

INFORME SOBRE LA GEOQUIMICA, Y PETROGENESIS DE LAS MIGMATITAS Y GRANITOIDES DE LA HOJA DE PIEDRAHITA

Autor: **Fernando Bea.** Departamento de Mineralogía y
Petrología. Campus Fuentenueva. Universidad de
Granada

INTRODUCCIÓN

Este informe está efectuado a partir de los siguientes datos:

- (1) 25 análisis de elementos mayores menores y traza.
- (2) 321 análisis de minerales en 12 láminas delgadas distintas.

El número de muestras estudiadas es insuficiente para hacer un estudio estadísticamente significativo de las litologías que afloran en la hoja. Por tanto, en la mayoría de los diagramas efectuados en este informe, se han utilizado también (1) los datos analíticos publicados por Bea, et al., 1990; Bea y Pereira, 1990, y Pereira, 1992, y (2) datos isotópicos y geocronológicos inéditos de Bea (en prep.).

He de hacer notar que en el cuadrante NE de la hoja existen importantes discrepancias entre la versión que obra en mi poder de la cartografía efectuada por ADARO y los trabajos previos, algunos de gran detalle, efectuados por M.D. Pereira y por mí mismo. Se resalta este punto, puesto que afecta a la agrupación en facies de las muestras estudiadas y a la interpretación petrogenética basada en ellas.

En mi opinión, la unidad cartografiada como granitos prehercínicos, cuya referencia numérica en la leyenda es 5, no tiene entidad real. Dentro de esta zona aparecen abundantes niveles de cuarcitas y mármoles intercalados entre las migmatitas, lo que indica la proveniencia de un protolito esencialmente paraderivado. Es cierto que dentro de esta serie aparecen niveles de ortoneises, pero exceptuando a los de la Almohalla, no tienen entidad cartográfica debido a su escasa potencia y continuidad lateral. Dichos ortoneises deben ser incluidos, por tanto, dentro de la serie migmatítica de la Peña Negra.

Por otra parte, la formación Almohalla es más importante de lo que está reflejado en el mapa: ademas de la banda de ortoneises representada en la cartografía, hay otra banda paralela, situada más al sur, que llega aproximadamente desde el pueblo de Valdelaguna hasta la Peña de la Cruz, y aflora también en la carretera Piedrahita-Barco. Dicha banda está mucho más migmatizada que la que aflora en la localidad de la Almohalla, por lo que es difícil de reconocer en el campo, y creo que es lo que se ha incluido como "granitos prehercínicos (5)" en el mapa. Sin

embargo, los estudios petrográficos y geoquímicos efectuados por Bea, et al., 1990, Bea y Pereira, 1990 y Pereira, 1992 han mostrado que estos ortoneises migmatizados tiene unas características únicas dentro del Complejo de la Peña Negra, tal como altas relaciones Fe/(Fe+Mg) en roca total y en las biotitas, ausencia de cordierita y ocasional presencia de granate, altos valores de K/Rb y bajos contenidos de Li, etc...que son absolutamente exclusivas de la formación Almohalla.

Por tanto, se recomienda a ADARO que modifique conceptualmente su cartografía en lo siguiente:

- (1) Definir la formación Almohalla, compuesta por ortoneises prehercínicos (edad Rb-Sr ; Pereira, et al., 1992) con diferentes grados de migmatización y un leucogranito granatífero desarrollado anatécticamente durante el hercínico (edad Rb-Sr 297 Ma; Bea inédito) a expensas de dichos ortoneises. Incluir la banda de ortoneises migmatizados Valdelaguna - Peña de la Cruz en la Formación Almohalla.
- (2) Suprimir la formación de ortoneises prehercínicos (numerada como 5) y considerarlo parte de la serie migmatítica la la Peña Negra, de origen esencialmente paraderivado, pero con algunos niveles de ortoneises intercalados. Estos ortoneises son claramente distintos en composición (y probablemente en edad) de los de la Almohalla. Los ortoneises "Peña Negra" son siempre niveles de poca potencia, que aparecen en toda la Serie Migmatítica, aunque en determinadas localidades pueden ser más abundantes que en otras.

Obviamente, no pretendo entrar en polémica por esta cuestión. Considero que ADARO es libre de publicar la cartografía que considere conveniente, así como de suprimir y modificar de este informe todo aquello que estime oportuno. Sin embargo, por coherencia personal, yo no puedo efectuar una descripción geoquímica basada en una geología de campo que discrepa substancialmente de mis propias observaciones y trabajos geoquímicos e isotópicos. Insisto en el derecho de ADARO de modificar este informe de acuerdo con la cartografía por ellos elaborada, pero ruego respete mis derechos a (1) no figurar como autor del mismo si no estoy de acuerdo con las modificaciones efectuadas, y (2) a hacer públicas mis ideas al respecto de la manera que considere más adecuada.

AGRUPACIÓN DE LAS MUESTRAS

A efectos del presente informe, se han considerado las unidades cartográficas reflejadas en el mapa de ADARO y de las que se dispone de resultados geoquímicos. Dichas unidades son las siguientes:

- Migmatitas de la Peña Negra, representada por 7 y 5 en la cartografía. A pesar de las salvedades efectuadas anteriormente, a las muestras de 5 se les asigna un símbolo diferente en los diagramas utilizados en este informe. Insisto en que en el informe final no se deberían de diferenciar.
- Ortoneises de la Almohalla
- Granodioritas (10a y 10b)
- Adamellitas (21)
- Granito biotítico (20)
- Granito de dos micas (10b)
- Granito de dos micas (12a)
- Granito de nódulos (8)

Dentro de el conjunto de muestras analizado al que se refiere este informe **no** se encuentran representadas algunas litologías muy características de la Hoja, tal como son los leucogranitos cordieríticos de la Peña Negra, los leucogranitos granatíferos (con almandino rico en espesartina) del la Peña Negra, el leucogranito granatífero de la Almohalla (con almandino exento de espesartina y Zn-espinela), los ortoneises de la Peña Negra, las migmatitas pelíticas y anfibólicas, y las granoblastitas sillimaníticas.

La adscripción de las muestras estudiadas a cada unidad se ha hecho de acuerdo con la cartografía de ADARO en todos los casos.

MÉTODOS ANALÍTICOS

Para las muestras analizadas en la Universidad de Granada se ha seguido la siguiente metodología:

- Análisis de Elementos Mayores: Mediante fluorescencia de rayos X, sobre perlas de fusión con tetraborato de litio. La precisión estimada para concentraciones de analito del 10%, 1% y 0.1% fué respectivamente de ± 0.5 rel. %, ± 1.0 rel. %, y ± 5 rel. %.

- Análisis de Elementos Traza: Mediante espectrometría de masas con fuente de ionización por antorcha de plasma (ICP-MS) sobre disoluciones nítricas (4 vol% NO_3H , factor de dilución 1:1000) de las muestras previamente atacadas con $\text{NO}_3\text{H} + \text{FH}$ en un reactor a presión activado mediante microondas. La precisión estimada para concentraciones de analito del 100 ppm, 10 ppm y 1 ppm fué respectivamente de ± 2.5 rel. %, ± 2.0 rel. %, y ± 10 rel. %.
- Análisis de Minerales: Mediante microsonda electrónica utilizando patrones sintéticos, con un voltage de aceleración de 15 kV y corriente de filamento de 15 nA. La precisión estimada fué mejor que ± 2 rel. % para los elementos mayores y ± 5 rel. % para elementos menores respectivamente.

TIPOLOGÍA GRANÍTICA

Las muestras de migmatitas estudiadas tienen una composición similar a la de una granodiorita o adamellita muy peraluminosa, con valores de SiO_2 en torno al 66 - 67 %. El valor medio de CaO es moderado ($\text{CaO} \approx 1.4$), y los alcalinos tienen valores medios en torno a $\text{Na}_2\text{O} \approx 2.5\%$ y $\text{K}_2\text{O} \approx 3.6\%$, con relaciones de feldespatos normativos similares a las de granodioritas y adamellitas. Los valores de la relación $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ son muy constantes, en torno a 0.59. Los valores del índice de saturación en aluminio son altos, en torno a $\text{ISA} \approx 1.3$, lo que refleja su origen mayoritariamente paraderivado, a partir de metapelitas, probablemente con un importante componente feldespático. La proyección en los diagramas tipológicos de Bea et al. (in litt.) (Fig. 1) muestra un químismo global comparable al de granitoides SC, y dibuja un campo que coincide perfectamente con el de los granitoides hercínicos del área. Como se discutirá más adelante, esto es compatible con la idea de que la Serie de la Peña Negra sea el protolito a expensas del cual se formaron los granitos hercínicos (Bea y Pereira, 1990 Pereira, 1992).

La composición química de elementos mayores del ortoneis de la Almohalla presenta algunas diferencias notables respecto a la de otras rocas del Complejo de la Peña Negra. Los neises de la Almohalla corresponden a una roca silícea, moderadamente peraluminosa, de composición granodiorítica o leucotonalítica. Los contenidos de CaO y Na_2O son considerablemente más altos que los de granitoides hercínicos con contenido de sílice equiparable (Bea, et al., 1987). Por el contrario, las

concentraciones de TiO_2 , FeO_{total} y MgO son más bajos que las de aquellos. La proyección en el diagrama tipológico (Fig. 1) define un campo que abarca parte del de los granitos SC y SG menos aluminosos y de granitos I, siendo netamente distinto del definido tanto por las migmatitas de la Serie de la Peña Negra como por los granitos hercínicos.

Los contenidos en elementos mayores de las granodioritas subautóctonas son prácticamente idénticos a los que presentan las migmatitas mesocráticas, y corresponden, por tanto, a granodioritas muy peraluminosas. En el diagrama tipológico caen dentro del campo de los granitos SC y definen una zona que, tal como se señaló anteriormente, se solapa con el de las migmatitas mesocráticas.

Las adamellitas tienen un químismo global idéntico al de las facies menos peraluminosas y más silílicas de las granodioritas subautóctonas, proyectándose en el diagrama tipológico dentro del campo de los granitos SC pero cerca del límite con los granitos I. Se encuentran incluidas dentro de la tendencia definida por las migmatitas de la Peña Negra y granodioritas, pero en el extremo menos peraluminoso. Este hecho probablemente esté relacionado con su mayor grado de aloctonía, y por tanto de evolución magmática, que posibilitó la descarga de restitas ricas en Al.

Todos los granitos de dos micas estudiados tienen una composición muy similar entre sí, que corresponde a granitos de tipo SC (Fig. 2). La única excepción está constituida por el leucigranito granatífero de la Almohalla, que se proyecta hacia el campo de los granitoides SG. Este hecho refleja la herencia de las características geoquímicas de los ortoneises de la Almohalla, a expensas de los que se formó anatécticamente (Bea, et al., 1990).

En conclusión, los datos de elementos mayores indican la existencia de los siguientes conjuntos litológicos:

(a) *Migmatitas de la Peña Negra y granitoides relacionados*

- Migmatitas de la Serie de la Peña Negra, caracterizadas por contenidos de sílice en torno a 62-68 %, relación de feldespatos normativos de tipo granodiorítico o adamellítico, alto grado de peraluminismo y bajas valores de la relación $Fe/(Fe+Mg)$. La mayor

parte de estas rocas parecen metapsamitas o metapelitas, pero Pereira, 1992 ha descrito niveles que parecen claramente ortoderivados.

- Rocas granodiorítico -adamellíticas, siempre peraluminosas, con características SC, pero que oscilan entre dos polos: uno más aluminoso, formado por las granodioritas subautóctonas, y otro menos aluminoso, formado por las adamellitas tardías, claramente alóctonas.
- Granitos de dos micas y leucogranitos de tipo SC.

(b) *Rocas de la Formación Almohalla*

- Ortoneises de la Almohalla, con el mismo rango de valores de sílice que las migmatitas de la Peña Negra, pero significativamente menos aluminosos y menos magnesianos.
- Leucogranito granatífero de la Almohalla.

GEOQUIMICA DE ELEMENTOS TRAZA

La composición de elementos traza de las rocas pertenecientes a la Serie de la Peña Negra y granitoides asociados se caracteriza por (1) la riqueza en Li y Rb, (2) bajos valores de la relación K/Rb, y (3) contenidos en Sr y Ba de moderados a bajos. Las muestras de la formación Almohalla, por el contrario, tienen contenidos inferiores de Li, Rb, superiores de Ba y Sr, y valores más elevados de K/Rb que las de la Serie de la Peña Negra. Los contenidos de U, Th, Y, Nb, Ta, Cs son moderados en todos los casos, aunque con una cierta tendencia al enriquecimiento en Cs y U por parte de los leucogranitos.

Las diferencias mencionadas entre rocas de la Serie de la Peña Negra y de la Formación Almohalla se reflejan también en cuanto a elementos de Tierras Raras (REE) (Fig. 3). Las muestras de la Serie de la Peña Negra, tanto migmatitas como granitoides, se caracterizan por espectros típicamente "pelíticos" con LREE entre 100 y 150 veces el valor condritico, decreciendo desde el La hacia el Sm, una moderada anomalía negativa del Eu, y espectros casi planos de HREE en torno a 10Xcondrito. La única excepción es una muestra del granito de nódulos, que probablemente se trate de un segregado leucosómatico. Los neises de la Almohalla tienen mayor riqueza en REE que el resto de las rocas de la zona, y característicamente carecen de anomalía negativa del Europio, o esta es muy pequeña.

Todas las características reseñadas de las rocas de la Serie de la Peña Negra son típicas de rocas metapelíticas así como de los productos anatécticos derivados a partir de ellas. Las características de los materiales de la Formación Almohalla, por el contrario, corresponden a materiales ortoderivados.

MINERALOGIA QUIMICA

Se han estudiado mediante microsonda electrónica las fases mayores y algunos accesorios importantes de 12 láminas delgadas, entre las que no se encuentran representadas todas las facies de granitoides y migmatitas de la zona. Las fases estudiadas son: (1) Biotita; (2) Cordierita; (3) Granate; (4) Moscovita; (5) Feldespato Potásico; (6) Plagioclasa; (7) Sillimanita; (8) Ilmenita. A continuación se describen los aspectos más importantes de cada mineral.

Biotita

La proyección en el plano ideal de la biotita (Fig. 4) muestra cómo las muestras definen cuatro grupos diferenciados:

- En primer lugar, están las biotitas del conjunto migmatítico, que tienen valores de $Mg/(Mg+Fe)$ muy uniformes, entre 0.45 y 0.40 y contenidos de $V^{I}Al$ en torno a 0.35-0.55 atomos por fórmula unidad.
- Las biotitas de los granitoides se proyectan en un campo que coincide parcialmente con el de las migmatitas, con similares valores de $Mg/(Mg+Fe)$ pero con una tendencia cierta de algunos especímenes hacia menores contenidos de $V^{I}Al$.
- Las biotitas de los ortoneises de la Almohalla son netamente menos magnesianas que las de el resto de las rocas mencionadas anteriormente, aunque igualmente aluminosas que las de las migmatitas de la Peña Negra.
- Por último, las biotitas que aparecen desarrolladas en torno a los escasos cristales de granate que se encuentran en algunos ejemplares de miogmatitas son menos aluminosas y magnesianas que las biotitas de la misma lámina delgada. Está claro que se trata de biotitas generadas retrógradamente a expensas de los granates.

Cordierita

La cordierita aparece como fase esencial en prácticamente todas las rocas de la zona excepto las de la formación Almohalla y algunos granitos de dos micas. Se trata siempre de cordieritas con contenidos intermedios de Mg, ($M = 0.45-0.58$), cuya proyección en el diagrama de clasificación paragenética de Pereira y Bea (1994) muestra lo siguiente (Fig. 5): La mayor parte de los especímenes analizados pertenecientes a las migmatitas poseen contenidos intermedios de cationes canal, esencialmente Na, y caen en el campo de las cordieritas características de las rocas anatécticas. Las cordieritas de los granitoides tienen un margen muy restringido de valores de $Mg/(Mg+Fe+Mn)$, entre 0.5 y 0.55; tienden a ser, por tanto, más magnesianas que las de las migmatitas. Además, las cordieritas de los granitoides suelen poseer elevados contenidos de cationes canal (esencialmente Na), que en algunos casos superan 0.3 átomos por fórmula unidad y, por tanto, en el diagrama paragenético se proyectan dentro del campo de las cordieritas magmáticas. Por último, las cordieritas desarrolladas retrógradamente en torno a cristales de granate se caracterizan por poseer los valores más pequeños de $Mg/(Mg+Fe+Mn)$, una situación similar a la observada en las biotitas.

Moscovita

La moscovita aparece como fase accesoria en las migmatitas, granodioritas y adamellitas, y como fase esencial en algunos leucogranitos. Las relaciones texturales en ambos casos no son concluyentes para determinar si se trata de moscovitas primarias o secundarias. La proyección en el diagrama de Monier (Fig. 6) tampoco permite precisar este extremo. Está claro que algunos cristales ricos en Mg y pobres en Ti parecen de origen secundario, pero existen otros, más ricos en Ti, que podrían ser primarios. Sin embargo, la evolución hacia términos ricos en Mg a medida que disminuye el Ti no es una característica asociable con moscovitas primarias, y parece más bien el resultado de una reacción continua con fluido residual.

Granate

El granate es un mineral extraordinariamente raro dentro de la zona. Aparece únicamente en tres litotipos: (1) Esporádicamente en las migmatitas schlieren de la Peña Negra; (2) En los leucogranitos

granatíferos de la Peña Negra; (3) En el leucogranito granatífero de la Almohalla. Las diferencias entre los granates de las rocas de la Serie de la Peña Negra y los de las rocas de la Formación Almohalla se ponen de manifiesto en los diagramas de la Fig. 7:

- Los granates de las migmatitas y leucogranitos de la Peña Negra son muy similares. Se trata de almandinos ricos en componente espesartínico, fuertemente zonados, con bordes enriquecidos en MnO y FeO, pero empobrecidos en MgO (Fig. 8). Los estudios geotermobarométricos efectuados por Pereira (1992, 1993) muestran cómo el granate ha registrado una evolución desde $P \approx 4.5$ kb y $T \approx 750$ °C hasta $P \approx 1.5 - 2$ kb y $T \approx 400$ °C.
- Los granates del leucogranito granatífero de la Almohalla son almandinos puros, con contenidos ínfimos de componente espesartínico. y, obviamente, sin zonar.

Sillimanita

Las sillimanitas analizadas son ligeramente no estequiométricas, y tienen un ligero exceso de sílice sobre lo que corresponde a la fórmula ideal de Al_2SiO_5 , debido a que contienen cantidades apreciables de Fe^{3+} substituyendo al Al^{3+} .

Ilmenita

La ilmenita es un mineral muy abundante en la zona, sobre todo en los melanosomes de las migmatitas mesocráticas. Todas las muestras analizadas se caracterizan por elevados contenidos de MnO, que pueden llegar hasta el 5 %.

Plagioclasas

Las plagioclasas de los ortoneises de la Almohalla está muy débilmente zonadas, con un zonado directo difuso desde An₃₅₋₃₉ en los núcleos hasta An₃₀₋₃₄ en los bordes. Las plagioclasas de las migmatitas también tienen el mismo estilo de zonado, aunque los contenidos de An son menores desde An₂₉₋₃₁ en los bordes a An₂₃₋₂₇ en los bordes. A veces se observa un zonado idiomórfico con pequeño borde albítico recrecido en torno al cristal de plagioclasa.

Las plagioclasas de las granodioritas subautóctonas son muy similares a las de las migmatitas, con un modelo de zonado directo, desde un núcleo An₃₀₋₃₄ hasta un borde de composición An₂₀₋₂₅. Las plagioclasas de las adamellitas, por el contrario, presentan modelos de zonado oscilatorio mucho más complejo. Las plagioclasas de los granitos de dos micas tienen composición variable, siendo lo más frecuente cristales con zonado directo desde un núcleo An₁₅₋₂₀ hasta un borde albítico.

Feldespato potásico

El feldespato potásico es un mineral abundante dentro de todas las litologías de la zona, apareciendo con tendencia megacristalina en las granodioritas, adamellitas y algunas migmatitas de tipo transicional (a las granopdioritas subatóctonas).

Excepto en los granitoides más alóctonos (adamellitas y granitos de dos micas), el feldespato potásico aparece sin el enrejado de la microclina, y análisis mediante difracción de rayos X (Bea, inéd.) muestra que se trata de ortosa (índice de triclinicidad, D ≈ 0.1-0.3).

En todos los casos, los cristales de feldespato potásico aparecen con pertitas de desarrollo moderado, generalmente de tipo "vein", "flame" o "string". La composición de la fase potásica es muy constante de facies a facies, y está situada en torno a Ort₉₅ Ab₅.

CONCLUSIONES

A partir de los datos anteriores, y utilizando también los datos isotópicos de Bea (en prep.), puede concluirse lo siguiente:

- Entre los materiales pre-hercínicos del área estudiada se pueden identificar dos conjuntos litológicos distintos:
 - (1) La Serie de la Peña Negra, compuesta por materiales metapelíticos, metapsamíticos y metagraníticos, con algunos niveles cuarcíticos y carbonatados intercalados. Posiblemente se trate del Complejo Esquistograuwáckico sometido a una intensa migmatización hercínica (Pereira, 1992).
 - (2) La Formación Almohalla, indudablemente ortoderivada, cuyo origen parece haber sido un granito calcoalcalino de edad próxima a 540 Ma (Bea et al., 1990; Pereira et al., 1992).

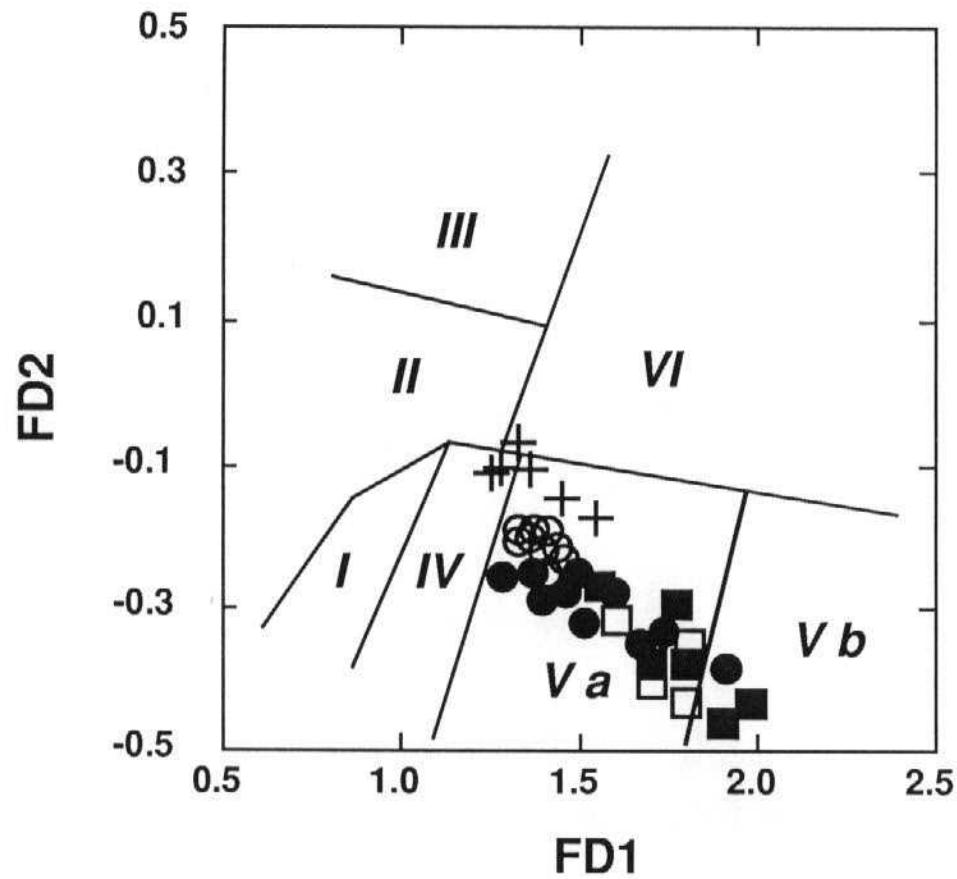
- Estos materiales experimentan una importante anatexia durante el hercínico, más intensa en los materiales de la serie de la Peña Negra que en los de la Formación Almohalla. Esto es debido a la diferente disponibilidad de agua en el sistema anatéctico, que a su vez es el resultado de la diferente mineralogía inicial (Bea y Pereira, 1990). Las rocas de la Serie de la Peña Negra eran ricas en moscovita y biotita cuando comenzó la migmatización, mientras que las rocas de la Formación Almohalla sólo contenían biotita como reservorio de agua. Puesto que la moscovita libera agua a temperatura más baja que la biotita (Vielzeuf y Holloway, 1988), y la cantidad de agua es el factor crítico que determina la intensidad de la fusión parcial, no es de extrañar que los materiales conteniendo moscovite se migmaticen más y a menor temperatura que los que sólo contienen biotita.
- A expensas de los ortoneises de la Almohalla se genera un leucogranito granatífero, de edad 295 Ma (Bea, inéd.).
- A expensas de los materiales de la Peña Negra se generan dos tipos diferentes de granitoides: (1) granodioritas y adamellitas; (2) leucogranitos. El que se produzca uno u otro depende de la tasa de fusión parcial y de las condiciones de segregación de magma (Pereira, 1992). Cuando la tasa de fusión parcial es mayor que la Fracción Crítica de Fundido (\approx 35-40%) los minerales restíticos dejan de estar en contacto y no se pueden separar de un fundido de tan alta viscosidad como la de un granito peraluminoso. De esta manera se originan granitoides de composición granodiorítico-adamellítica, prácticamente idéntica a la de su fuente, en este caso las migmatitas de la Peña Negra. Cuando la tasa de fusión ha sido menor que la Fracción Crítica de Fundido (\approx 35-40%), es posible que en zonas muy localizadas, tal como cizalla, se pueda producir la segregación de fundido exento de restitas si las condiciones tectónicas son favorables. Es probable que este mecanismo haya producido la formación de los leucogranitos y granitos de dos micas.

La edad Rb-Sr de las granodioritas subautóctonas (Bea, inéd.) está en torno a 310-305 Ma, lo que representa, probablemente, la edad del paroxismo de la anatexia. La edad Rb-Sr de los granitos es próxima a 295 Ma (ibid.). No se dispone aún de datos isotópicos sobre las adamellitas (21), pero las relaciones de campo indican que son

cláaramente tardías frente a las granodioritas subautóctonas. Dado el inegable parentesco geoquímico y mineralógico entre ambas, cabe pensar que está relacionadas, y que las adamellitas representan un magma similar al de las granodioritas pero más evolucionado magmáticamente y emplazado con un mayor grado de aloctonía.

BIBLIOGRAFIA

- Bea, F.,Ibarra, I. y Pereira, M. D. (1990). Migmatización metatexítica y fenómenos anatécticos en la Formación Almohalla, Complejo Anatéctico de la Peña Negra. *Bol. Geol. Min.* 101-2: 187-209.
- Bea, F. y Pereira, M. D. (1990). Estudio petrológico del Complejo Anatéctico de la Peña Negra, Batolito de Avila. *Rev. Soc. Geol. España.* 3 : 87-104.
- Pereira, M. D. (1992). El Complejo Anatéctico de la Peña Negra (Bitolito de Avila): Un estudio de la anatexia cortical en condiciones de baja presión. *Salamanca.*
- Pereira, M. D.,Ronkin, Y. y Bea, F. (1992). Dataciones Rb/Sr en el Complejo Anatéctico de la Peña Negra (Bitolito de Avila, España Central): Evidencias de magmatismo pre-hercínico. *Rev. Soc. Geol. España.* 5 (1-2): 129-134.
- Bea, F.,Sánchez, J. y Pinto, M. S. (1987). Una compilación geoquímica (elementos mayores) de los granitoides del Macizo hespérico. *Geología de los granitoides del Macizo Hespérico.* Eds. F. Bea et al. Rueda: 87-194.
- Pereira, M. D. y Bea, F. (1994). Cordierite-producing reactions at the Peña Negra complex, Avila batholith, central Spain: The key role of cordierite in low-pressure anatexis. *Canadian Mineralogist.*
- Vielzeuf, D. y Holloway, J. R. (1988). Experimental determination of the fluid-absent melting relations in the pelitic system. Consequences for crustal differentiation. *Contrib. Mineral. Petrol.* 98: 257-276.



Leyenda

- Granodioritas (10a, 10b)
- Adamellitas (21)
- Migmatitas (7)
- Migmatitas (5)
- + Ortoneises Almohalla

Clave

- I Granitos M
- II Granitos A tipo 2
- III Granitos A tipo 1
- IV Granitos I
- Va Granitos SC (cordierita)
- Vb idem pero mas aluminosos
- VI Granitos SG (granate)

Fig. 1.- Proyección de las rocas migmatíticas, granodioríticas y adamellíticas en el diagrama tipológico para rocas con SiO₂ entre 64% y 70%.

$$FD1=10*[0.1099*ASI-0.0850*ICA+0.0892*K/(Na+K)+0.0127*Fe/(Fe+Mg)]$$

$$FD2=10*[-0.0591*ASI-0.0533*ICA+0.0091*K/(Na+K)+0.0906*Fe/(Fe+Mg)]$$

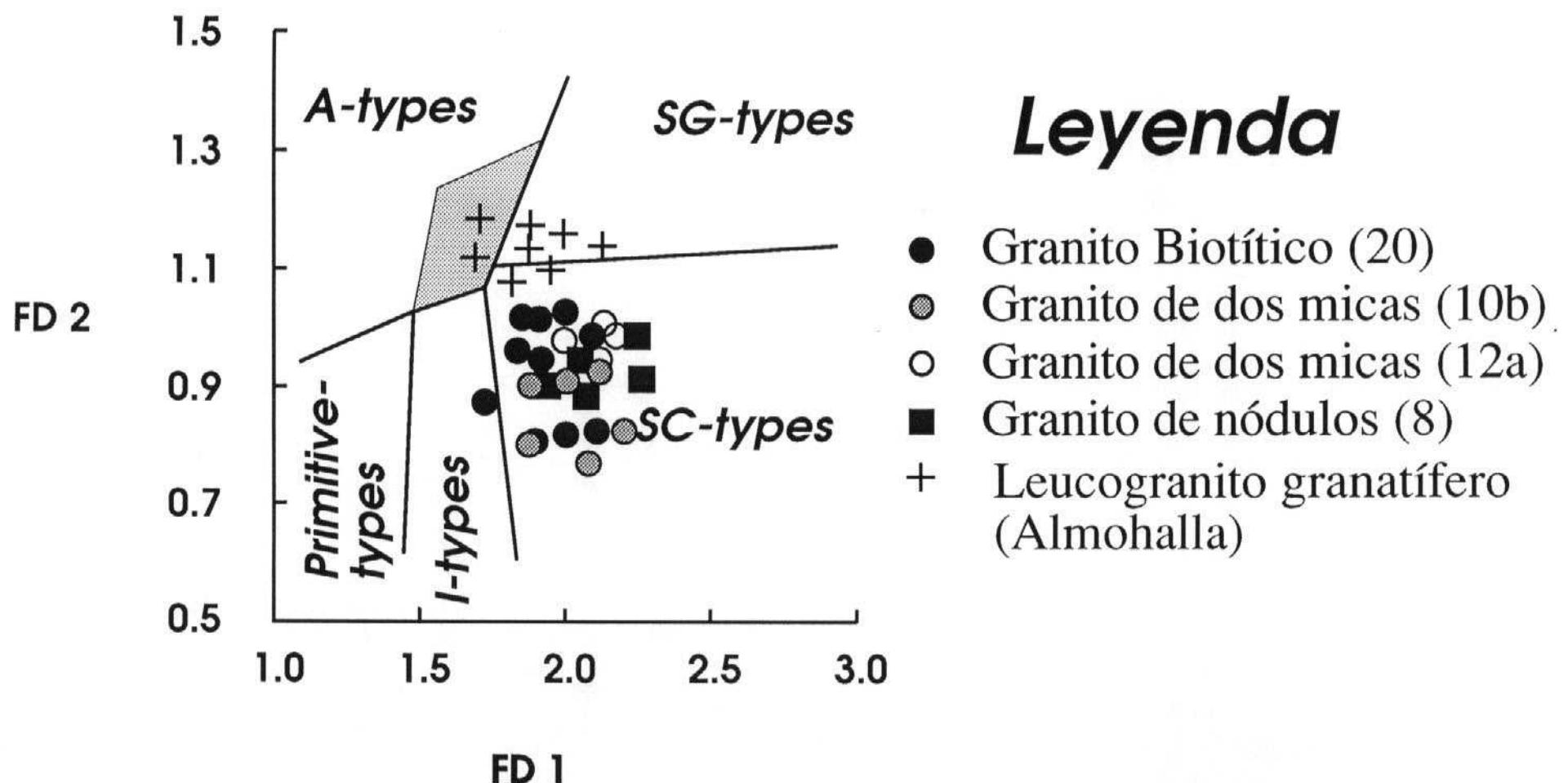


Fig. 2.- Proyección de los granitos de dos micas y leucogranitos en el diagrama tipológico para rocas con SiO₂ > 70 %.

$$FD1 = 10 * [0.1601 * ASI - 0.0354 * ICA + 0.048 * K/(Na+K) - 0.026 * Fe/(Fe+Mg)]$$

$$FD2 = 10 * [0.0061 * ASI - 0.0434 * ICA + 0.0145 * K/(Na+K) + 0.1236 * Fe/(Fe+Mg)]$$

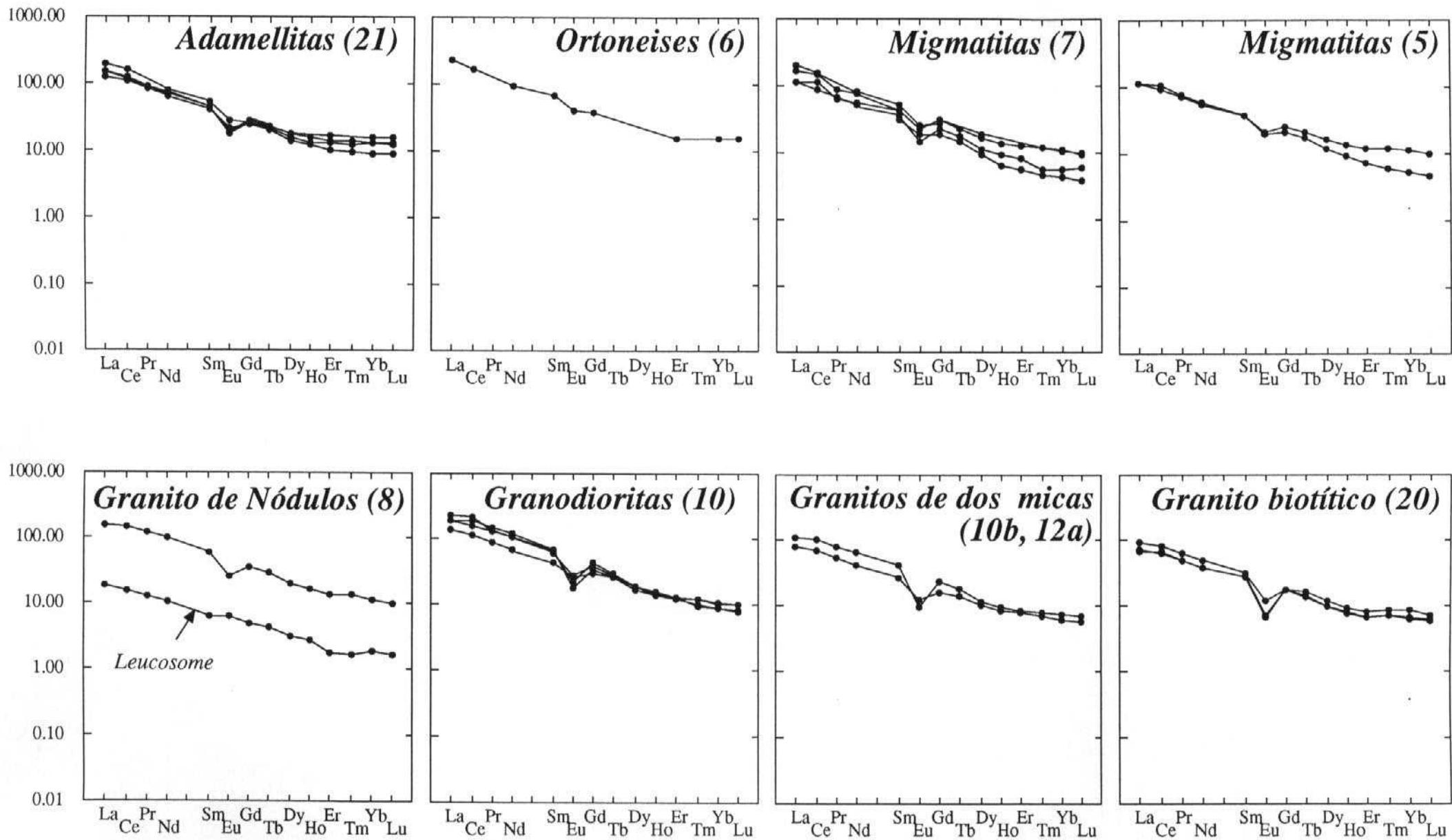


Fig. 3.- Espectros normalizados de Tierras Raras de las muestras estudiadas.

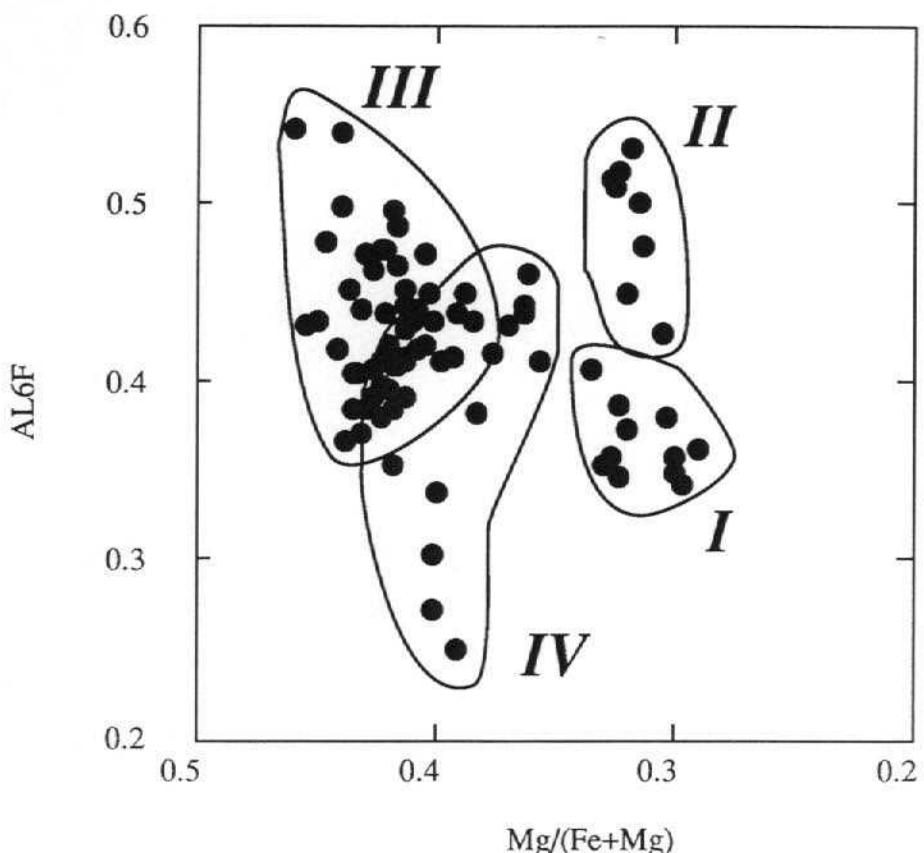


Fig. 4.- Proyección de las biotitas analizadas en el "plano ideal" de la biotita.I, Biotitas retrógradas alrededor de cristales de granate.II, Biotitas de los Ortoneises de la Almohalla.III, Biotitas de las migmatitas.IV, Biotitas de las granodioritas y adamellitas

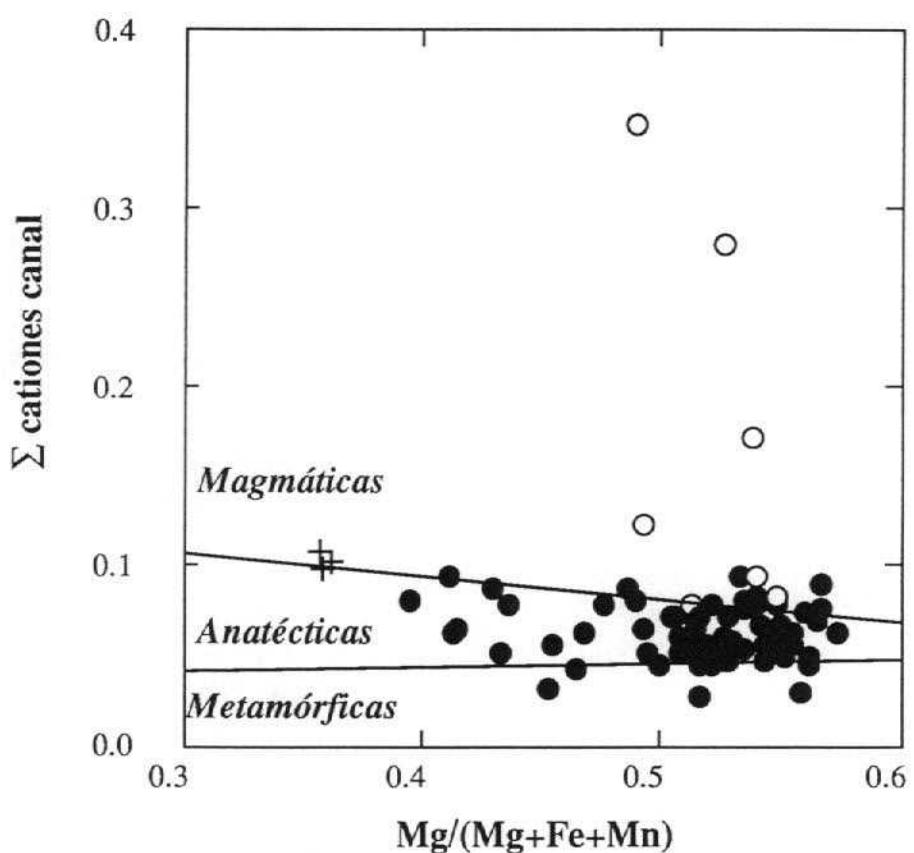


Fig.5.- Proyección de las cordieritas analizadas en el diagrama de clasificación paragenética de Pereira y Bea (in litt.). Círculos blancos, cordieritas de las granodioritas. Puntos negros, cordieritas de las migmatitas. Cruces, cordieritas retrógradas en torno a cristales de granate.

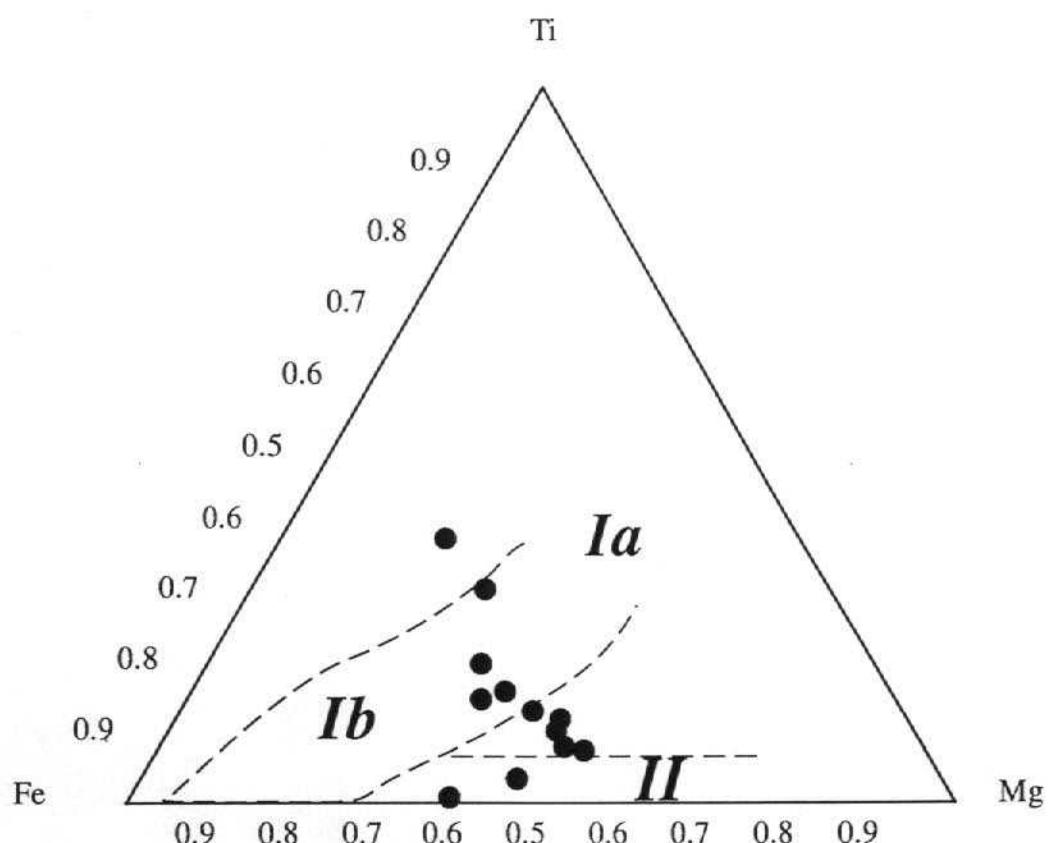
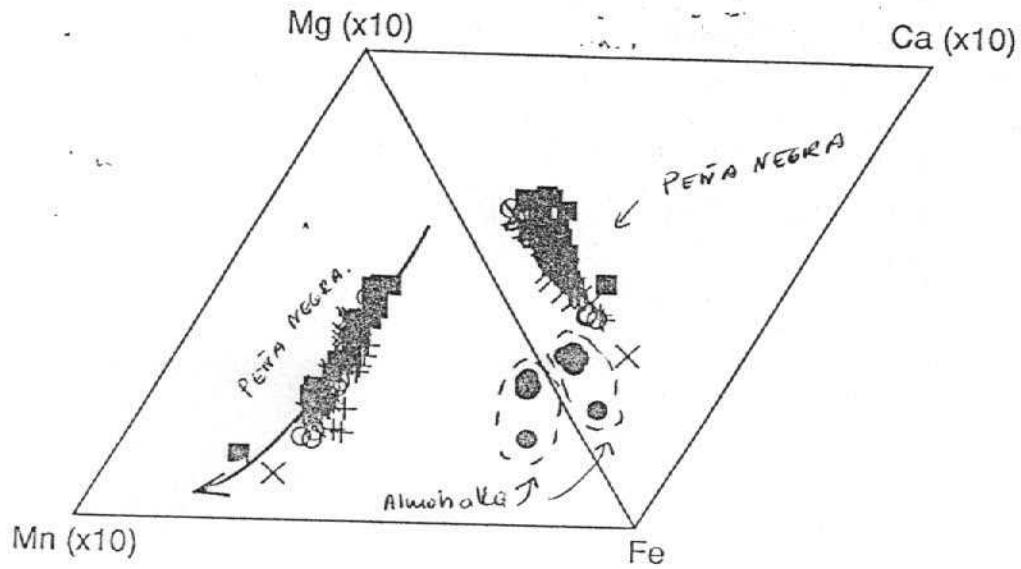


Fig. 6.- Proyección en el diagrama de Monier (modificado por Pereira, 1992) de las moscovitas estudiadas. El campo I corresponde a moscovitas primarias, evolucionando en series diferenciadas desde Ia a Ib. El campo II representa el de las moscovitas secundarias.



- ✗ Migmatita Mesocrática (melanosome)
- + Migmatita Mesocrática (leucosome)
- Migmatita Mesocrática (leucosome)
- Leucogranito granatífero de La Almohalla
- Leucogranito granatífero de La Peña Negra

Fig. 7.

(A) en w/ mafic; (B) en leucogranite; (C) PnC Neph

Fig. 8. Models of zoning in quartz to

