



Tres tipos de rocas Gabroideas en el complejo de Toledo

Three types of Gabbros in the Toledo Complex

BARBERO, L.

En este trabajo se describen tres tipos de rocas gabroideas que afloran en el Complejo de Toledo, atendiendo principalmente a aspectos petrográficos, geoquímicos y a su comparación con otros tipos de rocas básicas hercínicas.

El primero de estos grupos está constituido por gabros olivínicos y piroxénicos, denominados tipo La Bastida, que generalmente están en relación con granitoides calcoalcalinos (granitos de Argés), y que varían desde melanoritas olivínicas hasta gabronoritas, observándose en ocasiones un ligero bandeado ígneo. Geoquímicamente presentan una afinidad calcoalcalina normal y definen secuencias en diagramas geoquímicos que pueden explicarse mediante procesos de cristalización fraccionada con acumulación de olivino en los términos más básicos de la serie. Son rocas con caracteres petrológicos y geoquímicos similares a los de rocas básicas de tipo cortlandfítico descritas en otros sectores del Hercínico Ibérico (Gredos, Costero-Catalana).

Existe un segundo grupo de rocas básicas constituido por gabros anfibólicos, denominados tipo Toledo, que se encuentran, al igual que en el caso anterior, relacionados desde un punto de vista espacio-temporal con la serie de granitoides de Argés. Petrográficamente varían desde gabros (próximos a dioritas) a cuarzogabros anfibólicos, con plagioclasa, anfíbol y biotita como fases fundamentales. Desde un punto de vista geoquímico este grupo presenta características muy contrastadas con respecto a los otros dos grupos gabroideos. Destacan sus altos contenidos en TiO_2 (1.6-2.2%), Al_2O_3 (16-20%), P_2O_5 (0.32-0.88%) y sobre todo en álcalis ($Na_2O + K_2O$ entre 4.7 y 6.3% para un rango de SiO_2 de 47-53%). Son también notables sus altos contenidos en Ba y Sr, así como sus bajas relaciones Zr/P_2O_5 . Por estas características se le asigna a este grupo una afinidad de tipo shoshonítico. Son rocas con caracteres geoquímicos en parte similares a los de tipos vaugneríticos hercínicos.

Por último, aflora en el Complejo un tercer grupo de gabros, fundamentalmente anfibólicos, aunque también se encuentran variedades anfibólico-piroxénicas, que aflora exclusivamente en la esquina sureste del mismo y que se ha denominado gabros tipo Villanueva. No están en relación con los granitoides de Argés como ocurría con los otros dos grupos gabroideos. Por el contrario, estas rocas son intrusivas en mármoles dolomíticos preordovícicos en los que provocan un inten-

so metamorfismo de contacto. petrográficamente se trata de gabros s. s. con plagioclasa, anfíbol, clinopiroxeno y biotita como fases fundamentales. Geoquímicamente presentan características de una serie calcoalcalina, de caracteres similares a los de gabros afines de la Sierra de Guadarrama.

Palabras clave: Rocas básicas, Hercínico Ibérico, calcoalcalino, afinidad shoshonítica.

The present work deals with petrographical and geochemical aspects of three groups of basic rock that outcrops in the Toledo complex. The relation of these three groups with other hercynian basic rock is also argued.

The first group consists of olivine and pyroxene gabbros (La Bastida type) that usually occurs related to calcalkaline granitoids. Geochemically this group have calcalkaline affinity and its variation trends can be explained by a crystal fractionation mechanism. The chemical characteristics of La Bastida gabbros resembles those of other hercynian zones.

The second group of basic rocks consists of amphibole gabbros (Toledo type), that, as La Bastida type, is spatially and age related with calcalkaline granites. Geochemically this group present a shoshonitic affinity because of its high alkalis and associated elements content, and it is chemically similar to some variscan vaugneritic rocks.

Finally, there is a group of gabbros (Villanueva type) intruded in paleozoic marbles and unrelated to calcalkaline granites. It has calcalkaline affinity, resembling to the Sierra de Guadarrama gabbros.

Key words: Basic rocks, Hercynian iberian Belt, calcalkaline, shoshonitic affinity.

BARBERO, L. (Departamento de Petrología y Geoquímica, Fac. C. C. Geológicas, U. C. M. 28040 Madrid).

INTRODUCCION

El Complejo de Toledo forma parte de la zona axial de la cadena Hercínica Ibérica (zona Centro-ibérica según JULIVERT *et al.* 1974). Afloran en él rocas metamórficas de alto grado que incluyen tipos metasedimentarios (granulitas y migmatitas peraluminicas, gneises samíticos, mármoles, cuarcitas, anfíbolitas), y tipos ortoderivados (gneis glandulares y leucogneis). Es fundamentalmente en estos últimos en donde mejor se observan las estructuras deformativas, siendo la estructura dominante una foliación penetrativa de dirección aproximada 120°, que se encuentra verticalizada por pliegues de tercera fase de plano axial subvertical. De forma en parte sincrónica con esta se-

gunda fase, así como durante parte de la tercera, tiene lugar un proceso general de anatexia del área que produce migmatización intensa en los tipos metasedimentarios pelíticos, llegando incluso a generarse volúmenes importantes de diversos granitoides heterogéneos fuertemente peraluminicos (ANDONAEGUI 1990; BARBERO y VILLASECA en prensa). También de forma simultánea, o ligeramente posterior a la segunda fase, tiene lugar la intrusión de un grupo de granitoides de afinidad calcoalcalina (Serie de Argés), que llevan asociados dos grupos distintos de rocas básicas (tipos La Bastida y Toledo). Por lo tanto, esta asociación básico-ácida está también variablemente afectada por el metamorfismo ligado a la segunda fase deformativa del área. El

pico metamórfico se estima en torno a los 800-850°C y 4.5-5.5 Kb. es decir, condiciones granulíticas de presión intermedia (BARBERO y VILLASECA en prensa). Existe además un tercer grupo de rocas básicas, que intruye en las rocas metasedimentarias del sector sureste del Complejo, y que no parece estar relacionado con granitoides calcoalcalinos, al contrario de lo que ocurría con los dos grupos gabroideos anteriormente citados.

El grupo de gabros olivínicos y piroxénicos de La Bastida ha sido estudiado en diversos trabajos previos (BARBERO y VILLASECA 1988; BARBERO y VILLASECA 1989; BARBERO *et al.* 1990; BARBERO 1991). Sus aspectos más destacables serán por lo tanto resumidos en este trabajo, fundamentalmente para compararlos con los otros dos grupos gabroideos del sector.

El objeto de este trabajo es la caracterización petrológica y geoquímica de las rocas gabroideas del Complejo de Toledo y su comparación con otras series básicas del Hercínico Ibérico. Se hacen también algunas consideraciones sobre su posible origen.

PETROGRAFIA

Los gabros de tipo la Bastida y de tipo Toledo afloran casi exclusivamente asociados a los granitoides calcoalcalinos de la serie de Argés. Sólo el afloramiento de gabros olivínicos y piroxénicos de La Ermita de La Bastida (NW de Toledo capital) no está especialmente ligado a este tipo de granitos, sino que se encuentra entre migmatitas y leucogranitos peraluminicos. En el resto de los casos, tanto el tipo La Bastida como el tipo Toledo afloran como macizos de pocos centenares de metros o como megaenclaves o enclaves dentro de los granitoides de Argés.

Los gabros de tipo La Bastida varían petrográficamente desde noritas y gabronoritas olivínicas a gabronoritas,

servado de forma esporádica un bandeado ígneo entre los tipos con y sin olivino. La paragénesis primaria de estas rocas está constituida por minerales anhidros, fundamentalmente plagioclasa + ortopiroxeno \pm olivino \pm espinela \pm clinopiroxeno \pm ilmenita. Las texturas de origen ígneo más comunes son las ofíticas e intergranulares. A esta paragénesis primaria se le superpone otra (u otras) de origen subsólidos constituidas fundamentalmente por ortopiroxeno \pm espinela \pm pargasita \pm flogopita \pm clinopiroxeno \pm plagioclasa. Las texturas subsólidos más destacables son principalmente: texturas coroníticas simples o complejas de ortopiroxeno (\pm espinela) y pargasita alrededor de olivino (BARBERO y VILLASECA 1988); texturas coroníticas en torno a ilmenita formadas por flogopita, pargasita o ambos minerales (BARBERO 1990); crecimientos granoblásticos de clinopiroxeno; anfibolitización de piroxenos; crecimientos simplectíticos de plagioclasa y clinopiroxeno. Todas estas texturas son consecuencia de la recrystalización de estas rocas en condiciones granulíticas (BARBERO y VILLASECA en prensa).

Los gabros anfibólicos de Toledo pueden aparecer como macizos de varios centenares de metros ligados a los monzogranitos de Argés, con los que localmente muestran fenómenos de mezcla física (mingling) en las zonas de contacto (ver figura 2 A en BARBERO *et al.* 1990). Este tipo de contactos y relaciones mutuas son indicativas de una contemporaneidad entre ambos tipos de rocas. Presentan, al igual que los gabros de La Bastida, una foliación de segunda fase en los bordes de los macizos marcada principalmente por orientación de anfíboles y biotitas. Se trata de macizos bastante homogéneos, con muy escasas variedades pegmáticas en pequeñas vénulas en las zonas más internas. Petrográficamente varían desde gabros a cuarzogabros (Fig. 1) con hornblenda, biotita, clinopiroxeno y plagioclasa como fases fundamentales. Su proyección

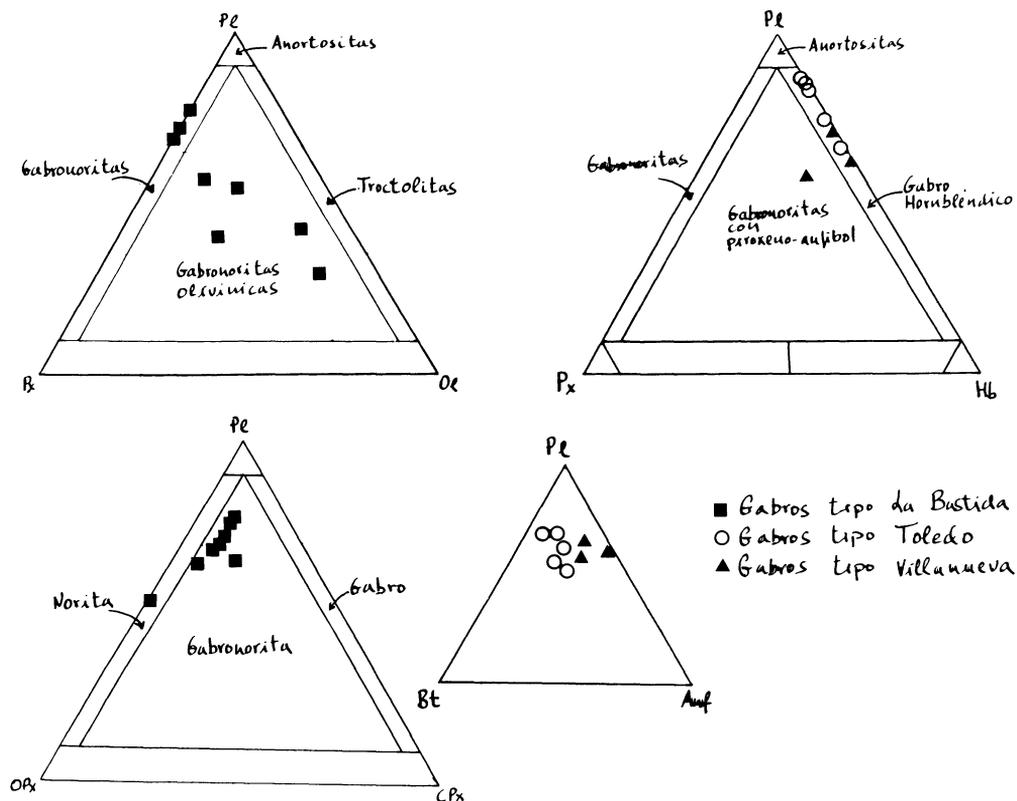


Fig. 1. Clasificación y nomenclatura de las rocas gabroideas del Complejo de Toledo basada en sus proporciones de plagioclasa (Pl), piroxeno (Px), olivino (Ol), ortopiroxeno (Opx), clinopiroxeno (Cpx) y hornblenda (Hb) según STRECKEISEN (1973). Se añade también una proyección Plagioclasa-Biotita (Bt)-Hornblenda de los tipos Toledo y Villanueva. Ver texto para mayor explicación.

en la parte alta del diagrama Pl-Px-Hb (Fig. 1) es debida a que en el mismo no son tenidos en cuenta todos los minerales máficos de la roca, siendo estos gabros de Toledo ricos en biotita (diagrama Pl-Bta-Anf, Fig. 1). De forma accesoria pueden aparecer ortopiroxeno, cuarzo, apatito, circón y feldspato potásico. Como minerales secundarios encontramos epidota, un anfíbol verde pálido, rutilo y esfena. Si bien estas rocas conservan aún gran parte de las texturas ígneas originales (subofíticas e intergranulares), hay que hacer notar que parte de los caracteres originales están parcialmente borrados por procesos metamórficos que las han afectado (presencia de foliación, zona-

dos poco o nada marcados en las plagioclasas, transformación de piroxenos a anfíboles). Este hecho también parece ponerse de manifiesto en las rocas graníticas de la serie de Argés a las que estos gabros se asocian, en donde se sospecha que, al menos parte de los minerales aluminícos que presentan (granate, cordierita) pueden haber recrystalizado o incluso haberse generado durante el metamorfismo asociado a la segunda fase de deformación, con la que estas rocas son sincrónicas (BARBERO *et al.* op. cit.).

Por último, los gabros de tipo Villanueva afloran entre mármoles calcícticos y dolomíticos a los que provocan un intenso metamorfismo de contacto (NAVIDAD, 1973)

con desarrollo de una zona de skarn. Se han encontrado también como enclaves o megaenclaves incluidos dentro de los granitoides fuertemente peraluminicos del sector, posiblemente representando xenolitos dentro de los mismos (BARBERO y VILLASECA en prensa). Diversos procesos ligados en parte a la skarnificación han transformado variablemente la roca, de manera que, en muchas ocasiones es difícil reconocer la textura y quizá también mineralogía ígneas originales. No obstante se han encontrado restos de texturas ofíticas, subofíticas e intergranulares que ponen en evidencia un origen ígneo. Petrográficamente se trata de gabros hornbléndicos y gabros hornbléndico-piroxénicos con plagioclasa, anfíbol, biotita y clinopiroxeno como fases fundamentales. De forma accesoria pueden aparecer cuarzo, apatito y circón. Como minerales secundarios encontramos esfena, feldespato potásico, anfíboles incoloros, epidota, clorita y sericita. Gran parte de las texturas y minerales que aparecen en estos gabros son consecuencia de fenómenos de recrystalización y transformación subsólidos, debidos en parte al metamorfismo regional del área, pero también ligados a la skarnificación que se produce en su contacto con los materiales carbonatados del sector. Conviene, por lo tanto, tener en cuenta la posibilidad de que la composición de los minerales y de la roca total esté, en parte, influida por estos procesos.

MINERALOGIA

Anfíboles

En la figura 2 A se encuentra la clasificación de los anfíboles de los gabros del Complejo de Toledo según LEAKE (1978). Como puede observarse los anfíboles de los gabros de tipo la Bastida, pargasitas y Magnesiohastingsitas, son los más magnésicos y

también tienden a ser los de menor contenido en Si. Son también anfíboles ricos en Ti, siendo alguno de ellos muy próximos a kaersutitas, lo que junto con los bajos contenidos en Si está de acuerdo con un origen metamórfico para los mismos, como ya se deducía de sus características texturales (aparición en distintos tipos de corona o sustituyendo a los piroxenos). Los anfíboles de los gabros de Toledo se clasifican como Magnesio-hornblendas siendo los anfíboles verde pálido que se encuentran en ocasiones sustituyéndolos, más ricos en Si y Mg, y por lo tanto de tendencia más actinolítica (Fig. 2 A). La presencia de estos anfíboles pálidos, junto con la aparición de anfíboles sustituyendo a clinopiroxenos, induce a pensar que, al menos parte de los mismos puedan tener un origen subsólido. Por último, los anfíboles de los gabros de Villanueva se presentan con distintos aspectos texturales, que corresponden también con composiciones químicas diferentes. Los podemos encontrar como grandes cristales poiquilíticos, de colores verde a marrón, englobando plagioclasas, clasificándose como Magnesio-hornblendas en el diagrama de LEAKE (1978) (Fig. 2 A). Existe un segundo tipo de anfíboles de tonalidades verde pálido y débil pleocroísmo, que se encuentran sustituyendo a los anfíboles verde-marrones previamente descritos, y que quedan clasificados como anfíboles ferromagnesianos de tipo cummingtonita. Aparecen también sustituyendo a los clinopiroxenos tanto en las zonas de borde como en su interior. Por último, pueden formar agregados granoblásticos con múltiples uniones triples clasificándose en este caso como pargasitas férricas y hornblendas pargasíticas férricas (Fig. 2 A), y siendo los que mayor contenido en Ti presentan dentro de este grupo. Estos dos últimos tipos de anfíbol, tanto por su forma textural de aparición, como por sus composiciones parecen claramente de origen subsólido.

Micas

En los gabros de tipo La Bastida este mineral aparece siempre en texturas de origen metamórfico, casi siempre formando parte de coronas. Presenta unas relaciones $Fe/(Fe + Mg)$ que hacen que en el diagrama de clasificación de DEER *et al.* (1970) se clasifiquen como flogopitas (Fig. 2 B). La biotita de los gabros de tipo Toledo se encuentra o como pequeños cristales orientados definiendo la estructura de la roca, como agregados de cristales grandes de idiomorfos a subidiomorfos, o excepcionalmente como grandes cristales poiquilíticos englobando piroxenos y plagioclasas. Composicionalmente se trata de biotitas con una relación $Fe/(Fe + Mg)$ en torno a 0.45 (Fig. 2 B), y relativamente pobres en Al. Estos contenidos bajos en Al traen consigo que en un diagrama Al total frente a Mg (NACHIT *et al.* 1985) queden proyectadas en el campo de biotitas de series subalcalinas (Fig. 2 C), lo cual hace que se separen claramente de las biotitas de los otros grupos gabroideos del Complejo, y además está en consonancia con el quimismo de afinidad shoshonítica que, como veremos más adelante, presenta este grupo básico. En los gabros de tipo Villanueva la biotita aparece como cristales subidiomorfos y, en ocasiones, intercrecida con anfíbol. Presenta relaciones $Fe/(Fe + Mg)$ próximas a 0.50 y en el diagrama de NACHIT *et al.* (1985) quedan proyectadas dentro del campo de biotitas de rocas calcoalcalinas (Fig. 2 C). En todas estas micas de los tres grupos básicos estudiados destacan sus altos contenidos en Ti, que apuntan hacia un origen en condiciones de alta temperatura, lo que está de acuerdo con las estimaciones termobáricas dadas para el metamorfismo de este área.

Piroxenos

En los gabros de tipo La Bastida aparece tanto orto como clinopiroxeno pudiendo ser ambos de origen ígneo o de procedencia metamórfica. De todas formas, la recristali-

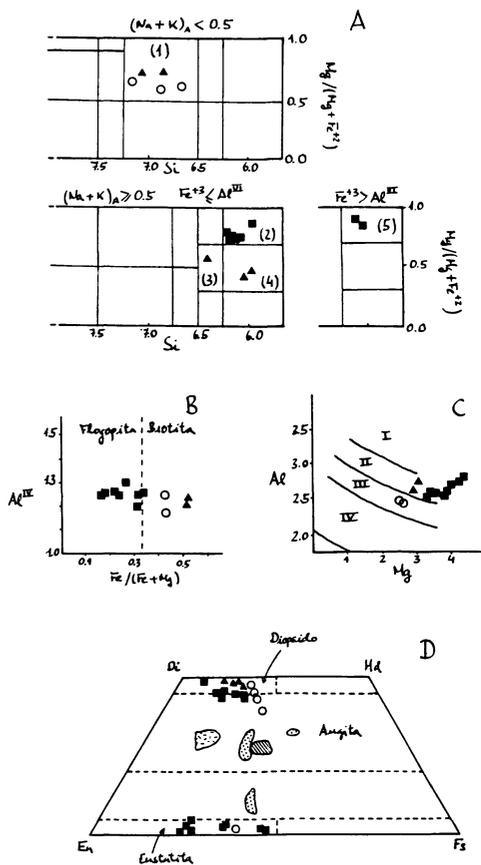


Fig. 2. A) Diagramas de clasificación de anfíboles según LEAKE (1978); Números entre paréntesis: (1) Magnesio-hornblenda, (2) Pargasita, (3) Hornblenda pargasítica férrica, (4) Pargasita férrica, (5) Magnesio-hastingsita.

B) Diagrama Al^{IV} - $Fe/(Fe + Mg)$ de clasificación de biotitas (DEER *et al.*, 1970).

C) Diagrama Al-Mg con campos: I biotitas de rocas aluminio-potásicas, II de rocas calcoalcalinas, III de rocas subalcalinas y IV de rocas alcalinas, según NACHIT *et al.* (1985).

D) Diagrama de clasificación de piroxenos según MORIMOTO *et al.* (1989). Se han proyectado también las composiciones de los anfíboles de estas rocas con el objeto de comparar sus contenidos en Fe, Mg y Ca; (campo de anfíboles más magnésicos: tipo La Bastida; rayado oblicuo: anfíboles de gabros tipo Toledo; campos punteados: anfíboles de los gabros tipo Villanueva).

En todos los diagramas: cuadrado: Tipo La Bastida, círculo: tipo Toledo, triángulo: tipo Villanueva.

zación a alta temperatura que afecta a estas rocas produce un total reequilibrio de las composiciones de las fases, por lo que no se observa ninguna diferencia composicional entre los minerales con texturas claramente ígneas y los de origen subsólidos. En la figura 2 D se encuentran proyectadas las composiciones de los orto y clinopiroxenos de estas rocas en el diagrama de clasificación de MORIMOTO *et al.* (1989) pudiéndose observar que existe equilibrio químico entre unos y otros.

En cuanto a los piroxenos de los gabros de tipo Toledo hay que hacer notar que el ortopiroxeno es muy escaso, encontrándose como pequeños cristales relictos blindados dentro de anfíboles, y presentando una composición $\text{En}_{60}\text{Fs}_{37}\text{Wo}_2$ que, como se observa en la figura 2 D, no está en equilibrio con la de los clinopiroxenos que presentan estas mismas rocas. Estos últimos aparecen desigualmente repartidos, tendiendo a ser más abundantes en las rocas más diferenciadas del grupo. Aparece bien como grandes cristales de carácter intersticial, englobando total o parcialmente a plagioclasas, o como núcleos de bordes corroídos dentro de las hornblendas, lo cual sugiere que quizá parte de las mismas puedan proceder de anfibolitización de piroxenos. Composicionalmente varían desde augita ($\text{En}_{35}\text{Fs}_{26}\text{Wo}_{39}$) hasta diopsido. Son clinopiroxenos bajos en Al, Ti y Na, lo cual contrasta con el quimismo de tendencia alcalina que presenta este grupo.

En los gabros de tipo Villanueva el clinopiroxeno puede aparecer de tres formas texturales distintas: 1.— como cristales grandes poiquilíticos de tonos rosados en texturas ofíticas o subofíticas, variablemente anfibolitizados, sobre todo en las zonas de contacto con las plagioclasas, y con gran cantidad de exoluciones; 2.— como cristales idiomorfos prismáticos variablemente anfibolitizados y con múltiples exoluciones; 3.— por último, los clinopiroxenos pueden aparecer como agregados granoblásticos con gran cantidad de contactos triples entre si,

siendo en este caso de origen claramente metamórfico. Composicionalmente se trata de diopsido variando su composición desde $\text{En}_{38}\text{Fs}_{20}\text{Wo}_{42}$ hasta $\text{En}_{40}\text{Fs}_{11}\text{Wo}_{49}$ (Fig. 2 D). Como puede observarse en la figura son piroxenos más cálcicos y magnésicos (y también más ricos en Al, Ti y Na) con respecto a los de los gabros tipo Toledo; también son piroxenos más cálcicos que los que presentan los gabros de La Bastida.

Plagioclasas

Las plagioclasas de todos estos grupos gabroideos se caracteriza por presentar zonados poco o nada marcados, lo que es indicativo, una vez más, del efectivo reequilibrio subsólidos que han sufrido estas rocas. En los gabros de tipo La Bastida varía su composición desde términos An_{85} en los tipos más básicos hasta An_{50} en los más diferenciados. En los gabros de tipo Toledo las plagioclasas tienen composiciones de An_{47} con contenidos bajos en molécula de Or alrededor de 1.5 y presentan en ocasiones, deformación en las maclas polisintéticas. Por último las de los gabros tipo Villanueva se presentan frecuentemente sericitizadas y en ocasiones sustituidas por parches de clorita y/o esfena. Varían desde términos An_{80} hasta composiciones de An_{50} .

GEOQUIMICA

Resultados

En la Tabla 1 se encuentran recogidos una selección de análisis representativos de elementos mayores y trazas de los tres grupos gabroideos estudiados. Datos adicionales pueden encontrarse en BARBERO y VILLASECA (1989) y BARBERO *et al.* (1990).

Los gabros de La Bastida definen una secuencia calcoalcalina ligeramente más rica en FeO , y TiO_2 con respecto a las series calcoalcalinas más comunes, que evoluciona desde tipos olivínicos, con un alto conteni-

TABLA 1

	1	2	3	4	5	6	7
Nº	89084	87070	89080	90541	87198	89104	89337
SiO ₂	41.57	47.25	50.72	47.34	51.81	47.87	50.64
TiO ₂	0.60	1.02	1.58	2.01	1.52	0.79	1.46
Al ₂ O ₃	8.66	12.92	18.03	20.27	18.76	17.21	18.48
Fe ₂ O ₃	ND	2.60	ND	1.80	1.20	7.14	2.02
FeO	14.00	9.17	9.59	7.40	6.72	ND	6.16
MgO	23.64	15.85	5.80	4.67	4.95	6.83	5.09
MnO	0.16	0.17	0.14	0.12	0.10	0.08	0.13
CaO	4.29	6.98	8.23	8.31	7.27	14.88	10.87
Na ₂ O	0.97	2.08	2.79	3.49	3.11	1.61	1.97
K ₂ O	0.59	0.87	0.77	2.83	2.82	1.36	1.34
P ₂ O ₅	0.14	0.13	0.34	0.59	0.32	0.15	0.16
H ₂ O	5.06	1.08	0.76	1.12	1.36	1.82	1.35
Total	99.62	100.1	99.71	99.95	99.94	99.74	99.67
Ba	90	320	382	1688	1670	517	200
Cr	934	364	188	39	168	167	240
Nb	5	4	13	9	25	5	4
Ni	758	78	25	7	19	90	16
Rb	19	105	22	69	63	49	59
Sr	201	403	445	1056	606	413	293
Th	5	10	5	4	5	7	8
Y	13	20	31	39	35	22	41
Zr	63	136	163	210	141	102	98

TABLA 1. Análisis químicos de elementos mayores y trazas de las rocas gabroideas del Complejo de Toledo. 1 y 2. Gabros olivínicos de La Bastida; 3. Gabro piroxénico de La Bastida; 4 y 5. Gabros anfibólicos de Toledo; 6 y 7. Gabros de Villanueva.

do en MgO y otros elementos asociados como Cr y Ni (Figs. 3 y 4), hasta rocas más diferenciadas sin olivino, existiendo un vacío composicional y algunos cambios en la pendiente de la pauta evolutiva al pasar de los tipos olivínicos hacia los más diferenciados. Un mecanismo de cristalización fraccionada con acumulación de olivino en los términos más básicos (MgO entre 15-23%) puede explicar estas características geoquímicas (BARBERO y VILLASECA op. cit.).

El segundo grupo de rocas básicas estudiado, que corresponde a los gabros de tipo Toledo, presenta unas características geoquímicas muy diferentes con respecto a los otros tipos gabroideos del sector. Se trata de rocas con un rango de variación en SiO₂ no muy amplio (47-53%) y que varían desde tipos ligeramente subsaturados en sílice (Ne normativa entre 5.5 y 0.7) hasta tipos más ácidos, cuarzogabroideos, saturados. Esta-

can los altos contenidos en TiO₂, Al₂O₃, P₂O₅ y sobre todo en álcalis (Fig. 3), lo que hace que en los diagramas SiO₂-álcalis y SiO₂-K₂O se proyecten claramente en los campos alcalino y shoshonítico respectivamente. En los diagramas de Harker con elementos mayores se observan pautas de pendiente negativa para todos los elementos. En cuanto a contenidos en elementos trazas presentan elevados valores de Ba, Sr y en menor grado Rb y Zr, todos ellos ligeros o fuertes descensos con el grado de diferenciación (Fig. 4). Contrasta con estas pautas el anómalo aumento que se produce en Cr desde los términos más básicos a los más ácidos, el cual podría estar relacionado con los mayores contenidos de clinopiroxeno que se observan en los tipos más diferenciados. Son también características de estas rocas unas bajas relaciones Zr/P₂O₅ que junto con los ya comentados altos valores de TiO₂ ha-

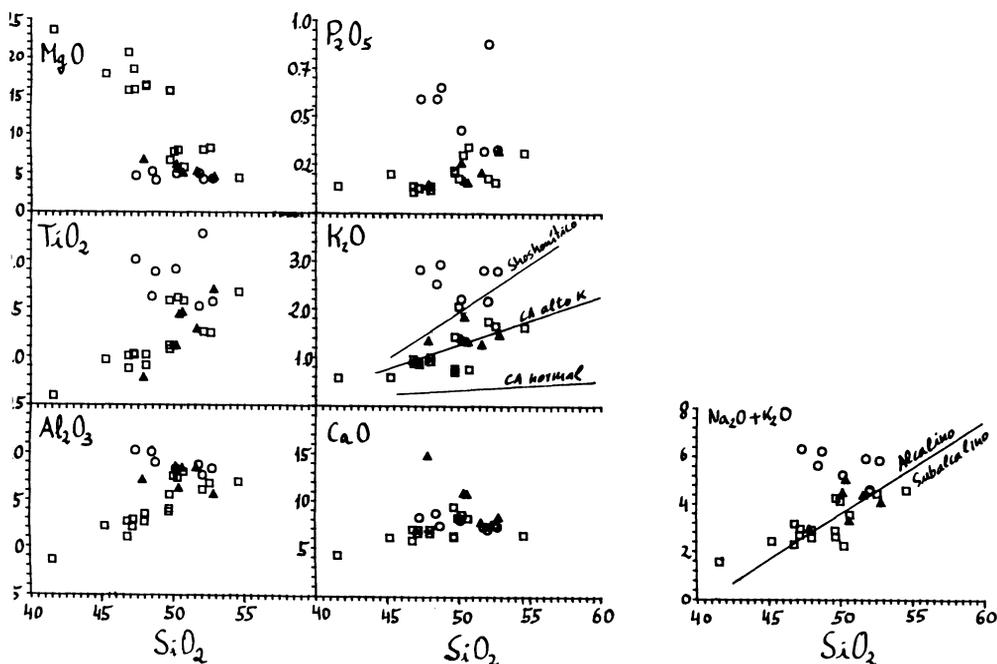


Fig. 3. Diagramas de variación de algunos elementos mayores con respecto a SiO₂. Mismos símbolos que en figura 2. Campos calcoalcalino normal, calcoalcalino alto K y shoshonítico en el diagrama SiO₂-K₂O según RICKWOOD (1989). Límite alcalino-subalcalino en el diagrama SiO₂-álcalis según IRVINE y BARAGAR (1971).

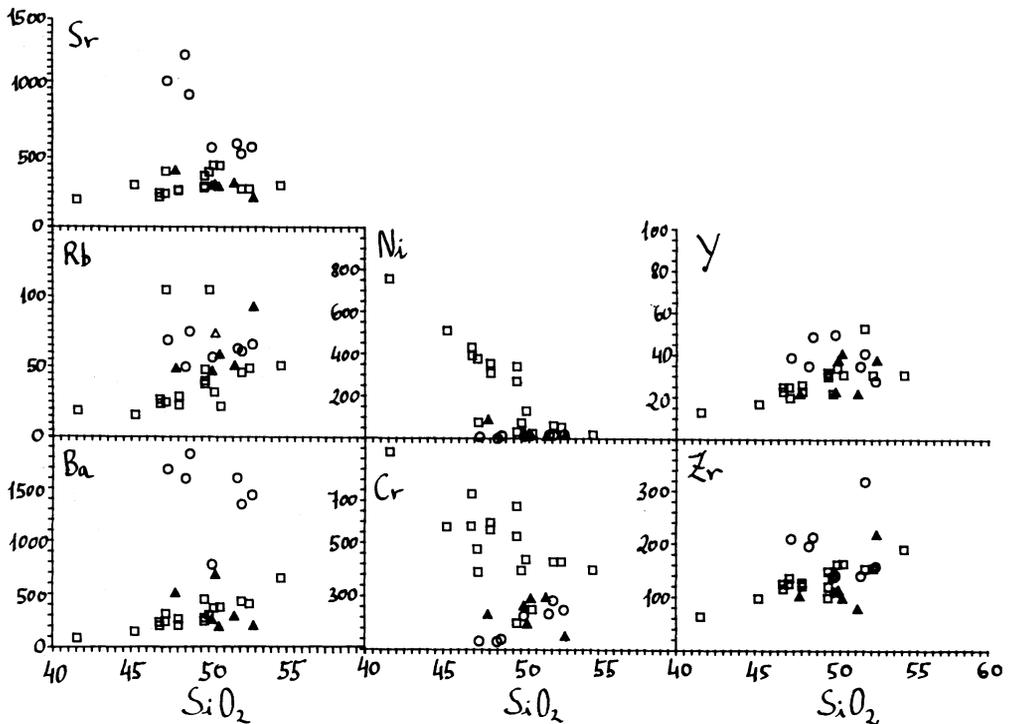


Fig. 4. Diagramas de variación con respecto a SiO_2 de algunos elementos trazas significativos. Mismos símbolos que en figura 2.

cen que en el diagrama TiO_2-Zr/P_2O_5 de WINCHESTER y FLOYD (1976) estas rocas se sigan proyectando en el campo alcalino. En cuanto a contenidos en tierras raras presentan espectros con valores altos, un moderado grado de fraccionamiento y una ligera anomalía negativa de Eu, siendo las rocas más ricas en tierras raras ligeras de todos los tipos gabroideos del sector. Este grupo básico presenta muchas de las características de la asociación shoshonítica establecidas por MORRISON (1980) como son: 1) rocas cercanas a la saturación en sílice; 2) no presentan enriquecimiento en Fe en un diagrama AFM; 3) tienen contenidos en $Na_2O + K_2O > 5\%$; 4) sus relaciones K_2O/Na_2O son mayores de 0.6 para contenidos en sílice en torno al 50%; 5) están enriquecidas en P, Rb, Sr, Ba y TRL; 6) tienen altos valores de Al_2O_3 . Por lo tanto, se les asigna una afini-

dad shoshonítica, aunque algunas de las características dadas por MORRISON (op. cit) para esta asociación, como son los bajos contenidos en $TiO_2 (< 0.6\%)$ o las pendientes fuertemente positivas en el diagrama SiO_2-K_2O no las encontramos en el grupo gabroideo de Toledo. No obstante, algunas series plutónicas de afinidad shoshonítica (tipos subalcalinos monzoníticos), tampoco presentan pendientes en este último diagrama (ORSINI 1980; PAGEL y LETERRIER 1980).

Por último, el grupo de gabros de Villanueva presenta características de una serie calcoalcalina normal, sin enriquecimiento en Fe en el diagrama AFM, parecida, en parte, a los tipos más evolucionados de los gabros de La Bastida. Presenta contenidos altos en CaO con una pauta de fuerte pendiente negativa hacia los términos más dife-

renciados, que está en consonancia con la amplia variación en el contenido en An de las plagioclasas ($An_{90} > An_{50}$). También pautas lineales negativas Al, Fe y Mg pero no tan acusada como en Ca. Los contenidos en Ti, P y álcalis aumentan con la diferenciación. En cuanto a los elementos trazas, Sr, Ba, Ni, Cr y quizá Zr presentan comportamiento de elementos compatibles, mientras que Rb y quizá Y muestran un comportamiento contrario. Los espectros de tierras raras nos indican ligeras anomalías tanto positivas como negativas de Eu, y un diferente grado de fraccionamiento con respecto a los de los otros dos grupos básicos estudiados (Fig. 5). aunque en algunos diagramas este grupo se solapa con los términos más diferenciados del grupo de La Bastida, sus bajos contenidos en Mg, Cr y Ni, y las diferencias que existen en cuanto a contenidos de Rb y tierras raras definen dos grupos distintos de rocas gabroideas de afinidad calcoalcalina.

Discusión

Uno de los aspectos que se pone de manifiesto al estudiar el magmatismo sintectónico básico-ácido del sector de Toledo, es que desde un punto de vista petrológico y geoquímico ninguno de los tres grupos básicos del Complejo parece evolucionar hacia

tipos graníticos diferenciados (serie de Argés), con los que dos de estos grupos básicos (tipos La Bastida y Toledo) están espacial y temporalmente asociados. La presencia de contactos netos entre gabros y granitos, sin variedades intermedias, es una premisa que apoya esta idea. Con respecto a los gabros de tipo La Bastida o tipo Toledo como posible magma parental susceptible de evolucionar hacia tipos graníticos, la ausencia de pautas claras de evolución geoquímica entre unos tipos y otros en diagramas de elementos trazas de tipo log-log, así como la diferencia que existe en contenidos de TR, parece rechazar la existencia de una conexión genética entre los tipos básicos y ácidos (BARBERO *et al.*, 1990). Además, los valores de la relación isotópica inicial de Sr para las rocas tonalíticas de tipo Argés (≈ 0.707) parece demasiado elevado para poder ser líquidos fraccionarios a partir de un magma gabroideo, en parte de derivación mantélica como es el caso de los gabros de La Bastida (BARBERO *et al.* op. cit). Los gabros de tipo Villanueva, por otra parte, no están relacionados con ningún grupo de granitoides de afinidad calcoalcalina del sector, ni tampoco se han encontrado argumentos petrológicos y geoquímicos que permitan establecer una conexión entre estos grupos litológicos.

En cuanto al posible origen de estos grupos gabroideos se puede postular una derivación claramente mantélica sólo para los gabros de La Bastida, como ya ponían de manifiesto BARBERO y VILASECA (1989) en base a la composición de las fases ferromagnesianas que presentan relaciones molares $MgO/(MgO + FeO)$ suficientemente altas como para poder proceder de fusión de peridotitas mantélicas, y de los elevados contenidos en Cr y Ni. El grupo de gabros de Toledo parece, por sus características geoquímicas, poder proceder de un magma basáltico alcalino (altos contenidos en Ti y álcalis y elementos trazas asociados), posiblemente contaminado por material crustal (altos contenidos en Al y K y elementos tra-

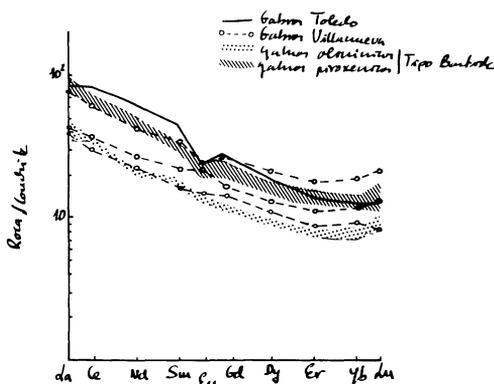


Fig. 5. Contenidos de tierras raras normalizados al condrito de MASUDA *et al.* (1973) de los tres tipos gabroideos.

zas asociados). Igualmente, los gabros de tipo Villanueva tampoco presentan caracteres geoquímicos de magma primario, sino que más bien parecen proceder de fraccionamiento de algún magma más primitivo.

Finalmente, se puede establecer una correlación de estos tres grupos gabroideos del Complejo de Toledo con los principales tipos de precursores básicos descritos en el Hercínico Ibérico. El grupo gabroideo de La Bastida presenta caracteres geoquímicos similares a los de los gabros cortlandíticos de Gredos (FRANCO y SANCHEZ 1987; BEA *et al.* 1987) (Fig. 6) y del Montnegre (ENRIQUE y SANCHEZ 1989). No obstante hay que hacer notar que, en primer lugar, en el citado grupo básico de Toledo no se han encontrado cumulos ultramáficos. De todas formas, los tipos más máficos de La Bastida, con $M \approx 75\%$ (términos melanoíticos) son geoquímicamente similares a los cumulos ultramáficos de los citados sectores, si bien estos últimos son más ricos en sílice. Por otra parte se observa que, los gabros cortlandíticos de Gredos y Montnegre tienden a ocupar el vacío composicional que existe dentro de la serie de La Bastida, quedando de esta forma mejor definido el campo de variabilidad geoquímica de este tipo de magmatismo. La principal diferencia que puede establecerse entre los gabros tipo La Bastida y los términos cortlandíticos hercínicos estriba en el hecho de que aquellos presentan paragénesis ígneas anhidras, mientras que en estas otras áreas hay anfíbol como fase solidus.

Los gabros de afinidad shoshonítica de tipo Toledo podrían equivaler por sus características geoquímicas a algún tipo de roca vaugnerítica como los que aparecen en el sector de Guimares (Portugal) (MONTENEGRO *et al.* 1985) (Fig. 6) o como los de la región de Muxia-Finisterre (GIL IBARGU-CHI, 1982). Las principales diferencias estriban en una composición más aluminica y algo menos rica en álcalis, sobre todo K_2O , de los gabros de tipo Toledo con respecto a estas vaugneritas hercínicas. Tipos parecidos

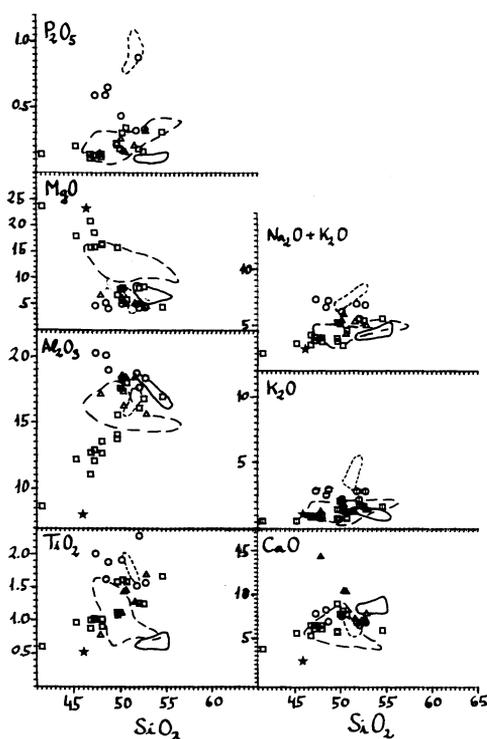


Fig. 6. Comparación de las composiciones en algunos elementos mayores de las rocas gabroideas del Complejo de Toledo con otros tipos básicos del Hercínico Centro-ibérico. Mismos símbolos que en figura 2; campo en línea discontinua corta: tipos vaugneríticos portugueses; campo en línea discontinua larga: gabros cortlandíticos de Gredos; estrella: acumulado ultramáfico de Gredos; campo en línea continua: gabros de El Tiemblo. Ver texto para referencias y mayor explicación.

aparecen también en el Hercínico francés, en las regiones de Ploumanac'h y Ballons, habiéndoseles asignado también una afinidad de tipo shoshonítico o subcalcalino potásico (BARRIERE 1976; PAGEL y LETTE-RIER 1980).

Por último los gabros de tipo Villanueva presentan características geoquímicas muy semejantes a las de gabros calcoalcalinos de la Sierra de Guadarrama (gabros de El

Tiemblo, CASILLAS 1989) (Fig. 6), si bien estos últimos parecen ser algo más pobres en álcalis, TiO_2 y P_2O_5 .

En resumen, los tres grupos gabroideos que afloran en este Complejo de Toledo representan, de forma general, a la mayor parte del magmatismo básico de la zona central del orógeno Hercínico Ibérico, completando la tipología y las secuencias de variación encontradas en otros sectores de la cadena, y presentándose pues como una zona de interés para el estudio de este tipo de magmatismo básico intrahercínico.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Carlos Villaseca los comentarios y revisión crítica que han mejorado el contenido del manuscrito. Los análisis de fases minerales han sido realizados en la Universidad de Oviedo mediante microsonda electrónica amablemente facilitada por L. G. CORRETGE. Este trabajo se incluye dentro de proyecto PB88-0117 sobre «Participación mantélica y cortical en el origen y diversificación de los granitoides hercínicos de la región Central Española» financiado por la C. I. C. Y. T.

BIBLIOGRAFIA

- ANDONAEGUI, P. (1990). Geoquímica y geocronología de los granitoides del sur de Toledo. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 365 pp.
- BARBERO, L. (1991). Coronas de flogopita-pargasita en torno a ilmenita en los metagabros de La Bastida (Complejo Plutono-migmatítico de Toledo). *Geogaceta*, 9 5-7.
- BARBERO, L. y VILLASECA, C. (1988). Gabros coroníticos en el macizo cristalino de Toledo. *Geogaceta*, 5, 66-69.
- BARBERO, L. y VILLASECA, C. (1989). Caracterización geoquímica de las rocas gabroideas del área de Toledo. III Congreso de Geoquímica de España, 1, 97-107.
- BARBERO, L. y VILLASECA, C. (en prensa). The Layos granite, hercynian complex of Toledo (Spain): an example of parautochthonous restite-rich granite in a granulitic area. *Trans. R. Soc. Edinburgh*.
- BARBERO, L., VILLASECA, C. y ANDONAEGUI, P. (1990). On the origin of the gabbro-tonalite-monzogranite association from Toledo area (Hercynian Iberian Belt). *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 70, 209-221.
- BARRIERE, M. (1977). Le Complexe de Ploumanac'h (Massif Armoricaín). *Essai sur le mise en place et l'évolution pétrologique d'une association subalcaline tardiordogénique*. Thèse d'Etat Brest, 291 pp.
- BEA, F., SANCHEZ, J. G. y SERRANO, M. (1987). Una compilación geoquímica (elementos mayores) de los granitoides del Macizo Hespérico. En *Geología de los granitoides y rocas asociadas del macizo Hespérico*, 87-194, ed. Rueda.
- CASILLAS, R. (1989). Las asociaciones plutónicas tardihercínicas del sector occidental de la Sierra de Guadarrama Sistema Central Español, (Las Navas del Marqués-San Martín de Valdeiglesias). *Petrología, geoquímica, génesis y evolución*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 316 pp.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. & ZUSSMAN, J. (1970). *An introduction to the rock forming minerals*, Longman, 528 pp.
- ENRIQUE, P. y GALAN, G. (1989). Las rocas ultramáficas del Macizo del Montnegre (Barcelona, NE de España): Características petrográficas, mineralógicas y geoquímicas. *Bol. Geol. Min.*, 100-5, 897-916.
- FRANCO, P. y SANCHEZ, M. T. (1987). Características petrológicas del área del Mirón (N. del Valle del Corneja, Prov. de Avila). En *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico*, 293-313, ed. Rueda.
- GIL IBARGUCHI, J. L. (1982). *Metamorfismo y plutonismo en la región de Muxía-Finisterre (NW de España)*. *Corpus Geologicum Gallaciae*, segunda serie I, 254 pp.
- IRVINE, T. N. & BARAGAR, W. R. A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8, 523-548.
- JULIVERT, M., FONTBOTE, J. M., RIBEIRO, A. & CONDE, L. E. (1974). Memoria explicativa del mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares. Escala 1: 1.000.000, I. G. M. E. 113 pp.
- LEAKE, B. E. (1978). *Nomenclature of amphiboles*. *Can. Mineral.*, 16, 501-520.

- MASUDA, A., NAKAMURA, N. & TANAKA, T. (1973). Fine structures of mutual normalized rare earth patterns of chondrites. *Geochim Cosmochim Acta* 37, 239-248.
- MONTENEGRO DE ANDRADE, M., SODRE BORGES, F. y NORONHA, F. (1985). IX Reuniao de Geologia do oeste peninsular. Livro-guia das excursões. Museu e laboratorio mineralogico e geologico da Faculdade de Ciencias de Universidade do Porto.
- MORIMOTO, N., FABRIES, J., FERGUSON, A. K., GINZBURG, I. V., ROSS, M., SEIFERT, F. A. ZUSSMAN, K., AOKI, K. & GOTTARDI, G. (1989). Nomenclature of pyroxenes. *Can. Mineral*, 27, 143-156.
- MORRISON, G. W. (1980). Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. *Lithos*, 13, 97-108.
- NACHIT, H., RAZAFIMAHEFA, N., STUSSI, J. M., CARRON, J. P. (1985). Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 301, 11: 813-818.
- NAVIDAD, M. (1973). Petrogénesis de las rocas básicas de Villanueva de Bogas (Toledo). *Est. Geol.*, XXIX, 543-548.
- ORSINI, J. B. (1980). La batholite corso-sarde: un exemple de batholite hercynien (structure, composition, organisation d'ensemble). Sa place dans le chaîne varisque de l'Europe moyenne. Thèse Aix-Marseille, 543 pp.
- PAGEL, M. & LETTERIER, J. (1980). The subalkaline potassic magmatism of the Ballons massif (Southern Vosges, France): shoshonitic affinity. *Lithos*, 13, 1-10.
- RICKWOOD, P. C. (1989). Boundary lines within petrological diagrams which use major and minor elements. *Lithos*, 28, 247-266.
- STRECKEISEN, A. (1973). To each plutonic rock its proper name. *Earth Sci. Review*, 12, 1-13.
- WINCHESTER, J. A. & FLOYD, P. A. (1976). Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. *Earth. Planet. Sci. Let.* 28, 459-469.

Recibido, 10-I-92
Aceptado, 25-VIII-92