

# Tipología de los granitoides y rocas asociadas del complejo migmatítico de la Punta dels Farallons (Cap de Creus, Pirineo Oriental)

*Granitoid types and associated rocks of the Punta dels Farallons migmatitic complex (Cap de Creus, eastern-Pyrenees)*

E. Druguet (\*), P. Enrique (\*\*), y G. Galán (\*)

(\*) Departament de Geologia. Universitat Autònoma de Barcelona. 08193 Bellaterra (Barcelona).

(\*\*) Departament de Geoquímica, Petrologia i P. Geològica. Universitat de Barcelona. Martí Franquès s/n. 08028 Barcelona.

## ABSTRACT

The Punta dels Farallons migmatitic complex (Cap de Creus, eastern-Pyrenees) consists of an association of partially migmatized sillimanite schists, small heterogeneous bodies of granitoids and quartz-gabbros, and a voluminous pegmatite dike swarm. The igneous rocks have been divided into two associations: (i) a calcic association which includes quartz-gabbros, quartz-diorites, tonalites, granodiorites and granites, (ii) a peraluminous association, anatectic in origin, comprises leucogranites and pegmatites. It is considered that some of the migmatites were formed by in situ partial melting of the most pelitic metasediments, while others seem to be related to the injection of granitoid veins. Local anatexis and the ascent of intermediate-basic magmas are both considered to be involved in the development of the migmatitic complex.

**Key words:** hercynian, granitoids, migmatites.

Geogaceta, 18 (1995), 199-202

ISSN: 0213683X

## Situación geológica

La península del Cap de Creus representa el afloramiento de zócalo paleozoico más oriental del Pirineo, y está constituida por materiales prehercínicos y hercínicos (Fig. 1A). Los materiales prehercínicos constituyen una serie sedimentaria atribuida al Paleozoico inferior, con intercalaciones de origen ígneo, deformada y metamorfizada durante la orogenia hercínica (Carreras, 1975). En la zona septentrional, una alternancia de metagrauvas y metapelitas muestra un metamorfismo regional de alta temperatura y baja presión con grado creciente de Sur a Norte. En los dominios de metamorfismo de grado medio-alto aparecen migmatitas, pequeños cuerpos de granitoides y un extenso enjambre de diques de pegmatitas. Si bien las pegmatitas muestran una clara correlación con el metamorfismo regional (Carreras *et al.*, 1975), las migmatitas solo han sido observadas en relación con las intrusiones plutónicas.

El área migmatítica (Fig. 1B) se divide en dos sectores: el complejo migmatítico del Cap Gros (Ramírez, 1983) y el complejo migmatítico de Punta dels Farallons - Cala Serena (Druguet,

1992; Carreras y Druguet, 1994a). Este trabajo se centra en la clasificación petrológica y geoquímica de este último formado por dos pequeños afloramientos en la zona de esquistos sillimaníticos.

## Tipología de migmatitas

La asociación de esquistos, intrusiones de granitoides y pegmatitas en la zona de la sillimanita, da lugar a una mezcla heterogénea entre granitoides y rocas metamórficas a diferentes escalas. Desde el punto de vista geométrico y genético cabría distinguir varios tipos de migmatitas.

**Migmatitas anatócticas:** presentan dos tipos morfológicos: de tipo estromático y de tipo nebulítico. Las primeras se hallan en los niveles más pelíticos, observándose una transición gradual de S a N, desde esquistos con venas de cuarzo (con Pl  $\pm$  Sill asociados) hasta migmatitas con estructuras estromáticas o bandeadas a flebíticas (Mehnert, 1968). Los leucosomas tienen textura granular y son de composición leucogranítica a trondhjemítica. Los melanosomas están constituidos principalmente por biotita, fibrolita y

porfiroblastos de cordierita. Ambas partes del neosoma contienen localmente importantes concentraciones de granate almandino (valores del componente Alm entre 69,4 i 71,5%). Las migmatitas de tipo nebulítico se observan en los niveles grauváquicos (constituídos por plagioclasa, biotita y cuarzo), los cuales pierden gradualmente la estructura metamórfica dando lugar a tonalitas biotíticas.

**Migmatitas de inyección:** constituyen una mezcla de granitoide y metasedimento a escala de afloramiento y se localizan en zonas próximas a cuerpos de granitoides. Presentan estructuras agmáticas, schlierens y de raft (enclaves metasedimentarios parcialmente asimilados). Localmente se forma granate en el contacto metasedimento-granitoide y siempre comporta un importante empobrecimiento en biotita a su alrededor. Se interpretan como inyecciones de pequeñas dimensiones de rocas graníticas en rocas metamórficas de medio-alto grado.

## Rocas plutónicas

En este conjunto se agrupan los cuerpos más masivos, a veces heterogé-

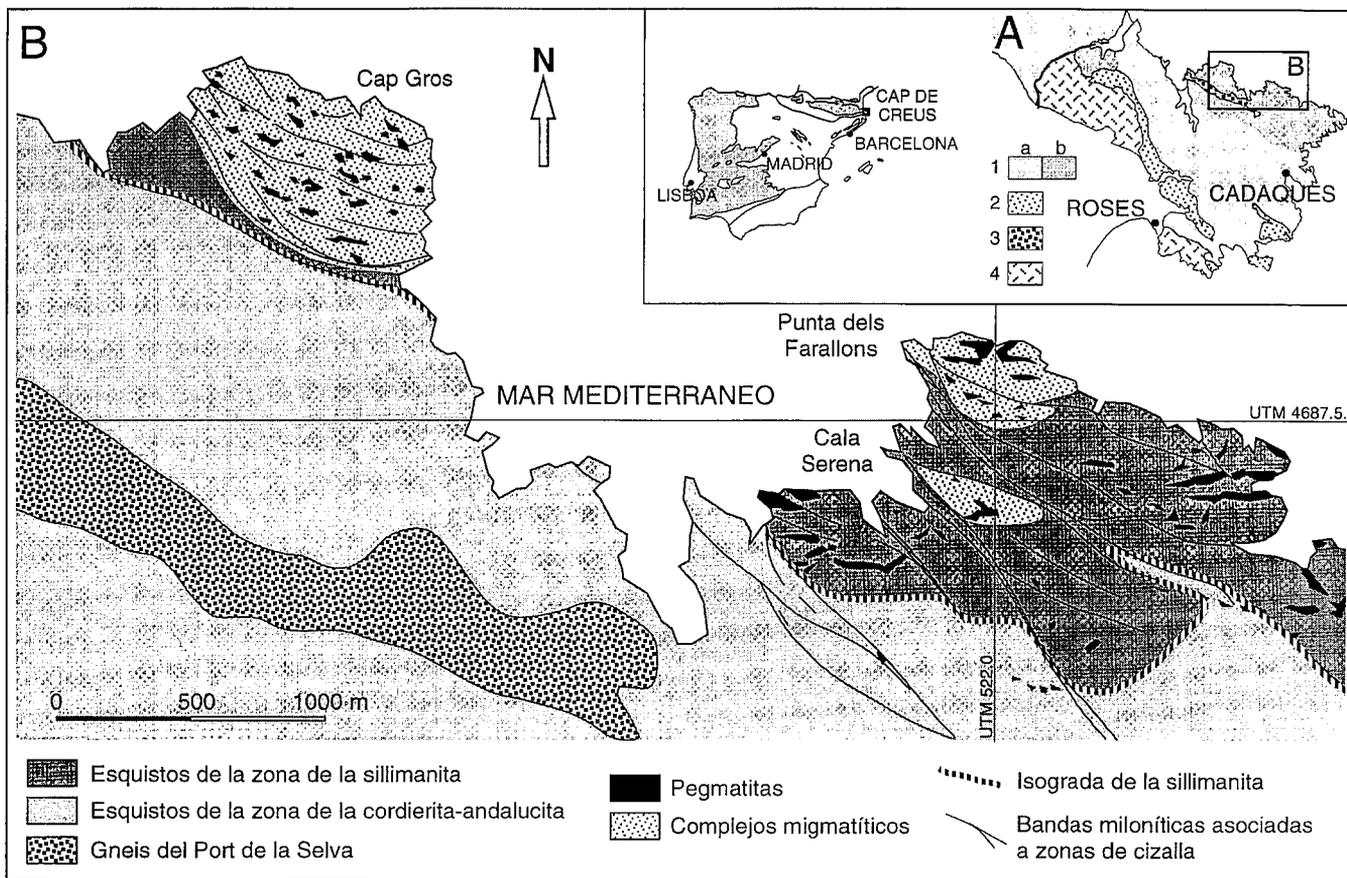


Fig. 1.- Situación geológica de la zona. A. Mapa litológico del Cap de Creus y su situación en la Península Ibérica. 1a: metasedimentos de bajo grado, 1b: metasedimentos de grado medio-alto, 2: serie detrítico-carbonatada, 3: gneis del Port de la Selva, 4: granodioritas de Rodes y Roses. B. Localización de los complejos migmatíticos en el litoral norte del Cap de Creus.

Fig. 1.- Geological setting of the area. A. Cap de Creus lithological map and its location in the Iberian Peninsula. 1a: low grade metasediments, 1b: medium-high grade metasediments, 2: terrigenous-carbonatic series, 3: Port de la Selva gneisses, 4: Rodes and Roses granodiorites. B. Location of the migmatitic complexes in the northern coast of the Cap de Creus peninsula.

neos, de rocas ígneas. La nomenclatura utilizada se ha basado en la medida de lo posible en la clasificación propuesta por la I.U.G.S. (Le Maître, 1989), Fig. 2. No obstante, para algunos tipos particulares se ha recurrido a nomenclaturas más específicas obtenidas a partir de su composición química.

*Cuarzo gabros hornbléndicos*

Los cuarzo gabros hornbléndicos (o Bojitas según la clasificación de Hughes (1982) y Le Maître (1989)) son las rocas más básicas del complejo, de las cuales se distinguen dos grupos. El primero aflora como enclaves englobados en los granitoides o bien como un dique discontinuo que se prolonga hacia el este del complejo migmatítico. El segundo grupo (cuarzo gabros con un menor contenido en Mg) aflora en forma de pequeños cuerpos intrusivos, mostrando contactos difusos e irregulares con otras rocas plutónicas, generalmente cuarzo dioritas. En conjunto son rocas oscuras, homogéneas y de grano medio a fino. Su mineralogía esencial consta de plagioclasa cálcica

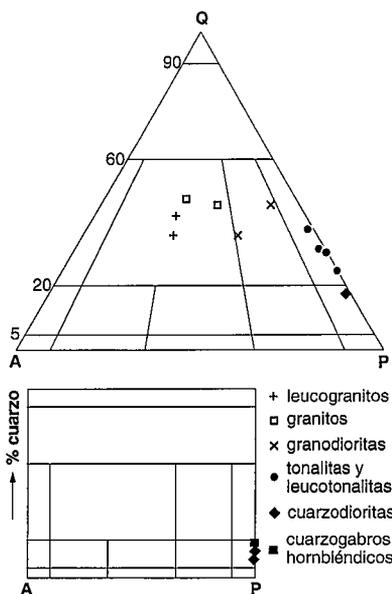


Fig. 2.- Representación de las composiciones modales de algunos granitoides del complejo migmatítico en los diagramas QAP y % cuarzo-AP (Le Maître, 1989).

Fig. 2.- Modal compositions diagram of some granitoids of the migmatitic complex in QAP and % quartz-AP diagrams (Le Maître, 1989).

(39% modal, de composición bytownita en el primer grupo y labradorita en el segundo), anfíbol (23%, magnesio-hornblenda a hornblenda actinolítica, según la clasificación de Leake (1978)), biotita (18% modal, con relaciones FM entre 39 y 41) y cuarzo (18%). Como accesorios se encuentran esfena, apatito, circón y minerales opacos.

*Cuarzo dioritas, tonalitas, granodioritas y granitos*

Las diferentes intrusiones muestran una secuencia de emplazamiento desde las más básicas a las más ácidas. Son muy frecuentes xenolitos de las rocas encajantes y enclaves microgranulares.

Entre las cuarzo dioritas y tonalitas existen distintos tipos: con biotita y anfíbol, con biotita y con biotita y granate almandino. Las plagioclasas están generalmente zonadas con un núcleo más cálcico ( $An_{50-40}$ ). La composición del anfíbol varía entre magnesio-hornblenda y ferro-tschermakita. Las biotitas presentan relaciones FM con valores entre 52 y 60. Cabe destacar la presencia relativamente abundante de clinoclasa.

| Muestra                 | Nº     | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | P.F. | Total  |
|-------------------------|--------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|--------|
| Esquistos encajantes    | D1-8   | 68,26            | 0,76             | 13,53                          | 6,54                           | 0,08 | 2,45 | 2,31 | 2,67              | 2,68             | 0,18                          | 0,56 | 100,02 |
|                         | CCR-15 | 69,06            | 0,73             | 13,46                          | 5,69                           | n.d. | 2,62 | 2,08 | 2,80              | 2,61             | 0,60                          | 0,68 | 100,33 |
|                         | D1-1   | 69,21            | 0,62             | 13,22                          | 5,22                           | 0,07 | 2,45 | 2,04 | 3,22              | 3,33             | 0,18                          | 0,55 | 100,10 |
| Melanosoma Esq. migmat. | D1-14  | 46,14            | 1,13             | 22,73                          | 11,81                          | 0,18 | 5,35 | 2,56 | 3,66              | 4,37             | 0,08                          | 1,33 | 99,35  |
|                         | CCR-9  | 67,71            | 0,78             | 14,03                          | 6,11                           | n.d. | 3,09 | 1,40 | 2,73              | 3,19             | n.d.                          | 0,88 | 99,92  |
| Cuarzo-gabros Hb (1)    | D0-27  | 53,07            | 0,70             | 15,52                          | 10,47                          | 0,22 | 7,19 | 8,67 | 0,81              | 1,55             | 0,09                          | 0,80 | 99,10  |
|                         | E1-32  | 54,79            | 0,79             | 17,13                          | 8,63                           | 0,21 | 6,17 | 8,59 | 0,59              | 1,93             | 0,13                          | 0,87 | 99,82  |
| Cuarzoga-bros Hb (2)    | D1-6   | 52,06            | 2,21             | 18,20                          | 10,78                          | 0,17 | 3,28 | 7,23 | 2,74              | 1,67             | 0,38                          | 0,42 | 99,13  |
|                         | D1-26  | 54,52            | 1,18             | 17,87                          | 9,20                           | 0,15 | 3,91 | 6,38 | 1,41              | 3,04             | 0,32                          | 0,79 | 98,79  |
| Enclaves cuarzo-diorít. | D0-25  | 49,61            | 2,15             | 18,91                          | 11,86                          | 0,15 | 3,20 | 7,59 | 3,60              | 2,29             | 0,46                          | 0,36 | 100,18 |
|                         | D1-10  | 59,51            | 0,85             | 18,79                          | 6,75                           | 0,08 | 2,03 | 4,27 | 2,78              | 2,47             | 0,33                          | 0,65 | 98,52  |
| Cuarzo-dioritas         | D1-20  | 53,35            | 1,68             | 18,49                          | 9,60                           | 0,16 | 2,68 | 6,56 | 3,82              | 2,29             | 0,33                          | 0,57 | 99,54  |
|                         | D1-16  | 53,50            | 0,81             | 20,37                          | 10,94                          | 0,25 | 1,39 | 4,63 | 4,10              | 2,33             | 0,39                          | 0,42 | 99,13  |
| Tonalitas               | D1-33  | 53,67            | 1,83             | 18,88                          | 9,08                           | 0,15 | 2,88 | 5,62 | 2,77              | 2,80             | 0,72                          | 0,86 | 99,26  |
|                         | D1-18  | 56,01            | 1,60             | 18,26                          | 7,90                           | 0,12 | 2,55 | 5,39 | 3,28              | 2,37             | 0,63                          | 0,82 | 98,92  |
|                         | D1-13  | 57,48            | 0,89             | 18,55                          | 9,87                           | 0,12 | 1,51 | 4,62 | 3,40              | 2,26             | 0,40                          | 0,66 | 99,76  |
|                         | CCR-14 | 59,94            | 1,05             | 18,73                          | 6,39                           | n.d. | 2,04 | 4,74 | 3,342             | 2,50             | n.d.                          | 0,66 | 99,38  |
|                         | D1-4   | 61,16            | 0,91             | 17,58                          | 6,70                           | 0,11 | 2,38 | 4,39 | 2,92              | 2,49             | 0,20                          | 0,76 | 99,61  |
| Grano-dioritas          | CCR-12 | 65,87            | 0,61             | 17,20                          | 3,77                           | n.d. | 1,50 | 3,54 | 4,44              | 1,70             | n.d.                          | 0,74 | 99,37  |
|                         | D1-17  | 66,40            | 0,38             | 15,70                          | 5,75                           | 0,06 | 0,54 | 2,47 | 3,39              | 4,03             | 0,12                          | 0,51 | 99,34  |
|                         | CCR-8  | 66,79            | 0,75             | 15,75                          | 4,97                           | n.d. | 1,66 | 3,06 | 3,12              | 2,81             | n.d.                          | 0,60 | 99,53  |
| Trondhjemitas           | D1-7   | 71,50            | 0,24             | 15,85                          | 2,33                           | 0,04 | 0,60 | 2,88 | 4,46              | 1,07             | 0,04                          | 0,63 | 99,65  |
|                         | CCR-7  | 71,52            | 0,39             | 15,21                          | 2,50                           | n.d. | 0,86 | 1,67 | 5,49              | 1,36             | n.d.                          | 0,47 | 99,47  |
| Leucogranitos           | CCR-13 | 74,01            | 0,13             | 14,03                          | 0,41                           | n.d. | 0,35 | 0,65 | 3,68              | 5,25             | n.d.                          | 0,44 | 98,95  |
|                         | D1-5   | 74,11            | 0,09             | 14,33                          | 0,08                           | 0,00 | 0,19 | 0,40 | 2,86              | 6,27             | 0,13                          | 0,61 | 99,07  |
|                         | CCR-10 | 74,45            | 0,15             | 13,67                          | 1,21                           | n.d. | 0,38 | 1,22 | 3,401             | 4,39             | n.d.                          | 0,54 | 99,40  |
|                         | CCR-11 | 75,05            | 0,14             | 13,75                          | 1,06                           | n.d. | 0,18 | 0,88 | 3,273             | 5,09             | n.d.                          | 0,34 | 99,76  |
| Pegmatitas alias en K   | CCR-16 | 73,10            | 0,10             | 14,19                          | 0,21                           | n.d. | 0,18 | 0,46 | 4,38              | 5,08             | n.d.                          | 0,55 | 98,27  |
|                         | CCR-2  | 74,24            | 0,08             | 14,13                          | 0,67                           | 0,02 | 0,09 | 0,19 | 3,29              | 5,50             | n.d.                          | 0,60 | 98,81  |
|                         | CCR-1  | 76,37            | 0,08             | 13,20                          | 0,26                           | 0,05 | 0,40 | 0,25 | 4,05              | 4,19             | n.d.                          | 0,58 | 99,43  |
| Pegmatitas medias en K  | CCR-4  | 73,46            | 0,08             | 14,78                          | 0,70                           | 0,14 | 0,05 | 0,13 | 4,82              | 3,72             | n.d.                          | 0,46 | 98,34  |
|                         | CCR-3  | 74,45            | 0,08             | 14,62                          | 0,40                           | 0,06 | 0,04 | 0,23 | 4,73              | 3,73             | n.d.                          | 0,36 | 98,70  |
|                         | CCR-5  | 74,93            | 0,08             | 13,68                          | 0,32                           | 0,06 | 0,05 | 0,53 | 5,00              | 3,15             | n.d.                          | 0,41 | 98,21  |
| Pegmatitas bajas en K   | CCR-18 | 73,12            | 0,10             | 16,30                          | 0,15                           | n.d. | 0,17 | 0,34 | 6,45              | 1,46             | n.d.                          | 0,87 | 98,96  |
|                         | CCR-17 | 73,18            | 0,10             | 15,62                          | 0,23                           | n.d. | 0,17 | 0,46 | 6,94              | 1,42             | n.d.                          | 0,84 | 98,96  |

Tabla 1.- Composición en óxidos de elementos mayores de las rocas analizadas. n.d. = no determinado.

Table 1.- Major element oxide compositions of the analysed rocks. n.d. = non determined.

zoisita. Como accesorios se encuentran ilmenita y esfena.

Hacia los términos granodioríticos y graníticos se observa un empobrecimiento progresivo en minerales máficos si bien el granate almandino es localmente abundante en forma de pequeñas masas o como schlierens. Las facies granatíferas aparecen siempre en las zonas más cercanas a los contactos con las rocas encajantes. El granate forma cristales subhedrales de 2 a 6 mm de diámetro, con una débil zonación definida por el componente Sps (3,5 y 8,9%) y numerosas inclusiones de biotita y plagioclasa.

#### Rocas leucocráticas de grano medio

Forman una transición gradual con las rocas del grupo anterior pero presentan más a menudo geometría de diques o filones. Los principales representantes son los leucogranitos biotítico-moscovíticos de grano medio. Pueden incluir cantidades variables de granate almandino dando lugar a leucogranitos granatíferos. Su mineralogía esencial consta de cuarzo, plagioclasa (oligoclasa-albita), feldespato potásico,

biotita (con relaciones FM entre 61 y 65), moscovita y granate (valores del componente Alm entre 75,7 y 79,7%) en las facies granatíferas. Los minerales accesorios presentes son sillimanita, circón, turmalina y minerales opacos. Un tipo minoritario lo constituyen pequeños filones de rocas leucotonalíticas biotíticas, cuyos análisis geoquímicos indican carácter trondhjemítico.

#### Pegmatitas

Forman un conjunto de diques que definen el área pegmatítica del litoral Norte. Por su estrecha relación con el metamorfismo han sido consideradas como pegmatitas perianatéticas (Carreras *et al.*, 1975). Posteriormente Corbella (1990) ha puesto de manifiesto la presencia de una zonación del campo pegmatítico en cuatro tipos mineralógicos distribuidos paralelamente a las isogradas. Se disponen cortando a las migmatitas y a los granitoides descritos y, aunque son posteriores, el lapso de tiempo comprendido entre las distintas intrusiones no puede ser muy amplio puesto que todos los

grupos intruyeron durante el mismo episodio deformativo (Carreras y Druguet, 1994b). Las pegmatitas de la zona de mayor grado metamórfico son de composición leucogranítica, situándose próximas a la composición del mínimo ternario Q-Ab-Or, mientras que las situadas en zonas de menor grado se alejan considerablemente de esta composición, probablemente debido a una mayor participación hidrotermal. Presentan además moscovita y biotita. De forma esporádica se encuentran granate, cordierita y aluminosilicatos (andalucita y/o sillimanita). La turmalina es abundante en la periferia de los diques formando bordes de turmalinización.

#### Quimismo

Se han realizado análisis geoquímicos de elementos mayoritarios sobre un total de 35 muestras del complejo migmatítico y de su entorno. Los métodos analíticos utilizados han sido: Fluorescencia de rayos X (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, K, P), espectrofotometría de llama (Na) y pérdida por calcinación a 1100°C, realizados en el Servicio de Espectroscopía de la Universidad de Barcelona. Los resultados se exponen en la Tabla 1.

En el diagrama de parámetros multicatiónicos A-B (Debon y Le Fort, 1983) de la Fig. 3 se definen dos asociaciones:

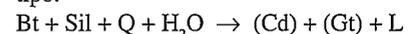
*Asociación 1:* Asociación caféina que ocupa los campos II, III y parte del IV, constituida por los cuarzo gabros hornbléndicos, cuarzo dioritas, tonalitas y granodioritas.

*Asociación 2:* Asociación aluminica que ocupa el campo I, definida por leucogranitos y pegmatitas.

Los filones de composición trondhjemítica son también peraluminicos y ocupan una posición intermedia entre ambas asociaciones, siendo por el momento difícil de establecer una relación genética.

#### Discusión

El metamorfismo progradante en este sector podría evolucionar hacia la fusión parcial de los metasedimentos generando las migmatitas estromáticas. Localmente, los esquistos más ricos en biotita y sillimanita fundirían para dejar un residuo muy rico en granate, dándose una reacción del tipo:



Las condiciones físicas de inicio de esta reacción serían de una temperatura alrededor de los 670°C y de una presión mínima de 3.3 Kbar o de 2.5 Kbar para equilibrios metaestables, según Grant (1985).

La anatexia en niveles inferiores, no

$$A=Al-(K+Na+2Ca)$$

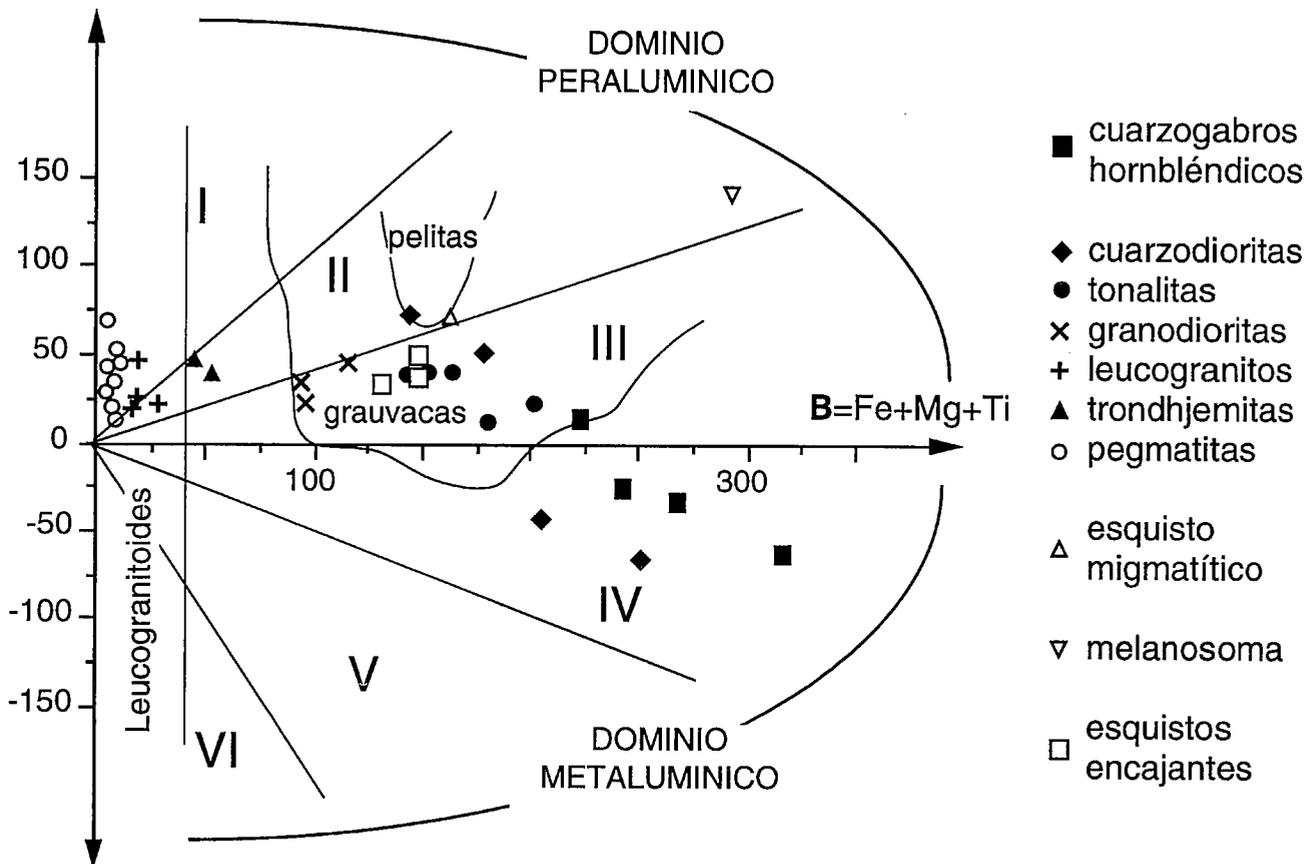


Fig. 3.- Diagrama AB de las rocas del complejo migmatítico (a partir de Debon & Le Fort (1983)). I: rocas peraluminicas con ms>bt (en volumen). II: rocas peraluminicas con bt>ms. III: rocas peraluminicas con bt sola. IV: rocas metaluminicas con bt + anf ± px.

Fig. 3.- AB plot of the migmatitic complex rocks (from Debon & Le Fort (1983)). I: peraluminous rocks with ms>bt (in volume). II: peraluminous rocks with bt>ms. III: peraluminous rocks with bt only. IV: metaluminous rocks with bt+ amph ± px.

observables actualmente, podría ser la causa de la formación de las rocas de la asociación 2 (leucogranitos y pegmatitas), las cuales representarían magmas derivados de la fusión de rocas pelíticas peraluminicas de la misma serie metasedimentaria, coherente con los datos de isótopos estables obtenidos en las pegmatitas por Damm *et al.* (1992).

Algunos granitoides de la asociación 1 podrían representar el producto de la movilización de los metasedimentos más grauváquicos, dada su correspondencia composicional (granodioritas y tonalitas biotíticas, Fig. 3). Algunos enclaves cuarzo-dioríticos biotíticos o biotítico-granátíferos podrían representar composiciones ricas en minerales restíticos resultantes de la extracción de un líquido granítico. Sin embargo, la génesis de la mayoría de los granitoides presentes en forma de pequeños cuerpos podría estar relacionada con las aportaciones de magmas intermedios a básicos contaminados en diferente grado por material cortical. De este modo, los cuarzo gabros hornbléndicos menos diferenciados represen-

tarían el extremo de menor contaminación. Por otra parte, la presencia de estos gabroides y dioritoides sugiere la posibilidad de que éstos provocaran una anatexia inducida en los metasedimentos encajantes, la cual sería responsable de la formación del complejo migmatítico.

**Agradecimientos**

El trabajo de campo y los análisis fueron financiados por el proyecto de investigación DGICYT GEO89-0830. El artículo ha sido elaborado en el marco del proyecto PB 91-0477.

**Referencias**

Carreras, J. (1975): *Acta Geol. Hispánica* 10(3), 109-115.  
 Carreras, J., Orta, J. M. y San Miguel, A. (1975): *Rev. Inst. Inv. Geol.* 30, 11-34  
 Carreras, J. y Druguet, E. (1994a): *Rev. Soc. Geol. de España*, 7(1-2), 21-29.  
 Carreras, J. y Druguet, E. (1994b): *Journ. Struct. Geol.* 16, 1525-1534.

Corbella, M. (1990): *Tesis de Licenciatura*. Universitat de Barcelona, 317 pp.  
 Damm, K. W., Harmon, R. S., Heppner, P. M. y Dornsiepen, U. (1992): *Geological Journal* 27, 75-86.  
 Debon, F., y Le Fort, P. (1983): *Trans. R. Soc. Edinburg (Earth Sci.)* 73, 135-149.  
 Druguet, E. (1992): *Tesis de Licenciatura*. Universitat de Barcelona, 235 pp.  
 Grant, J.A. (1985): In: *Migmatites* (Ashworth, J. R. edit.). Blackie, Glasgow.  
 Hugues, C.J. (1982): *Igneous Petrology*. Elsevier. Amsterdam, 551 pp.  
 Leake, B.E. (1978): *Canad. Mineral.* 16, 501-520.  
 Le Maitre, R.W. (Ed.) (1989): *A classification of Igneous rocks and glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on The Systematics of Igneous Rocks*. Blackwell Scientific Publ. Oxford, 193 pp.  
 Mehnert, K.R (1968). *Migmatites and the origin of granitic rocks*. Elsevier, Amsterdam.  
 Ramirez, J. (1983): *Tesis de Licenciatura*. Universitat de Barcelona, 210 pp.