

# **GEOCRONOLOGÍA Y GEOQUÍMICA ISOTÓPICA (Sr, Nd) DE LOS GRANITOIDES DE POLA DE ALLANDE (ASTURIAS): ¿RELICTOS DE UN ARCO MAGMÁTICO CADOMIENSE EN LA ZONA ASTUROCCIDENTAL LEONESA?.**

*[Geochronology and isotopic geochemistry (Sr, Nd) of the Pola de Allande granitoids (Asturias): Relics of a Cadomian magmatic arc in the Westasturian-Leonese Zone?.]*

GABRIEL GUTIÉRREZ-ALONSO (\*)

JAVIER FERNÁNDEZ SUÁREZ (\*\*)

(\*): Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008 España. (E-mail: [gabi@gugu.usal.es](mailto:gabi@gugu.usal.es))

(\*\*): Department of Earth Sciences, Memorial University of New Foundland, St. John's, NF, A1B 3X5 Canadá.

(FECHA DE RECEPCIÓN: 1998-11-23) (FECHA DE ADMISIÓN: 1998-12-09).  
BIBLID [0211-8327 (1998) 34; 85-101].

**RESUMEN:** Los granitoides pre-Variscos de Pola de Allande se sitúan en el Antiforme del Narcea, en el límite entre las zonas Cantábrica y Asturoccidental Leonesa de la cadena Varisca Ibérica. Estos granitoides, formados por tonalitas y granodioritas con afinidades geoquímicas de arco magmático, intruyeron en sedimentos siliciclásticos Neoproterozoicos y fueron posteriormente afectados por la deformación tangencial Varisca. La datación U-Pb de circones de dos intrusiones por el método de Ablación Láser ICP-MS proporcionó edades concordantes de intrusión de  $605\pm 5$  y  $580\pm 15$  Ma. En conocimiento de los autores, ésta es la primera edad U-Pb Cadomiense obtenida en esta zona de la cadena Varisca Ibérica. Estas intrusiones son contemporáneas con el principal episodio de magmatismo predominantemente calcoalcalino relacionado con la

subducción Cadomiense. Los granitoides estudiados presentan características geoquímicas asimilables a las de otros granitoides de la misma edad en otras áreas del cinturón Cadomiense/Avaloniense. La composición isotópica (Sr y Nd) de los granitoides indica que éstos se originaron, bien por mezcla de fundidos mantélicos Cadomienses con un basamento enriquecido de edad en torno a 2 Ga (Icartiense), o bien por fusión parcial de un protolito máfico infracortical extraído del manto a 1,2 Ga (basamento Grenville).

**Palabras clave:** Iberia, Cadomiense, geocronología, Antiforme del Narcea, Varisco, granitoides.

**ABSTRACT:** The Pola de Allande pre-Variscan tonalite-granodiorite plutons are located in the Narcea Antiform, at the boundary zone between the Cantabrian and West-Asturian Leonese zones of the Iberian Variscan belt. These granitoids were intruded into a Neoproterozoic siliciclastic sedimentary sequence with subordinate volcanic intercalations and were subsequently overprinted by Variscan thrust related shear deformation. U-Pb Laser Ablation ICP-MS dating of zircons from two plutons yielded concordant ages of intrusion of  $605\pm 10$  and  $580\pm 15$  Ma. To the authors' knowledge, this is the first reported U-Pb Cadomian-Avalonian age for igneous rocks in this section of the Iberian Variscan belt. These intrusions are coeval with the main episode of dominantly calc-alkaline magmatic activity related to Cadomian-Avalonian event. Major and trace element composition of the granitoids is characteristic of I-type high-K calc-alkaline granitoids, and are comparable to those of coeval granitoids in other areas of the Cadomian-Avalonian belt. Sr and Nd isotopic signatures indicate that the genesis of the Pola de Allande granitoids involved either mixing of mantle melts of Cadomian extraction with an older enriched crust (Eburnean-Icarthian) or melting of a mafic infracrustal protolith with a Grenville age (ca. 1.2 Ga) mantle extraction.

**Key words:** Iberia, Cadomian, geochronology, Narcea Antiform, Variscan, granitoids.

## 1. INTRODUCCIÓN

El autóctono de la cadena Varisca Ibérica en el NO de la península ha sido intensamente estudiado, como se refleja en los numerosos trabajos publicados, en los que se aborda el estudio de los principales aspectos de su estratigrafía, paleontología, estructura, metamorfismo y magmatismo. Este conjunto de estudios ha permitido un gran avance en el conocimiento de la evolución geodinámica de la cadena y la reconstrucción de la historia Varisca de Iberia (DALLMEYER *et al.*, 1997; MARTÍNEZ CATALÁN *et al.*, 1996, 1997; PÉREZ ESTAÚN *et al.*, 1991; y referencias en estos trabajos). Sin embargo, la geología pre-Varisca (y particularmente la Precámbrica) del NO de Iberia ha sido mucho menos estudiada que sus equivalentes en otras áreas de Europa occidental y el este de Norteamérica (e. g. D'LEMONS *et al.*, 1990; NANCE & THOMPSON, 1996). Como consecuencia, el papel de Iberia en la evolución de Gondwana durante el Proterozoico y Paleozoico temprano es en gran medida desconocido.

En este trabajo, se presenta una aportación al conocimiento de dicha geología mediante el estudio geocronológico y geoquímico de los granitoides calcoalcalinos de Pola de Allande (CORRETGÉ, 1969; GUTIÉRREZ-ALONSO & FERNÁNDEZ-SUÁREZ, 1996). Los datos presentados son la base de una discusión sobre el magmatismo Cadomiense/Avaloniense en esta sección del Varisco de Europa Occidental. Dichos datos son comparados con otros de granitoides contemporáneos en terrenos perigondwánicos en Europa y Norteamérica.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO Y PRINCIPALES ASPECTOS PETROGRÁFICOS DE LOS GRANITOIDES

Los materiales Proterozoicos en la cadena Varisca del NO de la Península Ibérica afloran en dos estructuras antiformales (antiformes del Narcea y Lugo) y ocupan áreas extensas en la zona Centro-Ibérica (Figura 1). En estas tres áreas, las rocas Proterozoicas están formadas por potentes series pelítico-grauváquicas con intercalaciones volcánicas. Estos materiales fueron posteriormente intruidos por granitoides pre-Variscos y Variscos.

En los antiformes de Lugo y del Narcea, estas secuencias sedimentarias se sitúan discordantes bajo sedimentos siliciclásticos marinos del Cámbrico inferior. Esta discordancia se originó como consecuencia de la actividad tectónica Cadomiense. En la zona Centroibérica, las rocas Proterozoicas se sitúan bajo sedimentos Cámbricos en aparente continuidad estratigráfica y los sedimentos del Ordovícico inferior se sitúan discordantes sobre los anteriores (discordancia Sárdica) (JULIVERT *et al.*, 1972). Los materiales Proterozoicos fueron afectados por un metamorfismo Varisco de grado bajo-muy bajo en el antiforme del Narcea, de grado bajo-medio en el antiforme de Lugo, y de grado bajo a alto (con fusión parcial local) en la zona Centroibérica (GUTIÉRREZ ALONSO & NIETO, 1996; MARTÍNEZ CATALÁN, 1985; MARTÍNEZ *et al.*, 1988).

Las rocas ígneas pre-Variscas en el NO de Iberia registran dos eventos magmáticos: i) un conjunto de rocas volcánicas y plutónicas félsicas a intermedias (Ollo de Sapo) (Fig. 1b) y rocas volcánicas máficas cuyas edades están comprendidas entre ca 520 y 465 Ma (GEBAUER, 1993; HEINZ *et al.*, 1985; LANCELOT *et al.*, 1985; ORDOÑEZ CASADO *et al.*, 1997a, b; VALVERDE & DUNNING, 1997). ii) Un segundo grupo de rocas más antiguas representadas por dos intrusiones, el metagranitoide calcoalcalino de Miranda do Douro (618±9 Ma, LANCELOT *et al.*, 1985) y los granitoides calcoalcalinos de Pola de Allande (este trabajo). De todas formas, es posible que algunas rocas que se consideran pre-Variscas en el Noroeste de Iberia y que no han sido datadas puedan pertenecer a este segundo grupo.

El Antiforme del Narcea (Figura 2) en el que afloran los granitoides estudiados es una amplia culminación antiformal en el límite entre el *foreland* y el *hinterland* del orógeno Varisco del NO de Iberia. Los principales aspectos de la evolución estructural y metamórfica de este área han sido ampliamente discutidos en GUTIÉRREZ-ALONSO (1996) y GUTIÉRREZ-ALONSO & NIETO (1996).

Las dos intrusiones objeto de este estudio (Figura 2) fueron afectadas por todas las fases de deformación Varisca (ca. 330-320 Ma, DALLMEYER *et al.*, 1997). En los granitoides, la deformación dió lugar a bandas miloníticas y filoníticas de escala métrica que preservan en su interior cuerpos lenticulares de granitoide ligeramente deformados. Esta deformación confiere un aspecto de gneiss a estas rocas (SCHULZ, 1858; BARROIS, 1882; CORRETEGÉ, 1969). A escala de afloramiento, los granitoides muestran relaciones intrusivas con los metasedimentos Proterozoicos encajantes.

Las intrusiones están formadas por granodioritas y tonalitas (con anfíbol y piroxeno) con presencia esporádica de enclaves de microgranitoides máficos de tamaño centimétrico (ver también CORRETEGÉ, 1969 y GUTIÉRREZ-ALONSO & FERNÁNDEZ-SUÁREZ, 1996).

### 3. EDAD DE LOS GRANITOIDES. DATACIÓN POR ABLACIÓN LASER ICP-MS

La ablación láser acoplada al espectrómetro de masas ICP, es utilizada esencialmente en el análisis cuantitativo de elementos traza en materiales sólidos y líquidos. Su utilización para la datación U-Pb de monocristales de circón y monacita fué desarrollada en la Universidad Memorial de Terranova y en la actualidad éste es el único centro en el que se obtienen resultados satisfactorios mediante dicha técnica. Aunque su precisión es inferior a la del método convencional, es de gran utilidad en muchos casos, ya que no necesita la disolución previa de los minerales, y permite la realización de un gran número de análisis por sesión.

La instrumentación utilizada para el análisis es una microsonda de ablación láser construida en la Universidad Memorial, basada en un láser Nd:YAG con frecuencia cuadruplicada y funcionando en una frecuencia de 266 nm en el ultravioleta. Un microscopio óptico acoplado al sistema permite la visualización y rápida localización de las muestras. La microsonda de ablación láser está acoplada a un espectrómetro de masas VGPQII+ "S". Esta instrumentación tiene límites de detección muy bajos para U y Pb para un diámetro del haz de 30  $\mu$ . El procedimiento analítico permite asimismo minimizar la fraccionación de U y Pb durante el proceso de ablación. Los datos se adquieren en modo "*time-resolved*" lo que permite un tratamiento posterior con el software desarrollado a tal fin para minimizar el efecto de "accidentes analíticos" debidos a causas diversas. Es decir, que permite seleccionar el intervalo óptimo de señal en cada análisis. Este procedimiento analítico permite determinar las relaciones isotópicas U/Pb con una precisión del 1% ( $1\sigma$ ).

Circones de las muestras GN-2 y GN-10 (situación en Figura 2) fueron separados mediante técnicas convencionales (mesa Wilfley, líquidos pesados y separación magnética). Sólo los circones de máxima calidad fueron elegidos para su posterior análisis y fueron seleccionados a mano con la ayuda de una lupa

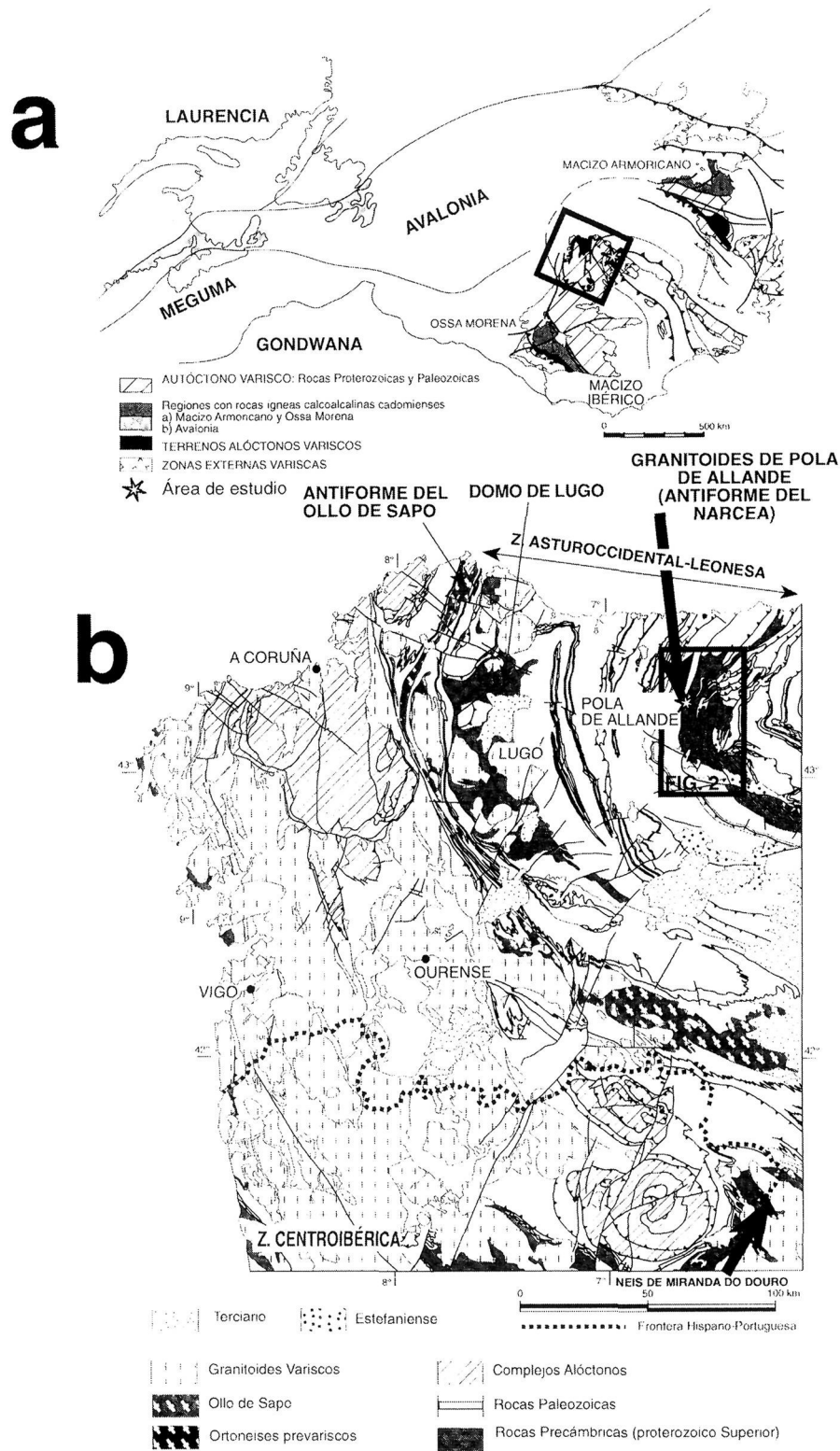


Fig. 1. a) Reconstrucción de la Pangea en torno a Iberia en la que se representan el arco Ibero-Armoricano y la extensión de los terrenos Avalonienses (modificado de LEFORT, 1989 y MARTÍNEZ CATALÁN et al., 1997). b) Mapa geológico del NO de la Península Ibérica en el que se muestran los diferentes afloramientos de rocas Proterozoicas, incluyendo las intrusivomes Cadomienses (Pola de Allande y Miranda do Douro), los afloramientos de las rocas tipo "Olló de Sapo" y las principales divisiones paleogeográficas. Las muestras estudiadas se representan con una estrella en ambas figuras.

binocular de gran aumento. La mayor parte de los cristales analizados eran prismas cortos (Figura 3) incoloros o marrón claro a rosa claro.

Los cristales seleccionados fueron posteriormente montados en una resina mezclada con un endurecedor, pulidos a mano para obtener una superficie de análisis lo más plana posible y lavados en ácido antes de ser analizados. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1 y Figura 3 y su interpretación se discute a continuación.

El diagrama de concordia para la muestra GN-2 se muestra en la Figura 3a. El análisis Z9 (Tabla 2) es concordante dentro del error y da una edad de  $605 \pm 5$  Ma. Los análisis Z5 y Z10 se sitúan ligeramente sobre la concordia pero las edades  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  y  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  se corresponden con la de Z9. El análisis Z13 da una edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  ligeramente más joven (ca 590 Ma); y los análisis Z7, Z11 y Z12 dan edades aún más jóvenes (575-540 Ma), que se deben a una pérdida de Pb subconcordante relacionada con eventos tectonotérmicos posteriores a la intrusión. Debe notarse que, exceptuando el análisis Z11, las edades  $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$  (Tabla 1) varían entre 591 y 616 Ma. Considerando el conjunto de datos, se propone una edad de  $605 \pm 5$  como edad de cristalización de la intrusión.

La Figura 3b muestra el diagrama de concordia de la muestra GN-10. Los análisis son menos precisos que en la muestra anterior (Tabla 1) pero las edades  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  de los análisis Z6, Z8, Z9 y Z11 se agrupan en torno a  $580 \pm 15$  Ma. El análisis Z10 es menos preciso y da una edad más antigua. Las edades  $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$  varían entre 580 y 594 Ma excepto en el caso de Z11 (555 Ma). En este caso, se propone una edad de cristalización de  $580 \pm 15$  Ma para la intrusión.

Los datos presentados no son lo suficientemente precisos para especular sobre la posibilidad de que las intrusiones representen dos pulsos magmáticos diferentes (605 y 580 Ma respectivamente). Dado que las edades de ambas intrusiones se superponen dentro de los márgenes de error, están muy próximas geográficamente y tienen prácticamente las mismas características petrográficas y geoquímicas, consideramos que deben ser consideradas como contemporáneas, representando un episodio magmático a -600 Ma.

Los datos geocronológicos discutidos en los párrafos anteriores constituyen la primera evidencia de plutonismo Cadomiense/Avaloniense en este área de la cadena Varisca y resaltan la importancia de dicha área en el estudio de la geología Cadomiense de Iberia.

Hasta la fecha, sólo se conocían rocas de esta edad en la zona Centroibérica (metagranitoide de Miranda do Douro,  $618 \pm 9$  Ma, LANCELOT *et al.*, 1985) y en Ossa Morena (metagabros con una edad U-Pb de  $611 \pm 17/-12$ , SCHÄFFER, 1990).

La edad de los granitoides de Pola de Allande corresponde a la del principal episodio de magmatismo predominantemente calcoalcalino en otras áreas del cinturón Cadomiense-Avaloniense (D'LEMONS & BROWN, 1993; GIBBONS & HORAK, 1996; MURPHY *et al.*, 1996; O'BRIEN *et al.*, 1996; STRACHAN *et al.*, 1996).

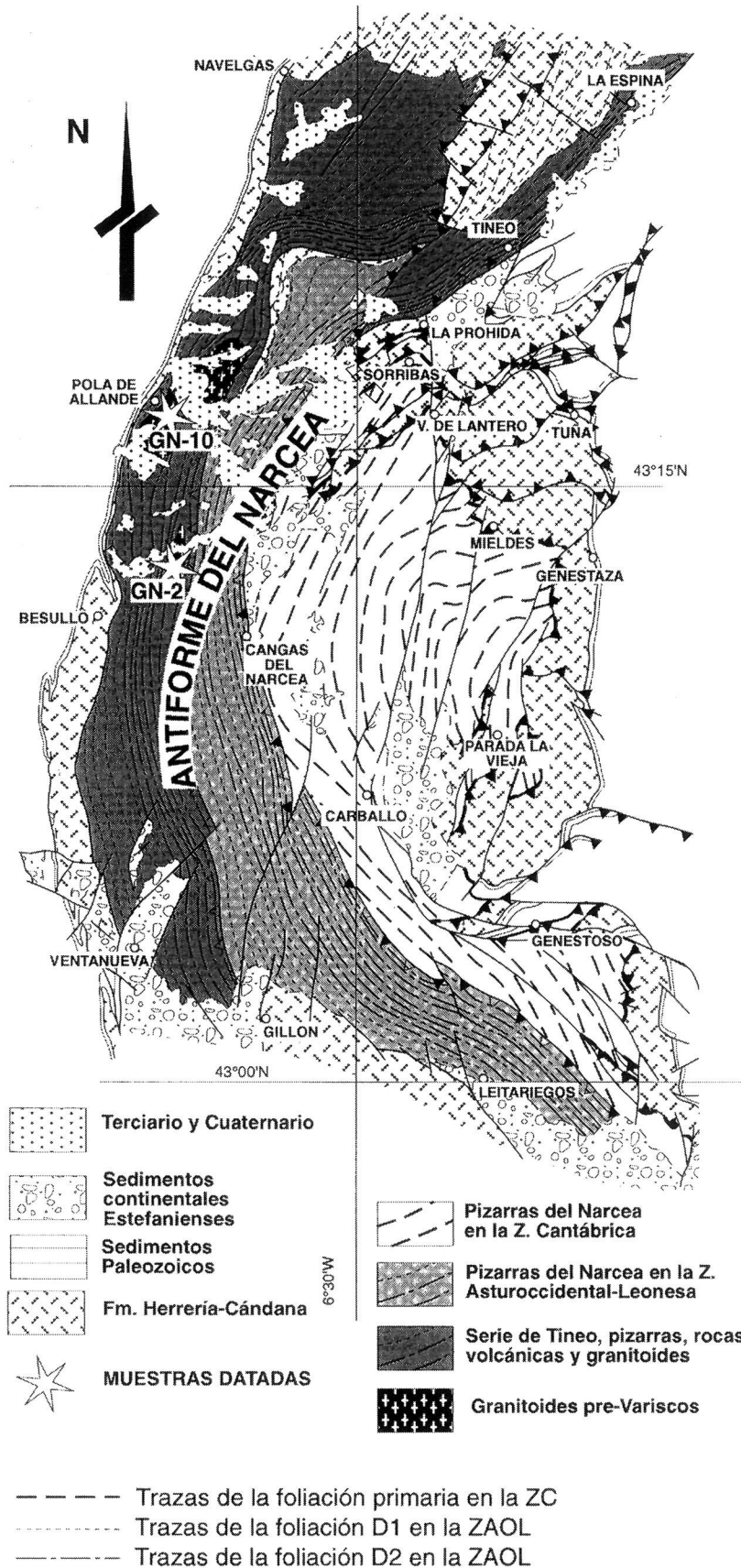


Fig. 2. Mapa geológico del Antiforme del Narcea mostrando las localidades de muestreo de las intrusiones datadas (modificado de GUTIÉRREZ-ALONSO, 1996).

#### 4. GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZAS

Los principales rasgos geoquímicos de estos granitoides en base a su contenido en elementos mayores y trazas se han discutido ampliamente en trabajos anteriores (GUTIÉRREZ-ALONSO & FERNÁNDEZ-SUÁREZ, 1996; FERNÁNDEZ SUÁREZ *et al.*, en prensa). La composición de estos granitoides (elementos mayores y trazas) es, de acuerdo con su situación en los diagramas de discriminación, característica de magmas calcoalcalinos ricos en potasio generados en ambientes de arco magmático.

#### 5. GEOQUÍMICA ISOTÓPICA (Sr, Nd)

##### 5.1. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Se analizaron tres muestras representativas del conjunto intrusivo para conocer la composición isotópica (Sr y Nd) de los granitoides. Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Isótopos Radiactivos de la Universidad Memorial de Terranova. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

Las separaciones isotópicas y los análisis se llevaron a cabo de acuerdo con las técnicas descritas en SWINDEN *et al.* (1990). Los análisis se realizaron en un espectrómetro de masas Finnigan MAT 262V TI-MS. Los errores en la determinación de la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  se dan al 95% de nivel de confianza ( $2\sigma$ ) y se basan sólo en medidas de espectrometría de masas. La relación isotópica  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  se han calculado utilizando software desarrollado en el mencionado laboratorio. Los cálculos se basan en las relaciones  $^{87}\text{Rb}/^{85}\text{Rb}$  medidas y en relaciones  $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  conocidas (*spiked ratios*). Los errores en la relación  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  se dan al 95% de nivel de confianza ( $2\sigma$ ) y se basan sólo en mediciones de espectrometría de masas. Las relaciones isotópicas  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  se calculan utilizando el software mencionado. Los cálculos se basan en las relaciones  $^{147}\text{Sm}/^{149}\text{Sm}$  medidas y en relaciones  $^{150}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  conocidas (*spiked ratios*). Los valores de  $\epsilon_{\text{Nd}}$  se han calculado usando un valores  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  (CHUR) de 0,512638 y  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  (CHUR) de 0,19659. En las muestras analizadas,  $2\sigma$  es 0,00002 para  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ , 0,00001 para  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ , y 0,00002 para  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  (no mostrado en Tabla 2). Las edades modelo  $T_{\text{DM}}$  se han calculado utilizando la ecuación de LIEW & HOFFMAN (1988) que tiene en cuenta el efecto de la fraccionamiento de fases accesorias.

##### 5.2. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las relaciones isotópicas iniciales se calcularon para una edad de 600 Ma (ver sección de geocronología). Las tres muestras tienen una composición isotópica de



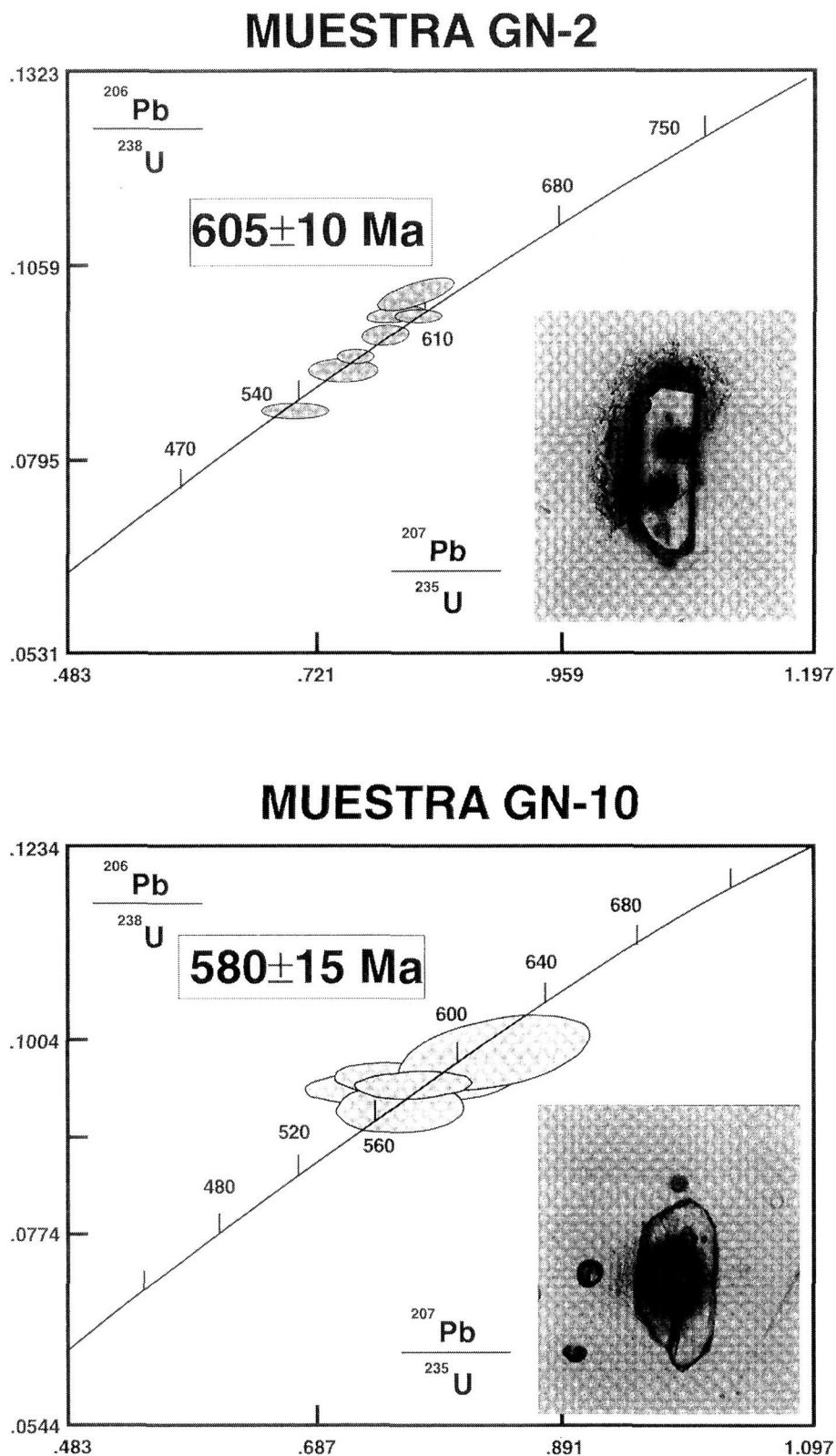


Fig. 3. Diagramas de concordia para las dos muestras analizadas por Ablación Láser ICP-MS. Explicación y discusión en el texto. En el margen inferior derecho de los diagramas se muestra una microfotografía de dos circones después de la ablación. El diámetro del orificio ablacionado es de aproximadamente 30  $\mu\text{m}$ )

Sr muy similar (Tabla 2) con un valor medio de la relación  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{600\text{Ma}}$  de 0,7055. Esta composición isotópica de Sr es característica de granitoides de tipo I (CHAPPELL & WHITE, 1974; CHAPPELL & STEPHENS, 1988), y está en concordancia con las características geoquímicas indicadas por elementos mayores y trazas (GUTIÉRREZ-ALONSO & FERNÁNDEZ-SUÁREZ, 1996; FERNÁNDEZ SUÁREZ *et al.*, en prensa).

La composición isotópica de Nd es también muy similar para las tres muestras analizadas (Tabla 2). Los valores de  $\epsilon_{\text{Nd}}$  son ligeramente negativos y los valores de  $T_{\text{DM}}$  se sitúan dentro del rango de valores de granitoides y rocas volcánicas contemporáneos en otras áreas del cinturón Cadomiense/Avaloniense (Fig 4a) (D'LEMONS & BROWN, 1993; NANCE & MURPHY, 1994, 1996; MURPHY *et al.*, 1996).

Al igual que la petrografía y la geoquímica de estas rocas, los valores de  $\epsilon_{\text{Nd}_{600\text{Ma}}}$  y  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{600\text{Ma}}$  indican que los granitoides de Pola de Allande no se originaron por fusión directa del manto o por diferenciación de un fundido mantélico durante el evento magmático Cadomiense/Avaloniense. Esto se ilustra en la Figura 4b, en la que las muestras de los granitoides de Pola de Allande se proyectan en el cuadrante IV del diagrama  $\epsilon_{\text{Nd}_i}$  vs  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ . En este diagrama, las muestras se disponen sobre el *trend* definido por granitoides cordilleranos de tipo I, muy próximos a los granitoides de tipo I isotópicamente menos evolucionados del SE de Australia. De todas formas, la participación en cierto grado de fundidos mantélicos de edad Cadomiense no puede ser descartada totalmente en base a los datos disponibles.

La edad modelo  $T_{\text{DM}}$  de estos granitoides (-1,2 Ga) (Tabla 2) podría representar una mezcla isotópica entre una corteza antigua (Eburnense-Icartiense) formada a ca 1,8-2 Ga (CALVEZ & VIDAL, 1978; GUERROT *et al.*, 1989; NÄGLER *et al.*, 1995; SAMSON & D'LEMONS, 1998) y fundidos mantélicos de edad Cadomiense, como fué sugerido por D'LEMONS & BROWN (1993) para el plutonismo Cadomiense en Francia.

Otra posibilidad más probable, es que la composición isotópica de Nd de los granitoides estudiados refleje la composición isotópica de un protolito máfico infracortical con una edad de extracción del manto en torno a 1,2 Ga. Esto implicaría que los granitoides de Pola de Allande derivan de la fusión parcial de un basamento cortical de edad asimilable al Grenville (o Sunsas-Rondoniense), como se ha sugerido para otras áreas del cinturón Cadomiense (MURPHY *et al.*, 1996; HEATHERINGTON *et al.*, 1996; MUELLER *et al.*, 1996). Los principales argumentos en favor de esta hipótesis son: i) la abundancia de edades modelo  $T_{\text{DM}}$  comprendidas entre 1 y 1,3 Ga en rocas ígneas de origen infracortical con edades que van desde el Cadomiense al Varisco (e. g. BEETSMA, 1995; ORTEGA *et al.*, 1996; MORENO VENTAS *et al.*, 1995), ii) la edad de 1,2 Ga está comprendida dentro del rango de edades modelo en xenolitos máficos infracorticales del Macizo Central Francés (DOWNES & LEYRELUP, 1986). Dichos xenolitos, de haber sido extraídos del manto a 1,2 Ga, tendrían valores de  $\epsilon_{\text{Nd}_{600\text{Ma}}}$  muy próximos a cero, iii) esta hipótesis no necesita invocar la mezcla de diferentes fuentes para explicar la génesis de los granitoides y es más consistente con los modelos para la generación de granitoides calcoalcalinos ricos en potasio (ROBERTS & CLEMENS, 1993). Este argumento se ve

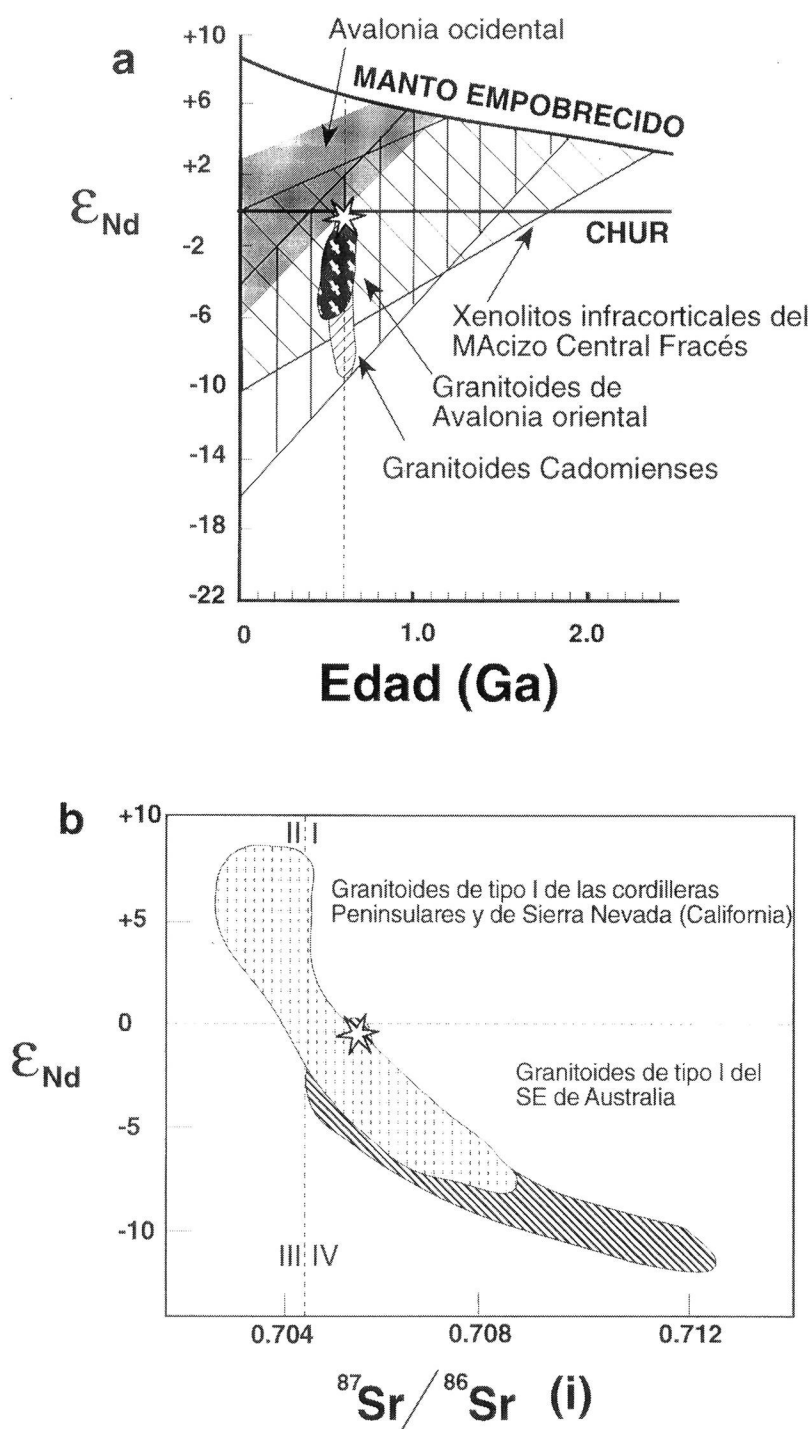


Fig. 4. a) Diagrama  $\epsilon_{Nd}$  vs tiempo mostrando la composición isotópica (Nd) de los granitoides de Pola de Allande, muy próximos a valores CHUR a 0.6 Ga. Para comparación, se han representado los campos de granitoides Cadomienses de "East Avalonia" y Francia (Cadomia) (límites de los campos según NANCE & MURPHY, 1996). También se muestra las envolventes de la composición isotópica de Nd de "West Avalonia" y de xenolitos infracorticales del Macizo central Francés (DOWNES et al., 1986). b) Diagrama  $\epsilon_{Nd}$  vs  $^{87}Sr/^{86}Sr$  mostrando la composición isotópica (Sr y Nd) de los granitoides de Pola de Allande (ver texto). A efectos de comparación se han representado los campos de granitoides tipo I del Batolito de Sierra Nevada y del SE de Australia (Lachlan fold belt) (límites de los campos según DE PAOLO, 1981 y MCCULLOCH & CHAPPELL, 1982 respectivamente).

fortalecido por el hecho de la abundancia de edades modelo Grenville en rocas de diferente edad, lo que precisa que en cada momento la mezcla isotópica se produzca en las “proporciones adecuadas”, una situación mucho menos probable que la existencia de un basamento de edad 1,2 Ga que sufre diferentes episodios de fusión parcial. El principal argumento en contra de esta hipótesis es la ausencia de evidencia directa (edades de circón) de la existencia de un basamento Grenville en los terrenos Gondwánicos del Varisco de Europa Occidental. Sin embargo, investigaciones geocronológicas en circones heredados de rocas Proterozoicas y Cámbricas de Iberia (FERNÁNDEZ-SUÁREZ *et al.*, in prep.) sugieren tal posibilidad.

## 6. DISCUSIÓN FINAL Y CONCLUSIONES

Los datos presentados y discutidos en apartados anteriores ponen de manifiesto por primera vez la existencia de actividad magmática Cadomiense/Avaloniense en la zona Asturoccidental Leonesa de la cadena Varisca Ibérica. Los granitoides de Pola de Allande intruyeron los metasedimentos Proterozoicos encajantes a 600 Ma y presentan características geoquímicas e isotópicas comparables a las de granitoides contemporáneos en otros dominios del cinturón Cadomiense. Dichas características indican un origen en un contexto geodinámico de arco magmático, posiblemente como resultado de la fusión parcial de un protolito máfico infracortical. En consecuencia, dichos granitoides se han formado durante el estadio principal de magmatismo relacionado con la subducción Cadomiense.

Un aspecto destacable del Cadomiense en la península Ibérica es la escasez de manifestaciones plutónicas correspondientes al principal episodio magmático (630-590 Ma). Este hecho, combinado con la extensión, naturaleza y procedencia (UGIDOS *et al.*, 1997) de los metasedimentos encajantes, podría indicar que dichos granitoides se generaron en una zona de retroarco, situada por detrás del principal edificio magmático Cadomiense. Esta hipótesis es consistente con las reconstrucciones paleogeográficas más aceptadas del cinturón Cadomiense (e. g. MURPHY & NANCE, 1991).

Finalmente, este trabajo incorpora un área hasta ahora no considerada en el estudio de la orogenia Cadomiense, cuyo estudio contribuirá a completar el conocimiento de dicho orógeno en su totalidad.

**AGRADECIMIENTOS:** J.F.S. desea agradecer una beca post-doctoral del Ministerio de Educación y Cultura y expresar su reconocimiento a J. JENNER, P. HORAN, M. TUBRETT, P. KING y L. HEWA por su ayuda en el laboratorio. G.G.A. se ha beneficiado de financiación procedente del proyecto PB96-1452-CO-03-02 del Ministerio de Educación y Cultura. Discusiones con R. ARENAS, F. DÍAZ GARCÍA, J.R. MARTÍNEZ CATALÁN, B. MURPHY y O.SUÁREZ han ayudado a desarrollar y clarificar las ideas presentadas.

Tabla 1. Resultados de los análisis de ablación láser

MUESTRA GN-2																			
Análisis	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	ratio	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Edad (Ma)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Edad (Ma)	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	Edad (Ma)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	rsd (%)	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	rsd (%)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	rsd (%)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	rsd (%)
Z5	0.0583	0.0309	0.7955	0.0990	0.0990	609	540	594	609	615	615	540	1.3	1.2	1.2	1.5	1.5	0.5	0.5
Z7	0.0591	0.0297	0.7442	0.0914	0.0914	564	570	565	564	591	591	570	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	0.6	0.6
Z9	0.0599	0.0308	0.8149	0.0987	0.0987	607	600	605	607	614	614	600	1.2	0.7	0.7	1.2	1.2	0.4	0.4
Z10	0.0581	0.0310	0.8141	0.1017	0.1017	624	532	605	624	616	616	532	1.5	1.6	1.6	1.9	1.9	0.9	0.9
Z11	0.0590	0.0273	0.6978	0.0858	0.0858	531	566	537	531	545	545	566	1.9	1.1	1.1	1.9	1.9	0.5	0.5
Z12	0.0588	0.0297	0.7559	0.0933	0.0933	575	558	572	575	592	592	558	1.1	0.9	0.9	1.1	1.1	0.4	0.4
Z13	0.0591	0.0299	0.7844	0.0963	0.0963	593	568	588	593	595	595	568	1.2	1.1	1.1	1.2	1.2	0.6	0.6

MUESTRA GN-10																			
Análisis	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	ratio	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Edad (Ma)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	Edad (Ma)	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	Edad (Ma)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	rsd (%)	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	rsd (%)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	rsd (%)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	rsd (%)
Z6	0.05747	0.02948	0.7573	0.0956	0.0956	588	508	572	588	587	587	508	3.53	1.82	1.82	3.37	3.37	1.08	1.08
Z8	0.05860	0.02982	0.7675	0.0950	0.0950	585	552	578	585	594	594	552	2.57	1.98	1.98	2.62	2.62	0.74	0.74
Z9	0.05835	0.02916	0.7638	0.0949	0.0949	585	542	576	585	581	581	542	4.68	3.94	3.94	4.77	4.77	0.93	0.93
Z10	0.06146	0.02984	0.8354	0.0986	0.0986	617	654	617	606	594	594	654	3.57	2.97	2.97	3.94	3.94	1.95	1.95
Z11	0.05952	0.02783	0.7566	0.0922	0.0922	568	586	572	568	555	555	586	3.06	2.41	2.41	2.89	2.89	1.31	1.31

Tabla 2. Resultados de los análisis de Sr y Nd

	GN-2	GN-5	GN-8
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	1.0630	0.9851	13.248
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.7154	0.7131	0.7172
$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (600Ma)	0.7062	0.7047	0.7058
$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	0.12707	0.1176	0.12195
$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	0.512352	0.512321	0.512344
$\epsilon_{\text{Nd}}$ (600 Ma)	-0.28	-0.16	-0.04
TCHUR (Ga)	0.6	0.6	0.6
TDM (Ga)	1.2	1.2	1.2

## BIBLIOGRAFÍA

- BEETSMA, J.J. (1995): *The late Proterozoic/Paleozoic and Hercynian crustal evolution of the Iberian Massif, N Portugal, as traced by geochemistry and Sr-Nd-Pb isotope systematics of pre-Hercynian terrigenous sediments and Hercynian Granitoids*. PhD Thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands, 223 pp.
- BARROIS, CH. (1882): Recherches sur les terrains anciens des Asturies et de la Galice. *Mem. Soc. Geol. Nord*, **2**(1): 630 pp.
- CALVEZ, J.&., & VIDAL P. (1978): Two billion year old relicts in the Hercynian belt of western Europe. *Contr. Min. Petr.*, **65**: 395-399.
- CHAPPELL, B. W. & STEPHENS, W. E. (1988): Origin of infracrustal (I-type) granite magmas. *Trans. R. Soc. Edinburgh*, **79**: 71-86.
- CHAPPELL, B. W. & WHITE, A. J. R. (1974): Two contrasting granite types. *Pacific Geol.*, **8**: 173-174.
- CORRETGÉ, L.G. (1969): El complejo ortoneísico de Pola de Allande. *Bol. Geol. y Minero*, **80**: 289-306.
- D'LEMONS, R.S., STRACHAN, R.A. & TOPLEY, C.G. (1990): *The Cadomian orogeny in the North Armorican Massif: a brief review*. In: The Cadomian Orogeny. (R.S. D'LEMONS, R.A. STRACHAN, & C.G. TOPLEY, Eds.), *Geol. Soc., Spec. Publ.*, **51**: 13-26.
- D'LEMONS, R.S. & BROWN, M. (1993): Sm-Nd isotope characteristics of of late Cadomian granite magmatism in northern France and the Channel islands. *Geol. Mag.*, **130**: 797-804.
- DEPAOLO, D.J. (1981): A neodymium and strontium isotopic study of the Mesozoic calc-alkaline granitic batholiths of the Sierra Nevada and Peninsular Ranges, California. *J. Geoph. Res.*, **86**: 10470-10488.
- DALLMEYER, R.D., MARTÍNEZ CATALÁN, J.R., ARENAS, R., GIL IBARGUCHI, I., GUTIÉRREZ-ALONSO, G., FARIAS, P., BASTIDA, F. & ALLER, J. (1997): Diachronous Variscan tectonothermal activity in the NW Iberian Massif: Evidence from  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of regional fabrics. *Tectonophysics*, **277**: 307-337.
- DOWNES, H. & LEYRELOUP, A. (1986): *Granulitic xenoliths from the French Massif Central-petrology, Sr and Nd isotope systematics and model age estimates*. In: The nature of the Lower Crust. (J.B. DAWSON, D.A. CARSWELL, J.HALL & K.H. WEDEPOHL, Eds.), *Geol. Soc., Spec. Publ.*, **24**: 319-330.
- FERNÁNDEZ-SUÁREZ, J., GUTIÉRREZ-ALONSO, G., JENNER, J.A. & JACKSON, S.E. (en prensa): Geochronology and geochemistry of the Pola de Allande granitoids (northern Spain). Their bearing on the Cadomian/Avalonian evolution of NW Iberia. *Canad. J. Earth Sci.*
- GEBAUER, D. (1993): Intra-grain zircon dating within the Iberian Massif: Ollo de Sapo augengneisses, bimodal gneisses from the Massif de Guillerries (Girona), Graywacke of

the Tentudía Group (serie Negra, SW Spain) and the HP/HT-rock association at Cabo Ortegal (Galicia). *XII Reunião de Geologia do Oeste Peninsular. Comunicações. Evora. Portugal.* 41-46.

- GIBBONS, W. & HORÁK, J.M. (1996): *The evolution of the Neoproterozoic Avalonian subduction system: Evidence from the British Isles. In: Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic.* (R. D. NANCE AND M.D. THOMPSON, Eds.), Boulder, Colorado, *Geol. Soc. America, Spec. Pap.*, **304**: 269-280.
- GUERROT, C., PEUCAT, J.J., CAPDEVILA, R., & DOSSO, L. (1989): Archean protoliths within Early Proterozoic granulitic crust of the west European Hercynian belt: Possible relics of the west African craton. *Geology*, **17**: 241-244.
- GUTIÉRREZ-ALONSO, G. & FERNÁNDEZ SUÁREZ, J. (1996): Geología y Geoquímica del granitoide pre-Varisco de Puente de Selce (Antiforme del Narcea, Asturias). *Rev. Soc. Geol. España*, **9 (3-4)**: 227-239.
- GUTIÉRREZ-ALONSO, G. & NIETO, F. (1996): White-mica "crystallinity", finite strain and cleavage development across a large Variscan structure, NW Spain. *J.Geol. Soc.*, London, **153**: 287-299.
- GUTIÉRREZ-ALONSO, G. (1996): Strain partitioning in the footwall of the Somiedo Nappe: structural evolution of the Narcea Tectonic Window, NW Spain. *J. Struct. Geol.*, **18**: 1217-1230.
- HEATHERINGTON, A.L., MUELLER, P.A., & NUTMAN, A.P. (1996): *Neoproterozoic magmatism in the Suwannee terrane. In: Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic.*(R. D. NANCE AND M.D. THOMPSON, Eds.), Boulder, Colorado, *Geol. Soc. America, Spec. Pap.*, **304**, pp. 257-268.
- HEINZ, J., LOESCHKE, J., & VAVRA, G. (1985): Phreatomagmatic volcanism during the Ordovician of the Cantabrian Mountains (NW Spain). *Geol. Rundschau*, **74**: 623-639.
- JULIVERT, M., MARCOS, A., & TRUYOLS, J. (1972): L'évolution paléogéographique du NW de l'Espagne pendant l'Ordovicien-Siluren. *Bull. Soc. Géol. Minér. Bretagne*, **4**: 1-7.
- LANCELOT, J.R., ALLEGRET, A. & IGLESIAS, M. (1985): Outline of upper Precambrian and Lower Paleozoic evolution of the Iberian Peninsula according to U-Pb dating of zircons. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **74**: 325-337.
- LEFORT, J.P. (1989): *Basement correlation across the North Atlantic.* Springer, Berlin. 148 pp.
- LIEW, T.C., & HOFFMAN, A.W. (1988): Precambrian crustal components, plutonic associations, plate environment of the Hercynian foldbelt of central Europe: implications from a Nd and Sr isotopic study. *Contrib. Miner. Petrol.*, **98**: 129-138.
- MARTÍNEZ, F.J., JULIVERT, M. SEBASTIAN, A., ARBOLEYA, M.L. & GIL IBARGUCHI, J.I. (1988): Structural and thermal evolution of high-grade areas in the Northwestern parts of the Iberian Massif. *Amer. J. Sci.*, **288**: 969-996.

- MARTÍNEZ-CATALÁN, J.R. (1985): Estratigrafía y estructura del Domo de Lugo (sector Oeste de la Zona Asturoccidental-Leonesa). *Corpus Geologicum Gallaeciae*, **2**: 1-291.
- MARTINEZ-CATALÁN, J.R., ARENAS, R., DÍAZ GARCÍA, F., RUBIO PASCUAL, F.J., ABATI, J. & MARQUÍNEZ, J. (1996): Variscan exhumation of a subducted Paleozoic continental margin: The basal units of the Ordenes Complex, Galicia, NW Spain. *Tectonics*, **15**: 106-121.
- MARTINEZ-CATALÁN, J.R., ARENAS, R., DÍAZ GARCÍA, F. & ABATI, J. (1997): Variscan accretionary complex of Northwest Iberia: Terrane correlation and succession of tectonothermal events. *Geology*, **25**: 1103-1106.
- MCCULLOCH, M. T. & CHAPPELL, B. W. (1982): Nd isotopic characteristics of S- and I-type granites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **58**, 51-64.
- MORENO-VENTAS, I., ROGERS, G. & CASTRO, A. (1995): The role of hybridization in the genesis of Hercynian granitoids in the Gredos Massif, Spain: inferences from Sr-Nd isotopes. *Contrib. Miner. Petrol.*, **120**: 137-149.
- MUELLER, P.A., KOZUCH, M., HEATHERINGTON, A.L., WOODEN, J.L., OFFIELD, T.W., KOEPPEN, R.P., KLEIN, T.L. & NUTMAN, A.P. (1996): Evidence of Mesoproterozoic basement in the Carolina terrane and speculations on its origin. In: Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic. (R. D. NANCE AND M.D. THOMPSON, Eds.), Boulder, Colorado, *Geol. Soc. America, Spec. Pap.*, **304**: 207-217.
- MURPHY, J.B. & NANCE, R.D. (1991): Supercontinent model for the contrasting character of Late Proterozoic orogenic belts. *Geology*, **19**: 469-472.
- MURPHY, J.B.; KEPPIE, J.D.; DOSTAL, J. & COUSENS, B.L. (1996): Repeated late Neoproterozoic-Silurian lower crustal melting beneath the Antigonish Highlands, Nova Scotia: Nd isotopic evidence and tectonic interpretations. In: Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic. (R. D. NANCE AND M.D. THOMPSON, Eds.), Boulder, Colorado, *Geol. Soc. America, Spec. Pap.*, **304**: 109-120.
- NÄGLER, T.F., SCHÄFER, H.J. & GEBAUER, D. (1995): Evolution of the Western European continental crust: implications from Nd and Pb isotopes in Iberian sediments. *Chem. Geol. (Isotope Geoscience Section)*, **121**: 345-347.
- NANCE, R.D. & MURPHY, J.B. (1994): Contrasting basement isotopic signatures and the palinspastic restoration of peripheral orogens: Example from the Neoproterozoic Avalonian-Cadomian belt. *Geology*, **22**: 617-620.
- NANCE R.D. & THOMPSON, M.D. (Eds.) (1996): Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic. Boulder, Colorado, *Geol. Soc. America, Spec. Pap.*, **304**.
- O'BRIEN, S.J., O'BRIEN, B.H., DUNNING, G.R. & TUCKER, R.D. (1996): Late Neoproterozoic Avalonian and related peri-Gondwanan rocks of the Newfoundland Appalachians. In: Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic. (R. D. Nance and M.D. Thompson, Eds.), Boulder, Colorado, *Geol. Soc. America, Spec. Pap.*, **304**: 9-28.



- ORDOÑEZ-CASADO, B., GEBAUER, D. & EGUILUZ, L. (1997a): Late Cadomian formation of two anatectic gneiss domes in the Ossa Morena zone: Monesterio and mina Afortunada. *XIV Reunião de Geologia do Oeste Peninsular. Evolução Geológica do Maciço Ibérico e seu enquadramento continental. Comunicações*. Vila Real. Portugal. 161-163.
- ORDOÑEZ-CASADO, B., GEBAUER, D. & EGUILUZ, L. (1997b): Shrimp zircon ages dating protolith formation of orthogneisses and their Hercynian migmatization: Results from the Coimbra-Badajoz-Córdoba shear belt. *XIV Reunião de Geologia do Oeste Peninsular. Evolução Geológica do Maciço Ibérico e seu enquadramento continental. Comunicações*. Vila Real. Portugal. 165-168.
- ORTEGA, L.A., CARRACEDO, M., LARREA, F.J. & GIL IBARGUCHI, J.I. (1996): *Geochemistry and tectonic environment of Volcanosedimentary rocks from the Ollo de Sapo Formation (Iberian Massif, Spain)*. In: Petrology and Geochemistry of magmatic suites of rocks in the continental and oceanic crusts. A volume dedicated to Professor JEAN MICHOT. (D. DEMAÏFFE, Ed.) *Université Libre de Bruxelles. R. Mus. Central Africa (Tervuren)*. 277-290.
- PÉREZ-ESTAÚN, A., MARTÍNEZ-CATALÁN, J.R. & BASTIDA, F. (1991): Crustal thickening and deformation sequence in the footwall to the suture of the Variscan Belt of NW Spain. *Tectonophysics*, **191**: 243-253.
- SAMSON, S.D. & D'LEMONS, R.S. (1998): U-Pb geochronology and Sm-Nd isotopic composition of Proterozoic gneisses, Channel Islands, UK. *J. Geol. Soc.*, **155**: 609-618.
- SCHÄFFER, H.J. (1990): *Geochronological investigations in the Ossa-Morena Zone, SW Spain*. Diss. Tesis ETH No. 9246, Zurich.
- SCHULZ, G. (1858): *Descripción geológica de la provincia de Oviedo*. José González Imp., 138pp
- STRACHAN, R.A., D'LEMONS, R.S. & DALLMEYER, R.D. (1996): *Neoproterozoic evolution of an active plate margin: North Armorican Massif, France*. In: Avalonian and Related Peri-Gondwanan Terranes of the Circum-North Atlantic. (R. D. NANCE AND M.D. THOMPSON, Eds.), Boulder, Colorado, *Geol. Soc. America, Spec. Pap.*, **304**: 319-332.
- UGIDOS, J.M.; ARMENTEROS, I.; BARBA, P.; VALLADARES, I & COLMENERO, J.R. (1997): Geochemistry of recycled orogen-derived sediments: a case study from upper Precambrian siliciclastic rocks of the Central Iberian Zone, Iberian Massif, Spain. *Precambrian Research*, **84**: 163-180.
- VALVERDE VAQUERO, P & DUNNING, G.R. (1997): Magmatismo "Sárdico" Arenig en el Dominio del Ollo de Sapo de la Zona Centro Ibérica: Nuevas evidencias U-Pb en la Sierra de Guadarrama. *XIV Reunião de Geologia do Oeste Peninsular. Evolução Geológica do Maciço Ibérico e seu enquadramento continental. Comunicações*. Vila Real. Portugal. 265-270.

-----