante la deformación dúctil superficial que originó las rocas. Esta expulsión viene expresada por

$$IL = \frac{(Fe)a}{0.9} + \frac{(Mg)a}{0.9} + \frac{(Ca)a}{0.7} \times 100,$$

donde las concentraciones se miden en porcentaje atómico dividido por el peso molecular y los denominadores son números proporcionales a las fuerzas de los enlaces de los cationes respectivos con el oxígeno.

En la Figura 2 puede verse la relación entre los IL de las muestras de ultramilonitas y sus distancias perpendiculares a la traza de la falla de Azuaga. La línea de regresión señala una correlación débil entre ambos parámetros que puede ser significativa para justificar investigaciones posteriores.

El IL propuesto es una modificación del propuesto por PARKER (1970) para cuantificar la meteorización de rocas ígneas incluyendo Na y K.

3.º Variaciones químicas entre la serie de milonitas superficiales y la de blastomilonitas s. l. profundas.

Como puede comprobarse en la tabla II la formación de ultramilonitas negras biotíticas (UN), a partir de gneises milonitas, supone la relativa concentración de Fe, K y el aumento del número de cationes en la celdilla «standart» (densidad catiónica), mientras disminuyen las concentraciones de Si, Ca y Na y se mantiene la de Al. Este proceso es coherente con un proceso de filonitización con neoformación de biotita, tal como se observa en las muestras. A partir de la blastomilonita la filonitización se produce mediante salida relativa de Al, Fe, Mg y aumento de Si, K y de la densidad catiónica.

El proceso de formación de ultramilonitas blancas va acompañado, si se produce a partir de gneises milonitas, de enriquecimiento en Si y Na y empobrecimiento en Al, Ca, Fe y disminución de la densidad catiónica, K y Mg. Se comprueba que el movimiento de cationes afectó esencialmente a Si y Na que reemplazan a Al, Ca, Fe, Mg y K. Ello puede ser la expresión de un metasomatismo silíceo-sódico desarrollado durante la propia deformación dúctil a temperaturas retrometamórficas.

CONCLUSIONES

La formación de las Grullas, constituida por las ultramilonitas blancas, gneises milonitas, blastomilonitas y ultramilonitas biotíticas

	UB	GM	UN	B	UB	GM	UN	B
Si	67	63	62	57	+4 Si	-1 Si	+5 Si	
Al	13	16	16	18	-3 Al	+2 Fe	-2 Al	
Fe	0,6	1	3	5	-2,5 Ca	+4 K	-2 Fe	
Ca	1,5	4	4	1,5	+1 Na	-3 Ca	-0,5 Ca	
K	1	1	5	4	-1 cat.	-1 Na	+1 K	
Na	6	5	4	4	160,0	+4 cat.	-3 Mg	
Mg	1	1	1	4	+4,0	160,0	+1 cat.	
Cation.					100 cat.	-6,0	160,0	
160 «0»	90	91	95	94		100 cat.	-1,0	
Oxig.					UB	UN		B
100 ct.	179	175	169	170				
						+4 Si		
						-3 Al		
						-2 Fe		
						-4 K		
						+2 Na		
						-3 Mg		
						-5 cat.		
						160,0		
						+10,0		
						100 cat.		
					UB			B
						+10 Si		
						-5 Al		
						-4 Fe		
						-3 K		
						+2 Na		
						-3 Mg		
						-4 cat.		
						160,0		
						+9,0		
						100 cat.		

TABLA II.—Celdillas standard medias de los diferentes tipos de rocas y balance del movimiento de cationes entre ellas. Los signos menos implican pérdida y los + ganancia. Las flechas indican el sentido de los intercambios analizados.

negras aquí analizadas, parece proceder de una serie ígnea original afectada por un complejo proceso polimetamórfico y plurifacial. Esta conclusión, sin embargo, debe aceptarse con precaución hasta que se confirme con un mayor número de muestras o con el análisis de elementos trazas.

La milonitización profunda condujo a la formación de ultramilonitas negras biotíticas por un proceso de filonitización durante el cual la concentración planar de Fe y K permitió la neoformación de biotita. La ultramilonitas negras son, por tanto, filonitas biotíticas.

La milonitización superficial fue acompañada por un metasomatismo silíceo-sódico de las rocas afectadas que pudo ser tanto más intenso cuanto mayor fuera la proximidad del plano principal de desgarre sinextrorso durante el cual se produjo la deformación dúctil.

BIBLIOGRAFIA

- BARTH, T. F. W. (1948): «Oxygen in rocks: A basis for petrographical calculations». *J. Geol.*, 56, 50-60.
- CHACÓN, J. (1981): «Superposición de zonas de cizalla en la formación de las Grullas (grupo de Azuaga, macizo Ibérico meridional)» (en este volumen).
- DUDEK, A., y SUK, M. (1964): «Zur geologischen Entwicklung des Moldanubikums». *Bes. Geol. Fes. D. D. R.*, 10, 2, 147-161.
- KRONER, E. (1971): «The origin of the southern Namaqualand gneiss Complex in the light of geochemical data». *Lithos.*, 4, 325-344.
- LAFFITE, P. (1957): *Introduction a l'étude des roches métamorphiques et des gîtes métallifères*. Masson et Cie., París, 343 págs.
- LA ROCHE, H. (1979): «Les basaltes et leurs produits de différenciation vus des granites: le rôle de la contamination sialique». *C. R. Acad. Sc. Paris*, 289, D, 517-520.
- LEAKE, B. E. (1970): «Some paradoxes in Australian Microtektites compositional trends». *J. Geoph. Res.*, 75, 2, 349-356.
- MIYASHIRO, A. (1973): *Metamorphism and metamorphic belts*. George Allen and Unwin, Londres, 1.^a ed., 492 págs.
- PARKER, A. (1970): «An index of weathering for silicate rocks». *Geol. Mag.*, 501-504.