

Los basaltos alcalinos subvolcánicos espilitizados de Arándiga (provincia de Zaragoza): estudio mineralógico y geoquímico

J. BASTIDA⁽¹⁾, J. BESTEIRO⁽²⁾, M.M. REVENTOS⁽¹⁾, M. LAGO⁽²⁾ y A. POCOVÍ⁽²⁾

1) Departamento de Geología. Universidad de Valencia. 46100 Burjasot (Valencia)

(2) Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza.

RESUMEN

Diversos sills subvolcánicos, aflorantes en el área de Arándiga (Zaragoza) se emplazan en sedimentos pertenecientes al tránsito del Keuper al Rhetiense-Hettangiense. Corresponden a basaltos alcalinos cuyos minerales primarios (olivino, piroxeno, plagioclasa) se han transformado en albíta-oligoclasa, ortosa, clorita, clorita-esmectita, carbonatos, etc. Es característica de los sills una zonación petrográfica reconocible en sus propiedades texturales y asociaciones minerales.

La composición química de estas rocas ha experimentado asimismo importantes modificaciones. Las pautas de variación de los elementos incompatibles indican una pequeña diferenciación magmática. Tiene notable afinidad con rocas, de análoga composición y edad, aflorantes en otros sectores de la Cadena Ibérica. Según ha sido expuesto por diversos autores, representa una provincia alcalina que, con edad Triás-Lías, está asociado a un rifting intracontinental que afecta al borde occidental del Tethys.

Palabras clave: Basalto espilitizado. Magmatismo alcalino. Triás-Lías. Zaragoza. Cadena Ibérica.

ABSTRACT

Some hypabyssal sills are intruded into the sediments pertaining to the Keuper and Rhaetian-Hettangian limit in the Arándiga area (Zaragoza). They are alkaline basalts whose original composition (olivine, pyroxene, plagioclase) has experimented intense transformation to the association of albite-oligoclase, orthoclase, chlorite, chlorite-smectite, carbonates, etc. Petrological zoning is a trait of the textural features and mineral association of sills.

The chemical composition of these rocks has gone through significant modifications. The trends of variation of the incompatible elements show small magmatic differentiation. They show a remark-

able affinity with other rocks, analogous in composition and age, which crop out in different areas of the Iberian Chain. According to several authors this magmatism represents an alkaline province of Trias-Lias age and it is associated to an intracontinental rifting affecting the occidental Tethys edge.

Key words: Spilitized basalt. Alkaline magmatism. Trias-Lias. Zaragoza. Iberian Chain.

INTRODUCCIÓN

La caracterización del magmatismo alcalino del área del Moncayo (Zaragoza-Soria); con edad de emplazamiento en el tránsito Triás-Lías, su extensión y un resumen de las referencias anteriores, se recogen en Lago y Pocoví, (1984 a y b). En dicho trabajo se reconoce una clara analogía, en edad y composición, de este magmatismo con el aflorante en los sectores: a) Macizo de Ecrins-Pelvoux (Alpes franceses orientales) para el que Buffet, (1984) ofrece una adecuada exposición, y b) Corbières orientales (Pirineos franceses) estudiado por Azambre y Rossy (1981), Montigny *et al.*, (1982), Beziat, (1983) y Balouet, (1985).

En lo que concierne a la Cadena Ibérica y Sierra Norte de Mallorca, cabe destacar un amplio número de trabajos sobre este magmatismo desde 1984 hasta la actualidad. Así, en la Cadena Ibérica merecen señalarse los estudios de Bastida *et al.*, (1986, 1988); Mitjavila (1987); Mitjavila y Martí, (1986); Lago *et al.*, (1988 a, b, c d y e); Pocoví *et al.*, (1988). Acerca de la Sierra Norte de Mallorca, los trabajos más actuales

son los de Navidad y Alvaro (1985); Enrique (1986) y Enrique *et al.*, (1987).

En el momento actual, existe una clara unanimidad por aceptar una provincia alcalina que, asociada a una fase de rifting intracontinental, afectó al borde occidental del Tethys.

Refiriéndonos de nuevo al ámbito del área del Moncayo, en su borde SE y en las inmediaciones de Arándiga (Figs. 1 y 2), afloran ejemplos significativos de estas manifestaciones magmáticas. La calidad de estos afloramientos merece, a nuestro juicio, una exposición acerca de las condiciones de emplazamiento,

las diversas facies petrográficas reconocibles en los sills y, también, del débil metamorfismo producido en los sedimentos encajantes.

LOCALIZACIÓN Y MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se sitúa en el cuadrante III de la hoja nº 382 (Epila) del M.T.N., E. 1:50.000, en una franja situada al E. de la carretera que une las poblaciones de Arándiga y Niguella (Fig. 2).

El principal afloramiento del área se encuentra en el contorno del barranco de Blanquizares (Fig. 2) y

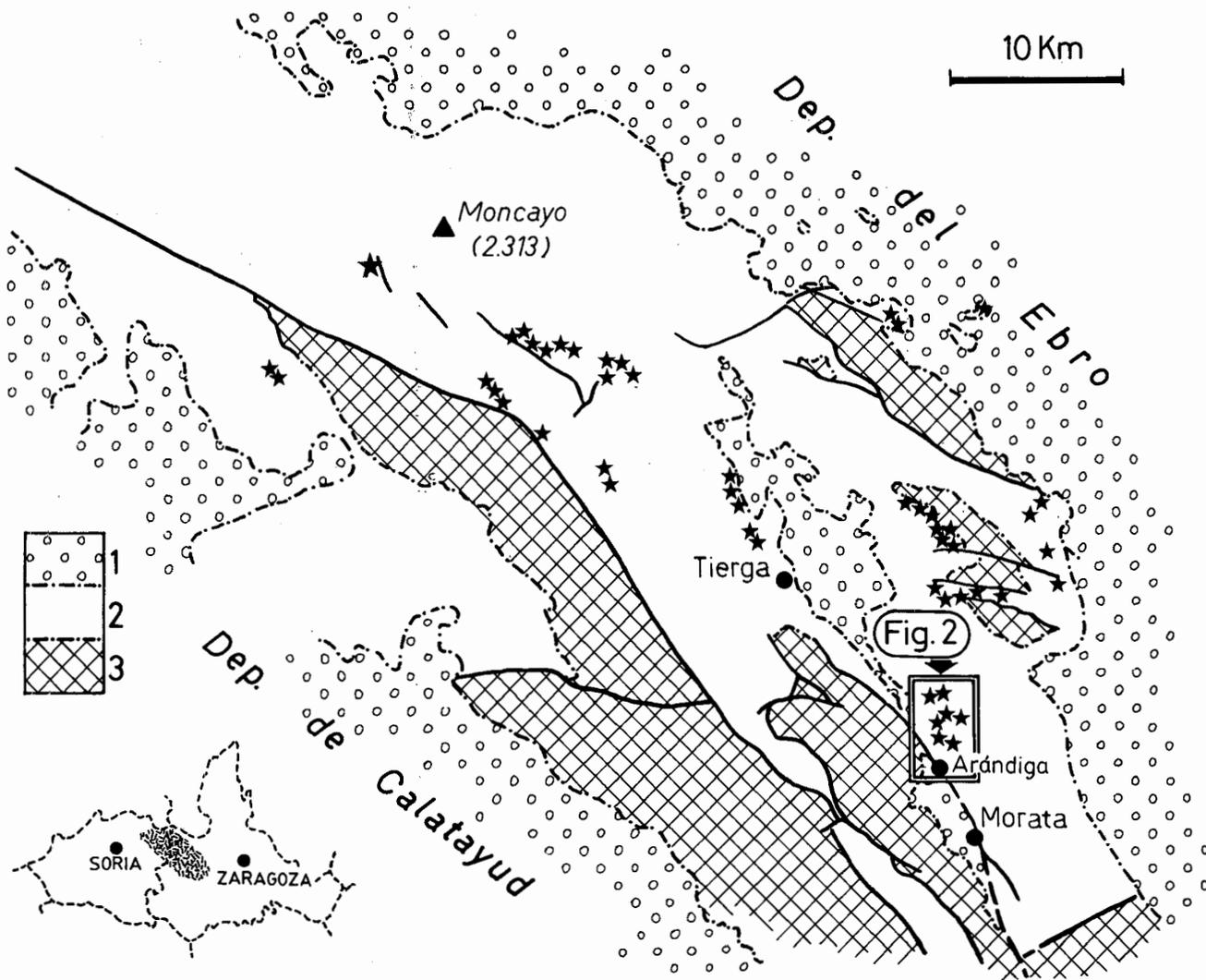


Figura 1.- Esquema de situación de basaltos espilitizados en el área del Moncayo (1: Materiales pre-hercínicos y hercínicos; 2: Mesozoico (Cobertera); 3: Terciario discordante.

Figure 1.- Location of the spilitized basalt outcrops in the Moncayo area: 1) Hercynian and Pre-Hercynian materials; 2) Folded Mesozoic cover; 3) Tertiary.

responde a una estructura en forma de domo en cuyo núcleo afloran las calizas y dolomías del Muschelkalk. Sobre estas calizas se encuentra un Triásico superior representado por arcillas con yeso en facies Keuper, con un espesor variable, dada su plasticidad, del orden de los 200 m. En la parte superior se observa la presencia de un tramo de argilitas rojas, con intercalaciones carbonáticas, que anuncian el tránsito a las dolomías de Imón, a las que se atribuye edad Rhetiense (Goy y Yébenes, 1977). Situadas a unos 8-10 m por encima de estas dolomías grises, bien estratificadas, aparecen las brechas calcáreas correspondientes a las carniolas de Cortes de Tajuña (Fig. 4), que rodean todo el afloramiento y cubren una gran extensión del contorno.

Al N de la cabecera del barranco de Blanquizares se presenta otro afloramiento del Triás Superior rodeado por las brechas calcáreas (Fig. 2). En este caso, la estructura representa un plano de cabalgamiento que se amortigua dentro de las brechas y permite observar una repetición de los mismos tramos antes descritos.

Los basaltos espilitizados se emplazan, con extraordinaria regularidad en la zona, entre las argilitas rojas con intercalaciones calcáreas que representan el tránsito entre el Keuper y las dolomías de Imón (Figs. 2 y 4). Por lo general, las intrusiones subvolcánicas destacan moderadamente en las laderas de los barrancos, más por su típica coloración verdoso-grisácea, que por la resistencia a la erosión, la cual apenas es mayor que la de las argilitas que la rodean.

Dada la casi continuidad de los afloramientos y la regularidad en su posición estratigráfica, se puede hablar de un único sill para el área de Arándiga, al que se puede atribuir una extensión mínima de 6 km² (Fig. 2).

Las columnas estratigráficas levantadas en el barranco de Blanquizares (Figs. 2, 3 y 4) resumen los aspectos más representativos del área en la que los sills presentan un espesor próximo a los 15 m. Las argilitas de los contactos (superior e inferior) aparecen afectadas térmicamente observándose digitaciones y evidencias de asimilación. Unos pocos metros por encima del contacto superior, se sitúa de modo constante un nivel conglomerático (Figs. 3 y 4) que contiene fragmentos de todas las facies petrográficas del basalto espilitizado y otros de naturaleza carbonática (Fig. 5A).

EDAD Y CARACTERÍSTICAS DE EMPLAZAMIENTO

La edad propuesta es la del tránsito del Keuper terminal al Rhetiense y, en todo caso, es previa a la asignada para la Dolomía de Imón (Goy y Yébenes,

1977). Esta edad se apoya en los siguientes datos de observación: a) la posición interestratificada de la intrusión en sedimentos de facies Keuper y los transicionales situados por debajo de la citada Fm. Dolomías de Imón; b) el metamorfismo que, con bajo grado, afecta a los sedimentos encajantes así como el desarrollo de fenómenos de asimilación en materiales situados por debajo de la citada Dolomía de Imón y, finalmente, c) la presencia casi constante de un nivel conglomerático-brechoide, situado por encima de los materiales anteriores (Figs. 3 y 4), constituido por fragmentos de basalto espilitizado y otros aislados de caliza con cemento carbonático y silíceo (Fig. 5A). Este último nivel ha sido frecuentemente identificado, manteniendo su posición estratigráfica, en los diversos afloramientos de la Cadena Ibérica. Por otra parte, los niveles con mayor vesicularidad se sitúan en la base y techo del sill basáltico espilitizado.

Los aspectos aquí descritos se repiten, con notable uniformidad, en otras áreas próximas de la Cadena Ibérica (Lago *et al.*, y 1988 a, c y e). Recientemente, una reconstrucción de los espesores en sills ubicados en diversas áreas, ha permitido poner de manifiesto (Pocoví *et al.* 1988, y en redacción) la existencia de un número muy reducido de intrusiones individualizadas.

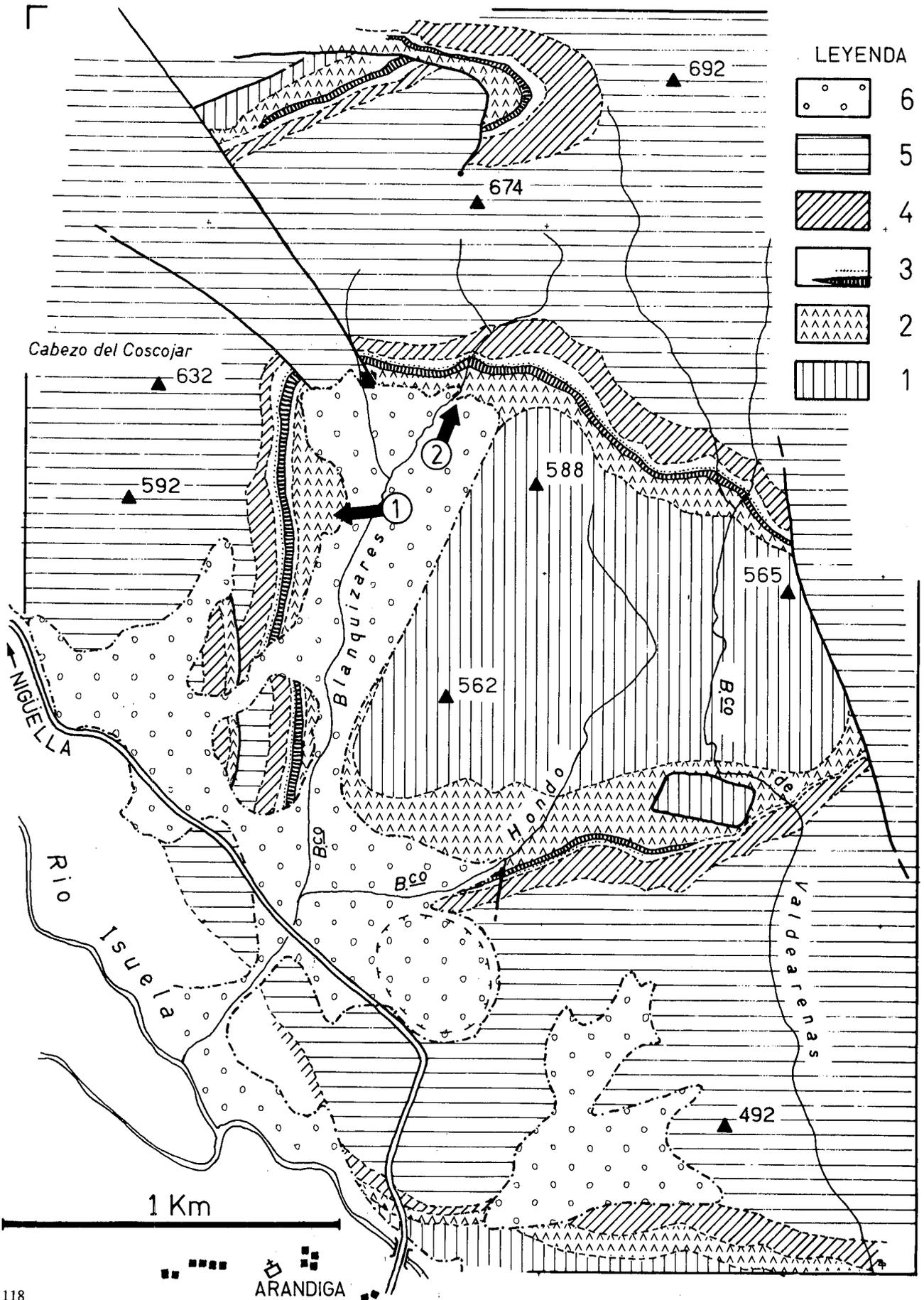
Así pues, la notable extensión lateral de las intrusiones y la comentada ubicación estratigráfica, indican un emplazamiento en sedimentos todavía poco compactados. La baja viscosidad del basalto emplazante y la notable plasticidad de los sedimentos inconsolidados, facilitaron la destacada extensión lateral con desarrollo de procesos de espilitización que afectaron intensamente a su composición original.

El frecuente desarrollo del nivel conglomerático indica una posterior fracturación y elevación de bloques, con variable erosión y reducido transporte, para los niveles anteriores hasta iniciarse la sedimentación de las dolomías de Imón (Figs. 3 y 4).

CARACTERÍSTICAS PETROLÓGICAS

Según se ha indicado, los basaltos de este área y los análogos ubicados en otros sectores de la Cadena Ibérica, experimentan procesos de espilitización que, si bien puede afectar intensamente la composición mineral primaria, conservan, en grado suficiente, las características texturales.

En los basaltos espilitizados se identifican tres facies petrográficas características: a) facies de borde, con notable vesicularidad, b) zonas centrales del sill, de variable vesicularidad y c) niveles pegmatoides, con reducido espesor (desde pocos cm a escala decimétrica), situados en zonas internas del basalto. Las relaciones de consolidación original permiten distin-



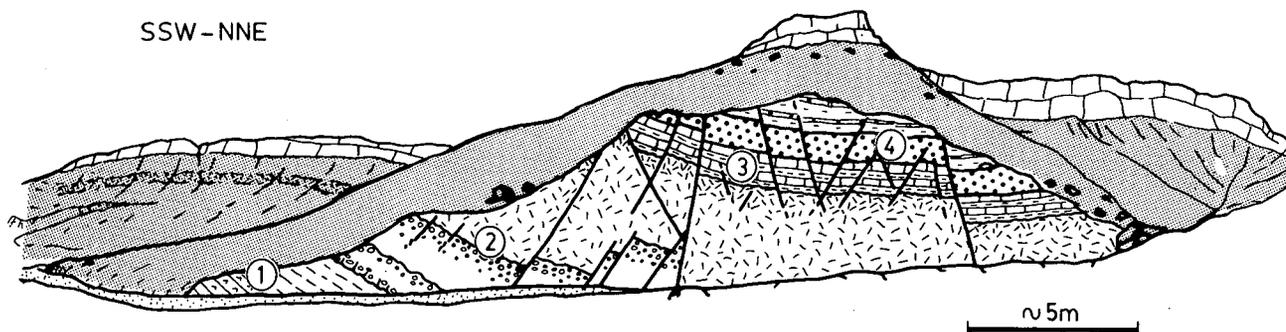


Figura 3.- Croquis de campo del afloramiento de espilitas en el corte del barranco de los Blanquizares. 1: Argilitas rojas, 2: Basalto espilitizado, 3: Argilita y caliza arcillosa rojas, 4: Conglomerado con cantos de basalto.

Figure 3.- Sketch of spilitite outcrops of the los Blanquizares gully. 1: Red argillites, 2: Spilitized basalt, 3: Red argillite and argillaceous limestone, 4: Conglomerate bed with basalt pebbles.

guir una cierta variabilidad de rasgos texturales que, en conjunto, corresponden a una *zonación petrográfica* desde las zonas de borde a las centrales, con o sin diferenciados pegmatoides. En las figuras 5 B, C y D exponemos las tras facies, ya indicadas, que consideramos más representativas. Esta esquematización intenta evitar la prolija enumeración, con frecuente controversia en interpretaciones genéticas, que han sido indicadas a las erróneamente denominadas espilitas por diversos autores (véase Amstutz, 1974) partidarios de un magma espilitico primario.

En los *bordes* (Fig. 5B) del basalto espilitizado son frecuentes las facies con alta proporción de vesículas (15-25%), aisladas o con cierta coalescencia, y su composición puede ser monominerálica (clorita), o

bien de clorita ± calcita ± cuarzo e incluso contener vidrio. En algunos casos las vesículas se orientan paralelamente al desarrollo del sill. En las zonas más periféricas, y con menor granularidad, se aprecia un predominio en máficos (olivino y piroxeno) y las plagioclasas adoptan un desarrollo esquelético. Las texturas más frecuentes son la porfídica microlítica, variablemente intersertal, y la microdolerítica, con menor proporción en vesículas que la anterior.

Las texturas microlíticas, con mayor proporción de vacuolas, presentan plagioclasas con variable desarrollo, desde cristales esqueléticos con rango en 0.07-0.3 mm de longitud a microcristales con longitud promedio en 0.6-0.8 mm. Los máficos (olivino y piroxeno) están totalmente transformados y, en ocasiones, pueden presentar asociaciones mutuas con orientación paralela al plano de contacto del sill. Los opacos (hematites y magnetita) son abundantes en la mesostasia y también son resultados de la alteración de los máficos. El vidrio es minoritario y se sitúa intersticialmente entre los anteriores componentes. Las texturas microdoleríticas, situadas en zonas más internas del sill, carecen de orientaciones preferentes en sus minerales máficos y/o plagioclasas, a la vez que presentan una menor proporción de vesículas.

Las zonas *centrales* (Fig. 5 C) son bien diferenciables de las anteriores por: a) la menor proporción y con inferior tamaño de las vesículas, b) el buen desarrollo de texturas intergranulares, donde destaca la mayor granularidad de las plagioclasas y una menor proporción de olivinos respecto a los piroxenos, y finalmen-

Figura 2.- Mapa geológico de los alrededores del barranco de Blanquizares (Arándiga, provincia de Zaragoza): 1) calizas y dolomías del Muschelkalk; 2) arcillas con yeso en facies Keuper; 3) argilitas y calizas arcillosas del Rhetiense, con basalto espilitizado y un nivel de conglomerado interestratificado; 4) Dolomías de Imón; 5) brecha sedimentaria (carniolas de Cortes de Tajuña) y 6) cubierto. Las flechas indican la localización de las columnas representadas en la figura 4.

Figure 2.- Geological map of the los Blanquizares gully area (Arándiga, Prov. of Zaragoza): 1) Muschelkalk limestone and dolomite; 2) gypsy clay of Keuper facies; 3) Rhaetian argillaceous limestone with spilitized basalt sill and a conglomeratic bed containing basalt pebbles; 4) Imón dolomite Fm.; 5) Sedimentary breccia (Carniolas of Cortes de Tajuña) and 6) Covered. Arrows show location of the logs drawn in Fig. 4.

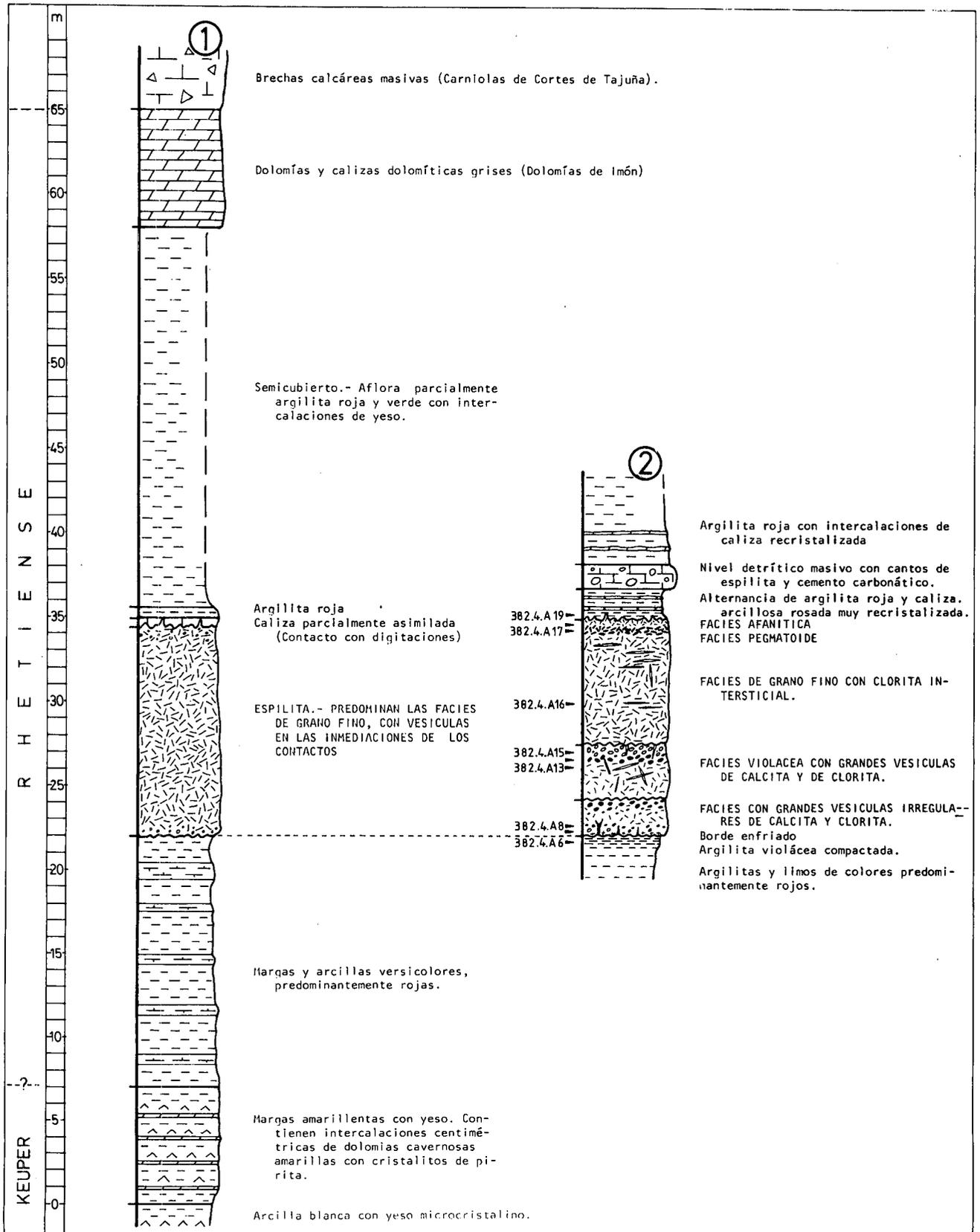


TABLA I.- Composición mineralógica de roca total por difracción de rayos X (ZB: zona del borde del afloramiento, ZC: zona central y DP: diferenciado pegmatoides; Ol: olivino; Px: piroxeno; Pl: plagioclasa; Or: ortosa; He: Hematites; Clo: clorita; Clo-S: interstratificado clorita-esmectita; S: esmectita; Cc: calcita y Q: cuarzo. Porcentajes: + = abundante; - = minoritario o dudoso; o = ausente).

TABLE I.- Mineralogical composition of whole rock by x-ray diffractometry. (ZB: chilled margins; ZC: central area and DP: pegmatoid facies; Ol: olivine; Px: pyroxene; Pl: plagioclase; Or: orthoclase; He: Haematite; Clo: clorite; Clo-S: interstratified chlorite-smectite; smectite; Cc: calcite; and Q: quartz. Rates: + = abundant; - = scant or uncertain; o = absent).

POSICION EN AFLORAMIENTO	REFERENCIA MUESTRAS	Ol	Px	Pl	Or	He	Clo	Clo-S	S	Cc	Q	ANALISIS CUANTITATIVO (CHUNG, 1974)	
												Cc(%)	Q (%)
ZB	ESCA - 1	+	+	+	+	+	+	+		+	+	2.9	9.5
	ESCA - 1'	+	+	+	+	+	+	+		+	+	4.2	15.8
	ESCA - 2	+	+	+	+	+	+	+		0	+	---	13.0
	ESCA - 2'	+	+	-	+	+	+	+		+	+	4.3	10.0
ZC	ESCA - 3	+	+	+	+	+	+	0	+	+	+	2.9	11.8
	ESCA - 3'	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	4.2	13.5
DP	ESCA - 4	0	0	+	+	+	0	0	+	+	+	10.0	15.5

te, c) la casi completa ausencia de vidrio intersticial. Además, los opacos son más idiomorfos. La textura más frecuente es la microdolerítica, variablemente porfídica.

El denominado *diferenciado pegmatoides* (Fig. 5 D) es bien reconocible, macroscópicamente, por su mayor granularidad (textura dolerítica) y la escasa proporción de vesículas. Presenta espesores variables, desde pocos centímetros a decímetros, y contactos netos con las facies centrales donde puede ocupar una ubicación variable. Presenta una típica ausencia de olivino, el piroxeno es escaso o nulo, la plagioclasa es el componente dominante, y destaca un notable contenido en opacos con gran tamaño y desarrollo filiforme.

←

Figura 4.- Columnas en dos afloramientos del barranco de Blanquizaes. Véase localización en fig. 2.

Figure 4.- Logs of the Blanquizaes gully outcrops. See fig. 2 for location.

COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

La notable y generalizada alteración, principalmente por espilitización, que afecta a las rocas de este área imposibilita el estudio de la composición en los minerales primarios mediante técnicas ópticas y por microsonda. Por este motivo se ha utilizado la difracción de rayos X para identificar las asociaciones minerales. El equipo instrumental empleado es un Siemens D500 con las siguientes condiciones de trabajo: 40 KV y 20 mA; radiación CuK ; filtro de Ni; ventanas: 1°, 1°, 1°, 0.05° (o bien 0.3°, 0.3°, 0.3°, 0.05°, para agregados orientados); velocidad de goniómetro: 1°/min; velocidad papel: 1 cm/min; RM variable y TC, variable.

En muestras de roca total y en las de vesículas separadas manualmente de la roca, se han efectuado difractogramas de polvo con preparación de las muestras según el procedimiento de Niskanen, (1964). Para la identificación de filosilicatos se han efectuado agregados orientados obtenidos con suspensiones acuosas de fracción inferior a 50 μ, y se han registrado difrac-

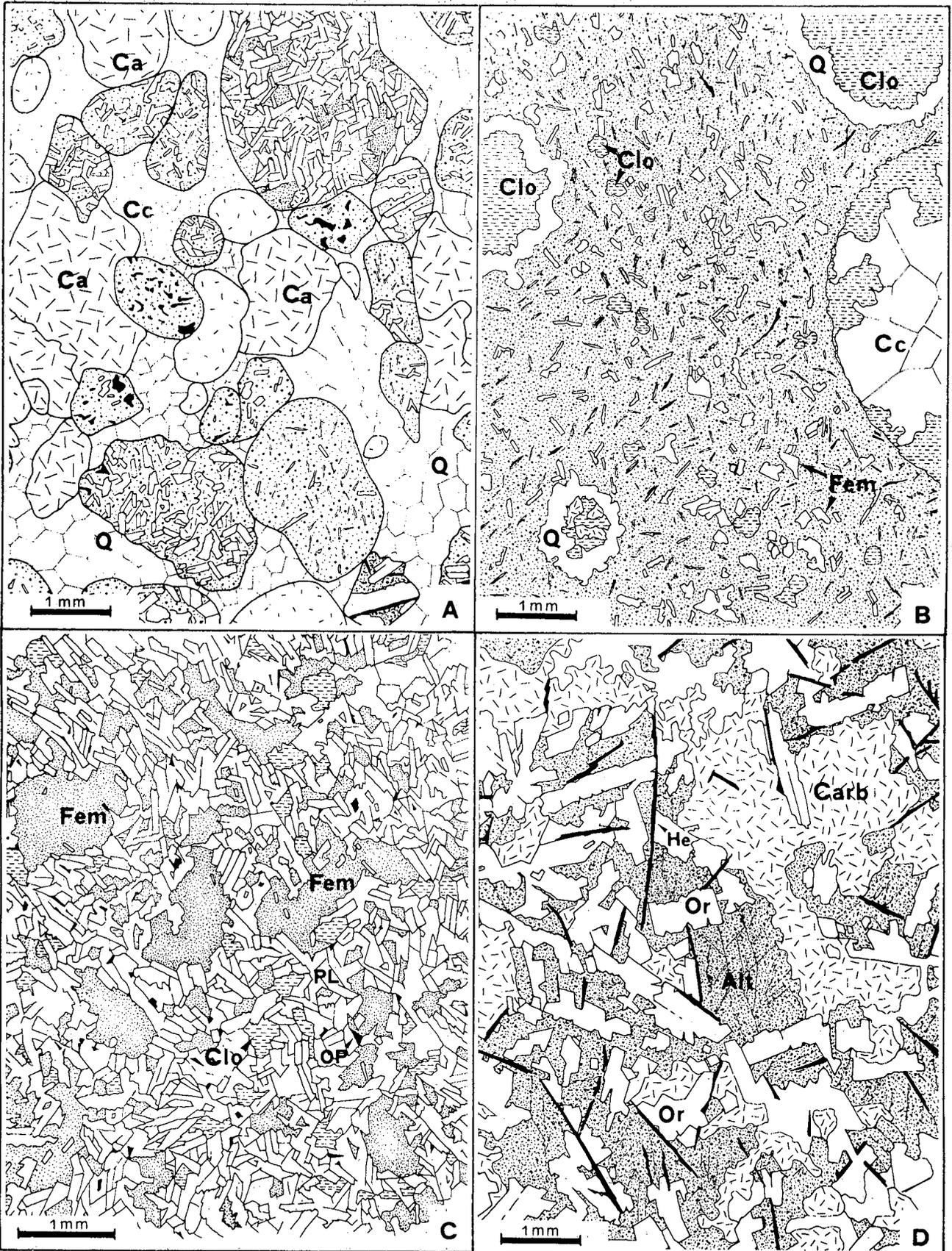


TABLA II.- Composición de vesículas en zonas de borde (Proporciones = +: presente; o = ausente). Las abreviaturas sobre minerales son las de la Tabla I.

TABLE II.- Composition of vesicles in chilled margins (Rate: +=present; o = absent). For abbreviations of mineral names see Table I.

	Cc	Q	clo	clo-S	S	ANALISIS CUANTITATIVO (CHUNG, 1974)	
						Cc(%)	Q(%)
ESCA - 1	+	+	+	+	0	8,7	13,2
ESCA - 1'	+	+	+	+	0	10,7	20,2
ESCA - 2	+	+	+	+	0	--	23,6
ESCA - 2'	+	+	+	o	0	0	11,1

togramas en diferentes condiciones: muestra sin tratar, calentada a 300° (12 horas), calentada a 550° (2 horas) y tratada con etilenglicol (12 horas), por contacto con papel de filtro impregnado. Para las estimaciones cuantitativas de cuarzo y calcita se ha empleado el mismo equipo y en iguales condiciones, salvo que se han empleado barridos a pasos de 0.05° (2θ) y tiempos de conteo de 5 a 10 seg. Se ha puesto en

práctica el método de Chung (1974), utilizando como patrón una mezcla de calcita (10%), cuarzo (20%) y caolinita (70%), y midiéndose las reflexiones de 4.26 Å, 1.82 Å y 1.54 Å para el cuarzo, y las de 3.03 Å, 2.28 Å y 2.09 Å para la calcita.

En la Tabla I se exponen las asociaciones minerales obtenidas en roca total para muestras representativas de las tres zonas establecidas (borde, centro y pegmatoides) y en la Tabla II se indica la composición de las vacuolas pertenecientes a las zonas del borde del sill.

←

Figura 5.- Esquemas de microtexturas: A) Conglomerado compuesto por fragmentos de diversas facies de basalto y otros de caliza (Ca) cementados por cuarzo (Q) y/o calcita (Cc). B) Facies de borde (textura microlítica con vesículas). Cristales dispersos de plagioclasas (P1), frecuentemente con desarrollo esquelético, y otros de máficos alterados (Fem) en una mesostasia con intensa alteración. Destacan las amígdalas con cuarzo (Q) y clorita (Clo). C) Facies propia de zona interna del sill.- Homogéneo desarrollo de plagioclasas (P1), y ferromagnesianos (Fem) alterados y clorita intersticial. D) Diferenciado pegmatoides.- Destaca el aumento en granularidad de feldspatos de ortosa (Or), plagioclasa (P1) y opacos (He). Es intensa la carbonatación (Carb) y otras diversas alteraciones (alt.) que afectan a la roca.

Figure 5.- Sketch of microtextures: A) Conglomerate with spilitized basalt and limestone pebbles (Ca) bind quartz and/or calcite (Cc). B) Edge facies (microlitic vesicular texture).- Scattered plagioclase cystale (P1), often skeletal, and altered ferromagnesian (Fem) in a more or less altered mesostasis. Vesicles of quartz (Q) and chlorite (Clo) are silhouetted against the matrix. C) Typical facies of the internal zone of a sill.- Homogeneous development of plagioclase (P1), altered ferromagnesian (Fem) and interstitial chlorite. D) Differentiated pegmatoid facies. The grain growth of feldspath (Or), plagioclase (P1) and opaques (He) stands out. Carbonatation (Carb.) and other alterations (alt.) are intense.

MINERALES PRIMARIOS

Comprende al olivino, piroxeno y plagioclasa como constituyentes prioritarios.

El *olivino* es frecuente (5-15%) en las zonas de borde y central del sill y falta en el diferenciado pegmatoides. Se presenta como fenocristal, aislado o asociado con otros análogos y/o piroxenos, y también en asociaciones de microcristales de hasta 6 individuos, con diferente tamaño, pudiendo presentar una orientación preferente (p.e. en bordes enfriados). No se ha observado ningún cristal inalterado; presenta alteraciones muy diversas siendo destacable el desarrollo de cloritas, calcita, cuarzo, etc., en las áreas internas y una película de opacos en su periferia. En los difractogramas son reconocibles tres reflexiones destacadas en los intervalos 2.82-2.76; 2.56-2.51 y 1.77-1.75 Å (Fichas JCPDS, 7-77 y 7-158).

El *piroxeno* presenta un porcentaje modal más destacado en las zonas centrales que en las de borde y es

TABLA III.- Estudio por difracción de rayos X de la composición de clorita en vesículas de la zona de borde del sill. La fórmula base asumida es: Mg_{6-x-y} Fe_y Al_x (Si_{4-x} Al_x) O₁₀ (OH)₈ (Brindley y Gillery, 1956). En todos los casos d₀₆₀ = 1.538 Å; F/M = Fe/Fe + Mg en la fórmula.

TABLE III.- Study of the vesicular chlorite composition from the chilled margin of the sill by X-ray diffractometry. The supposed basic formula is: Mg_{6-x-y} Fe_y Al_x (Si_{4-x} Al_x) O₁₀ (OH)₈ (Brindley y Gillery, 1956); d₀₆₀ = 1.538 Å and E/M = Fe/Fe + Mg in the formula.

MUESTRA	d ₀₀₁	X	F004 F003	F004 F005	C.B.	C.O.	Y	FORMULA	F/FM
ESCA - 1	14.11	1.50	1.80	1.63	0.75	0.9	1.65	Mg _{2.85} Fe _{1.65} Al _{1.50} (Si _{2.50} Al _{1.50})O ₁₀ (OH) ₈	0.36
ESCA - 1'	14.22	1.14	1.60	3.84	0.0	0.9	0.9	Mg _{3.96} Fe _{0.90} Al _{1.14} (Si _{2.86} Al _{1.14})O ₁₀ (OH) ₈	0.19
ESCA - 2	14.20	1.19	1.79	1.44	0.4	0.75	1.15	Mg _{3.70} Fe _{1.15} Al _{1.19} (Si _{2.81} Al _{1.19})O ₁₀ (OH) ₈	0.24
ESCA - 2'	14.16	1.34	1.88	1.49	0.5	1.0	1.5	Mg _{3.16} Fe _{1.5} Al _{1.34} (Si _{2.66} Al _{1.34})O ₁₀ (OH) ₈	0.32

escaso o ausente en los diferenciados pegmatoides. Presenta las mismas alteraciones que los olivinos. En los difractogramas presenta reflexiones en los intervalos 2.53-2.52 y 2.91-2.87 Å (Fichas JCPDS 11-654 y 19-764).

Las *plagioclasas* son el componente mayoritario (60-70%) en las zonas centrales y su proporción es todavía más alta en los diferenciados pegmatoides. La geometría es variable y comprende desde los cristales esqueléticos, en las zonas de borde enfriado, a los aislados fenocristales (con buena zonación) y cristales con mayor granularidad en las zonas centrales del sill. En los diferenciados pegmatoides, este mineral presenta una mayor granularidad y un típico desarrollo intergranular. Las alteraciones secundarias (frecuentes e intensas) comprenden la neoformación de sericita, albita, calcita, clorita, opacos, etc.

MINERALES SECUNDARIOS

Comprende un amplio conjunto de minerales: feldespato, clorita, albita y diversos opacos; en estos últimos componentes es difícil establecer la proporción modal original.

Los *feldespatos* presentan una mayor proporción en los diferenciados pegmatoides respecto a las facies centrales y del borde del sill y, en todo caso, su presencia está asociada a la intensidad de la alteración de la plagioclasa. La utilización de los criterios de Brown, (1980) ha permitido constatar la ortosa (reflexión fuerte a 4.22 Å) y destacar la microclina; la reflexión intensa a 3.24 Å (220, 002, 040) se ve enmascarada por la 220 de la plagioclasa entre 3.149 y 3.26 Å (3.25 Å, en nuestro caso).

Respecto a las *cloritas* destacamos tres tipos: a) las que pseudomorfizan a olivinos, piroxenos, e incluso a plagioclasas, b) las situadas en la mesostasia con probable formación por desvitrificación y, finalmente, c) las cloritas que, asociadas al cuarzo y/o calcita, son componentes de las vasículas. Estas últimas cloritas han sido objeto de un estudio más detallado según se expone.

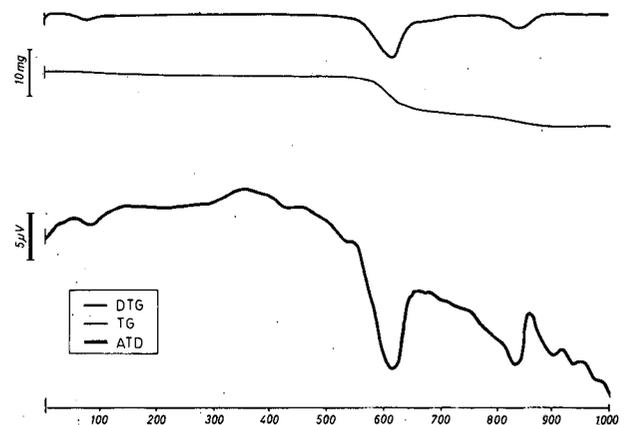


Figura 6.- Diagrama ATD-TG de la clorita presente en vesículas de la muestra ESCA-2 (zona de borde del sill). Su composición está indicada en la Tabla III.

Figure 6.- TDA-TG diagram of chlorite from vesicles of sample ESCA-2 (edge zone of the sill). Composition shown in table III.

TABLA IV.- Indexación y refinamiento de parámetros a partir de diagramas de polvo en cloritas (muestra ESCA-2).

TABLE IV.- Indexation and refinement of parameters from powder diagrams of chlorites (sample ESCA-2).

2θ	d _{hkl}	hkl	I
18.75	4.728	003	87
19.25	4.61	020	12
25.05	3.551	004	100
31.50	2.837	005	26
33.65	2.661	130	5
33.80	2.649	20 $\bar{1}$	4
34.75	2.579	131	11
34.90	2.568	20 $\bar{2}$	6
35.25	2.543	13 $\bar{2}$	17
35.40	2.533	11 $\bar{5}$	12
35.50	2.526	201	9
36.80	2.440	132	19
37.00	2.427	20 $\bar{3}$	6
37.70		13 $\bar{3}$	
37.93	2.38	202	11
		006	
39.95	2.254	133	8
40.00	2.252	20 $\bar{4}$	7
45.20	2.004	13 $\bar{5}$	15
48.25	1.884	135	5
54.80	1.673	24 $\bar{3}$	12
55.00	1.668	13 $\bar{7}$	9
58.95	1.565	137	14
59.90	1.538	060	(*)
61.60	1.504	062	
		06 $\bar{2}$	8

En las muestras de polvo correspondientes a las de vesículas, se han eliminado los carbonatos (tratamiento con C1H IN) y posteriormente se han confeccionado agregados orientados para su estudio por difracción de rayos X. La medida de d₀₆₀ para obtener el número de átomos pesados a partir del parámetro b (Bailey, 1972), se ha realizado con el difractómetro antes descrito (velocidad de goniómetro de 0.2° (28) / min; velocidad de papel 1 cm/min y radiación CuK₂, y para la medida de los diversos espaciados 001 y sus intensidades relativas se han utilizado las ventanas de 1°, 1°, 1°, 0.5°, con barrido a pasos de 0.05° y tiempos de conteo de 10 seg.

Los espaciados d₀₀₁, empleados en el cálculo de la composición, se han obtenido a partir de los valores de d₀₀₁, obtenidos experimentalmente para las reflexiones 002 a 006. Se asume como fórmula base la del caso II de Brindley y Gillery, (1956) tal como se indica en

TABLA V.- Análisis químicos en muestras pertenecientes a las zonas de borde, central y diferenciado pegmatóide del sill del barranco de Blanquizes (Fig. 3, nº 2).

TABLE V.- Chemical analysis of samples from the border, central and pegmatoid differentiated zones of the Barranco de los Blanquizes sill.

SITUACION AFLORAMIENTO	ZONAS DE BORDE		CENTRO	DIFERENCIADO PEGMATOIDE
	ESCA-1	ESCA-2	ESCA-3	ESCA-4
REFERENCIA				
SiO ₂	44.87	43.65	50.61	54.23
Al ₂ O ₃	14.06	13.99	15.23	12.16
Fe ₂ O ₃ ^(*)	11.73	16.78	9.76	11.17
MnO	0.03	0.05	0.02	0.04
MgO	14.73	12.44	9.05	0.22
CaO	1.30	0.99	1.68	4.65
Na ₂ O	<0.1	<0.01	1.93	0.17
K ₂ O	4.46	4.77	4.78	10.49
TiO ₂	1.78	1.86	1.63	2.88
P ₂ O ₅	0.35	0.35	0.35	0.51
P.F	7.77	6.42	5.85	4.37
TOTAL	101.08	101.30	100.89	100.89
P	28	29	34	55
V	247	235	188	239
Ni	59	57	52	29
Cu	7	4	2	4
Zn	30	40	15	18
Ga	18	18	19	19
Rb	54	54	63	110
Sr	34	21	68	62
Y	20	20	20	28
Zr	130	132	130	229
Nb	26	25	21	45
Ba	126	120	222	187
Ce	41	26	31	36
Pb	<0.01	0.7	6	1.3
Th	2.6	3.2	4	5

la tabla III. La sustitución de Si por Al en la capa tetraédrica (x) se ha deducido del d₀₀₁ calculado según el método de Brindley, (1961). El subíndice y se ha calculado como suma de los contenidos en Fe de las capas brucítica y octaédrica, según el método de Nieto *et al.*, (1980) y Nieto, (1983). Para obtener los distintos F₀₀₁, según el método propuesto por estos últimos autores, ha sido necesario determinar experimentalmente la curva de los factores geométricos en función del ángulo 2θ, correspondiente al difractómetro empleado en este trabajo, y utilizando un agregado orientado del talco-patrón de Nieto *et al.*, (1980) y Nieto, (1983).

TABLA VI.- Cálculo de norma CIPW y relaciones paramétricas para los análisis de la Tabla V.

TABLE VI.- CIPW norm calculation and parametric ratio for the Table V values.

NORMA Y RELACIONES	ESCA - 1	ESCA - 2	ESCA - 3	ESCA - 4
CIPW				
Q	-	-	1.46	6.21
Co	6.79	6.94	3.83	-
Or	26.35	28.19	28.25	61.99
Ab	0.42	0.42	16.33	1.44
An	6.45	4.91	8.33	1.44
Di	-	-	-	6.44
Wo	-	-	-	5.94
Hi	41.51	36.51	28.13	-
Ol	2.42	7.72	-	-
Mt	4.76	4.87	4.54	6.35
Il	3.38	3.53	3.10	5.47
% An (normativa)	94	92	34	50
MgO/MgO + FeO	0.86	0.72	0.85	0.21
Indice solidificación	49.0	38.2	36.5	1.0
Indice alcalinidad	1.8	1.9	1.6	4.5
Indice cristalización	9.6	13.6	8.9	8.3
A	15.2	15.0	27.4	51.2
F	35.2	46.0	35.5	47.7
M	49.6	38.6	37.0	1.1

Destacamos que, en todos los casos (Tabla III), estas cloritas tienen composición de clinocloro (nomenclatura de AIPEA; Bailey, 1980) y se observa una variabilidad en Fe para la capa brucítica. La Tabla IV, que corresponde a la muestra Esca-2 de la Tabla III, recoge las reflexiones más importantes en el intervalo angular 18-62° (2θ) y el indexado según una red monoclinica C, con a=5.3 Å, b=9.228 Å, c=14.326 Å y β=97°. En el intervalo 33-40° (2θ) se han señalado las reflexiones hol características de los diferentes politipos de clorita según Hayes, (1970). Las relaciones mutuas entre las intensidades hol permiten asignar la clorita a un politipo Iib.

La figura 6 recoge el ATD-ATG de la muestra ESCA-2 (Tabla II). El ATD permite observar el comportamiento característico de la cloritas (Barshad, 1959), con un fuerte endotérmico a 600° y un accidente endo-exotérmico hacia 800°C. El ATG manifiesta pérdidas en los intervalos 600-670° y 800-830°C de forma análoga a lo observado en cloritas magnesianas por Nutting (1943).

Las muestras analizadas carecen de vermiculita, atendiendo a los criterios de Warshaw y Roy, (1961).

La determinación de esmectitas se ha basado en la presencia del espaciado a 17 Å y su serie racional en el agregado etilenglicolado. También se ha puesto de manifiesto la presencia de interestratificados regulares clorita-esmectita con $d_{001} \approx 31$ Å y su serie racional en el agregado orientado etilenglicolado; $d_{001} \approx 29$ Å y su serie en el normal y, finalmente, el $d_{001} \approx 24$ Å y su serie racional en el calentado a 550°C.

Finalmente, en lo que concierne a otros componentes minoritarios, destacamos el cuarzo, la calcita y la hematites cuyas proporciones varían con su ubicación en el sill. El cuarzo está asociado a la clorita en la mesostasia y, junto con la calcita y clorita, es componente habitual en las vesículas (Tabla II). La calcita es frecuente, como mineral secundario, en plagioclasas, máficos y también en la mesostasia. La hematites alcanza una notable proporción y espectacular desarrollo (2-9 mm.) en el diferenciado pegmatoides (Fig. 5D), y es minoritaria en las facies de borde y central del sill.

COMPOSICIÓN GEOQUÍMICA

En las Tablas V y VI se expone la composición geoquímica, la de su norma CIPW y algunas relaciones paramétricas en muestras representativas de las zonas

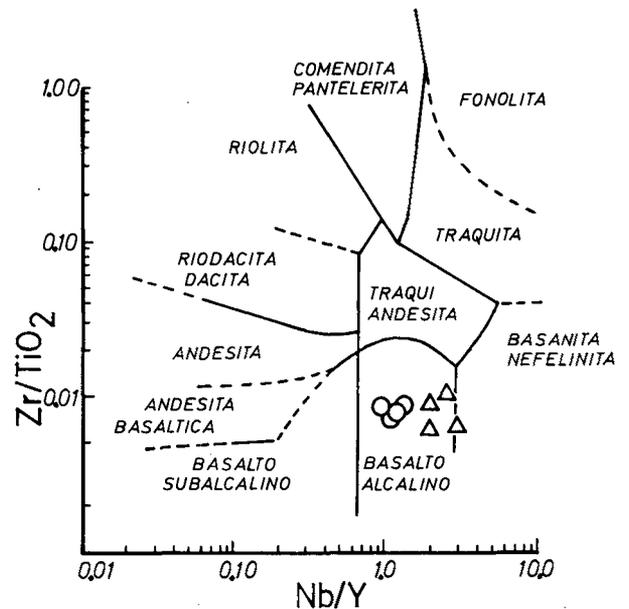
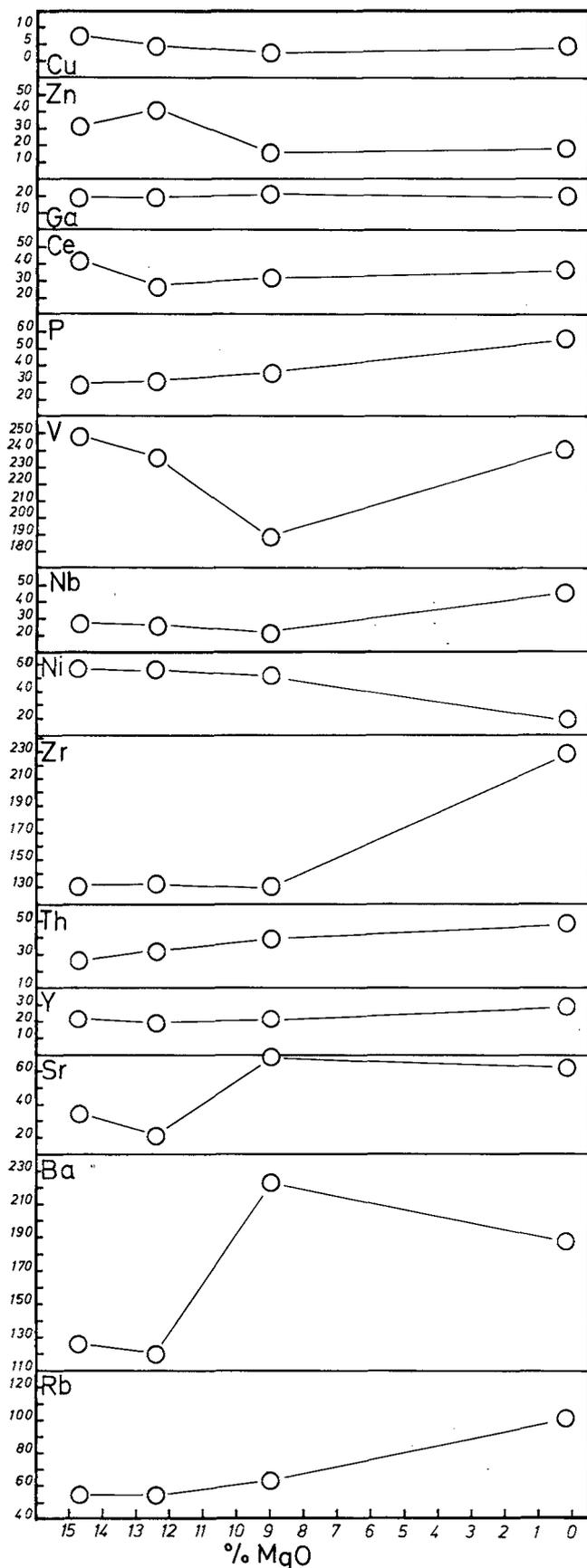


Figura 7.- Diagrama Zr/TiO₂ - Nb/Y (Winchester y Floyd, 1976). En círculos (o): rocas de Arándiga y en triángulo (Δ): rocas de Sierra Norte de Mallorca (Navidad y Alvaro, 1985).

Figure 7.- Zr/TiO₂ - Nb/Y diagram (Winchester y Floyd, 1976). Circles: samples from Arándiga. Triangles: samples from Sierra Norte of Mallorca (Navidad y Alvaro, 1985).



de borde, centro y del diferenciado pegmatoides en el sill de Arándiga (perfil nº 2; en Figs. 2, 3 y 4). Los análisis se han realizado por FRX (mod. Phillips PW 1400) en el Servicio de Espectroscopia de la Universidad de Barcelona.

Considerados en conjunto, destaca un alto contenido en Ti (1.63 - 2.88%) y Nb (21 - 50 ppm), con valores en la relación $Y/Nb < 1$ y $P_2O_5 \geq 0.35\%$. Junto a esto, la relación $Zr/TiO_2 - Nb/Y$ (Fig. 7) y el valor obtenido en la relación Ti/V (43.0 - 72.1) indican una afinidad propia de series alcalinas continentales. Hay un alto contenido en álcalis ($Na_2O + K_2O$) que oscila entre 4.76 - 10.66; el K_2O presenta un destacado valor (10.5%) para el diferenciado pegmatoides, lo que debe ser interpretado con ciertas reservas debido al posible enriquecimiento secundario en K.

Considerando las variaciones de composición desde las zonas de borde a las internas del sill, destaca un empobrecimiento en Mg que, en condiciones de cristalización inicial, toma un valor de 14.7% lo que contrasta con el de 0.22% en el diferenciado pegmatoides. A la vez, los contenidos decrecientes en Mg + Fe concuerdan con el progresivo empobrecimiento modal en olivino y piroxeno desde la periferia al interior del sill. En este último sentido, cabe considerar el comportamiento decreciente de los metales de transición (Ni, Cu, Zn) con el avance de la diferenciación (Fig. 8). Las pautas de variación que toman elementos incompatibles tales como Th/SiO₂ (Fig. 9a); Y/Th (Fig. 9b); P/Th (Fig. 9c) o, contrariamente, las de Ni/Th (Fig. 9d) son ilustrativas de la débil, aunque significativa, variación desde el borde al interior del sill. El alto valor en Ti (2.88 %) en el diferenciado pegmatoides está justificado por su destacado contenido en titanomagnetita e ilmenita respecto a las zonas de borde y central. La relación $Ti/V - SiO_2$ (Fig. 9e) expresa también una cierta diferenciación en el sill y, que pudo ser mejor observada por Lago *et al.*, (1988 b) al considerar un amplio número de rocas análogas.

La influencia que ejercen los procesos secundarios (principalmente por espilitización) se pone de manifiesto en las variaciones que toman elementos tales como Rb (54-110 ppm), Ba (120-222 ppm) y Sr (21-68 ppm) lo que guarda correspondencia con la alteración

Figura 8.- Pautas de variación de elementos traza. Los valores más altos en MgO corresponden a zonas de borde del sill, después a zonas internas del mismo, y, finalmente, el diferenciado pegmatoides presenta el menor contenido en MgO.

Figure 8.- Model of trace elements variation. The highest contents of MgO are at the edge zone of the sill, the lowest at the internal and the differentiated pegmatoid facies of the sill.

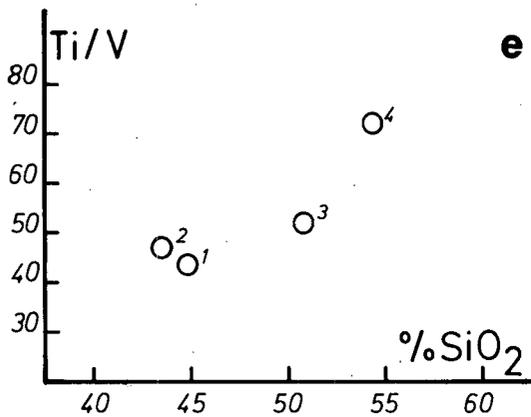
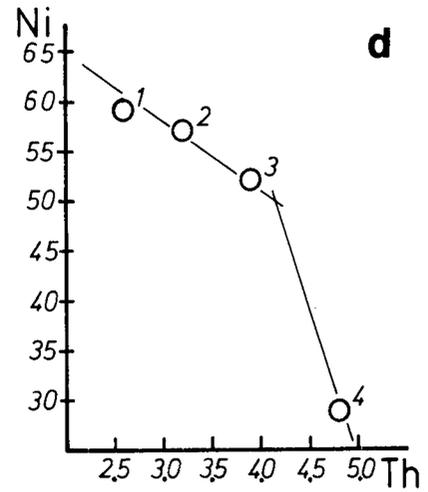
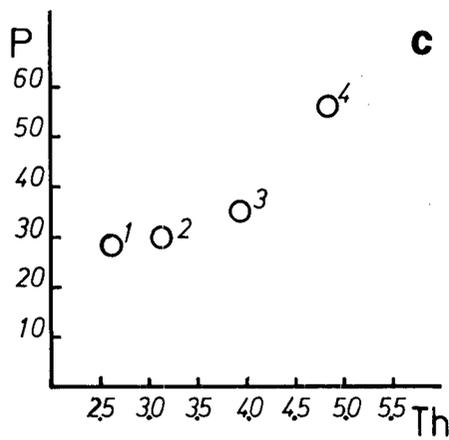
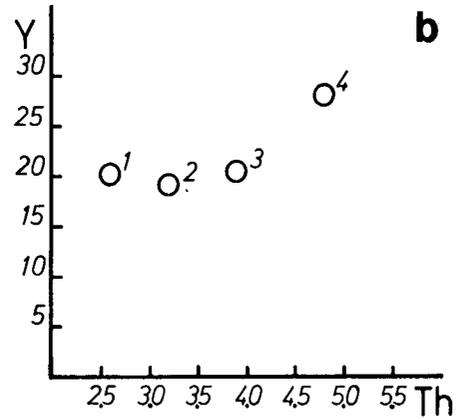
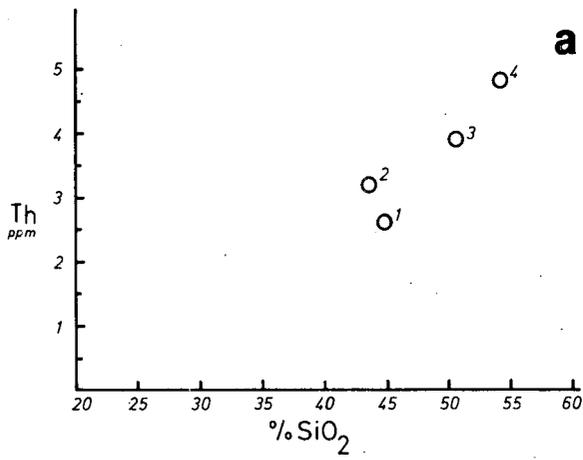


Figura 9 (a-e).- Comportamiento de diversos elementos traza (explicaciones en el texto) con la diferenciación. (Rocas 1 y 2: zonas de borde; 3: nivel central y 4: diferenciado pegmatoides).

Figure 9.- (a-e).- Behaviour of some trace elements (explanation in text) during differentiation. (Samples 1 and 2: edge zone; 3: central zone; and 4: differentiated pegmatoid facies).

significativa experimentada por las plagioclasas. La comparación de los contenidos detectados para estos y otros elementos en las zonas de borde, centrales y del diferenciado pegmatóide aconseja considerar un mayor número de rocas representativas desde situaciones sin alteración hasta intensamente afectadas por la espilitización, en las que incluimos las rocas aquí consideradas. Así pues, la zonación petrográfica detectada en el sill que comentamos tiene una mejor conservación, de la composición geoquímica original, para unos elementos respecto a otros. En trabajos previos, ya citados, se ilustran estas variaciones cuyo estudio pormenorizado se inicia en Lago *et al.*, (1988e) y es objeto de trabajos posteriores.

Finalmente, las rocas aquí consideradas y las análogas ubicadas en los dominios indicados al inicio de este trabajo, se sitúan en dominios propios de intraplaca utilizando los clásicos diagramas que facilitan la verificación del ambiente geotectónico (véase p.e. Lago *et al.*, 1988, b y c; Enrique *et al.*, 1987 y Navidad y Alvaro, 1985).

CONSIDERACIONES ESTABLECIDAS

Los diversos sills de basaltos alcalinos del área de Arándiga corresponden a una única intrusión subvolcánica que, con reducida duración, se emplazó en sedimentos pertenecientes al tránsito del Keuper superior al pre-Hettangiense (y, en todo caso, fue previa a la dolomía de Imón).

La amplia extensión lateral de la intrusión está facilitada por el reducido espesor de sedimentos supra-yacentes así como por su carácter inconsolidado y naturaleza plástica.

Las condiciones de emplazamiento facilitan el desarrollo de una zonación petrográfica que alcanza a las zonas periféricas respecto a las más internas del sill.

El particular emplazamiento de la intrusión en sedimentos poco consolidados, facilitó su interacción mutua y el desarrollo de procesos secundarios, principalmente por espilitización, que modifican, con notable intensidad, la composición mineralógica primaria.

La integración de los datos aquí expresados con los obtenidos en análogos afloramientos, ubicados en los dominios establecidos y que definen la mencionada provincia alcalina, facilitará un mejor conocimiento, tanto de la composición primaria (en sills con escasa a nula alteración), como de los procesos secundarios por espilitización que afectan de modo frecuente a estas rocas.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. R. Vaquer (Universidad de Barcelona) por las facilidades prestadas para la realización de los análisis químicos y sus valiosos comentarios al trabajo. A los Dres. J. López Ruiz y J. Martí (C.S.I.C. Madrid y Barcelona) por sus sugerencias. Al Dr. F. Nieto (Universidad de Granada) por la utilización del talco-patrón y su desinteresada ayuda.

Este trabajo corresponde al proyecto nº 824/84, subvencionado por la CAICYT.

BIBLIOGRAFÍA

- AMSTUTZ, G.C., Edit., 1984: Spilites and spilitic rocks. *Springer-Verlag*. Berlín, 482 págs.
- AZAMBRE, B. y ROSSY, M., 1981: Caractère alcalin du magmatisme triasique des Corbières orientales. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 23: 253-262.
- BAILEY, S.W., 1972: Determination of chlorite composition by X-ray spacings and intensities. *Clay and clay minerals*, 20: 381-388.
- BAILEY, S.W., 1980: Summary of recommendations of AIPEA Nomenclature Committee. *Clay Minerals*, 15: 85-93.
- BALOUET, S., 1985: Les sequences paleovolcaniques du domaine pyreneen depuis le Stephano-Permien jusqu'au Cretace: Essai d'identification basé sur l'étude geochimique des elements en traces. *Thèse 3^e cycle*. Université Paris VI, 269 pág.
- BARSHAD, I., 1959: The effect of interlayer cations on the expansion of the mica type of crystal lattice. *American Mineralogist*, 35: 225-238.
- BASTIDA, J., BESTEIRO, J., LAGO, M., AMIGÓ, J.M. y POCOVÍ, A., 1986: Estudio mineralógico de rocas espilitizadas en el área de Arándiga (Zaragoza). *VI^e Reunión Soc. Española Mineralogía*. Vol. Resúmenes, pp. 44.
- BASTIDA, J., GARCÍA AGRAMUNT, M.J., AMIGÓ, J.M., LAGO, M. y POCOVÍ, A., 1988. Influencia térmica del magmatismo alcalino en los sedimentos del tránsito, Triás-Lías inferior, en la Cadena Ibérica. *III^e Coloq. Estratigraf. y Paleogeograf Jurásico España*. (Logroño). Vol. Resúmenes, 17-19.
- BEZIAT, D., 1983: *Etude pétrologique et géochimique des ophites des Pyrénées. Implications géodynamiques*. Tesis 3^e ciclo. Toulouse. 60 p.
- BRINDLEY, G.W., 1961: Chlorite minerals. In Brown, G. ed. *The X-ray identification and crystal structure of clay minerals*. Cap. 6. Mineralogical Society. London.
- BRINDLEY, G.W. y GILLERY, F., 1956: X-ray identification of chlorite species. *Journal of the Mineralogical Society of America*, 41, (3, 4): 169-188.
- BROWN, G., 1980: Associated minerals. In Brindley y Brown. ed. *Crystal Structure of Clay Minerals and their X-ray Identification*. Mineralogical Society. London.
- BUFFET, G., 1984: Variabilité des caractères spilitiques et magmatiques du volcanisme alcalin triasique du massif des Ecrins-Pelvoux. (Alpes françaises). *Sciences de la Terre. Serie Informatique Géologique*: 19, 254 págs.
- CHUNG, F.M., 1974: Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. I. Matrix-flushing method for quantitative multicomponent analysis. *J. App. Cryst.*, 7: 519-525.

- ENRIQUE, P., 1986: Nota sobre les roques hipabissals de la Serra de Tramuntana de Mallorca: algunes característiques petrogràfiques i geoquímiques. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 30: 19-50.
- ENRIQUE, P., LAGO, M., POCOVÍ, A. y VAQUER, R., 1987: Aspectos petrológicos y geoquímicos del magmatismo alcalino, de edad triásica, en la Sierra Norte de Mallorca. "II^o Cgr. Geoquímica España. Soria. Vol. Comunicaciones, 215-218.
- GOY, A. y YEBENES, A., 1977: Características, extensión y edad de la formación dolomías tableadas de Imón. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 4: 375-384.
- HAYES, J.B., 1970: Polytypism of chlorite in sedimentary rocks. *Clays & Clay Minerals*, 18: 285-306.
- J.C.P.D.S., 1984: Selected Powder Diffraction Data for Minerals. *Pub DBM*, 23.
- LAGO SAN JOSE, M. y POCOVÍ A., 1984a: Les spilites des environs du Moncayo (Soria-Saragosse, Espagne). Com. X^e Reunion Annuelle Sciences de la Terre. Bordeaux.
- LAGO SAN JOSE, M. y POCOVÍ A., 1984b: Las espilitas del área del Moncayo (Zaragoza-Soria): caracteres geológicos y petrológicos. Com. I^o Congr. Esp. Geología. Segovia. Tomo 2: 161-176.
- LAGO, M. POCOVÍ, A., BASTIDA, J. y AMIGO, J.M., 1988a: The alkaline magmatism in the Triassic-Liassic boundary of the Iberian Chain: Geological and petrological characters. II^o Congr. Esp. Geol. (Granada), II: 31-34.
- LAGO, M., ZACHMANN, D., POCOVÍ, A. y VAQUER, R., 1988b: Geochemical features of alkaline magmatism in the Triassic-Liassic boundary of the Iberian Chain. II^o Congr. Esp. Geol. (Granada), II: 39-42.
- LAGO, M., POCOVÍ, A., BASTIDA, J., ZACHMANN, D. y VAQUER, R., 1988c: El magmatismo alcalino, del tránsito Triás-Lías inferior, en el Bajo Ebro (Tarragona): Caracteres geológicos, petrológicos y geoquímicos. III^o Coloq. Estratigraf. y Paleogeograf. Jurásico España. (Logroño). Vol. Resúmenes, 47-49.
- LAGO, M., ZACHMANN, D., VAQUER, R. y POCOVÍ, A., 1988d: Geochemical behaviour os spilitization in alkaline magmatism, Triás-Lías, of the Iberian Chain and Mallorca (Spain). Intern. Congr. of Geochem. and Cosmosch.; *Chemical Geol.* 70, (1/2): 156.
- LAGO, M., POCOVÍ, A., BASTIDA, J., ZACHMANN, D. y VAQUER, R., 1988e: Petrological, geochemical and emplacement features of the alkaline magmatism, Trias-Lower Lias, of the Iberian Chain. X^e Reunión Geol. Oeste Peninsular. (Bragança). Vol. Resúmenes Contribución Esp., p. 25.
- MITJAVILA, J.M., 1987. *El vulcanisme triàsic del domini meridional dels Catalànids*. Tesis Licenciatura. Universidad de Barcelona, (Inédita), 118 págs.
- MITJAVILA, J.M. y MARTÍ, 1986: El vulcanismo triásico del Sur de Catalunya. *Rev. Inv. Geol.*, 42/43: 89-103.
- MONTIGNY, R., AZAMBRE, B., ROSSY, M. y THUIZAT, R., 1982: Etude K/Ar du magmatisme basique lié au Trias supérieur des Pyrénées. Conséquences méthodologiques et paléogéographiques. *Bull. Minéral.*, 105: 673-680.
- NAVIDAD, M. y ALVARO, M., 1985: El vulcanismo alcalino del Triásico superior de Mallorca (Mediterráneo Occidental). *Boletín Geológico y Minero*. T. XCVI-I: 10-22.
- NIETO, F., MARTÍN RAMOS, J.D., LÓPEZ AGUAYO, F. y RODRÍGUEZ GALLEGO, M., 1980: Relación entre las intensidades de las reflexiones basales y el contenido y distribución de átomos pesados en cloritas. *Cuad. Geol.*, 11: 31-40.
- NIETO, F., 1983: *Las cloritas de las Cordilleras Béticas*. Tesis Doctoral de la Universidad de Granada.
- NISKANEN, E., 1964: Reduction of orientarion effects in the quantitative X-ray diffraction analysis of kaolin minerals. *Amer. Mineral.*, 49: 705-714.
- NUTTING, W., 1943: Some standad dehydration curves of minerals. *U. S. Geol. Surv. Profess. Papers*. 197-E: 197-216.
- POCOVÍ A., LAGO, M. y BASTIDA, J., 1988: Características del emplazamiento del magmatismo alcalino, del tránsito Triás-Lías, de la Cadena Ibérica. III^o Coloq. Estratigr. y Paleogeogr. Jurásico de España. (Logroño). Vol. Resúmenes, 77-79.
- WARSHAW, C. y ROY, R., 1961: Classification and scheme for the identification of layer silicates. *Geol. Soc. of America Bulletin*, 72: 1455-1492.
- WINCHESTER, J.A. y FLOYD, P.A., 1976: Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. *Earth Planet Sc. Letters.*, 28: 459-469.

Recibido, septiembre 1987