

# El magmatismo (Ortoneises y volcanismo del Ordovícico Superior) del Paleozoico de los Catalánides.

Por M. NAVIDAD (\*) y A. BARNOLAS (\*\*)

## RESUMEN

En el presente trabajo se caracterizan petrológica y geoquímicamente las rocas metavolcánicas del Ordovícico Superior de los Catalánides (Gavarres y Guillerries) y los ortoneises de las Guillerries. Estos últimos se encuentran en disposición estratiforme en materiales metasedimentarios cuya edad supuesta es Proterozoico Superior o Cámbrico Inferior.

Las rocas metavolcánicas están constituidas por metarriolitas masivas y tobas dacítico-riolíticas con abundante mezcla de material fragmentario. Corresponden a un volcanismo explosivo subaéreo y de carácter freatomagmático. Sus caracteres geoquímicos lo definen como los términos ácidos de una secuencia calcoalcalina de procedencia cortical emplazada post-colisionalmente dentro de un contexto extensivo. El modelo de REE indica que se trata de fundidos poco fraccionados procedentes de la fusión de una corteza reciclada.

Los «Ortoneises de las Guillerries» corresponden a leuconeises biotíticos con granate. Sus caracteres geoquímicos los caracterizan como metagranitos aluminicos de procedencia cortical. Sus espectros geoquímicos (elementos incompatibles y REE) presentan pautas análogas a los de las rocas metavolcánicas e indican que se trata de fundidos de procedencia cortical de baja alcalinidad emplazados en un contexto anorogénico.

La ausencia de correlación geoquímica y de pautas de fraccionación entre metavolcanitas y ortoneises descarta la idea de una fuente común para ambos.

*Palabras clave:* Geoquímica, Ordovícico Superior, Volcanismo ácido, Ortoneis, Cambro-Ordovícico, Catalánides, España.

## ABSTRACT

This paper is aimed at characterizing petrologically and geochemically the Upper Ordovician metavolcanics and the Guillerries orthogneisses of the Catalanides area. The Guillerries orthogneisses have a sheet arrangement between metasediments from Upper Proterozoic or Lower Cambrian inferred Age.

The metavolcanics consist of massive meta-rhyolites and dacites as well as rhyolitic tuffs and other pyroclastic rocks. They represent at least one episode of explosive and phreatomagmatic subaerial volcanism. Geochemically these volcanics are the evolved terms of a post-collision, extensional calc-alkaline magmatic series. REE patterns suggest that magmas were derived through little fractionation from a recycled source.

The Guillerries orthogneisses are garnet-bearing biotitic leucogneisses. Geochemically they are similar to aluminous granites of crustal origin. Incompatible elements and REE patterns are analogous to the other metavolcanics this suggesting that they also are low-alkalinity melts of crustal provenance, formed in an anorogenic regional setting.

The lack of geochemical correlation and fractionation lines between metavolcanics and orthogneisses rejects any possibility for a common source.

*Key words:* Geochemical analysis, Upper Ordovician, Acid volcanism, Orthogneiss, Cambro-Ordovician, Catalanides, Spain.

## INTRODUCCION

En el Ordovícico Superior de la zona axial pire-

naica y de los Catalánides se reconocen, aunque con un desarrollo muy desigual en los distintos afloramientos, rocas volcánicas y volcanoclásticas (metavolcanitas), así como rocas metasedimentarias detríticas con un alto contenido en clastos de origen volcánico.

(\*) Departamento de Petrología y Geoquímica. Universidad Complutense de Madrid.

(\*\*) División de Geología y Geofísica. ITGE. Ríos Rosas, número 23. 28003 Madrid.

En el Pirineo se han descrito metavolcanitas básicas en el domo de Pierrefite (DAGALLIER, 1973; BOIS et POUIT, 1976), ácidas en los Aspres (MENGEL, 1907; CAVET, 1957; LAUMONIER et GUITARD, 1986) y ambos tipos en la región de Ribes de Freser (ROBERT et THIEBAUT, 1976; MARTI et al., 1986).

En los Catalánides (fig. 1), la existencia de materiales volcano-sedimentarios de esta edad es conocida desde fecha reciente, y han sido descritos y estudiados en los macizos de Gavarres y Guilleries y en los pequeños afloramientos de las Pedritxes y Mataró (BARNOLAS et al., 1980; JULIVERT y MARTINEZ, 1980; DURAN et al., 1984). La existencia de materiales metasedimentarios del Ordovícico Superior está comprobada en otros macizos paleozoicos de este segmento hercínico: Barcelonés (ALMERA, 1898) y Montseny (FAURA y SANS, 1913). Aunque la sucesión litoestratigráfica es poco conocida en estos macizos, la presencia de materiales volcánicos parece más reducida.

En el sector septentrional de los Catalánides (Gavarres y Guilleries) las rocas metavolcánicas corresponden a metadacitas y metarriolitas con abundante mezcla de material fragmentario. Estratigráficamente se encuentran intercaladas en el tramo inferior de una serie grauvaco-pelítica (BARNOLAS et al., 1980), que ha sido datada con restos faunísticos como Caradoc-Ashgill VILLAS et al., 1987). Estas rocas metavolcánicas han sido interpretadas por DURAN et al. (1984) (Catalánides), y por MARTI et al. (1986) (Pirineo oriental), como representantes de un volcanismo de tipo orogénico dentro de un contexto de intraplaca.

#### CONTEXTO GEOLOGICO REGIONAL

Los macizos de las Guilleries y Gavarres son los más septentrionales de los Catalánides (fig. 1). Al norte de los mismos el Paleozoico desaparece bajo el Terciario de la cuenca surpirenaica, mientras que hacia el sur aflora el plutón granítico tardihercínico de los Catalánides. Se encuentran separados entre sí por materiales paleógenos y neógenos, y compartimentados por fracturas de dirección NO-SE.

#### Macizo de las Gavarres

El macizo de las Gavarres está situado en el extremo nord-oriental de los Catalánides (fig. 1). Está formado por una potente serie metasedimentaria de edad paleozoica, y por materiales graníticos que se distribuyen al sur del macizo y en las proximidades de Montnegre (fig. 2).

En la serie paleozoica se pueden distinguir tres grandes grupos de unidades litoestratigráficas. El grupo inferior está formado por materiales no datados, probablemente del Cámbrico y/u Ordovícico. El grupo intermedio está formado por materiales del Ordovícico Superior, y el grupo superior por materiales del Silúrico y Devónico Inferior.

Los materiales del grupo inferior han sido denominados por BARNOLAS y GARCIA-SANSEGUNDO (in press) «Serie Heterolítica Inferior de las Gavarres». Consisten en metapelitas y metasamitas, en alternancias rítmicas decimétricas a milimétricas, que incluyen esporádicamente intercalaciones métricas a decamétricas de cuarcitas y mármoles. En parte son correlacionables con la Serie de Jujols, del Pirineo Oriental, sensu CAVET (1957).

Sobre la «Serie Heterolítica inferior de las Gavarres», y sin que exista discordancia angular entre los mismos, se disponen los materiales del segundo grupo considerado. Estos corresponden en edad al Ordovícico Superior reconociéndose cuatro unidades litoestratigráficas (BARNOLAS y GARCIA SANSEGUNDO, in press) (fig. 3).

Los materiales del Silúrico y Devónico Inferior (fig. 3) se encuentran en escamas cabalgantes sobre la Serie Heterolítica Inferior (fig. 2).

#### Macizo de las Guilleries

En el macizo de las Guilleries se reconocen dos series estratigráficas paleozoicas muy diferenciadas, que se hallan separadas entre sí por una fractura de dirección N 70°, que lo divide en dos sectores (fig. 4).

En el sector meridional aflora la serie aparentemente más antigua. Aunque no existe hasta la fecha ningún elemento de datación sobre la mis-

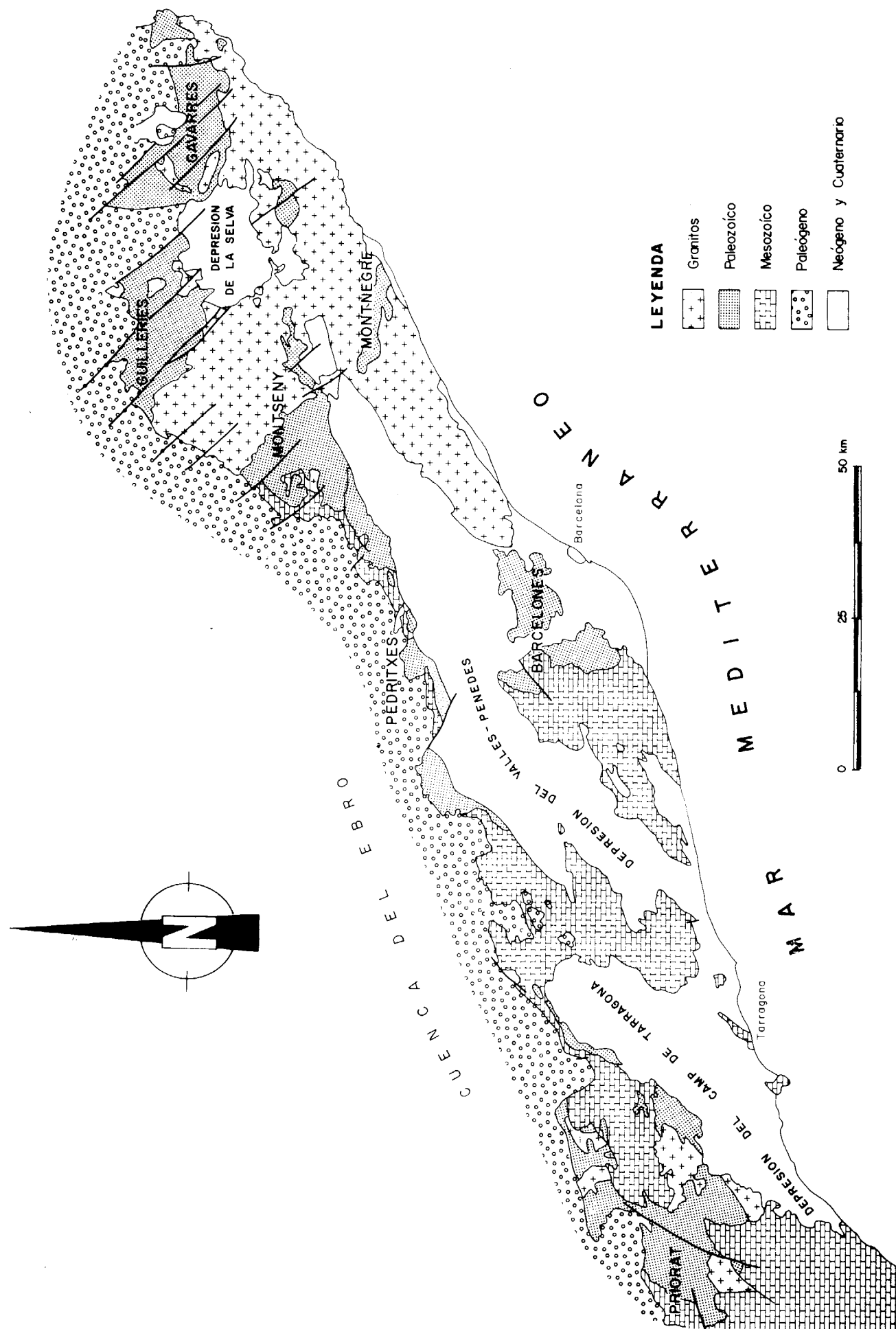


Figura 1.—Esquema geológico de los Catalánides con la localización de los macizos hercínicos.

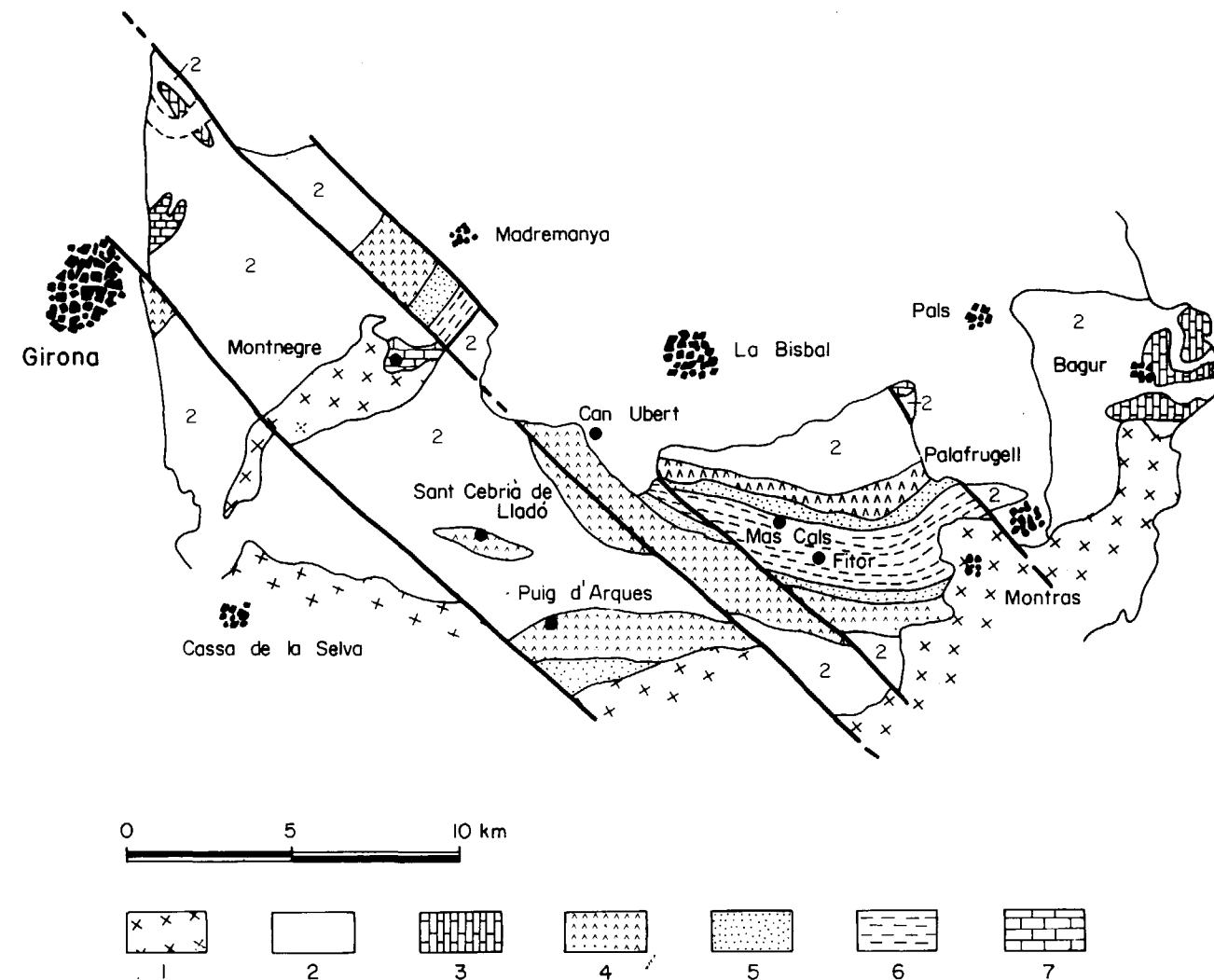


Figura 2.—Esquema geológico de las Gavarres (modificado de BARNOLAS y GARCIA SANSEGUNDO, in press, 1986). Leyenda: 1, Granitos tardihercínicos; 2, Serie Heterolítica inferior de las Gavarres; 3, Calizas de Bagur y Sant Julià de Ramis; 4, Conglomerados de Sant Cebrià de Lladó y Vulcanitas ácidas de Els Metges; 5, Limolitas y calizas de Mas Cals; 6, Lutitas de Fitor; 7, Ampelitas y calizas del Silúrico y Devónico Inferior.

ma, se le supone una edad Proterozoico Superior o Cámbrico Inferior, por comparación con la edad atribuida a la «Serie de Canaveilles», del Pirineo Oriental (LAUMONIER, 1988), con la que guarda una cierta analogía. Está formada por un potente paquete de metasedimentos («Serie de las Guilleries»), que incluyen tres intercalaciones de ortoneises («Ortoneises de las Guilleries»), así como algunos niveles de ortoanfibolitas en disposición estratiforme. Todo el conjunto tiene estructura monoclinale y buzamiento regional hacia

el sur de la  $S_0$ ,  $S_1$  y  $S_2$ , que son subparalelas. El metamorfismo regional que afecta a todo este conjunto es de baja presión, reconociéndose desde la isograda de la sillimanita-feldespato potásico, en las zonas más profundas, hasta la isograda de la biotita en los tramos superiores (VAN DER SIJF, 1951; BARNOLAS et al., 1983-84; DURAN, 1985).

En el sector septentrional afloran materiales similares a los descritos para el macizo de las Gavarres:

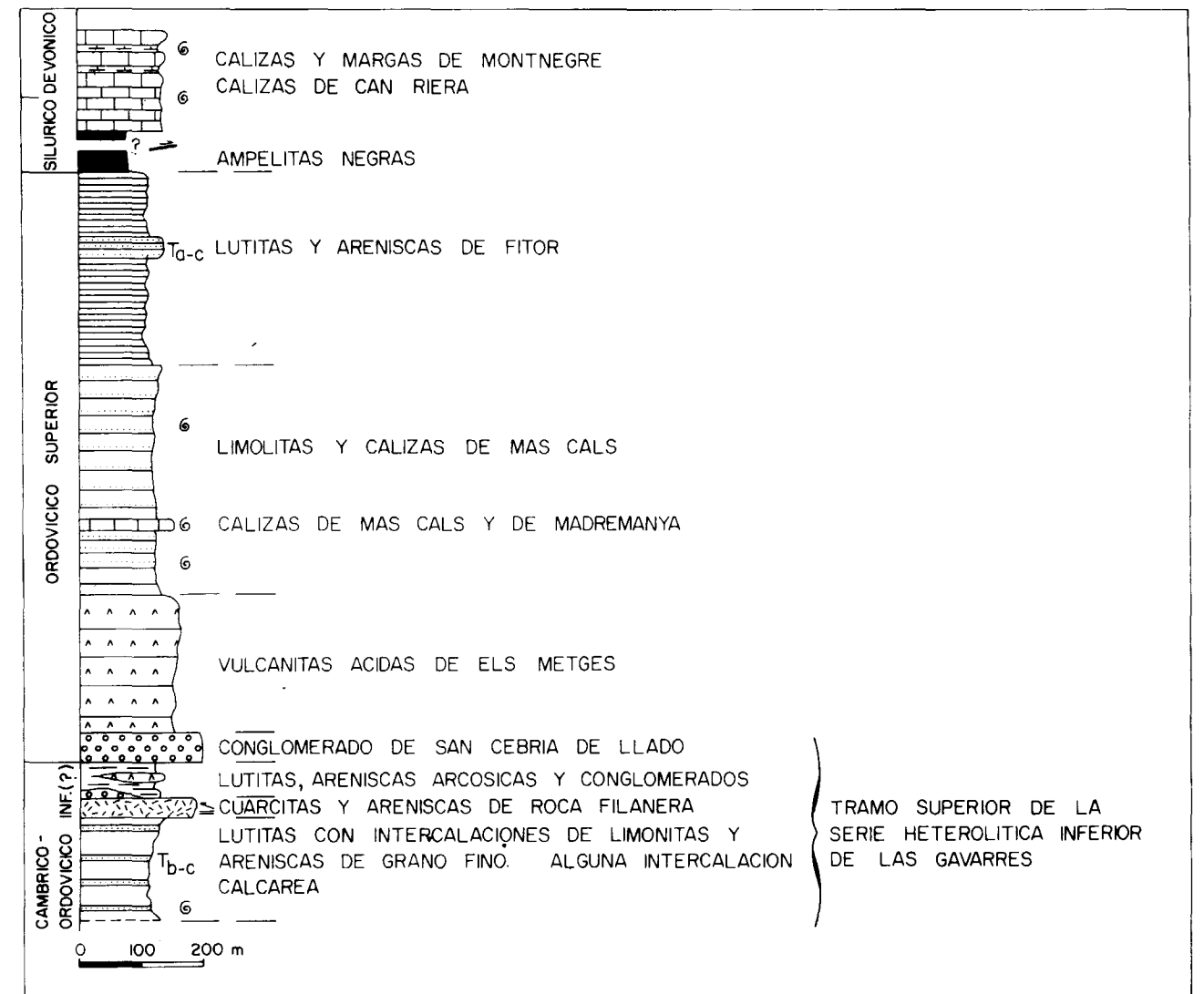


Figura 3.—Columna estratigráfica sintética del Ordovícico Superior de las Gavarres (modificado de BARNOLAS y GARCIA SANSEGUNDO, in press, 1986).

- Serie heterolítica de las Gavarres.
- Serie del Ordovícico Superior (BARNOLAS et al., 1980, 1983-84; DURAN, 1985; VILLAS et al., 1987).
- Silúrico y Devónico Inferior (DURAN, 1985).

#### CARACTERISTICAS DE LAS ROCAS METAVOLCANICAS

Los afloramientos más representativos se en-

cuentran en el macizo de las Gavarres, en las proximidades de la localidad de Mas Cals y en las cercanías de Sant Cebrià de Lladó (fig. 2). Se encuentran sobre el metaconglomerado basal del Ordovícico Superior con una potencia aproximada de 300 m. En algunos puntos, como en Mas Cals, este conglomerado no se observa apoyándose las metavulcanitas sobre la Serie Heterolítica inferior de las Gavarres. La secuencia metavolcánica, donde aparece mejor desarrollada, está fundamentalmente formada por una alternancia de materiales piroclásticos (tobas y

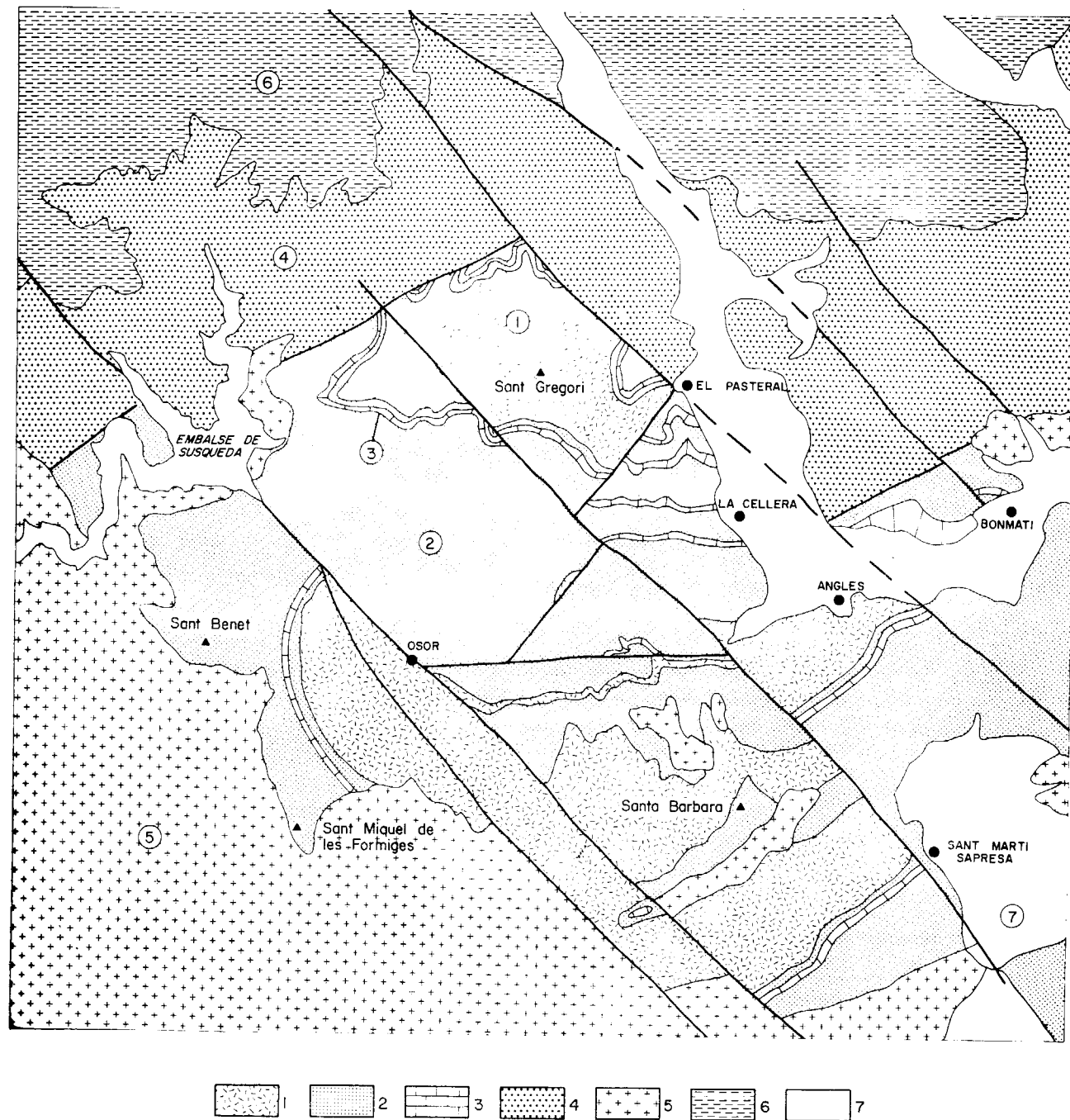


Figura 4.—Esquema geológico de las Guilleries (modificado de BARNOLAS et al., 1983-84). 1, Neises de las Guilleries; 2, Serie metasedimentaria de las Guilleries; 3, Niveles de mármoles; 4, Serie superior (ankimetamórfica); 5, Granitos; 6, Paleógeno; 7, Neógeno y Cuaternario.

cineritas) y niveles masivos subordinados situados preferentemente en la base, parte intermedia y techo de la secuencia. Son frecuentes, asi-

mismo, los niveles de naturaleza volcanoclástica en continuidad con los de tipo piroclástico. Los tramos formados por material fragmentario

(piroclástico y volcanoclástico) presentan con relativa frecuencia estructuras relictas como gradaciones positivas, imbricaciones entre facies con diferente tamaño de grano (tobas y cineritas) y laminaciones dentro de los niveles de grano más fino. Los tramos masivos están formados por riolitas muy homogéneas que presentan ocasionalmente en la base niveles de brechas con abundantes sulfuros; son frecuentes dentro de ellos las laminaciones de flujo formando cierto ángulo con la esquistosidad regional y las estructuras de desvitrificación. Estos niveles no presentan continuidad lateral.

### Aspectos petrológicos

Se describen a continuación:

1. Metariolitas masivas.
2. Materiales fragmentarios.

Dentro del segundo grupo se han distinguido en base a criterios texturales y mineralógicos los materiales piroclásticos de los volcanoclásticos.

#### 1. Metariolitas masivas

Son de color rosa-violáceo y presentan estructuras de alteración en forma de «anillos de Liesegang». Ocasionalmente se observan fenocristales de cuarzo que destacan en una matriz muy homogénea de grano muy fino.

Petrográficamente son rocas cuya matriz está formada exclusivamente por cuarzo bien en forma de pequeños microlitos orientados o bien como un agregado criptocristalino recrystalizado. Con luz natural se observan a veces texturas relictas de desvitrificación perlítica o esferulítica y una laminación composicional definida por la mayor concentración de agregados micáceos, circonatos y opacos.

#### 2. Materiales fragmentarios

##### Rocas piroclásticas

Engloban tobas de carácter ignimbrítico y cineritas. Su mineralogía corresponde a la de términos dacítico-riolíticos.

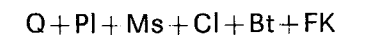
##### Metatobas ignimbríticas

Macroscópicamente están formadas por una ma-

triz de color gris verdoso sobre la que destacan pequeños cristales (0 a 2 mm.) de cuarzo y feldespato, fragmentos pizarrosos y estructuras de tipo ignimbrítico deformadas y orientadas paralelamente a la esquistosidad principal.

Petrográficamente presentan una textura porfiroclástica foliada. La foliación está definida por un agregado clorítico moscovítico con lamelas de biotita incipiente.

Su asociación mineralógica está formada por:



y como accesorios: apatito, circón, ilmenita, pirita y leucoxeno.

La matriz constituye la parte esencial de estas rocas. Está formada por un agregado micro-criptocristalino cuarzo-feldespático con abundante moscovita; destacan en él esferulitos de albita policristalina.

Incluidos en la matriz aparecen fenocristales y fragmentos: Los fenocristales son de pequeño tamaño (1-1,5 mm.) y presentan los caracteres típicos de cristales subvolcánicos: corrosiones, vacuolas y un elevado grado de fracturación, variable, de unas rocas a otras. Están compuestos por cuarzo, plagioclasa ácida (An 5-8) maclada polisintéticamente, anubarrada y alterada a un agregado clorítico sericítico que encierra en ocasiones clinzoisita y carbonatos; biotita y feldespato potásico. Este último componente no siempre está presente como fenocristal, aparece preferentemente en los niveles situados en la parte superior de la secuencia, presenta una transformación incipiente a albita en damero, siendo en ocasiones pertítico o micropegmatítico.

Entre los fragmentos son frecuentes los tipos con textura pizarrosa formados por sericita y opacos, posibles representantes de cenizas; estructuras de tipo fluidal miméticas con la foliación formadas por sericita y carbonatos posibles pseudomorfos de antiguos «shards» vítreos y clastos ocasionales de pizarra y cuarcita.

Entre los accesorios hay que destacar la frecuente presencia de apatito, bien como fenocristal corroído o bien con un hábito tabular incluido en los fenocristales de cuarzo y plagioclasa; son frecuentes, asimismo, los cristales de ilmenita ameboide.

**Metacineritas**

Corresponden a niveles de grano muy fino con marcada pizarrosidad. Su color varía desde niveles oscuros biotítico a otros más claros cuarzo-feldespáticos que incluyen frecuentemente porfiroclastos en proporción muy restringida. Son frecuentes en estos niveles las laminaciones de espesor milimétrico que muestran variaciones composicionales (láminas formadas por micas esencialmente) y las imbricaciones con mayor tamaño de grano.

Los niveles claros están compuestos por un agregado criptocristalino de cuarzo o cuarzo-sericítico, formado posiblemente a partir de la recristalización de un vidrio anterior. Engloba agregados filíticos formados por mica blanca y carbonatos.

Los niveles más oscuros están compuestos esencialmente por moscovita y biotita, esta última define la esquistosidad visible. Son niveles de potencia muy reducida (3-10 cm.) intercalados entre los tobáceos o en tránsito lateral con ellos.

**Rocas volcanoclásticas**

Bajo esta denominación se engloban materiales fragmentarios de procedencia imprecisa (CAS & WRIGHT, 1987), con estructura generalmente tobácea, definida por el predominio de fragmentos líticos y de cuarzo. Macroscópicamente son de color ocre y en su matriz predominan abundantes clastos (0-2 mm.) de cuarzo y plagioclasa. Sus caracteres estructurales son análogos a los que presentan los tipos piroclásticos, por lo que su diferenciación en el campo es problemática.

Petrográficamente son, al igual que aquéllos, de textura porfiroclástica, diferenciándose por el predominio de fragmentos de cuarzo anguloso en una proporción elevada frente a la matriz.

La matriz está formada por un agregado microcristalino de cuarzo y mica blanca en la que se observan con frecuencia laminaciones, mostrando una  $S_0$  microplegada mimética con la esquistosidad principal.

Incluyen porfiroclastos y fragmentos de otras rocas. Entre los primeros hay que destacar los cuarzoes angulosos y policristalinos y, en proporción menor, los cuarzoes corroídos y las plagioclasas. Entre los fragmentos destacan: agre-

gados poliminerales de cristalización subvolcánica formados por cuarzo, turmalina, apatito y circon, sólo presentes en este tipo de facies; agregados micáceos con marcada pizarrosidad y esferulitos de albita policristalina. Estos últimos pueden interpretarse como restos de cenizas y lapillis, lo cual indicaría la fuerte influencia volcánica que este tipo de facies presenta.

Son frecuentes también en estos materiales los contenidos elevados de sulfuros y óxidos que se concentran sobre los fragmentos, llegando incluso a soldarlos; lo cual es característico en facies de cristalización subvolcánica con alto contenido en volátiles.

De los datos anteriormente señalados se puede deducir que estos materiales «volcanoclásticos» podrían interpretarse como facies de carácter freatomagmático originadas por un mecanismo de extrusión altamente favorecido por un elevado contenido en volátiles.

**CARACTERÍSTICAS DE LOS ORTONEISES**

Los afloramientos de ortoneises son escasos en el sector septentrional de los Catalánides, localizándose exclusivamente en el macizo de las Guilleries.

Forman cuerpos de pequeña extensión de leuconeises biotíticos que se disponen como *sills* dentro de una serie metasedimentaria formada, fundamentalmente, por esquistos, niveles de mármoles, rocas de silicatos cálcicos y anfibolitas («Serie de las Guilleries»).

Macroscópicamente son de aspecto leucocrático homogéneos y con una fuerte estructuración marcada por la biotita; en zonas de fuerte deformación presentan una estructura milonítica.

Petrográficamente son de textura granoblástica o milonítica cuando se encuentran deformados.

Su asociación mineral está formada por:



Los minerales accesorios apenas están presentes, y cuando aparecen son ilmenitas y ocasionalmente monazita. Entre los minerales secundarios son frecuentes la clorita y sagenita a partir de la biotita, y moscovita histerógena.

La plagioclasa es de composición ácida, y el feldespato potásico constituye un agregado granoblástico junto al resto de los componentes. Los granates son idioblásticos, no presentan inclu-

siones, no se encuentran zonados y su composición es esencialmente almandino (cuadro I). Corresponden a granates típicamente magmáticos.

**CUADRO I**  
**Composición de granates**

MUESTRA NF-63. ITGE						
	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub> ... ..	35.52	36.05	35.78	36.27	35.90	36.05
TiO <sub>2</sub> ... ..	0.04	0	0.02	0.07	0.01	0.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	21.39	21.22	21.41	21.19	21.00	21.64
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0	0.01	0.08	0	0.04	0
FeO ... ..	34.49	34.98	34.40	35.04	34.59	35.01
MnO ... ..	5.93	6.34	6.32	6.43	6.43	5.82
MgO ... ..	0.62	0.68	0.65	0.62	0.60	0.62
CaO ... ..	0.41	0.46	0.46	0.41	0.42	0.55
TOTAL ... ..	98.40	99.74	99.12	100.03	98.99	99.75
Pt Si IV ... ..	5.85	5.90	5.86	5.92	5.92	5.85
Pt Al IV ... ..	0.15	0.10	0.14	0.08	0.08	0.15
T site ... ..	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Pt Al VI ... ..	4.00	4.00	3.99	3.99	3.99	3.99
Pt Ti VI ... ..	0	0	0	0.01	0	0.01
Pt Cr ... ..	0	0	0.01	0	0.01	0
Pt Fe <sup>+3</sup> ... ..	0	0	0	0	0	0
O site ... ..	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Pt Fe <sup>+2</sup> ... ..	4.75	4.79	4.71	4.78	4.77	4.75
Pt Mn <sup>+2</sup> ... ..	0.83	0.88	0.88	0.89	0.90	0.80
Pt Mg ... ..	0.15	0.17	0.16	0.15	0.15	0.15
Pt Ca ... ..	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.10
A site ... ..	5.80	5.92	5.82	5.89	5.89	5.80
Pt O ... ..	23.72	23.87	23.75	23.85	23.84	23.73

Lab. Microsonda. París II (Camebax y Sx 50).

Los tipos miloníticos se caracterizan por la presencia de lentes de cuarzo, marcando la foliación y porfiroclastos de microclina, frecuentemente policristalinos.

**CARACTERES GEOQUÍMICOS**

La interpretación geoquímica de las rocas metavolcánicas y de los ortoneises se ha realizado a partir del estudio de sus elementos mayores, trazas y tierras raras, si bien en estas últimas sólo se ha dispuesto de dos espectros obtenidos a partir de una metavolcanita y de un ortoneis.

Los análisis químicos figuran en los cuadros II, III, y corresponden a rocas metavolcánicas (cuadro II, núms. 1 al 7), rocas volcanoclásticas (cuadro II, núms. 8, 9, 10) y ortoneises (cuadro III, núms. 1, 2); también se han utilizado para este estudio análisis tomados de la bibliografía de rocas procedentes del área estudiada (DURAN et al., 1984).

Desde el punto de vista geoquímico, la finalidad del presente trabajo se dirige a establecer el químico original del volcanismo Ordovícico y su ámbito de generación dentro del contexto geodinámico.

**CUADRO II**  
Rocas metavolcánicas

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub> ... ..	73,06	69,12	75,23	68,50	67,76	71,43	63,18	72,58	76,84	68,58
TiO <sub>2</sub> ... ..	1,78	0,64	0,17	0,59	1,65	0,68	0,76	0,54	0,48	0,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	14,16	14,40	13,58	14,74	16,53	14,63	15,08	14,86	13,34	13,58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,61	2,09	1,43	2,61	1,47	1,13	3,68	2,49	1,09	1,72
FeO ... ..	0,21	2,17	0,23	1,89	1,50	2,22	4,97	0,81	0,39	6,59
MnO ... ..	0,01	0,06	0,02	0,06	0,04	0,06	0,07	0,02	0,02	0,07
MgO ... ..	0,01	0,70	0,24	0,62	1,25	0,49	2,42	0,59	0,27	1,81
CaO ... ..	2,78	0,83	0,23	1,71	0,27	0,14	0,75	0,10	0,09	0,26
Na <sub>2</sub> O ... ..	0,38	2,88	4,72	2,72	4,00	2,19	2,81	0,59	1,97	1,43
K <sub>2</sub> O ... ..	0,68	3,78	1,36	3,97	2,23	2,86	2,21	3,16	2,57	1,98
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> ... ..	6,07	2,70	2,59	2,15	2,89	3,76	3,41	4,42	2,51	3,00
H <sub>2</sub> O ... ..	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ... ..	0,01	0,13	0,03	0,14	0,19	0,13	0,11	0,01	0,04	0,13
TOTAL ... ..	99,76	99,50	99,83	99,70	99,78	99,72	99,45	100,17	89,61	100,00
Ba ... ..	239	1.460	513	1.175	1.316	810	434	481	714	508
Ce ... ..	64	113	29	64	76	56	82	45	45	50
Ga ... ..	17	25	21	22	30	24	38	20	18	11
La ... ..	51	119	21	58	48	65	40	61	21	36
Nb ... ..	41	20	10	30	47	18	16	21	19	12
Rb ... ..	40	140	76	135	92	126	96	140	132	84
Sr ... ..	27	140	265	175	314	122	88	45	74	44
Th ... ..	21	17	9	15	10	14	11	18	14	11
Y ... ..	49	47	47	45	48	45	47	45	43	47
Zr ... ..	580	261	109	270	436	348	313	168	215	259
Nd ... ..							40,45			
Sm ... ..							9,71			
Eu ... ..							1,36			
Gd ... ..							8,40			
Dy ... ..							8,26			
Er ... ..							4,67			
Yb ... ..							4,30			
Lu ... ..							0,81			

En cuanto a los cuerpos de ortoneises que aparecen incluidos en la serie más antigua (Proterozoico Superior o Cámbrico Inferior) plantean una problemática basada en la existencia de una fuente común para ambos tipos de manifestaciones magmáticas, así como su contemporaneidad, hipótesis que han sido anteriormente apuntadas en DURAN et al. (1984). La falta de dataciones geocronológicas impiden llegar a conclusiones definitivas; sin embargo, los datos geoquímicos obtenidos no parecen avalar estas hipótesis.

**Rocas metavolcánicas**

Considerando la naturaleza de los materiales es-

tudiados, con predominio de rocas piroclásticas, los mecanismos hidrotermales que acompañan a este tipo de emisiones (carácter hidromagmático) y las alteraciones secundarias (diagenéticas y metamórficas), el estudio geoquímico se ha basado principalmente en los elementos traza y REE por ser los que menos se han movilizad y los mejor controlados (WINCHESTER & FLOYD, 1977; HENDERSON, 1984).

El carácter geoquímico del volcanismo Ordovícico se puede deducir a partir de las relaciones Zr/TiO<sub>2</sub> — Nb/Y (WINCHESTER & FLOYD, 1977); las proyecciones de las rocas estudiadas en los diagramas de la figura 5 indican que se trata de una serie de tipo calcoalcalino, de carácter áci-

**CUADRO III**  
Ortoneises

	1	2
SiO <sub>2</sub> ... ..	74,77	75,23
TiO <sub>2</sub> ... ..	0,14	0,17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	12,46	13,58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	1,92	1,43
FeO ... ..	0,30	0,23
MnO ... ..	0,02	0,02
MgO ... ..	0,14	0,24
CaO ... ..	0,56	0,23
Na <sub>2</sub> O ... ..	2,87	4,72
K <sub>2</sub> O ... ..	5,23	1,36
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> ... ..	0,57	2,59
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> ... ..	nd	nd
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ... ..	0,13	0,03
TOTAL ... ..	99,11	99,83
Ba ... ..	638	910
Ce ... ..	95	76
Ga ... ..	28	24
La ... ..	46	nd
Nb ... ..	12	42
Rb ... ..	232	157
Sr ... ..	50	57
Th ... ..	20	22
Y ... ..	59	nd
Zr ... ..	169	252
Nd ... ..	43,40	—
Sm ... ..	10,71	—
Eu ... ..	0,76	—
Gd ... ..	9,41	—
Dy ... ..	10,00	—
Er ... ..	5,96	—
Yb ... ..	6,00	—
Lu ... ..	1,09	—
Ap ... ..	0,28	0,06
Il ... ..	0,26	0,31
Mt ... ..	0,62	0,30
Or ... ..	30,50	7,73
Ab ... ..	23,97	38,42
An ... ..	1,90	0,91
Hy ... ..	0,23	0,38
C ... ..	2,71	7,70
Q ... ..	36,59	40,26
Hm ... ..	1,47	1,17
TOTAL ... ..	98,54	97,24

do, formada esencialmente por términos dacíticos y riolíticos que presentan una ligera desviación hacia el campo alcalino.

En relación con el ámbito geodinámico de generación del volcanismo Ordovícico, los contenidos en elementos trazas y los espectros normalizados obtenidos a partir de estos y de las tierras

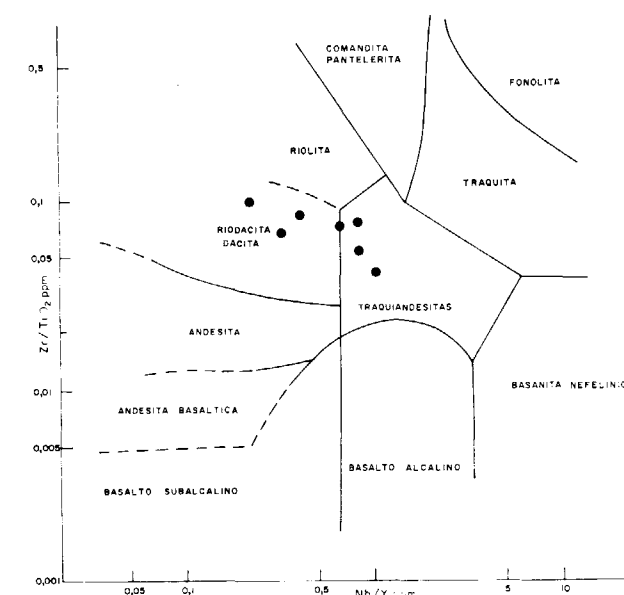


Figura 5.—Diagrama Zr/TiO<sub>2</sub>-Nb/Y (WINCHESTER & FLOYD, 1977).

raras indican su procedencia cortical y su emplazamiento en un contexto extensivo.

Estas conclusiones se deducen al comparar rocas de composición granítica procedentes de diferentes ámbitos geodinámicos (PEARCE et al., 1984), con los términos ácidos de esta secuencia volcánica. Como puede observarse (fig. 7), las relaciones que presentan Y, Nb y Rb en las rocas estudiadas coincide con el campo definido para los granitos procedentes de ámbitos de intraplaca. Por otra parte, respecto a la relación SiO<sub>2</sub>-Nb (fig. 6) (PEARCE & GALE, 1977) se proyectan

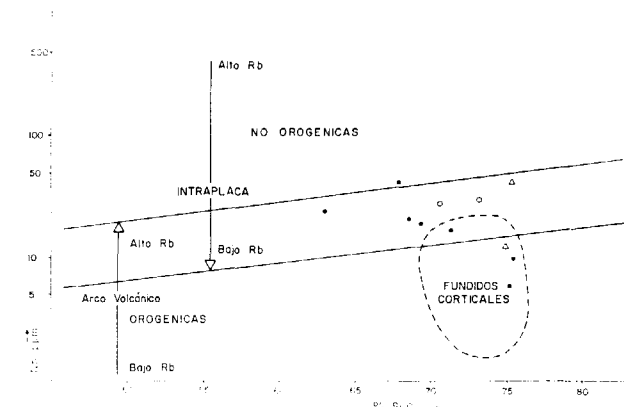


Figura 6.—Diagrama SiO<sub>2</sub>-Nb (PEARCE & GALE, 1977). Puntos: Dacitas; Círculos: Riolitas; Triángulos: Ortoneises.

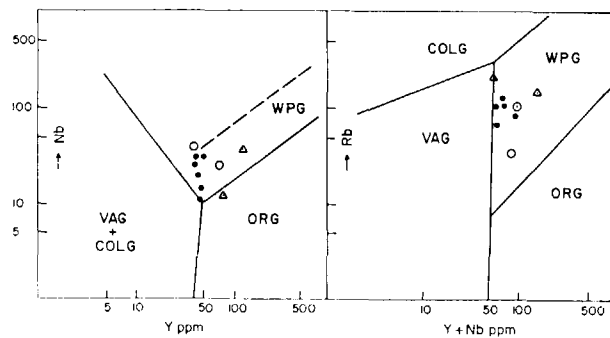


Figura 7.—Diagramas Y-Nb; Y+Nb-Rb (PEARCE et al., 1974). Puntos: Dacitas; Círculos: Riolitas; Triángulos: Ortoneises. COLG: Granitos colisionales; WPG: Granitos de intraplaca; ORG: Granitos de Ridge oceánico.

en el límite entre los campos orogénico y anorogénico, pudiendo interpretarse, como veremos más adelante (espectros REE) como términos con bajos contenidos en rubidio más afines a los tipos anorogénicos originados a partir de fundidos corticales. Esta misma conclusión se confirma sobre el diagrama de THIEBLEMONT & CABANIS (1990) (fig. 8).

A partir de los contenidos de los elementos incompatibles y REE normalizados a la composición teórica de un granito de fondo oceánico (PEARCE et al., 1984), se han obtenido espectros (fig. 9) caracterizados por una marcada anomalía negativa de Nb y algo menor de Ba en relación al Rb y Th, lo cual es característico en magmas félsicos de origen cortical (THOMPSON et al., 1982); lo mismo sucede respecto a los elementos de baja incompatibilidad, en los que también se observa una anomalía positiva del Sm respecto al Zr, Y, Yb. Comparando sus contenidos y sus pautas de comportamiento con las de otros espectros graníticos se observa una gran analogía con los modelos obtenidos a partir de granitos procedentes de ámbitos orogénicos (Chile-IV) y granitos de tipo tardicolisional intruidos en cuencas de tipo *back-card* (Oman III). Se puede pensar, por tanto, que este volcanismo que se emplaza dentro de un contexto ya extensivo (Ordovícico Superior) representa magmas post-colisionales procedentes de una fusión cortical.

Respecto al significado petrogenético de estos magmas, los espectros obtenidos a partir de la

normalización de los elementos incompatibles y REE al modelo condritico de THOMPSON et al., 1982, y WAKITA et al., 1971 (fig. 10), caracterizan a estas metavolcanitas como tipos con contenido moderno en elementos incompatibles

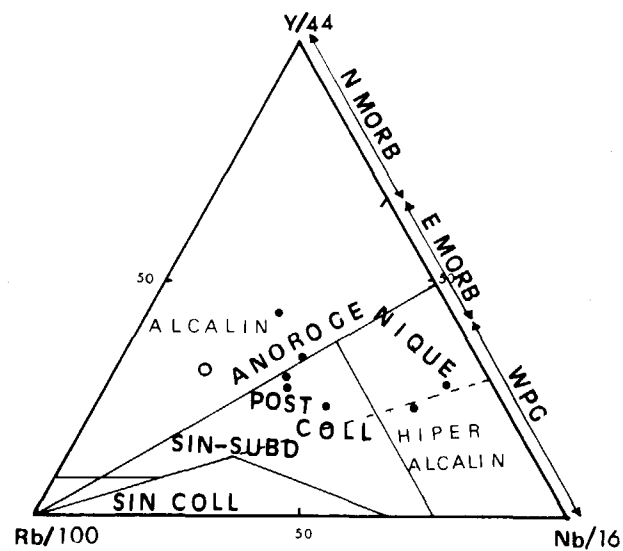


Figura 8.—Diagrama de THIEBLEMONT & CABANIS (1990). Puntos: Metavolcanitas ordovícicas; Círculos: Ortoneises.

Ba/La=10.8, y LREE (Lan=117) y ligeramente enriquecidos en HREE. Sus espectros corresponden a modelos poco fraccionados Ba/La=10.82 (La/Lu)<sub>n</sub>=4.91, caracterizados por una pequeña anomalía en Eu (Eu/Eu\*)<sub>n</sub>=0.45 respecto a las REE y por una marcada anomalía del Sr respecto al Rb y Ba en relación con los incompatibles. Ambas anomalías se explican, por una fraccionación de la plagioclasa y del apatito, con escasa participación de la biotita. Es también llamativo el elevado contenido de circonio encontrado en estas rocas, probablemente originado por la presencia en la fuente de una importante cantidad de circón heredado.

Rocas arcaicas con espectros similares a los obtenidos, caracterizados por LREE=100-200, variable anomalía negativa de Eu y ligero enriquecimiento de las HREE, han sido interpretados por CONDIE, 1981, en granitos sudafricanos, y JOLLY, 1987, en riolitas Huronianas, como representantes de fundidos, originados a partir de una

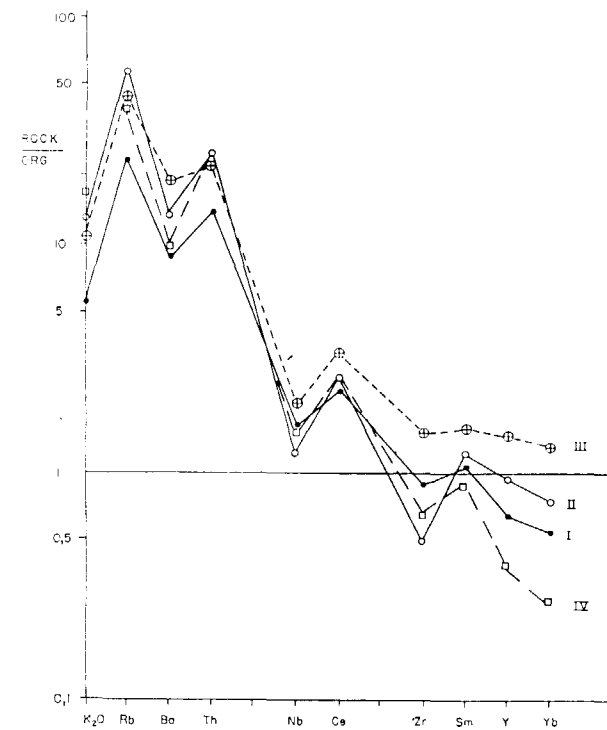


Figura 9.—Espectros de elementos incompatibles normalizados a un granito de Ridge oceánico (ORG) (PEARCE et al., 1984). I. Metavolcanitas ordovícicas; II. Ortoneises félsicos (Guilleries); III. Granitos intrusivos en corteza continental adelgazada (Oman); IV. Granitos de margen activo (Chile).

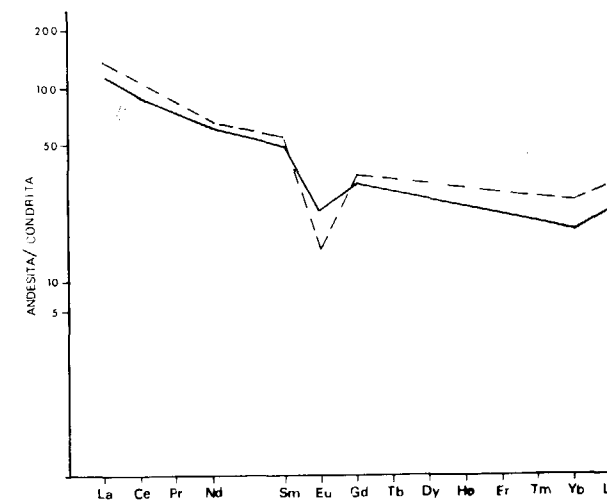


Figura 10.—Espectro de tierras raras (WAKITA et al., 1971).

fuelle ya empobrecida en elementos incompatibles bajo condiciones deficitarias en agua. HANSON (1978) señala el aumento en HREE como característico de modelos poco fraccionados originados por fusión de corteza sin la participación de granate como fase residual.

Es importante considerar, sin embargo, el efecto que producen las alteraciones hidrotermales tardimagmáticas en este tipo de anomalías. Procesos de albitización y cloritización hidrotermal secundarios (HUMPRIS, 1984) originan también la precipitación de LREE con el subsecuente enriquecimiento de HREE; asimismo se produce un descenso del contenido en Eu y aumento de Lu con respecto al Yb, lo que también se observa en estos espectros.

### Ortoneises

Los análisis químicos de los ortoneises figuran en el cuadro II, y corresponden a cuerpos situados en diferentes niveles estratigráficos de la serie metasedimentaria (núms. 1, 2).

Se caracterizan por valores de SiO<sub>2</sub>=75 por 100 y álcalis=8 por 100, con una relación K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O > 1. Esta relación se invierte en los cuerpos más deformados situados hacia el techo de la serie que han sido afectados por procesos de albitización y pérdida de álcalis. Contienen corindón normativo, por lo que pueden considerarse como tipos aluminicos.

Al comparar el quimismo de estas rocas con los términos más ácidos de las metavolcanitas ordovícicas no se observan diferencias importantes entre ambos; sin embargo, difieren en sus contenidos de trazas y REE. Por otra parte, al proyectar los elementos traza de ambas series en los diagramas binarios K<sub>2</sub>O-Rb, Zr-Nb, Zr-Ti<sub>2</sub>O (fig. 11 a, c), no se observan pautas de correlación lineal clara entre ambas, por lo que es difícil pensar en un proceso de fraccionación único para la génesis de ambos tipos de rocas. Sin embargo, la proyección de los ortoneises en los diagramas de PEARCE et al., 1984 (figs. 7, 11b) y THIEBLEMONT & CABANIS (1990) (fig. 8), sitúan a estos metagranitos en el campo definido para tipos de baja alcalinidad emplazados en dominios no orogénicos.

Los espectros deducidos para los ortoneises a partir de su normalización al modelo ORG (PEARCE et al., 1984) (fig. 9) se ajustan a los modelos obtenidos para granitos intrusivos en ámbitos postcolisionales, encontrándose respecto a las rocas metavolcánicas enriquecidos en los elementos incompatibles y presentando marcadas anomalías negativas en Nb y Zr.

La normalización de sus REE y elementos traza al modelo condrítico de THOMPSON et al. (1982) y WAKITA et al. (1971) (fig. 10) define a los ortoneises como tipos ligeramente enriquecidos en elementos incompatibles ( $Ba/La=13.7$ ) en LREE [(La) $n=137$ ] y HREE [(Eu) $n=29.8$ ] con respecto a las metavolcanitas ácidas. Su espectro de REE corresponde también a un modelo poco fraccionado ( $La/Lu$ ) $n=4.41$ , con anomalía negativa de Eu ( $Eu/Eu^*$ ) $n=0.23$ .

El carácter aluminico de estos ortoneises y las fuertes anomalías negativas de sus espectros relativos al Nb y Sr indican que se trata de fundidos corticales. Por otra parte, la escasa fraccionación de su espectro de REE y sus altos contenidos en HREE se explican probablemente considerándolos como fundidos primarios en los que se han fraccionado las fases accesorias (monacita, circón, xenotina).

### CONCLUSIONES

Las rocas volcánicas del Ordovícico Superior de los Catalánides constituyen una secuencia en la que alternan coladas masivas dacítico-riolíticas, rocas piroclásticas formadas por tobas y cenizas

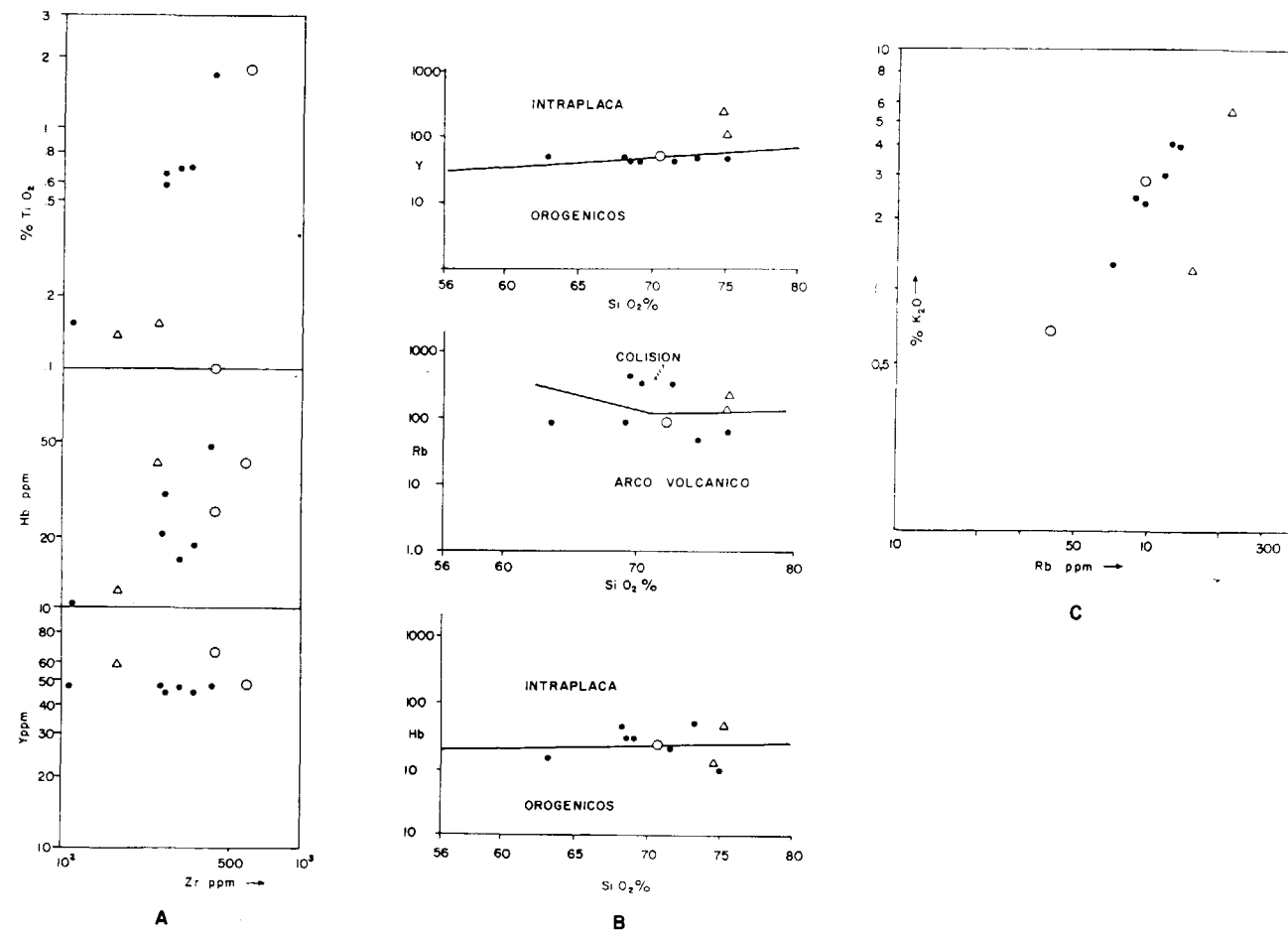


Figura 11.—Diagramas de correlación lineal: A) Zr/Y, Nb, TiO<sub>2</sub>; B) SiO<sub>2</sub>/Nb, Rb, Y (PEARCE et al., 1984); C) K<sub>2</sub>O/Rb.

con caracteres ignimbríticos y rocas volcanoclásticas de origen hidromagmático.

Corresponden a un volcanismo explosivo, fundamentalmente subaéreo, y de carácter hidromagmático, probablemente depositado en cuencas intrac continentales de tipo *back-card*.

Geoquímicamente corresponde a una secuencia calcoalcalina formada por términos ácidos dacitas y riolitas. Los tipos dacíticos se caracterizan por contenidos moderados de los elementos incompatibles y de las LREE y altos en HREE; sus espectros aparecen poco fraccionados y presentan ligera anomalía negativa de Eu.

Los ortoneises de edad imprecisa son intrusivos en diferentes niveles de una serie metasedimentaria pre-ordovícica. Corresponden a leuconesises biotíticos que presentan granate esporádico y en los que los minerales accesorios son muy escasos. Geoquímicamente corresponden a metagranitos aluminicos y sus espectros normalizados son análogos a los de las metavolcanitas, aunque enriquecidos respecto a ellas. Se caracterizan también por contenidos moderados de los elementos incompatibles y elevados en LREE y HREE. Sus espectros son también poco fraccionados y con una ligera anomalía negativa en Eu.

Metavolcanitas y ortoneises presentan composiciones análogas, y ambos tipos de manifestaciones magmáticas proceden de fundidos corticales de carácter postcolisional que se han emplazado en un contexto extensivo.

En principio lo más razonable sería interpretar ambos tipos de manifestaciones como comagmáticas; sin embargo, la ausencia de pautas de correlación entre sus elementos y de fraccionación entre los respectivos espectros descarta la hipótesis de una fuente común para ambos tipos de magmas.

La ausencia de datos geocronológicos impide establecer por el momento una relación temporal entre ambos tipos de manifestaciones magmáticas. No obstante, tanto su atribución al mismo ámbito de generación como sus analogías geoquímicas sugieren un parentesco magmático.

### AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha realizado como acción

complementaria para el Proyecto «Síntesis Geológica del Pirineo y de las cuencas de antepaís: Aquitania y Ebro», que se elabora según un Convenio Marco de colaboración establecido entre el BRGM (Francia) y el ITGE (España).

### REFERENCIAS

- ALMERA, J. (1898): *Compte-rendu de l'excursion du mardi, 4 Octobre, à Castellbisbal et à Papiol*. Bull. Soc. Géol. Fr., 3eme sér., 26, pp. 766-788.
- BARNOLAS, A., y GARCIA SANSEGUNDO, J. (in press., 1986): *Caracterizació estratigràfica i estructural del Paleozoic de les Gavarres*. Llibre Homenatge a Faura i Sans. Servei Geològic de Catalunya.
- BARNOLAS, A.; GARCIA VELEZ, A.; MUELAS, A.; SOUBRIER, J., y PALLI, L. (1983-84): *Hoja y Memoria núm. 333 (Santa Coloma de Farners), del Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, 2.ª Serie (MAGNA)*, IGME, Madrid.
- BARNOLAS, A.; GARCIA VELEZ, A., y SOUBRIER, J. (1980): *Sobre la presencia del Caradoc en Les Gavarres*. Acta Geológica Hispánica, XV, 1, pp. 9-13.
- BOIS et POUIT (1976): *Les minéralisations de Zn-Pb de l'anticlinorium de Pierrefitte: un exemple de gisements hydrothermaux et sédimentaires associés au volcanisme dans le Paléozoïque des Pyrénées Centrales*. Bull. B. R. G. M., 2eme ser., sec. 2, núm. 6, pp. 543-567.
- CAS, R. F. A. & WRIGHT, J. (1987): *Volcanic Successions. Modern and ancient*. Ed. Allen & Unwin, 528 pp.
- CAVET, P. (1957): *Le Paleozoïque de la zone axiale des Pyrénées orientales françaises entre le Roussillon et l'Andorre*. Bull. Soc. Carte Geol. France, 55/254, pp. 303-518.
- CONDIE, K. C. (1981): *Geochemical and isotopic constraints on the origin and source of Archean granites*. In: *Archean Geology*. Geological Society of Australia. Spec. Publ. 7, pp. 469-480.
- DAGALLIER, G. (1973): *Sur le cycle volcano-sédimentaire de l'Ordovicien terminal à Fe, Zn, Pb de la région de Pierrefitte-Nestalas*. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 276, pp. 273-276.
- DURAN, H. (1985): *El Paleozoico de Les Guilleries*. Tesis doctoral. Univ. Autónoma de Barcelona, 243 pp., inédita.
- DURAN, H.; GIL IBARGUCHI, J. I.; JULIVERT, M. & UBACH, J. (1984): *Early Palaeozoic and volcanism in the Catalan Coastal Ranges (Northwestern Mediterranean)*. IGCP Project 5, Newsletter, núm. 6, pp. 33-43.
- FAURA Y SANS, M. (1913): *Síntesis estratigràfica de los terrenos primarios de Cataluña*. Mem. Soc. Esp. de Hist. Nat., t. IX, pp. 5-202.
- HANSON, G. N. (1978): *The application of Trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of Granitic composition*. Earth and Planetary Sci. Letter, 38, pp. 26-43.



- HENDERSON (1984): *Rare earth element geochemistry*. Ed. Elsevier, 510 pp.
- HUMPRIS, S. (1984): *The mobility of the rare earth elements in the crust*. In: *Rare earth element geochemistry*. Henderson. Elsevier, 510 pp.
- JOLLY, W. (1987): *Geology and geochemistry of Huronian rhyolites and low-Ti continental tholeiites from the Thesalon region, Central Ontario*. Can. J. Earth Sci., 24, páginas 1360-1385.
- JULIVERT, M., y MARTINEZ, F. (1980): *The Paleozoic of the Catalanian Coastal Ranges (NW Mediterranean)*. In: IGCP Project núm. 5, Newsletter, 2, pp. 124-128.
- LAUMONIER, B. (1988): *Les groupes de Canaveilles et de Jujols («Paleozoïque inférieur») des Pyrénées orientales. Arguments en faveur de l'âge essentiellement Cambrien de les séries*. Hercynica, 1988, IV, 1, pp. 25-38.
- LAUMONIER, B., et GUITARD, G. (1986): *Le Paleozoïque inférieur de la moitié orientale de la zone axiale des Pyrénées. Essai de Synthèse*. C. R. Acad. Sci. Paris, 302 (II), pp. 473-478.
- MARTI, J.; MUÑOZ, J. A., et VAQUER, R. (1986): *Les roches volcaniques de l'Ordovicien supérieur de la région de Ribes de Freser-Rocabruna (Pyrénées Catalanes). Caracteres et signification*. C. R. Acad. Sci. Paris, 266, pp. 657-659.
- MENGEL (1907): *Contribution a l'étude de l'Ordovicien supérieur des Pyrénées-Orientales*. Bull. Soc. agr., sc. et litt., P.-O., t. XLVIII, pp. 351-366.
- PEARCE, J. A. & GALE, G. H. (1977): *Identification of ore deposition environment from trace-element geochemistry of associated igneous host rocks*. In: *Volcanic in ore-genesis*. Geol. Soc. London Publ., 7, pp. 14-24.
- PEARCE, J. A.; HARRIS, N. B. W. & TINDLE, A. G. (1984): *Trace element discrimination for the tectonic interpretation of granitic rocks*. Journal of Petrol., 25, 4, pp. 956-983.
- ROBERT, J. F., et THIEBAUT, J. (1976): *Decouverte d'un volcanisme acide dans le Caradoc de la region de Ribas de Freser (prov. de Gerona)*. C. R. Acad. Sc. Paris, t. 282, pp. 2049-2050.
- THIEBLEMONT & CABANIS (in press): *Utilization d'un diagramme (Rb/100)-Tb-Ta pour la discrimination geochemique et l'etude petrogenetique des roches magmatiques acides*. Bull. Soc. Geol. France.
- THOMPSON, R. N.; DICKIN, A.; GIBSON, S. L. & MORRISON (1982): *Elemental Fingerprints of Isotopic contamination of Hebridean Palaeocene Mantle-derived magmas by Archaean Sial*. Contrib. Miner. Petrol., 79, pp. 159-168.
- VAN DER SIJP, J. (1951): *Petrography and Geology of Montseny Guillerries*. Uitgeverij «Excelsior» S-Gravenhage, 98 pp.
- VILLAS, E.; DURAN, H. & JULIVERT, M. (1987): *The Upper Ordovician Clastic Sequence of the Catalanian Coastal Ranges and its Brachiopod Fauna*. N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 174 (1), pp. 55-74.
- WAKITA, H.; REY, P. & SCHMIDT (1971): *Cosmochemistry of the rare Earth: Meteoric studies*. In: *Rare Earth element Geochemistry*. Henderson Elsevier, 509 pp.
- WINCHESTER & FLOYD (1977): *Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements*. Chem. Geol., 20, pp. 325-343.

Original recibido: Junio de 1990.

Original aceptado: Diciembre de 1990.