

Características petrológicas y geoquímicas de las principales variedades de granitos ornamentales del macizo de "O Porriño" (SO de Galicia)

F. Bellido⁽¹⁾, V. Monteserín⁽²⁾, P. Gumiel⁽³⁾, A. Ferrero^(2,4), J.M. Baltuille⁽²⁾ y M.T. López⁽²⁾

(1) Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Área de Estudios Geológicos.
C/ Calera 1, 28760 Tres Cantos (Madrid)
E-mail: f.bellido@igme.es

(2) Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Área de Rocas y Minerales Industriales.
C/ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid
E-mail: v.monteserin@igme.es

(3) Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Área de Metalogenia y Geoquímica.
C/ Ríos Rosas 23, 28003 Madrid
E-mail: p.gumiel@igme.es

(4) Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Oficina de Proyectos de Santiago.
C/ Cardenal Payá, 18-1º, 15703 Santiago de Compostela (La Coruña)
E-mail: santiago@igme.es

RESUMEN

En el marco de las investigaciones llevadas a cabo por el IGME en la concesión minera "Benedicta", se ha realizado un estudio petrológico y geoquímico de los granitoides del macizo de "O Porriño" que afloran en la misma, con el fin de determinar las características de las variedades de granitoides explotados como rocas ornamentales. Las observaciones realizadas han permitido determinar que los granitos de la facies "Rosa Porriño" se han emplazado posteriormente a los de la facies "Gris Mondariz", que pueden encontrarse como enclaves dentro de los primeros. También se ha puesto de manifiesto la existencia de una subfacies porfídica de los granitos de tipo "Rosa Porriño" en la que el feldespato potásico tiende a formar megacristales con carácter generalizado. Los granitoides estudiados tienen un quimismo ligeramente meta-aluminoso y en los diagramas de discriminación tectónica se proyectan en el campo de los granitoides intraplaca y en el límite con los tipos de arco volcánico y sin-colisionales. Este carácter transicional puede ser indicativo de que se han generado en un período muy tardío de la evolución del Orógeno Varisco en condiciones de cambio de régimen orogénico, emplazándose en niveles corticales que se encuentran en proceso de enfriamiento.

Por otra parte, el plutón de "O Porriño" en su conjunto, pertenece al grupo de las granodioritas calcoalcalinas tardías o a los granitoides postcinemáticos de emplazamiento epizonal, dentro del ámbito del plutonismo granítico varisco de Galicia. Sus características petrológicas y geoquímicas son similares a las del grupo de los granitoides PI definidos por Villaseca *et al.* (1998) y Villaseca y Herreros (2000) en el sector oriental del Sistema Central Español (Guadarrama-Gredos), siendo transicionales entre las de los granitos de tipo I y S.

Las características estéticas y estructurales de los granitos del macizo de "O Porriño" son muy favorables para su explotación como rocas ornamentales, ya que al ser posteriores a las principales deformaciones variscas, al pico térmico del metamorfismo regional y a los procesos de migmatización, presentan en general una gran homogeneidad y escasez de enclaves y de estructuras deformativas.

Palabras clave: Geoquímica, granitos ornamentales, granitos postcinemáticos, macizo de "O Porriño", Petrología

Petrological and geochemical characteristics of the main ornamental granite varieties of the "O Porriño" massif (SW Galicia)

ABSTRACT

In the context of the works carried out by the IGME, a petrologic and geochemical study of the granitoids of the "O Porriño" Massif which crops out in the "Benedicta" mining concession zone, has been done with the purpose of verify the characteristics of the granites exploited as ornamental rocks. These observations allowed establishing that the "Rosa Porriño" granite facies have intruded later than the "Gris Mondariz" granite, which can be found as inclusions in the first ones. Also the presence of a porphyritic variety of the "Rosa Porriño" granites has been detected; these granitic rocks are characterized by a general tendency of the potassium feldspar to form mega-crystals. On the other hand, the O Porriño pluton belongs to the groups of the so called 'Late Calc-Alkaline Granodiorites' or to the 'Post-Kynematic Epizonal Granites' in the context of the Variscan Plutonism of Galicia. The petrological and geochemical features of these granitic groups

are very similar to those of the 'Pl Granites' defined by Villaseca et al. (1998) and Villaseca and Herreros (2000) in the eastern zone of the Spanish Central System (Guadarrama and Gredos Mountains). These granites display some transitional characteristics among those of the I and S granite types. The granitoid rocks studied in the "Benedicta" mining concession zone has a mildly meta-aluminous composition and they are plotted in the field of the intra-plate granitic rocks and in the limit between the fields of the volcanic-arc and syn-collision granitic rocks. This fact is in agreement with the generation of these granites in a transitional orogenic regime, and pluton emplacement on a cooling upper crust level. The esthetic and structural features of the granites of the "O Porriño" massif are very appropriate for their exploitation as ornamental rocks, because of their intrusion after the main deformative phases, the metamorphic thermal and regional metamorphic peaks, and the development of the anatexis processes, generally determines their homogeneity, and the lack of tectonic foliations and inclusions.

Key words: Geochemistry, O Porriño massif, ornamental stones, petrology, post-kinematic granites

Introducción

La producción mundial de piedra natural en el año 2003 alcanzó los 81.5 millones de toneladas, de las que 31 millones de toneladas (38% del total) corresponden a granitos ornamentales.

España ocupa en la actualidad el quinto puesto mundial en producción de piedra natural, con un total de 7,83 millones de toneladas, de las que el 18% corresponde a granito, material en el que ocupa el cuarto puesto mundial en cuanto al volumen de exportación. El sector del granito, ha experimentado en España un gran crecimiento en los últimos 20 años, con un incremento del 234,28% en la primera década y del 18,37% en la segunda.

Actualmente, existen en España 104 empresas extractoras de granito que dan empleo a unos 1.262 trabajadores y generan otros 4.500 puestos de trabajo en las empresas transformadoras, siendo Galicia la zona productora más importante (70% del granito piedra natural), con 1.800.000 toneladas anuales.

En el macizo de "O Porriño", las variedades principales de granitos explotadas comercialmente en la actualidad, corresponden a una facies con textura equigranular a inequigranular, grano grueso y color rosado, denominada "Rosa Porriño" y a otra facies porfídica con megacrístales de feldespato potásico de color rosado y matriz grisácea de grano medio-grueso, denominada "Gris Mondariz". Aunque con menor importancia comercial, se encuentran en el macizo otras facies que corresponden a variedades de coloración rosa pálida o blanca, denominadas "Granito Villafría" y "Blanco Porriño" y al granito "Rosa Dante", que puede considerarse como una variante más porfídica y homogénea de la facies "Gris Mondariz". La facies "Gris Mondariz" presenta variaciones texturales que se manifiestan en una mayor o menor intensidad de la coloración rosácea del feldespato potásico y en cambios en la abundancia de megacrístales y en el tamaño de grano de la matriz.

En cuanto a la producción de granito Rosa Porriño en el año 2003 fue de 150.000 m³ de bloques, 165.000 m³ de perpiño y 1.600.000 toneladas de áridos.

La facies "Rosa Porriño" y sus variedades, presentan una gran homogeneidad y una magnífica calidad tecnológica, admitiendo todo tipo de acabados y adquiriendo un excelente pulido.

La facies "Gris Mondariz" es texturalmente más heterogénea, pero sus características tecnológicas son también de gran calidad, y se comercializa también con todo tipo de acabados, incluido el pulido.

Ambos tipos de granito se comercializan tanto para uso en interiores como en exteriores.

Las explotaciones del granito "Rosa Porriño" se concentran en la zona NO del macizo, situándose principalmente en el municipio de "O Porriño", en un área de fuerte desarrollo industrial, y sólo existen algunas en los municipios de Mos y Pontearreas. De las 46 canteras catalogadas de la facies "Rosa Porriño" y las 19 de la facies "Gris Mondariz", las 39 canteras de granito "Rosa Porriño" incluidas en la concesión "Benedicta" (Nº 1544), representan una de las zonas de explotación de granito ornamental más importantes del mundo. La comercialización de este granito se extiende por todo el mercado nacional y por una gran cantidad de países como Italia, Portugal, EE. UU., China y Arabia Saudí.

El objetivo principal de este trabajo consiste en realizar una caracterización petrológica y geoquímica de las principales facies graníticas ornamentales aflorantes en las inmediaciones de "O Porriño", dedicando especial atención al estudio de las relaciones entre los aspectos petrológicos y geoquímicos de las mismas y sus características ornamentales. Así mismo se ha procedido a situar estas facies dentro del esquema evolutivo propuesto para el macizo de "O Porriño"

Encuadre geológico del macizo de "O Porriño"

El macizo de "O Porriño" es un plutón varisco postci-

nemático localizado en la provincia de Pontevedra y que se prolonga en el norte de Portugal. Geológicamente se ubica en el sector NO del Macizo Ibérico Varisco (fig. 1), formado por la colisión entre Gondwana y Laurentia-Báltica en el Devónico Medio-Carbonífero Superior. El macizo de "O Porriño" está emplazado en la Zona de Galicia - Tras-os-Montes (Farias *et al.*, 1987), representada en este sector por los materiales esquistosos y gneísicos de la Unidad Malpica-Tuy (Ortega Gironés y Gil Iburguchi, 1983).

El afloramiento del macizo de "O Porriño" en la zona española tiene forma semielíptica, con un eje N-S de unos 15 Km de longitud y un eje E-O de unos 18 Km. Presenta una expansión en la zona oriental y al E de la misma forma una apófisis elíptica de dirección E-O y 3 Km de longitud. El macizo tiene contactos intrusivos y discordantes con los granitos de dos micas y los esquistos y paragneises plagioclásico-biotíticos encajantes, sobre los que produjo un metamorfismo de contacto. También es discordante respecto a las estructuras regionales variscas representadas por una esquistosidad de fase 2 y pliegues de fase 3 en los metasedimentos y una foliación en los granitos de dos micas.

Los metasedimentos y gneises están afectados por un metamorfismo regional de baja presión en la zona de la sillimanita. Sin embargo, la intrusión del macizo granítico fué claramente posterior a la deformación, al pico térmico metamórfico y a la migmatización regional, por lo que se clasifica como una intrusión postcinemática de carácter epizonal. El límite meridional del macizo de "O Porriño" en la zona española está definido por los sedimentos aluviales cuaternarios del río Miño.

El estudio de la fracturación que afecta a los granitoides en el área de explotación considerada en este trabajo (Gumiel *et al.*, 2005 in litt), pone de manifiesto que la orientación predominante de las fallas corresponde a dos familias conjugadas de dirección NNE-SSO y NNO-SSE, y otros sistemas menos importantes de direcciones NE-SO, NO-SE y E-O. El sistema de fracturas es compatible con una deformación de tipo direccional-normal en la que la compresión máxima subhorizontal y la extensión máxima subhorizontal son de direcciones N-S y E-O, respectivamente. Es probable que buena parte de la fracturación del macizo esté relacionada con el sistema de esfuerzos asociado a la apertura del Océano Atlántico.

Algunos de los sistemas de fracturación que afectan al macizo granítico de "O Porriño", están asociados con procesos de episienitización. A la escala de afloramiento, estos procesos se manifiestan en el desarrollo en las zonas de fractura, de bandas en las

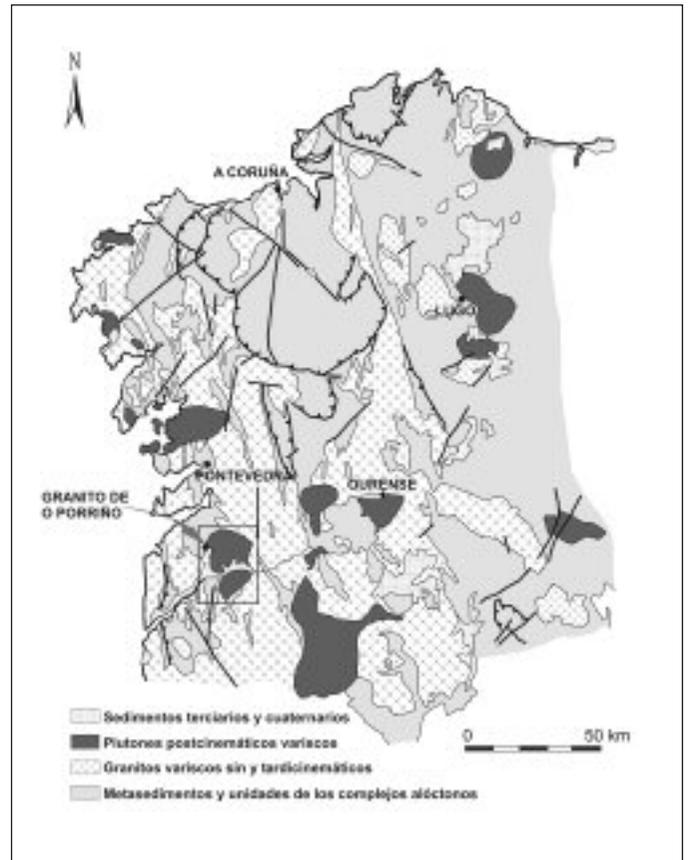


Fig. 1. Mapa de situación del macizo de "O Porriño" en el NO del Macizo Varisco Ibérico

Fig. 1. Location map of the O Porriño massif in the NW Iberian Variscan Massif

que los granitos adquieren un intenso color rosado. Estas bandas suelen presentar potencias que varían entre algunos centímetros y algo más de un metro. Las episienitizaciones están originadas por la circulación de fluidos hidrotermales a favor de las fracturas, que producen disolución del cuarzo, degradación de la biotita y una albitización de variable intensidad, pudiendo llegar a desarrollarse una porosidad irregular debido a la corrosión de los componentes minerales. Una parte del cuarzo removilizado puede precipitar en los filones y venas que rellenan las fracturas.

El principal sistema de fracturas con episienitización que se observa en la zona estudiada en la concesión "Benedicta" tiene una orientación general N-S, que varía entre N165°E y N5°E y altos buzamientos, entre 90° y 60° O. En menor proporción, se han observado también episienitizaciones en fracturas con direcciones comprendidas entre N50°E y N28°E, y con buzamientos subverticales y ocasionalmente en fracturas con dirección N65°E a N85°E y buzamientos de 85° a 60° al S.

Encuadre dentro de los tipos de granitoides de Galicia y del Macizo Ibérico

De acuerdo con sus características petrológicas, geoquímicas y de emplazamiento, el macizo granítico de "O Porriño", pertenecería a la serie de los granitoides calcoalcalinos y, dentro de ella, al grupo de las granodioritas tardías (Capdevila, 1969; Capdevila y Floor, 1970 y Capdevila *et al.*, 1973). Esta serie de granitoides se habría formado por procesos de anatexia cortical en los que los fundidos se mezclaron con una limitada proporción de magmas básicos de origen mantélico. Estos procesos de fusión y mezcla se habrían producido a mayor profundidad en la corteza que los relacionados con la génesis de los granitos de dos micas de la serie alcalina (granitos de dos micas peraluminicos) y sin una conexión directa con los procesos metamórficos regionales. Dentro del esquema de clasificación propuesto por Bellido *et al.* (1987) para los granitoides del norte de Galicia y NO de Asturias, este macizo pertenecería al grupo de los granitoides postcinemáticos de emplazamiento somero (epizonal) que incluye desde unidades gabraicas, dioríticas y cuarzdioríticas con biotita, anfíbol y piroxeno (Conjunto plutónico de Tapia-Salave), hasta unidades graníticas y leucograníticas con facies de dos micas muy evolucionadas (Macizos de Neira y el O Pindo).

Este grupo de granitoides se caracteriza, desde el punto de vista estructural, por haberse emplazado con posterioridad a las principales fases deformativas de la Orogenia Varisca e incluso a la etapa de desgarres tardíos (Iglesias y Choukrune, 1980; Villar *et al.*, 1992; Escuder *et al.*, 1994) que afectan a parte de los granitoides sincinemáticos y tardicinemáticos. Su emplazamiento es también posterior al pico metamórfico varisco en condiciones de baja presión y a los procesos de migmatización relacionados con el mismo.

El nivel de emplazamiento de las unidades plutónicas de este grupo es muy superficial, aunque pueden encontrarse como intrusiones en materiales metamórficos meso y catazonales. Su emplazamiento se produjo cuando los materiales encajantes habían alcanzado un nivel cortical superficial por procesos de extensión y erosión tardiorogénicos. Siempre que intruyen sobre materiales migmatizados presentan contactos netos y producen sobre ellos metamorfismo de contacto.

La intrusión de estas unidades plutónicas es de carácter permisivo y, en general, no produce ningún tipo de perturbación estructural apreciable en los materiales encajantes, con la excepción de algunos sistemas de fracturas aprovechados para la inyección

de diques o el desarrollo de sistemas hidrotermales asociados. En relación con los procesos de emplazamiento de estas unidades, es relativamente frecuente el desarrollo de estructuras zonadas, como en el caso de los macizos de "O Porriño", Lugo, "O Pindo", Caldas de Reis, Neira y Lovios-Xerez.

Los tipos de estructuras más comunes que se aprecian en estos granitoides, están relacionadas con el flujo magmático, y se manifiestan como fábricas magmáticas definidas por la orientación de megacrístales, micas y enclaves, y en la concentración de minerales máficos en bandas o lentejones. Estas estructuras magmáticas son el reflejo de la geometría del plutón, con las directrices de inyección del magma y con la formación de sistemas convectivos complejos dentro de la cámara magmática.

Texturalmente, los granitos postcinemáticos suelen tener un tamaño de grano medio a grueso, con variedades porfídicas o equigranulares, siendo frecuentes las zonas en las que el feldespato potásico presenta coloraciones crema o rosáceas, como en los macizos de "O Porriño", "O Pindo", Castroverde, Ourense y Traba, entre otros.

Con respecto a las inclusiones existentes en este tipo de granitoides, es característica la presencia de enclaves máficos microgranudos de grano fino y con secciones subredondeadas o elípticas, ricos en biotita y en ocasiones con anfíbol. Estos enclaves son interpretados como de naturaleza ígnea, y proceden de la mezcla en distinto grado de los magmas ácidos corticales con magmas básicos mantélicos y de la posterior disgregación en profundidad de los magmas híbridos resultantes. El tamaño de los enclaves varía desde centimétrico a hectométrico, pero los más comunes son de tamaño centimétrico y decimétrico. Tienen en general formas subesféricas o elipsoidales, siendo su abundancia muy variable, aunque suelen ser más frecuentes en los granitoides más básicos.

Los granitoides postcinemáticos suelen presentar unas características estéticas, estructurales y de homogeneidad muy apropiadas para su explotación como rocas ornamentales (coloración, escasez de enclaves y heterogeneidades, fábricas isótropas, posibilidad de extracción de grandes bloques), por lo que muchas de las explotaciones más importantes de Galicia y del resto de la Península Ibérica se localizan en unidades plutónicas de este grupo, como los macizos de "O Porriño", La Cabrera, Cadalso de Los Vidrios, Caldas de Reis, Ourense, Villar del Rey.

La edad del Macizo de "O Porriño", calculada por el método del Rb-Sr en cinco muestras de roca total es de 287,1 +/- 9,1 ma, con una relación ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i = 0,71268 +/- 0,00155 (García Garzón, 1983).

Caracterización petrológica de los granitoides

Desde el punto de vista petrológico, el macizo de "O Porriño" está compuesto por diversas facies graníticas: granitos de grano grueso a muy grueso inequigranulares o porfídicos (granito "Rosa Porriño" en variedades equigranular y porfídica); monzogranitos biotíticos porfídicos con matriz de grano grueso y megacrístales rosados (granito "Gris Mondariz") y monzogranitos y granodioritas con megacrístales dispersos y matriz de grano medio fino biotítico-anfibólica. Estos últimos constituyen megaenclaves o pequeñas apófisis y localmente presentan relaciones de mezcla y contactos que indican que estas rocas se encontraban en estado parcialmente fundido.

Los granitoides de facies "Rosa Porriño" constituyen una corona marginal incompleta en el borde O y NO de la zona española del macizo, que alcanza una anchura máxima de unos 4 Km al norte de la población de Porriño. Según Abril Hurtado *et al.* (1985), el contacto de esta facies con la principal del macizo es transicional. No obstante, las observaciones realizadas en el estudio geológico-minero de la explotación "Benedicta" (Baltuille *et al.*, 2004), ponen de manifiesto que este contacto es intrusivo y localmente de carácter tectónico ya que en algunas canteras en la facies "Rosa Porriño", se han encontrado enclaves de granitoides de la facies principal ("Gris Mondariz") de más de 2 m de diámetro (figs. 2A y 2B).

En el citado proyecto, se han diferenciado dos facies con contactos graduales dentro de los afloramientos cartografiados como granitos de facies "Rosa Porriño" en las hojas MAGNA de Tuy y Vigo (Pliengo Dones *et al.*, 1981; Rubio Navas *et al.*, 1981). Una de ellas corresponde a los granitos del tipo "Rosa Porriño" típicos, con textura inequigranular homogénea, de grano muy grueso y de color rosado más o menos intenso que se localiza en la parte más externa del macizo. La otra presenta un porfidismo más o menos acentuado, debido a que el feldespato potásico tiende a formar abundantes megacrístales subautomorfos variablemente contrastados respecto a la matriz de grano grueso a muy grueso (variedad "Rosa Porriño Porfídico").

La variedad inequigranular homogénea, (facies "Rosa Porriño") corresponde a granitos biotíticos que tienen un tamaño de grano grueso a muy grueso (4-15 mm) que en general son muy homogéneos a escala de afloramiento y bastante pobres en enclaves.

Estos granitos son muy ricos en feldespato potásico, que es mucho más abundante que la plagioclasa y forma cristales alotriomorfos o algo subautomorfos; estos cristales están mal individualizados y tienen color rosado más o menos intenso (fig. 2C).

Los cristales de plagioclasa tienen coloraciones blanquecinas, a veces con tinte verdoso tenue por epidotización y pueden tener hábitos alotriomorfos o algo subidiomorfos; sus tamaños oscilan en general entre 3 y 8 mm. El único mineral ferromagnésico es la biotita, cuyo contenido no suele superar el 8%.

En algunos casos, los cristales de feldespato potásico tienden de forma generalizada a formar individuos subautomorfos y mejor individualizados que en la facies "Rosa Porriño" típica. Estas rocas constituyen tipos transicionales a la subfacies porfídica.

La variedad de granitos tipo "Rosa Porriño Porfídico", se localiza en la parte interna de la zona cartografiada como granitos equigranulares en el mapa geológico a escala 1:50.000 n° 261 (Tuy), entre los granitos de tipo "Rosa Porriño" s.s. y los granitoides de tipo "Gris Mondariz". El contacto con los primeros es gradual, mientras que el contacto con los segundos se realiza a favor de un sistema de fracturación frágil.

A escala macroscópica se trata de unos granitoides con porfidismo muy denso, debido a la presencia de abundantes megacrístales subidiomorfos de feldespato potásico de color rosado que destacan en una matriz de grano grueso-muy grueso, relativamente pobre en biotita (fig. 2D). Los megacrístales tienen tamaños comprendidos entre 1 y 4 cm y algunos de ellos pueden tener bordes albíticos de color blanco y están variablemente contrastados con respecto a la matriz. La plagioclasa se encuentra en una proporción bastante subordinada a la del feldespato potásico, pero es algo más abundante que en los granitos "Rosa Porriño" y se presenta como cristales alotriomorfos o subidiomorfos de color blanco, con tamaños comprendidos entre 3 y 8 mm. El cuarzo forma en parte cristales equidimensionales que pueden alcanzar tamaños bastante grandes (hasta 12 mm).

En algunos casos se observan acumulaciones muy densas de megacrístales, en las que pueden encontrarse grumos microgranudos constituidos por plagioclasa, biotita y cuarzo cuyos tamaños son en general inferiores a 1.5 cm. Localmente se observan orientaciones de flujo de los megacrístales que se disponen de forma subparalela. También se encuentran en algunas zonas, bandas de concentración de biotita y "schlieren". No obstante, los afloramientos de estos granitos porfídicos son en general bastante homogéneos. En el área de afloramiento de este tipo de granitoides, y sobre todo en las zonas limítrofes entre esta facies porfídica y los granitos equigranulares, tipo "Rosa Porriño", se encuentran dominios con el porfidismo menos contrastado en los que los cristales de feldespato potásico son menos automorfos e individualizados.

Los enclaves son en general poco abundantes y su naturaleza, tamaño y morfología son bastante similares a las encontradas en los granitos de tipo "Rosa Porriño". Estos enclaves son fundamentalmente de tipo microgranudo y de composición granodiorítica-cuarzodiorítica.

Los monzogranitos y granodioritas porfídicas con matriz de grano grueso a medio grueso, facies "Gris Mondariz" (fig. 2E), son la facies más abundante y en zonas próximas a la población de O Porriño se encuentran afloramientos muy representativos en el entorno del Faro de Budiño, donde constituye grandes domos y berrocales con bolos de gran tamaño. El porfidismo de estos granitoides se debe a la presencia de megacrístales automorfos y subautomorfos de feldespato potásico de color rosado, que pueden tener inclusiones con disposición zonal y bordes blancos de plagioclasa ácida (textura Rapakivi); los tamaños más comunes de estos megacrístales fluctúan entre 1.5 y 3 cm y sus secciones tienen formas rectangulares gruesas. La matriz es de grano grueso a medio grueso y en ella destacan cristales y fenocristales equidimensionales y subredondeados de cuarzo cuyo tamaño puede ser superior a 1 cm. En esta facies son algo más abundantes los enclaves microgranudos (fig. 2F) y son más frecuentes las heterogeneidades y los bandeados de flujo magmático, definidos por la concentración preferente de biotita y de megacrístales de feldespato potásico que suelen tener disposiciones verticalizadas. En algunas de las bandas de acumulación de megacrístales se localizan concentraciones de pequeños enclaves microgranudos.

Según Barrera *et al.* (1989), en los bordes del plutón se observa una tendencia a la disminución del tamaño de los megacrístales de feldespato potásico y del tamaño de grano de la matriz, o la presencia local de variedades con fenocristales de cuarzo y de feldespato potásico bien contrastados frente a una matriz de grano fino-medio.

Las facies mesocráticas de grano medio con megacrístales que se localizan en la zona central del macizo y en la apófisis oriental, tienen una mayor variabilidad composicional que la facies común y sus afloramientos constituyen megaenclaves (de hasta 300 m de dimensión máxima). Sus relaciones de contacto con los granitoides ponen de manifiesto que estos materiales se encontraban en estado parcialmente fundido cuando fueron incluidos por aquellos. Estas rocas presentan una apreciable variación en el tamaño de grano y en la abundancia de megacrístales de feldespato potásico, encontrándose la mayor densidad de porfidismo en las rocas de la apófisis oriental de Pasqueixones, donde según Barrera *et al.*

(1989), la proporción de megacrístales puede llegar al 30%. En esta apófisis se encuentran también variedades algo más porfídicas y diferenciadas, con fenocristales de cuarzo de hasta 10 mm que parecen presentar relaciones transicionales con los granitoides de la facies común.

En todos estos granitoides se encuentran con relativa frecuencia enclaves microgranudos de composición tonalítica-cuarzodiorítica y de color gris oscuro (fig. 2F) aunque son más abundantes en los de la facies porfídica común ("Gris Mondariz"). Los tamaños más comunes de estos enclaves son centídecimétricos, aunque ocasionalmente pueden alcanzar tamaños superiores a 1 m. Suelen presentar secciones subredondeadas o elípticas y en algunos casos pueden tener fenocristales milimétricos de plagioclasa y algún megacrystal de feldespato potásico.

También son bastante frecuentes los grumos microgranudos, constituidos por pequeños cristales de cuarzo, plagioclasa y biotita y en los que puede encontrarse anfíbol; estos grumos tienen tamaños menores que 1.5 mm, formas irregulares y límites difusos.

Con carácter esporádico aparecen algunos microenclaves negruzcos de formas angulosas y fábricas foliadas, que corresponden a fragmentos de rocas metamórficas profundas de alto grado y ricas en biotita, y en algunos afloramientos, como en los de la cantera del Penedo dos Corvos, se pueden encontrar xenolitos de los metasedimentos y gneises encajantes, de tamaños métricos y formas angulosas.

En algunos casos se encuentran en los granitos de facies "Rosa Porriño" enclaves de monzogranitos biotíticos porfídicos que son bastante similares a los granitoides de la facies "Gris Mondariz" (figs. 2A y 2B). Estos enclaves suelen presentar secciones subredondeadas, bordes difusos y schlieren biotíticos marginales y pueden alcanzar tamaños superiores a los 2 m. Su presencia indica que los granitoides de tipo "Rosa Porriño" representan un episodio posterior al emplazamiento de los granitoides de facies "Gris Mondariz", dentro de la secuencia intrusiva del plutón.

La actividad filoniana asociada es escasa y en la mayoría de los casos está representada por diques de aplita de color rosado y potencias centimétricas a decimétricas que tienen contactos soldados y muy netos con los granitos. También se encuentran diques de aplita con núcleos aplo-pegmatíticos. Ocasionalmente se encuentra algún dique o banda de granitos biotíticos porfídicos con megacrístales de feldespato potásico de color rosa de hasta 3 cm, en una matriz con tamaño de grano fino-medio, con fenocristales de cuarzo y de color gris, a los que pueden asociarse

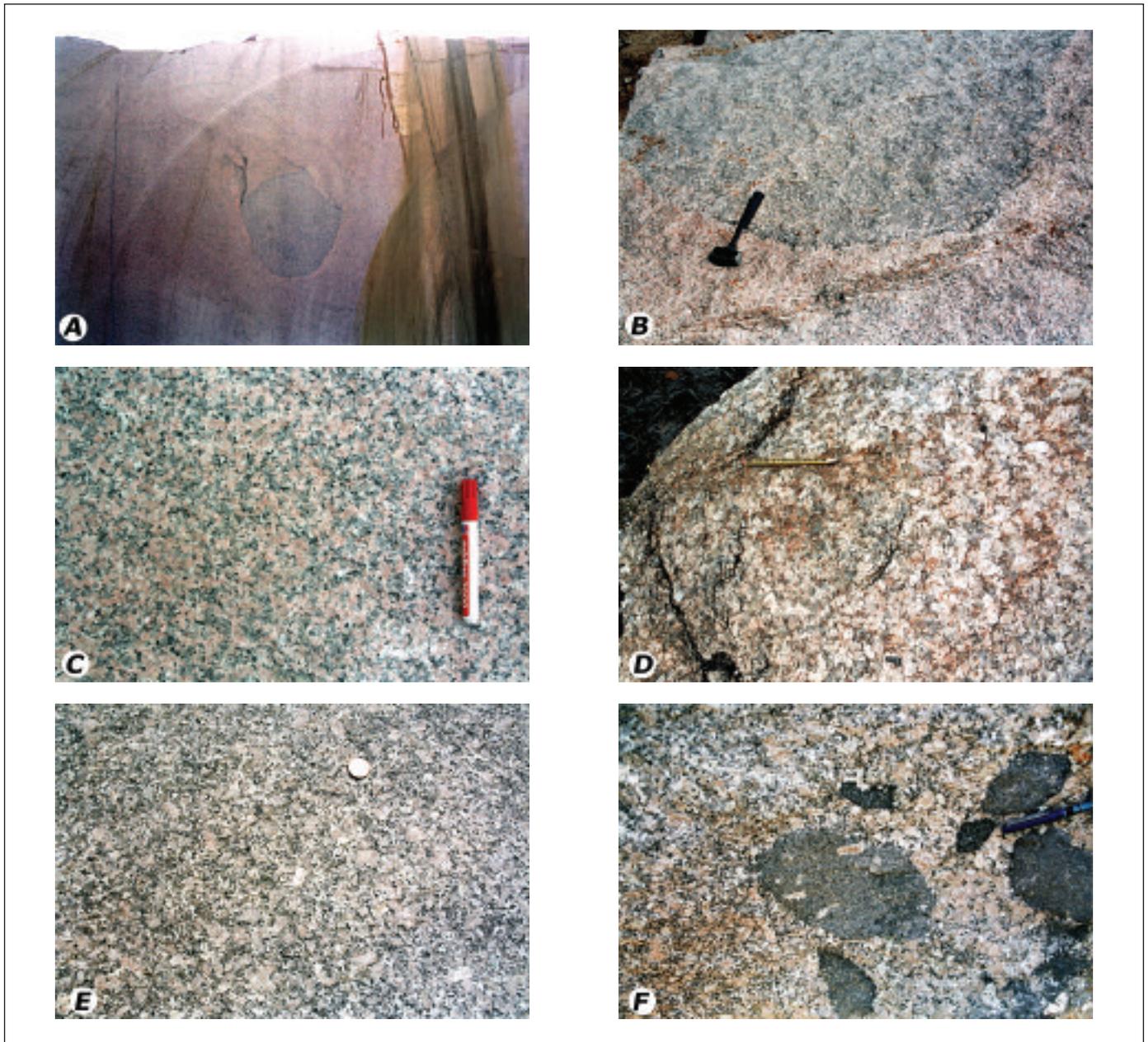


Fig. 2. **A:** Enclave de monzogranito porfídico de unos 2 m de diámetro en granitos "Rosa Porriño"; se observan en su parte superior bandas de acumulación de biotita que evidencian el hundimiento del enclave. El granitoide del enclave es similar a los granitoides porfídicos de facies "Gris Mondariz". **B:** Borde enriquecido en biotita de un enclave de monzogranitos porfídicos de tipo "Gris Mondariz" incluido en granitos de tipo "Rosa Porriño". La matriz es de grano medio, con fenocristales de cuarzo y de color grisáceo. **C:** Aspecto textural de granitos de grano muy grueso y color rosado, tipo "Rosa Porriño". **D:** Aspecto textural de granitos de tipo "Rosa Porriño Porfídico". Tiene abundantes megacristales de feldespato potásico de color rosa, bien contrastados. **E:** Aspecto textural de los monzogranitos porfídicos de facies "Gris Mondariz" con megacristales de feldespato potásico de color rosa en una matriz de grano medio a grueso de color gris. **F:** Enclaves microgranudos de color gris oscuro en monzogranitos porfídicos de facies "Gris Mondariz". En uno de ellos se observan megacristales de feldespato potásico de color rosa

Fig. 2. **A:** Porphyritic monzogranite enclave of about 2 m in diameter, included in "Rosa Porriño" granites. It is very similar to the "Gris Mondariz" granite. Biotite trails can be observed as an evidence of the sinking of the enclave in the magma. **B:** Biotite rich rim contouring a porphyritic monzogranite enclave ("Gris Mondariz" facies) enclosed in the "Rosa Porriño" granite. The matrix of the enclave is medium-grained, greyish in colour and contains globular quartz phenocrysts. **C:** Textural aspect of very coarse grained and pink coloured "Rosa Porriño" granite. **D:** Textural aspect of the "Rosa Porriño Porfídico" granite variety in a weathered surface, characterized by idiomorphic and pink coloured potassium feldspar megacrysts. **E:** Textural aspect of the "Gris Mondariz" porphyritic monzogranite facies, with pink coloured potassium feldspar megacrysts in a medium to coarse-grained greyish matrix. **F:** Dark grey micro-granular enclaves in the "Gris Mondariz" porphyritic monzogranite facies. Some pink potassium feldspar mega-crysts are included in one of them

lentejones y venas de aplopegmatitas cuarzofeldespáticas con biotita y en algún caso granate.

Las manifestaciones pegmatíticas no son muy frecuentes pero pueden encontrarse algunas masas o bolsadas irregulares de tamaño superior a 1 m con feldespato potásico rosa, cuarzo, plagioclasa ácida subordinada y biotita. Este último mineral, puede formar grandes cristales alistonados y se encuentran dominios con intercrecimientos gráficos cuarzofeldespáticos, en ellas hay algunas cavidades irregulares en las que se observan crecimientos de superficies libres de cristales de cuarzo y feldespato potásico. Bordeando a estas masas pegmatíticas se encuentran con frecuencia schlieren biotíticos. En algún caso hay en las zonas internas de algunas masas pegmatíticas, núcleos de cuarzo masivo o bolsadas rellenas de pirita masiva (canteras "Buraco" y "Triángulo").

Todas las facies de granitoides del macizo de "O Porriño" tienen una composición mineralógica muy similar, diferenciándose entre ellas exclusivamente por las características texturales, por las proporciones relativas de los minerales principales o por la presencia o ausencia de alguno de los accesorios.

Las texturas de los monzogranitos de la facies principal ("Gris Mondariz") son hipidiomórficas inequigranulares porfídicas de grano grueso, con megacristales subautomorfos de feldespato potásico. En la facies "Rosa Porriño", las texturas son hipidiomórficas inequigranulares de grano muy grueso, y la variedad "Rosa Porriño Porfídico" adquiere este carácter por la tendencia del feldespato potásico a individualizarse como cristales subautomorfos.

Las texturas de las rocas de la facies mesocrata pueden ser subautomórficas equigranulares, de grano medio a fino o inequigranulares con tendencia porfídica, con fenocristales de cuarzo y plagioclasa y megacristales de feldespato potásico.

En las facies de enfriamiento se observan texturas que reflejan dos etapas de cristalización, con fenocristales de feldespato potásico, plagioclasa y cuarzo, bien contrastados frente a una matriz de grano más fino.

Los minerales principales son: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita, siendo los granitos "Rosa Porriño" los más pobres en biotita y en plagioclasa. Los minerales accesorios de la facies porfídica principal ("Gris Mondariz") y de la facies mesocrática son: anfíbol, allanita, titanita, apatito, circón, monacita, fluorita y opacos (fig. 3F), no encontrándose en general anfíbol en los granitos de tipo "Rosa Porriño". La titanita y la allanita son más frecuentes y abundantes en los granitoides de la facies "Gris Mondariz" y la fluorita se encuentra, en general,

como sustituciones postmagmáticas sobre algunos cristales de plagioclasa. Como minerales secundarios se encuentran: clorita, sericita, prehnita, moscovita, epidota, feldespato potásico y calcita.

El cuarzo forma en general cristales alotriomorfos, a veces subredondeados, de tamaño variable, cuarteados y con extinción ondulante-irregular. Puede contener escasas inclusiones de plagioclasa, biotita, titanita y moscovita. Tiene microfisuras que en algún caso pueden estar rellenas de calcita y prehnita o moscovita y a veces constituyen sistemas subparalelos (fig. 3A). Puede aparecer como fenocristales en algunas rocas de las facies marginales

El feldespato potásico es microclina. Se encuentra como megacristales subidiomorfos o como cristales más pequeños alotriomorfos dependiendo del tipo de granito. Es perítico y tiene maclas de Carlsbad o maclas en enrejado irregularmente definidas. Contiene frecuentes inclusiones idiomorfas de plagioclasa de pequeño tamaño (fig. 3B) y con bordes ácidos que pueden definir texturas de Frasl. Se suelen encontrar cordones gruesos de gránulos de albita en los contactos entre distintos cristales de feldespato potásico.

La plagioclasa se encuentra como cristales subidiomorfos zonados y maclados (fig. 3C). Puede formar agregados en sinneusis. Tiene bordes ácidos finos en los contactos con el feldespato potásico que pueden ser mirmequíticos. Puede contener inclusiones de biotita y en algunos casos pequeños cristales goticulares o irregulares de cuarzo. Es más abundante y de composición más básica en los granitoides de tipo "Gris Mondariz" y en los de la facies más básica de la apófisis oriental.

La biotita aparece como cristales subidiomorfos o alotriomorfos de pequeño tamaño y de color marrón oscuro que pueden constituir grupos policristalinos pequeños (fig. 3D). Tiene inclusiones idiomorfas de apatito y de circón, estas últimas rodeadas por halos pleocróicos poco intensos. También puede incluir algún opaco de pequeño tamaño y estar asociada o intercrecida con titanita. En los contactos con el feldespato potásico y la plagioclasa tiene bordes serrados, a veces simplectitoides.

El anfíbol aparece como pequeños cristales idiomorfos a subidiomorfos (fig. 3E) que pueden estar intercrecidos con biotita. Es de color verde hierba a verde amarillento y puede estar maclado. Con relativa frecuencia se asocia a grumos microgranudos con plagioclasa, biotita, cuarzo y titanita. En general se restringe su presencia a los granitoides de tipo "Gris Mondariz" o a los de las facies más básicas, pero puede encontrarse con carácter accidental en los granitoides de tipo "Rosa Porriño".

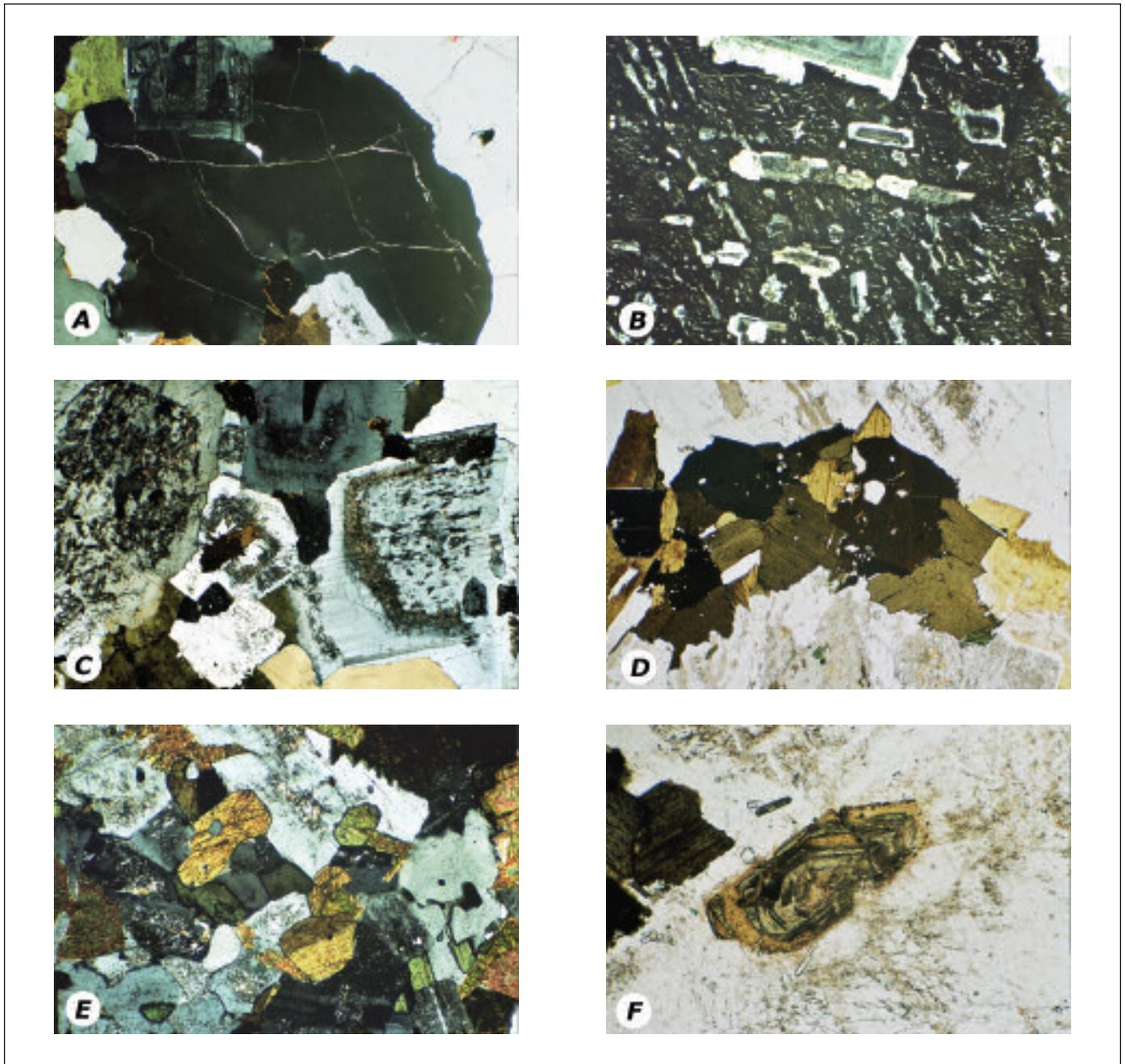


Fig. 3. **A:** Sistema de fisuras rellenas de calcita y prehnita en cristal de cuarzo. (NC x 6.25). En monzogranito porfídico "Gris Mondariz". **B:** Cristal de microclina pertítica con abundantes inclusiones subidiomorfas de plagioclasa zonada. (NC x 6.25). En monzogranito porfídico "Gris Mondariz". **C:** Cristales de plagioclasa con corrosiones en los núcleos y con alteración preferente zonal. (NC x 6.25). En monzogranito porfídico "Gris Mondariz". **D:** Agregado de cristales de biotita de color marrón oscuro con inclusiones de apatito y circón. (NP x 6.25). En granito "Rosa Porriño". **E:** Detalles de exfoliación y maclado en cristales de anfíbol de un microenclave microgranudo. (NC x 25). En granito "Rosa Porriño Porfídico". **F:** Cristal idiomorfo, zonado y parcialmente alterado de allanita. También se ven pequeños cristales de apatito y de circón. El conjunto está incluido en plagioclasa. (NP x 25). En monzogranito porfídico "Gris Mondariz"

Fig. 3. **A:** System of fissures filled with prehnite and calcite in a quartz grain in the "Gris Mondariz" porphyritic monzogranite. (6.25 x magnification, XPL). **B:** Pertitic microcline grain enclosing abundant sub-idiomorphic and zoned plagioclase inclusions. (6.25 x magnification, XPL). "Gris Mondariz" porphyritic monzogranite. **C:** Idiomorphic plagioclase grains with corroded cores and preferential zoned alteration by secondary minerals. (6.25 x magnification, XPL). "Gris Mondariz" porphyritic monzogranite. **D:** Cluster of dark-brown biotite crystals with apatite and zircon inclusions. (6.25 x magnification, PPL). "Gris Mondariz" porphyritic monzogranite. **E:** Details of exfoliation and twinning details in hornblende crystals from a small micro-granular inclusion in the "Rosa Porriño Porfídico" granite (25 x magnification, XPL). **F:** Idiomorphic zoned and partially altered allanite crystal included in plagioclase. Also zircon and several small apatite grains are included (25 x magnification, PPL). In "Gris Mondariz" porphyritic monzogranite

Características geoquímicas de los granitoides

Para la caracterización geoquímica del macizo de "O Porriño" se han utilizado 51 análisis químicos, de los que 47 proceden de las hojas MAGNA nº 223 (Vigo) y nº 261 (Tuy), de la hoja a E/1:200.000 nº 17-27 (Ourense-Verín) y de proyectos del IGME para la caracterización de los granitos del sur de Galicia. Los otros cuatro análisis, que proceden del estudio de las canteras de las inmediaciones de "O Porriño", son de muestras representativas de las principales facies aflorantes en esta zona, que se han analizado en detalle con el fin de establecer la correlación entre las características geoquímicas y mineralógicas, las propiedades estéticas y la posibilidad de aprovechamiento comercial de los granitoides.

En la Tabla I se presentan los datos de los elementos mayores y las normas CIPW, correspondientes a las composiciones químicas medias de las facies principales del plutón de "O Porriño", calculadas a

partir de los datos bibliográficos. También se incluyen los datos de los elementos traza de los que se dispone de suficiente información (Ba, Rb y Sr).

Los datos químicos y las normas CIPW de las muestras estudiadas en la concesión "Benedicta" figuran en la Tabla II (A, B). La determinación de los elementos mayores se ha realizado por XRF (excepto el Na, analizado por AAS). Los elementos traza se han determinado por ICP y el grupo de las REE por ICP-MS. Estos análisis se han realizado en los laboratorios del IGME por los procedimientos standart establecidos para las rocas silicatadas.

El espectro composicional de los granitoides del plutón de "O Porriño" fluctúa entre tipos granodioríticos y leucograníticos con contenidos en SiO₂ comprendidos entre 64,72% y 77,62%. La variabilidad composicional puede observarse en el diagrama TAS (fig. 4) en el que se aprecia que todas las muestras de las facies principales se proyectan en el campo de los granitos, mientras que las muestras de las facies bási-

Granitoides (Nº de muestras)	Facies "básicas" (6)	"Gris Mondariz" (27)	"Rosa Porriño Porfídico" (9)	"Rosa Porriño" (9)
<i>Contenidos de óxidos de elementos mayoritarios (% en peso)</i>				
SiO ₂	66,80	70,83	73,02	74,46
TiO ₂	0,70	0,35	0,26	0,14
Al ₂ O ₃	15,09	14,48	13,63	13,28
FeO _i	4,36	2,51	2,14	1,50
MnO	0,07	0,04	0,04	0,02
MgO	1,02	0,48	0,38	0,14
CaO	2,84	1,47	1,37	0,70
Na ₂ O	3,66	3,39	3,29	3,03
K ₂ O	3,45	4,64	4,61	5,53
P ₂ O ₅	0,19	0,14	0,09	0,06
LOI	1,03	1,03	0,81	0,77
Tot	99,21	99,36	99,64	99,63
<i>Componentes normativos (% en peso)</i>				
Q	22,06	28,01	31,36	32,96
Or	20,39	27,42	27,24	32,68
Ab	30,97	28,69	27,84	25,64
An	12,85	6,38	6,21	3,08
Hy	9,52	5,30	4,52	2,91
Ilm	1,33	0,66	0,49	0,27
Ap	0,44	0,32	0,21	0,14
C	0,63	1,54	0,95	1,18
<i>Índice de diferenciación (Q+Or+Ab)</i>				
ID	73,42	84,12	86,45	91,28
<i>Relación Fe/(Fe+Mg) en los componentes ferromagnesianos</i>				
Femg	0,68	0,72	0,74	0,85
<i>Elementos traza (nº de muestras)</i>				
Rb	228,0 (2)	296,3 (3)	289,3 (3)	278,6 (5)
Ba	927,0 (2)	434,3 (3)	373,0 (3)	325,0 (5)
Sr	250,0 (2)	97,0 (3)	91,0 (3)	49,6 (5)

Tabla I. Composiciones químicas medias y normas CIPW de las facies principales de los granitoides del macizo de "O Porriño"
Table I. Average compositions and CIPW norms of main granitoid facies in the "O Porriño" massif

cas (megaenclaves del borde oriental y rocas de la apófisis de Pasqueixones) se proyectan mayoritariamente en el campo de las granodioritas.

Atendiendo a la composición normativa (CIPW), la mayor parte de estos granitoides son peraluminicos (con corindón normativo). Sin embargo, gran parte de las rocas de la facies principal ("Gris Mondariz") contienen anfíbol, lo que es propio de rocas composición meta-alumínica. Esta contradicción ya es puesta de manifiesto por Barrera *et al.* (1989), y posiblemente se debe a la determinación en exceso del Al_2O_3 en los análisis más antiguos. Esta apreciación es reforzada por el hecho de que las rocas analizadas en el estudio de la concesión "Benedicta" tienen una proporción muy baja de corindón normativo o son diopsido normativas (Tabla II-A).

En el diagrama AFM (fig. 5), se observa que las muestras de las facies principales ("Gris Mondariz", "Rosa Porriño" y "Rosa Porriño Porfídico") se proyectan en el extremo evolucionado correspondiente a series calcoalcalinas, pero las muestras de la facies más básica se separan de la tendencia general y cruzan la línea de separación entre el campo alcalino y el toleítico definida por Irvine and Baragar (1971). Este comportamiento puede ser debido a la existencia de procesos de mezcla de distintos tipos de magmas que no seguirían una línea evolutiva común.

En los diagramas de variación con respecto a SiO_2 , se observa que el K_2O tiene una correlación positiva, tendiendo a aumentar en las rocas más diferenciadas (fig. 6G), mientras que TiO_2 , Al_2O_3 , FeO_t , MgO , CaO y P_2O_5 , (figs. 6A a F), tienen una correlación negativa, pues tienden a disminuir con la diferenciación. También el Na_2O (fig. 6H) tiende a disminuir con la diferenciación debido a su asociación con el CaO en la plagioclasa. Estas relaciones son consistentes con una evolución magmática controlada principalmente por el fraccionamiento de plagioclasa, biotita y proporciones menores de hornblenda. Estos hechos ponen claramente en evidencia que los procesos de diferenciación están dominados principalmente por la acumulación de cuarzo y feldespato potásico en los magmas residuales debido al fraccionamiento de plagioclasa y biotita. No obstante, si se observa en detalle el diagrama de variación SiO_2 - K_2O , se aprecia que aunque de forma global el K_2O tiende a aumentar con la diferenciación, en el conjunto de las muestras de la facies "Rosa Porriño", este óxido tiende a disminuir en los extremos más ácidos, lo que es debido a que el incremento de SiO_2 es muy importante en las rocas más diferenciadas y contrarresta el aumento en K_2O , determinando que este óxido tenga una disminución relativa debido al efecto de suma constante.

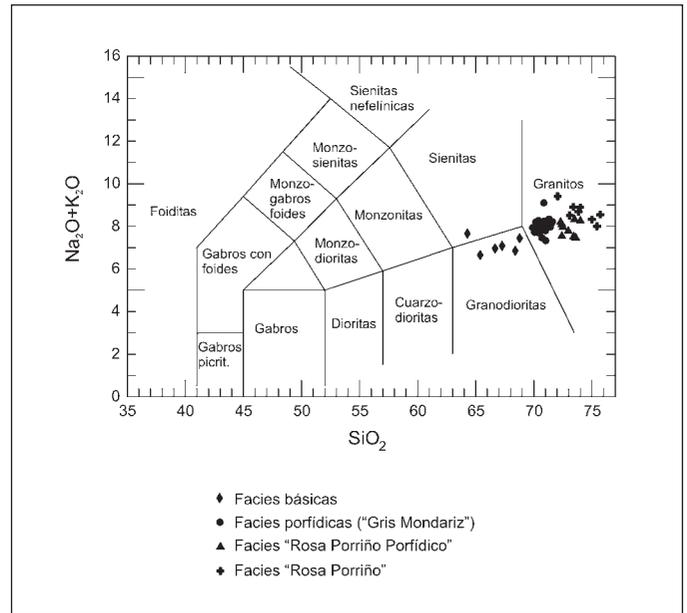


Fig. 4. Clasificación de los granitoides del macizo de "O Porriño" en el diagrama TAS con campos adaptados a la nomenclatura de rocas plutónicas

Fig. 4. Classification of the granitoid rocks of the "O Porriño" massif in the TAS diagram with fields adapted to the nomenclature of the plutonic rocks

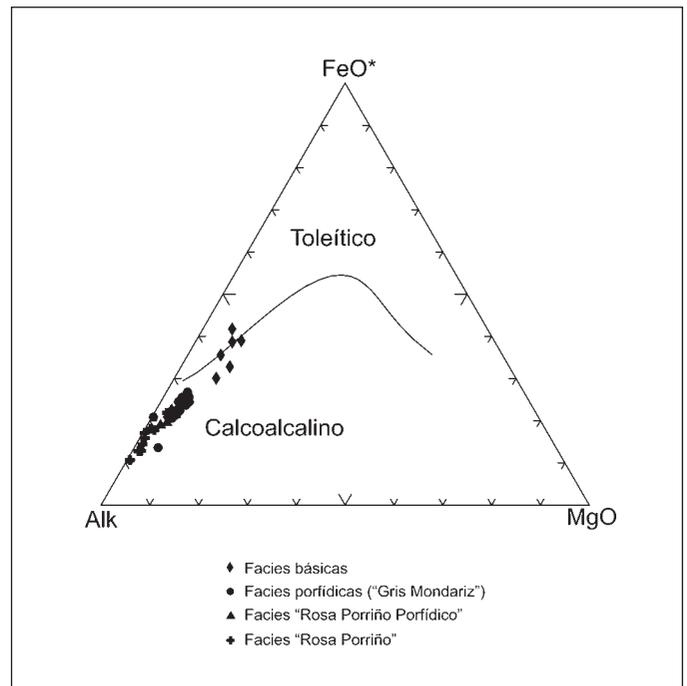


Fig. 5. Tendencias de variación de los granitoides del macizo de "O Porriño" en el diagrama A-F-M. El límite entre los campos de las rocas calcoalcalinas y toleíticas procede de Irvine and Baragar, 1971

Fig. 5. Variation trend of the granitoid rocks of the "O Porriño" pluton in the A-F-M diagram. The boundary between the calc-alkaline and tholeiitic fields is drawn after Irvine and Baragar (1971)

Muestra "Variedad"	261-50 "Rosa Porriño"	261-53 "Rosa Porriño"	261-57 "Rosa Porriño Porfídico"	261-59 "Gris Mondariz"
<i>Contenidos de óxidos de elementos mayoritarios (% en peso)(XRF+AAS)</i>				
SiO ₂	75,73	73,99	73,51	70,86
TiO ₂	0,13	0,22	0,30	0,35
Al ₂ O ₃	12,53	13,09	13,14	14,20
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-
FeO _t	1,63	1,97	2,11	2,54
MnO	0,02	0,02	0,03	0,04
MgO	0,11	0,23	0,41	0,49
CaO	0,59	0,89	1,33	1,47
Na ₂ O	3,21	3,19	3,52	3,88
K ₂ O	5,34	5,70	4,80	5,22
P ₂ O ₅	0,01	0,04	0,07	0,09
LOI	0,52	0,43	0,54	0,58
Tot	99,82	99,77	99,76	99,22
<i>Componentes normativos (% en peso)</i>				
Q	33,96	29,95	29,89	22,94
Or	31,55	33,70	28,39	30,87
Ab	27,15	27,04	29,77	32,85
An	2,87	4,13	5,87	5,90
Di	0,00	0,00	0,21	0,71
Hy	3,07	3,87	4,35	5,02
Ilm	0,25	0,41	0,57	0,66
Ap	0,02	0,10	0,17	0,20
C	0,42	0,15	0,00	0,00
<i>Índice de diferenciación (Q+Or+Ab)</i>				
ID	92,66	90,69	88,05	88,65
<i>Relación Fe/(Fe+Mg) en los componentes ferromagnesianos</i>				
Femg	0,89	0,81	0,72	0,72

Tabla II. A: Análisis químicos de granitoides representativos del sector NO del macizo de "O Porriño"
 Table II. A: Chemical analysis of representative granitoids from NW sector of "O Porriño" massif

Las muestras de la variedad porfídica del granito "Rosa Porriño", son más pobres en K₂O que las de la variedad inequigranular y este hecho posiblemente condiciona el desarrollo de la textura porfídica en estos granitoides, ya que el menor grado de saturación en potasio permite que el feldespato potásico forme cristales más independientes y automorfos.

Con respecto a las relaciones entre los elementos mayores geoquímicamente asociados y su evolución frente a la diferenciación, se produce un firme aumento de la relación K₂O/Na₂O hacia los términos más evolucionados acompañada por una disminución en el mismo sentido de las relaciones CaO/Na₂O y MgO/FeO.

En el diagrama normativo Q-Ab-Or elaborado para las composiciones medias de las facies principales del macizo de "O Porriño" (fig. 7), se observa que los puntos correspondientes a las medias de los distintos tipos de granitoides del macizo de "O Porriño", se proyectan en zonas próximas a los mínimos graníticos a bajas presiones, apreciándose un desplaza-

miento de las proyecciones de las medias de la facies más básica hacia mínimos del sistema a presiones más elevadas. No obstante a la hora de interpretar estas observaciones, hay que tener en cuenta las variaciones que pueden inducir en el sistema las diferencias de composición de los magmas graníticos y de las fases volátiles asociadas con respecto al sistema puro Q-Ab-Or.

En cuanto al comportamiento de los elementos traza, la información disponible es incompleta y sólo se dispone de datos de algunos de ellos (Ba, Rb y Sr) para todo el plutón (Tabla I). Puede apreciarse que las concentraciones de Sr y Ba presentan un claro y firme descenso en paralelo a la diferenciación. Los contenidos de Rb más bajos se encuentran en las facies más básicas pero el comportamiento de este elemento en las facies más diferenciadas tiene unas tendencias de variación poco definidas, que en parte pueden ser debidas a procesos de redistribución y movilización tardi y post-magmáticos, independientes de los mecanismos de cristalización fraccionada.

Los análisis más completos realizados en cuatro

muestras de granitos representativas de las facies aflorantes en zonas próximas a la población de "O Porriño" (Tabla II: A, B), ponen de manifiesto que el comportamiento de los elementos mayores se encuentra dentro de los límites observados para las distintas facies del plutón, lo que también es extensible para los elementos traza sobre los que existe información suficiente (Ba, Rb y Sr).

Para el resto de los elementos traza, se observa que los asociados a minerales ferromagnesianos, como V, Cr y Ni tienden a disminuir en las rocas más evolucionadas (granitos "Rosa Porriño"). El As y el Sn tienden a empobrecerse en estas rocas, mientras que el Zn, Ga, Y, Zr, Nb, Mo, Pb, Th, y U no presentan un comportamiento claro con la evolución de estos granitoides.

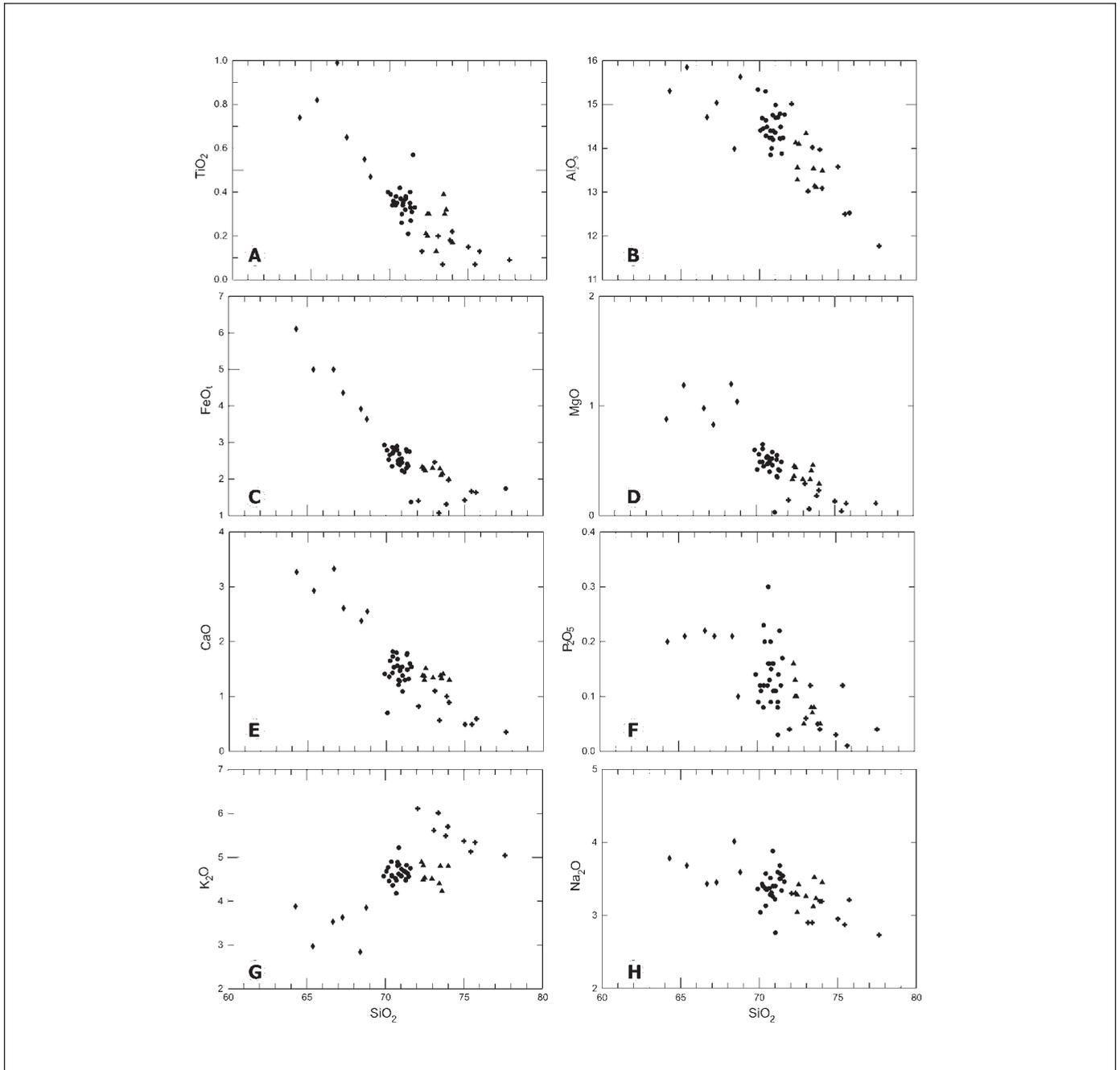


Fig. 6A-6H. Diagramas de variación SiO₂ Vs TiO₂, Al₂O₃, FeO_t, MgO, CaO, P₂O₅, K₂O, Na₂O para las rocas del macizo de "O Porriño"
 Fig. 6A-6H. Variation diagrams for the granitoid rocks of the "O Porriño" massif

Muestra "Variedad"	261-50 "Rosa Porriño"	261-53 "Rosa Porriño"	261-57 "Rosa Porriño Porfídico"	261-59 "Gris Mondariz"
<i>Contenidos de elementos traza (ppm) (ICP+ICP-MS)</i>				
Cs	9	14	9	11
Ba	184	233	322	324
Rb	245	239	220	279
Sr	27	40	76	79
Zr	173	198	162	189
Y	41	38	40	49
Nb	17	17	14	18
Ta	<2	<2	<2	<2
Y	32,3	37	42,0	50,8
La	69,6	84	43,1	45,7
Ce	151	184	89,2	98,1
Pr	16,4	22	11,7	12,8
Nd	55,1	71	39,3	43,2
Sm	10,6	15	9,1	10,3
Eu	0,45	0,72	1,0	1,0
Gd	7,9	11	7,4	8,4
Tb	1,0	1,33	1,3	1,5
Dy	6,3	7,6	7,0	8,3
Ho	1,1	1,3	1,5	1,7
Er	3,2	3,5	3,8	4,7
Tm	<0,3	0,47	0,59	0,72
Yb	2,7	3,2	3,1	4,0
Lu	<0,3	0,42	0,54	0,73
Sn	5	6	8	12
Pb	30	21	25	29
Th	27	30	21	34
U	8	7	5	12
Cr	8	18	21	30
Ni	1	1,3	1,5	2,1
V	3	7	18	22
As	5	5	7	8
S	1197	645	514	469

Tabla II. B: Análisis químicos de granitoides representativos del sector NO del macizo de "O Porriño". Elementos traza
 Table II. B: Chemical analysis of representative granitoids from NW sector of the "O Porriño" massif. Trace elements

Respecto a los elementos del grupo de las REE, en el diagrama de normalización a los valores condriticos (Evensen *et al.*, 1978; Taylor & McLennan, 1985) (fig. 8A), se observa que los espectros de las facies estudiadas tienen unas configuraciones similares, con un fraccionamiento moderado de las LREE y un menor grado de fraccionamiento para las HREE, sobre todo del Tb al Lu (fig 8A). Así mismo, todas ellas presentan una pronunciada anomalía negativa de Eu, que es mayor en los granitos de facies "Rosa Porriño" y que pone de manifiesto el efecto de la fraccionación de la plagioclasa en los procesos evolutivos del plutón de "O Porriño".

No obstante, en las dos muestras analizadas de la facies "Rosa Porriño" se observa que los contenidos en LREE son superiores a los de la facies "Gris Mondariz" y a los de la variedad "Rosa Porriño Porfídica", lo que pone de manifiesto que los procesos de diferenciación a través de los que se ha generado esta facies no han producido empobrecimientos en este grupo de REE.

Consideraciones petrogenéticas y discusión

Los espectros de REE normalizados a la composición de la Corteza Continental Superior (Taylor & McLennan, 1985) (fig. 8B), tienen una configuración plana y con unas abundancias absolutas ligeramente superiores a la unidad, lo que apoya el origen de los mismos a través de unos mecanismos que implicarían tasas de fusión elevadas de un protolito cortical, con empobrecimientos en Eu debidos al efecto del fraccionamiento de feldespatos.

También la normalización a una media de ortogneises de la formación "Ollo de Sapo" (calculada a partir de datos de Ortega *et al.*, 1996 y Díez Montes inéditos) (fig. 8C), produce unos espectros de REE con una configuración muy plana y con relaciones elementales próximas a la unidad. También en este caso se observan apreciables anomalías negativas de Eu, aunque menos importantes que en la normalización condritica. Esta similitud puede ser compatible con

un origen de estos granitoides a partir de materiales equivalentes a estos gneises mediante procesos de anatexia que implicarían una tasa de fusión elevada, indicada por la falta de fraccionamiento de las REE incompatibles, y de la posterior evolución de los fundidos controlada fundamentalmente por el fraccionamiento de plagioclasa y biotita.

Así mismo, en la génesis de estos granitoides debe haber operado un cierto grado de hibridación con magmas básicos infracorticales que se pone de manifiesto por la presencia de enclaves microgranudos básicos. Estos procesos serían en parte los responsables del carácter subalumínico o muy débilmente peralumínico de los granitoides del macizo de "O Porriño". La hibridación se habría producido en niveles más profundos y próximos a la zona de génesis de los granitos y los procesos de homogeneización habrían sido muy efectivos, dadas las características de los granitoides en el nivel de emplazamiento. Estos procesos de hibridación serían responsables de las anomalías que se observan en la proyección de las facies más básicas del macizo en el diagrama AFM (fig. 5) con una desviación con respecto a la línea evolutiva general.

En todos los espectros de REE se observa que los contenidos de LREE de la facies "Rosa Porriño" son superiores a los de la facies "Gris Mondariz" y a los de la variedad porfídica de los granitos "Rosa Porriño", lo que evidencia que este grupo de elementos ha tenido un comportamiento incompatible en los procesos evolutivos que han dado lugar a la génesis de los granitos "Rosa Porriño" y que la cristalización de allanita no ha sido suficiente para producir el empobrecimiento en LREE de los magmas graníticos más evolucionados del macizo de "O Porriño". Por el contrario, los granitos "Rosa Porriño" si presentan un ligero empobrecimiento en HREE.

La comparación de los contenidos de los elementos más incompatibles con respecto a la media de la Corteza Continental Superior (Taylor y Mc Lennan, 1985) (fig. 9A), pone de manifiesto una configuración general de los espectros bastante plana y con razones próximas a la unidad, pero con una serie de anomalías, más o menos acentuadas. Así, se encuentran apreciables anomalías negativas para el Ba, Sr, P, Eu y Ti, que son debidas al fraccionamiento de feldespatos y biotita, que han empobrecido en ellos a los magmas. Por el contrario, se observan anomalías positivas de diversa importancia para algunos elementos (Cs, Th, U, La, Ce, Pr, Nd), que son debidas en algunos casos a la naturaleza del protolito del que derivan los magmas graníticos, pero que en otros obedecen a los procesos de génesis y de diferenciación.

Al realizar esta comparación con los gneises 'Ollo de Sapo' (fig. 9B), también se observa que el trazado de los espectros es muy plano y con un nivel de base muy próximo a la unidad, lo que también apoya un posible origen de estos granitoides por fusión de materiales equivalentes o muy similares a los gneises "Ollo de Sapo". En este caso también se encuentran anomalías negativas en Ba, Sr, P, Eu y Ti que son atribuibles a la cristalización de Plg, Fk, Bi, Anf y Ap.

La caracterización tectónica de los granitoides del macizo de "O Porriño", mediante los diagramas Rb vs Y+Nb y Nb vs Y de Pearce *et al.* (1984) (figs. 10A y 10B), pone de manifiesto que las muestras analizadas se proyectan en el campo de los granitos intraplaca, junto al límite con el campo de los granitos de orógenos colisionales y de arco volcánico. Esta caracterización es relativamente problemática si se tiene en cuenta el carácter colisional del Orógeno Varisco, pero como ya se ha observado en otras unidades plutónicas tardi-postcinemáticas del Macizo Ibérico, la hibridación de los granitoides con magmas básicos, tiende a producir clasificaciones equívocas de los

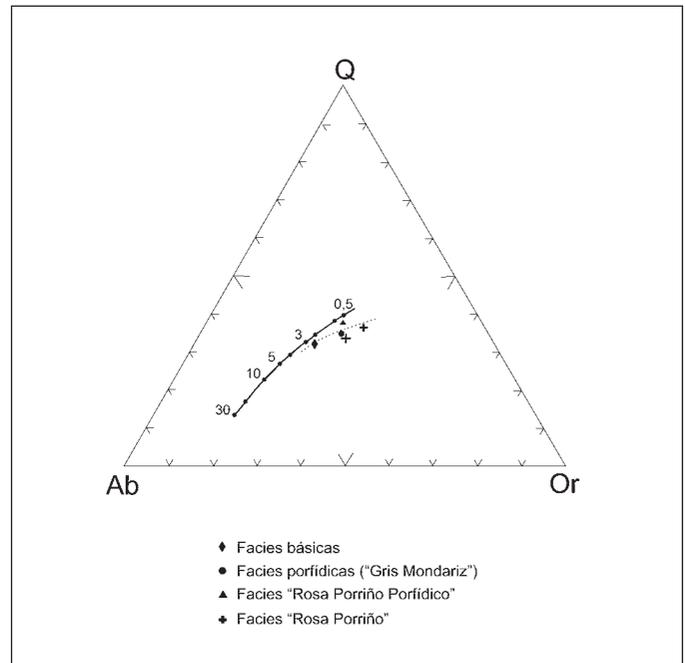


Fig. 7. Proyecciones de las composiciones medias de las facies principales del macizo de "O Porriño" en el sistema Q-Ab-Or. (La línea continua corresponde a la variación de los mínimos del sistema a presiones de H₂O comprendidas entre 0,5 y 30 Kb. El símbolo + corresponde al mínimo a 1 atm)

Fig. 7. Plot of the average compositions of the main granitoid facies on the "O Porriño" massif in the Q-Ab-Or diagram. (The solid line corresponds to the variation trend of the system minima from 0,5 to 30 Kbar H₂O pressure. The + symbol corresponds to the minimum at P_{H₂O} = 1 bar)

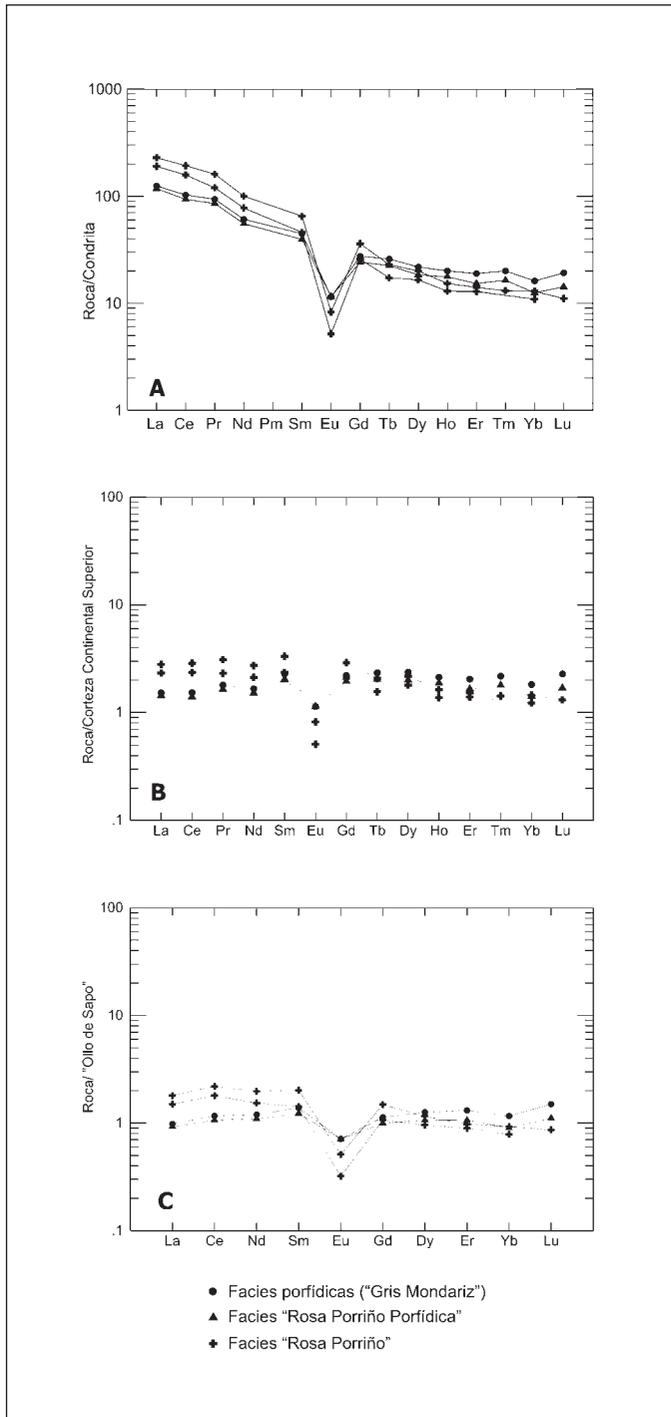


Fig. 8. Espectros de REE de los granitoides de la concesión "Benedicta" en el macizo de "O Porriño" (A: normalización a la composición condritica de Evensen *et al.*, 1978; B: normalización a la composición de la CCS de Taylor y McLennan, 1985; C: normalización a media de ortogneises "Ollo de Sapo", datos inéditos)

Fig. 8. REE diagrams for granitoid rocks in the "Benedicta" mining concession area, in the western zone of the "O Porriño" massif. (A: Chondrite (Evensen *et al.*, 1978) normalized; B: Upper Continental Crust (Taylor and McLennan, 1985) normalized; C: 'Ollo de Sapo' orthogneisses normalized (unpublished data))

mismos (Díez Montes *et al.*, 2003). La proyección en el campo intraplaca, sería relativamente congruente con el carácter pos-cinemático muy tardío de estos granitoides, ya que su emplazamiento se produce en un segmento cortical parcialmente cratonizado al final de la Orogenia Varisca.

Las características de los granitoides del macizo de "O Porriño" son coincidentes con las del tipo denominado informalmente como PI por Villaseca *et al.* (1998) y Villaseca y Herreros (2000) en el ámbito del sector centro-oriental del Sistema Central Español. Estos granitoides se caracterizan por presentar unas características transicionales entre los Granitos de tipo I y de tipo S, tales como la presencia de anfíbol accesorio junto con la biotita, un carácter meta-alumínico o peralumínico débil, y una mayor riqueza en general en Ca, Na, REE, Th, Y y Zr, que les diferencian de los granitoides PS que tienen un quimismo más peralumínico y una mineralogía en la que junto con la biotita se encuentran otros minerales ricos en aluminio (moscovita, cordierita, sillimanita o andalucita).

Según los estudios de los autores previamente mencionados, los granitoides del grupo PI se habrían formado a partir de la fusión de materiales félsicos meta-ígneos en niveles profundos de la corteza. Villaseca *et al.* (1998), ponen de manifiesto que existen ciertas diferencias entre los datos isotópicos de los ortogneises del Sistema Central Español (Sierra del Guadarrama) y los correspondientes a los granitoides, pero piensan que en parte pueden ser debidas a la existencia de disequilibrios isotópicos en los procesos de fusión parcial, como han observado en materiales del complejo migmatítico de Toledo.

Estos autores también proponen que los procesos de hibridación con magmas de procedencia mantélica son en general de escasa importancia en la génesis de estos granitoides, limitándose en general a fenómenos locales en zonas en las que se encuentra una notable abundancia de enclaves básicos microgranudos. No obstante, la generalidad de la presencia de este tipo de enclaves en los granitoides de este tipo (PI), hace pensar en que aunque en proporciones limitadas, los magmas de procedencia mantélica si deben haber ejercido una cierta influencia en el quimismo de los mismos.

En otra línea de hipótesis sobre la génesis de los granitoides de estas características, Mendes y Dias (2004), apoyándose en un amplio estudio geoquímico e isotópico Sr-Nd, proponen que el Macizo granítico de Lovios-Geres se ha generado a partir de magmas juveniles procedentes del manto, en un evento varisco relacionado con los estadios extensionales tardíos

de evolución del orógeno. Así los granitoides de este macizo presentan unas relaciones iniciales $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ que varían entre 0,7030 y 0,7609 y una ϵ_{Nd} inicial comprendida entre -1,0 y -2,5, relativamente empobrecidos con respecto al resto del plutonismo varisco regional.

No obstante, los datos isotópicos de Sr existentes sobre los granitoides del macizo de "O Porriño" ($(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0.71268$; García Garzón, 1983), al igual que sus características geoquímicas, apoyan claramente un origen cortical.

Las variaciones que se observan en la composición química de las facies y las tendencias evolutivas del conjunto plutónico son justificables en gran parte por la actuación de procesos de cristalización fraccionada. No obstante, la configuración de los diagramas de normalización de las REE con contenidos superiores de LREE en los granitos "Rosa Porriño", que son los más evolucionados del macizo, hace pensar en que los magmas a partir de los que se han formado no proceden de magmas de tipo "Gris Mondariz" por procesos simples de cristalización fraccionada, ya que la abundancia de allanita en aquellos granitos determinaría un empobrecimiento en los magmas residuales, que es lo contrario a lo que se observa. Este hecho apoya la idea de que los magmas de tipo "Rosa Porriño" corresponderían a un pulso magmático independiente dentro del proceso intrusivo que ha dado lugar al macizo de "O Porriño" y sería congruente con la presencia de enclaves de granitoides de tipo "Gris Mondariz" en los granitos de tipo "Rosa Porriño".

Conclusiones

En resumen, del estudio petrológico y geoquímico realizado en el macizo granítico de "O Porriño", pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- El macizo de "O Porriño" pertenece a un grupo de granitoides variscos que corresponde a los eventos magmáticos terminales del Orógeno Varisco, cuyo emplazamiento se produce con posterioridad a las fases tectónicas principales y al pico metamórfico de bajas presiones relacionado con los procesos regionales de migmatización.
- Las características petrológicas y geoquímicas de estos granitoides son compatibles con un origen relacionado fundamentalmente con la fusión de rocas metaígneas ácidas en niveles profundos de la corteza. El origen cortical es también apoyado por la elevada relación isotópica inicial de Sr ($(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0,71268 \pm 0,00155$).

- Este grupo de plutones postcinemáticos variscos (Granitoides Calcoalcalinos, Granitoides PI) tienen unas características petrológicas y geoquímicas bastante afines y reúnen con frecuencia unas características estéticas y una homogeneidad adecuada para su explotación con fines ornamentales
- El emplazamiento de los plutones pertenecientes a este grupo se produce en condiciones epizonales y en un estadio evolutivo muy tardío del Orógeno Varisco, en relación con los procesos extensionales de levantamiento y en condiciones de calma

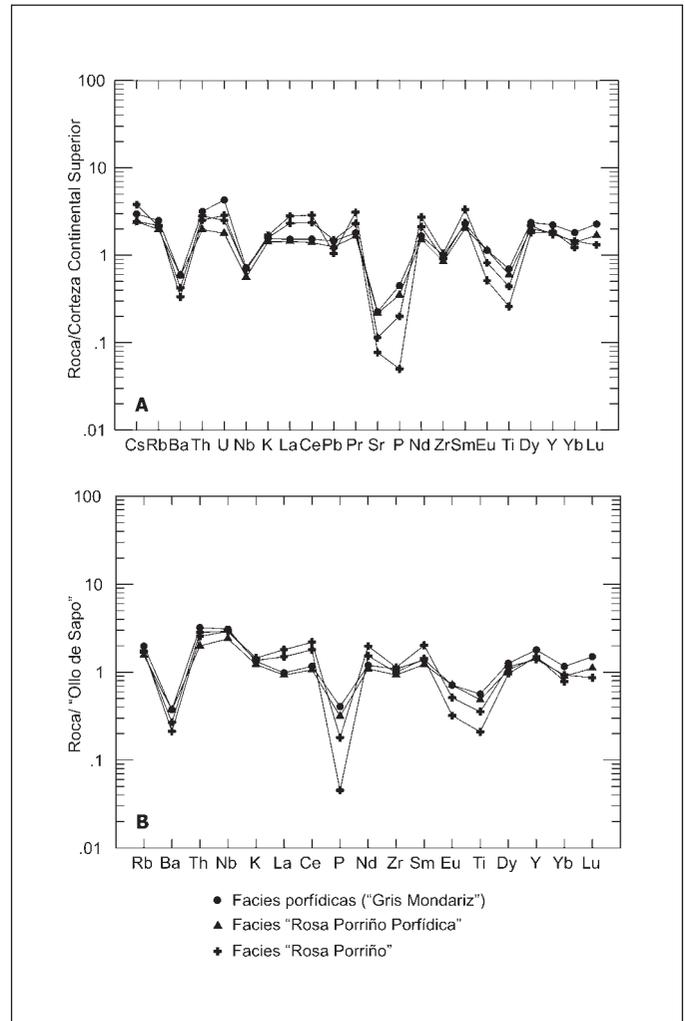


Fig. 9. Diagramas spider para elementos incompatibles de los granitoides de la concesión "Benedicta" en el macizo de "O Porriño". (A: normalización a la composición de la CCS de Taylor y McLennan, 1985; B: normalización a media de ortogneisses "Olló de Sapo", datos inéditos)

Fig. 9. Spider diagrams for incompatible elements of granitoid rocks in the "Benedicta" mining concession area, located in the western zone of the "O Porriño" massif. (A: Upper Continental Crust (Taylor and McLennan, 1985) normalized. B: "Olló de Sapo" orthogneisses normalized (unpublished data))

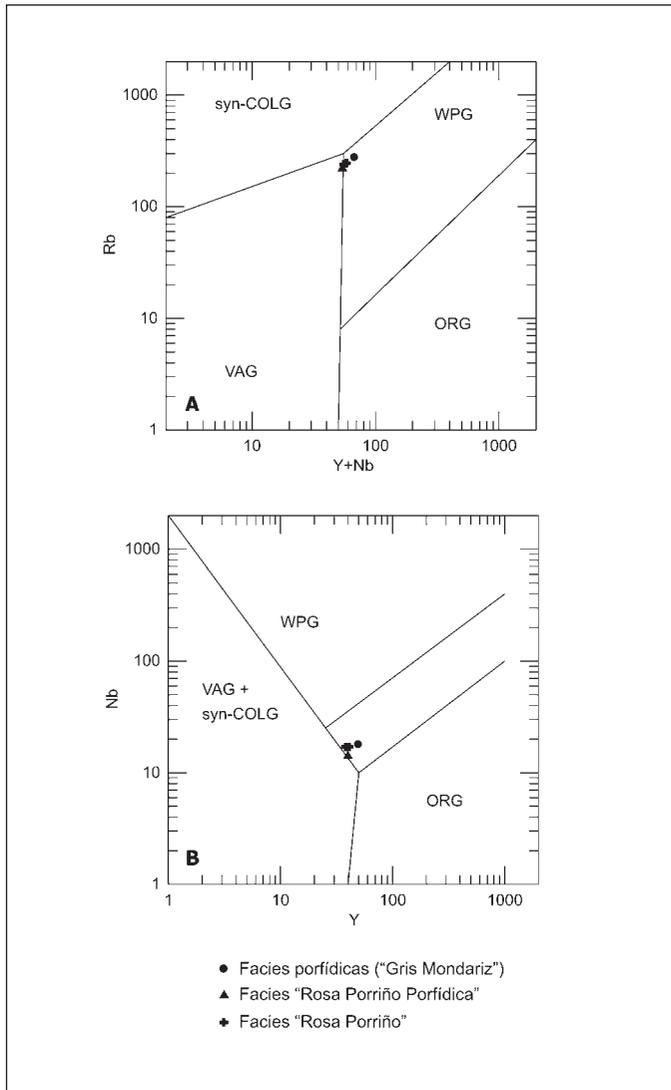


Fig. 10 A y B. Diagramas de caracterización geodinámica de Pearce et al. (1984) para los granitoides analizados en el macizo de "O Porriño"

Fig. 10 A and B. Plots of the analyzed granitoid rocks of the "O Porriño" granite pluton in the tectonic discrimination diagrams of Pearce et al. (1984)

tectónica, lo que determina una escasa complejidad estructural de las intrusiones que es también favorable para la extracción de rocas ornamentales.

- Los granitoides de tipo "Rosa Porriño" corresponden a las facies más diferenciadas del Plutón de "O Porriño" y su emplazamiento es ligeramente posterior al de los granitoides de la facies común ("Gris Mondariz"), que pueden encontrarse como enclaves en los primeros.
- Los granitoides pertenecientes a las facies más básicas del macizo de "O Porriño" que afloran

principalmente en la apófisis oriental, se han originado posiblemente por un mayor grado de hibridación con magmas básicos, lo que condicionaría las desviaciones que presentan con respecto a la línea evolutiva general de los granitoides de "O Porriño" y la proyección de algunas de dichas muestras en el campo toleítico del diagrama AFM.

- Los procesos de hibridación con magmas básicos infracorticales, aunque de escasa importancia a la escala general del macizo, serían los responsables de la clasificación geodinámica equívoca (a partir del quimismo) de estos granitoides, cuya génesis está evidentemente ligada con la evolución de un orógeno colisional.

Agradecimientos

A las empresas que constituyen POCASA (Porriñesa de Canteiras, S.A.) así como a los técnicos y encargados de las mismas, tanto por las facilidades dadas como por la información proporcionada. De manera especial, agradecemos la colaboración de José Araujo, José Luis Delgado y Manuel Hucha, por su amplia experiencia en la zona, así como por sus aportaciones. También expresamos nuestro agradecimiento a Alejandro Díez Montes, de la Dirección de Geología y Geofísica del IGME por facilitarnos datos analíticos de los gneises "Ollo de Sapo". Así mismo agradecemos la revisión realizada por los profesores, Carlos Villaseca y Javier Escuder, que con sus correcciones y sugerencias han contribuido, sin duda, a la mejora de este trabajo.

Referencias

- Abril Hurtado, J., Iglesias Ponce de León, M., Arps, C.E.S., Floor, P., Corretge, L.G. y Pliego Dones, D. 1985. *Mapa Geológico de España, E. 1:200.000*. Madrid, Ministerio de Industria, Servicio de Publicaciones, 2ª Serie. Primera Edición (MAGNA); Hojas nº 16-26: Pontevedra-Laguardia. I.G.M.E.
- Baltuille, J.M., Ferrero, A., Monteserín, V., Gumiel, P., Bellido, F. y Araujo, M. 2004. Estudio geológico-minero de la concesión de explotación "Benedicta" (nº 1544). O Porriño (Pontevedra). POCASA Inédito.
- Barrera, J.L., González Lodeiro, F., Martín Parra, L.M., Del Olmo, A., Farias, P., Marquínez, J., Martínez Catalán, J.R. y De Pablo Maciá, J.G. 1989. *Mapa Geológico de España, E. 1: 200.000*. Madrid, Ministerio de Industria, Servicio de Publicaciones, 2ª Serie. Primera Edición (MAGNA); Hojas nº 17-27: Ourense-Verín. I.G.M.E.
- Bellido Mulas, F., González Lodeiro, F., Klein, E., Martínez Catalán, J.R. y Pablo Maciá, J.G. 1987. Las rocas graníticas hercínicas del norte de Galicia y occidente de

- Asturias. *Memorias del Instituto Geológico y Minero de España*, 101, 1-157.
- Capdevila, R. 1969. *Le Métamorphisme régional progressif et les granites dans le segment hercynien de Galice Nord Orientale (NO de l'Espagne)*. Thèse Univ. Montpellier: 430 pp
- Capdevila, R., Corretgé, L.G. y Floor, P. 1973. Les granitoides varisques de la Meseta Ibérique. *Bulletin Societé Géologique de France*, 15, 209-228.
- Capdevila, R. y Floor, P. 1970. Les différents Types de granites hercyniens et leur distribution dans le nord-ouest de l'Espagne. *Boletín Geológico y Minero*, 81, 215-225.
- Díez Montes, A., Bellido Mulas, F. y López Sopena, F. 2003. Caracterización petrológica, geoquímica y geocronológica del Macizo monzogranítico de "El Losar". (Área de Béjar-Piedrahita, Sistema Central Español). *Memórias e Notícias*, Departamento de Ciências da Terra e Museu de Mineralogia e Geologia da Universidade de Coimbra, 2 (Nova Serie), 63-87.
- Escuder Viruete, J., Arenas, R. y Martínez Catalán, J.R. 1994. Tectonothermal evolution associated with Variscan crustal extension in the Tormes Gneiss Dome (NW Salamanca, Iberian Massif, Spain), *Tectonophysics*, 238, pp. 114-138.
- Evensen, M.N., Hamilton, P.J. y O'Nions, R.K. 1978. Rare-earth abundances in chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 42, 1199-1212.
- Fariás, P., Gallastegui, G., González Lodeiro, F., Marquínez, J., Martín Parra, L.M., Martínez Catalán, J.R., Pablo Maciá, J.G. y Rodríguez Fernández, L.R. 1987. Aportaciones al conocimiento de la litoestratigrafía y estructura de Galicia Central. Mem. Museo e Lab. Miner. Geol., Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 1, 411-431.
- García Garzón, J. 1983. Informe sobre tres dataciones realizadas en Galicia (referencias GR2MR, GDTPO, GDPBO) en los laboratorios del I.G.M.E. En: *Mapa Geológico de España, E. 1:200.000* Madrid, Ministerio de Industria, Servicio de Publicaciones, 2ª Serie. Primera Edición (MAGNA); Hojas n° 16-26: Pontevedra-Laguardia. I.G.M.E.
- Gumiel, P., Monteserín, V., Ferrero, A., Bellido, F., Baltuille, J.M. y Vivar, V. (in rev.). Aplicación del análisis geométrico de fracturas a la determinación de bloques en las canteras de granito de O Porriño, Pontevedra (España). *Revista Sociedad Geológica de España* (Ref. manuscrito RSGE-532-Z).
- Iglesias, M. y Choukroune, P. 1980. Shear zones in the Iberian Arc. *Jour. Struct. Geol.*, 2, pp. 63-68.
- Irvine, T.N. y Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
- Julivert, M., Fonboté, J.M., Ribeiro, J.M. y Conde, L. 1972. *Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares a E. 1:1.000.000*. Instituto Geológico y Minero de España, 113 pp.
- Mendes, A.C. y Dias, G. 2004. Mantle-like Sr-Nd isotope composition of Fe-K subalkaline granites: the Peneda-Geres Variscan massif (NW Iberian Peninsula). *Terra Nova*, 16, 109-115.
- Ortega Gironés, E. y Gil Iburguchi, J.I. 1983. La Unidad de Malpica-Tuy. En: Libro Jubilar J.M. Ríos. *Geología de España*, 1, 430-440, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- Ortega, L.A., Carracedo, M., Larrea, F.J. y Gil Iburguchi, J.I. 1996. Geochemistry and tectonic environment of volcanosedimentary rocks from the Ollo de Sapo Formation (Iberian Massif, Spain). En: *Petrology and Geochemistry of magmatic suites of rocks in the continental and oceanic crusts*. Vol. Jean Michot. Univ. Libre de Bruxelles, Royal Museum for Central Africa, 277-290.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. y Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- Pliego Dones, D., Rubio Navas, J. y Abril Hurtado, J. 1981. *Mapa Geológico de España E. 1:50.000*. Madrid, Ministerio de Industria, Servicio de Publicaciones, 2ª Serie. Primera Edición (MAGNA); Hoja n° 261: Tuy. I.G.M.E.
- Rubio Navas, J., Corretgé Castañón, L.G. y Floor, P. 1981. *Mapa Geológico de España E. 1:50.000*. Madrid, Ministerio de Industria, Servicio de Publicaciones, 2ª Serie. Primera Edición (MAGNA); Hoja n° 223: Vigo. I.G.M.E.
- Taylor, S.R. y McLennan, S.M. 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford, 312 pp
- Villar Alonso, P., Escuder Viruete, J. y Martínez Catalán, J.R. 1992. La zona de cizalla de Juzbado-Penalva do Castelo en el sector español. *III Congreso Geológico de España*, Salamanca 1992, Simposios tomo 2, pp. 446-456.
- Villaseca, C., Barbero, L. y Rogers, G. 1998. Crustal origin of Hercynian peraluminous granitic batholiths of Central Spain: petrological, geochemical and isotopic (Sr, Nd) constraints. *Lithos*, 43, 55-79.
- Villaseca, C. y Herreros, V. 2000. A sustained felsic magmatic system: the Hercynian granitic batholith of the Spanish Central System. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 91, 207-219.

Recibido: septiembre 2005.

Aceptado: diciembre 2005.