

**Geoquímica isotópica (Sr y Nd) de las anortositas (“massif type anorthosites”) grenvillianas de las Sierras Pampeanas Occidentales (Argentina). Fuentes magmáticas e implicaciones geotectónicas**

***Nd and Sr isotope geochemistry of Grenvillian massif-type anorthosites from the Western sierras Pampeanas (Argentina). Magma sources and geotectonic implications***

**César Casquet<sup>1</sup>, Carmen Galindo<sup>1</sup>, Carlos Rapela<sup>2</sup>, Robert J. Panhkurst<sup>3</sup>, Edgardo Baldo<sup>4</sup>, Juan Dahlquist<sup>5</sup>, Mark C. Fanning<sup>6</sup>, José Manuel González-Casado<sup>7</sup> y Julio Saavedra<sup>8</sup>**

<sup>1</sup> Dpto. de Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. 28040-Madrid.  
E-mail scasquet@geo.ucm, cgalindo@geo.ucm.es

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Geológicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

<sup>3</sup> British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, Reino Unido.

<sup>4</sup> Departamento de Geología, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

<sup>5</sup> CRILAR-CONICET, La Rioja, Argentina.

<sup>6</sup> Research School of Earth Sciences, The Australian National University, Canberra, Australia.

<sup>7</sup> Dpto. Química Agrícola, Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma, Madrid.

<sup>8</sup> Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto de Agrobiología y Recursos Naturales, Salamanca.

## **Abstract**

Massif-type anorthosites are igneous complexes that consist for the most part of anorthosite, a plagioclase-rich plutonic rock. They are particularly abundant within or near the worldwide Grenvillian mobile belt (1.0-1.2Ga), which resulted from the assembly of the Mesoproterozoic supercontinent of Rodinia.

In two of the most western Sierras Pampeanas (Sierras of Maz and Espinal, NW of Argentina), two anorthositic igneous complexes have been discovered recently (Casquet et al. 2005a). Coarse-grained anorthosites is the predominant rock type in these complexes. The age of crystallization is of  $1070 \pm 41$  Ma (U-Pb SHRIMP, in zircons). These rocks have a superposed regional metamorphism of Ordovician age ( $431 \pm 30$  Ma; U-Pb SHRIMP, in zircons). These complexes are the only ones mentioned in Argentina and are the first of recognized Grenvillian age in Sudamerica.

Nd and Sr isotope composition suggest that primary magmas derived from a depleted source. Moreover moderate contamination with an enriched continental component is also inferred. Nd model ages suggest that the depleted source formed coeval with the anorthosite magmatism, which is compatible with a mantle plume probably related to the early break up of Rodinia.

**Keywords:** Argentina, Sierras Pampeanas, Neoproterozoic, Anorthosites, Rodinia, Nd model ages.

## Resumen

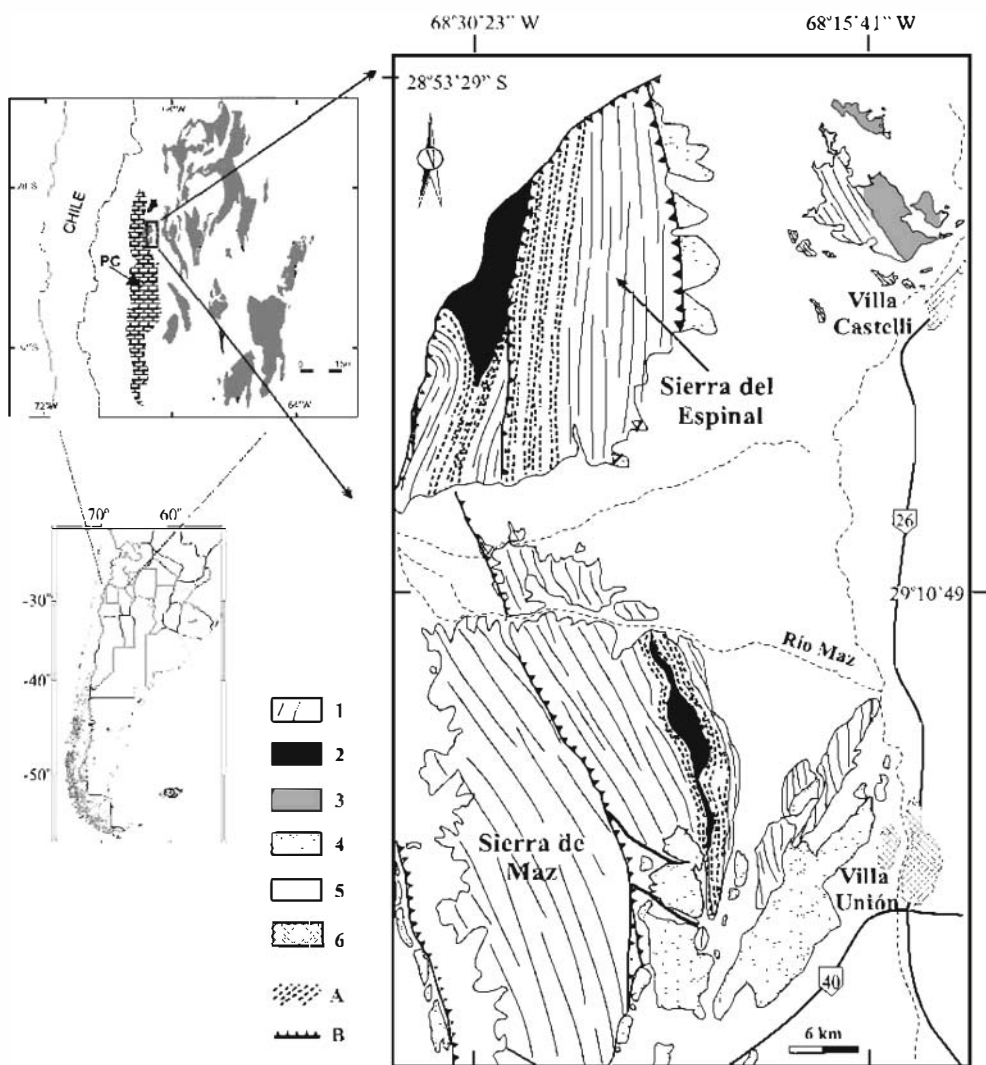
Los complejos anortosíticos constituyen un tipo de asociación plutónica formada mayoritariamente por anortositas y en menor proporción por diferenciados máficos ricos en Fe y  $\text{TiO}_2$  (jotunitas). Aunque las anortositas son rocas corrientes, los complejos anortosíticos son, sin embargo, excepcionales, ya que se restringen casi completamente en el tiempo al Proterozoico Medio (Ashwal, 1993, p. 83) y al ámbito espacial del orógeno Grenvilliano (1,0 – 1,4 Ga). Por consiguiente, estos complejos constituyen la evidencia de un evento tectonotermal singular en la historia de la Tierra. Además, la correlación entre complejos anortosíticos de diferentes continentes permite precisar los modelos paleogeográficos del Proterozoico Medio y confirmar la existencia de un supercontinente, Rodinia, formado al final de la orogénesis Grenvilliana (Hoffman, 1991).

Las Sierras Pampeanas son afloramientos del basamento pre-Andino que tienen una compleja historia de eventos tectonotermales y de sedimentación que van desde el Proterozoico Medio hasta el Carbonífero (e.g., Rapela et al., 2001). En dos de las sierras más occidentales (Maz y Espinal, Fig. 1), se han descubierto recientemente dos complejos anortosíticos que consisten en cuerpos alargados de anortositas de grano muy grueso (facies porfídicas) y leucogabros, cortadas por diques máficos de jotunitas, ubicados entre metasedimentos y rocas metaígneas (ver Casquet et al., 2005a). La edad de cristalización es de  $1070 \pm 41$  Ma (U-Pb SHRIMP, en circones). Estas rocas tienen un metamorfismo regional superpuesto en facies de anfibolitas almandínicas, de edad ordovícica ( $431 \pm 30$  Ma; U-Pb SHRIMP, en circones). Los procesos metamórficos han destruido la mineralogía inicial, aunque, en general, se conservan las texturas ígneas. Químicamente destacan altos contenidos de Sr (742-870 ppm), espectros de Tierras Raras ligeramente enriquecidos en Tierras Raras ligeras (La/YbN = 8-27) y una anomalía positiva de Eu (Eu/Eu\* = 3-14).

Estos complejos son los únicos citados en Argentina y son los primeros de edad grenvilliana reconocida en Suramérica. Además, son comparables con los del margen apalachiano de Laurentia, con los de Oaxaquia (México) y con el cinturón Natal-Namaquá (Sudáfrica), lo que apunta hacia una provincia ígnea común anortosítica, entre 1,0 y 1,1 Ga, centrada entre los cratones de Amazonia, Kalahari y Laurentia-Australia (Casquet et al., 2005a).

Geoquímica isotópica: Se han analizado para Sm-Nd y Rb-Sr siete muestras de anortositas y una jotunita (Tabla 1). Las composiciones isotópicas del Nd y el Sr se han recalculado a la edad de cristalización (1070 Ma) y se expresan también como notación  $\epsilon\text{Sr}$  y  $\epsilon\text{Nd}$ , respectivamente, a la citada edad. La concentración de Rb, Sr, Sm y Nd de determinó por dilución isotópica, mediante adición de los *spikes*  $^{84}\text{Sr}$  y  $^{87}\text{Rb}$  (*Oak Ridge*) y *spike* mixto  $^{143}\text{Sm}$ - $^{144}\text{Nd}$ . Las medidas  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  han sido corregidas de posibles interferencias con  $^{87}\text{Rb}$ , y normalizadas respecto al valor  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,1194$ , para corregir la posible fraccionación de masas. Las medidas  $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$  han sido, igualmente, corregidas de interferencias por  $^{142}\text{Ce}$  y  $^{144}\text{Sm}$  y normalizadas respecto al valor  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$ , para corregir la posible fraccionación de masas. Los valores obtenidos en los patrones NBS-987 y Johnson & Matthey son:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,710249 \pm 0,00002$  ( $2\sigma$ ), y  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,511809 \pm 0,00002$  ( $2\sigma$ ), respectivamente. Los errores analíticos ( $2\sigma$ ) son del 1% para la relación  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ ; 0,1% para la  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ ; 0,01% para la  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  y 0,006% para la  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ .

Los valores de  $\epsilon\text{Nd}_{1070}$  varían entre +3,4 y -1,2, siendo mayoritariamente positivos o ligeramente negativos, lo que sugiere una fuente empobrecida en litófilos para el magma primario anortosítico. La  $\epsilon\text{Nd}_{1070}$  del manto empobrecido es + 5,6 lo que sugiere que dicha fuente pudo ser equivalente a un manto empobrecido o intermedia entre la de éste y una fuente más próxima al Chondrite Uniform Reservoir (CHUR) ( $\epsilon\text{Nd}(\text{CHUR}) = 0$ ). Los valores negativos de  $\epsilon\text{Nd}_{1070}$  apuntan hacia la posible presencia de un com-



**Figura 1.** Mapa esquemático de las Sierras de Maz y Espinal en el NO de las Sierras Pampeanas (Argentina). Leyenda: 1) Metasedimentos, ortoanfibolitas y ortogneises; 2) Complejos anortositicos; 3) Granitoides famatinianos; 4) Cubierto paleozoica y mesozoica; 5) Sedimentos cenozoicos; A) Zonas de cizalla famatinianas; B) Cabalgamientos post-famatinianos.

**Figure 1.** Sketch map showing location of massif anorthosites in the Sierras de Maz and Espinal. Inset shows location of the studied region in NW Argentina. Legend: 1) Metasediments, ortho-amphibolites and local orthogneisses; 2) Anorthosite massifs; 3) Famatinian granitoids; 4) Paleozoic to Mesozoic sedimentary cover; 5) Cainozoic sedimentary cover. A) Famatinian shear zones; B) Post-Famatinian thrusts.

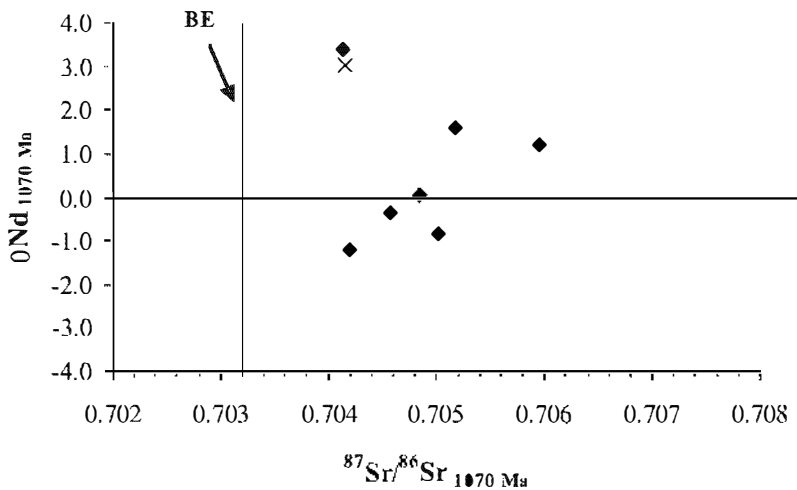
Sample	K <sub>2</sub> O %	Rb ppm	Sr ppm	Rb/Sr	<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr <sub>1070</sub>	eSr
SP-7056	0.45	3.97	742	0.0053	0.0155	0.704824	0.704587	20
AZ-7207	1.49	35.00	818	0.0428	0.1238	0.707086	0.705191	28
AZ-7208	0.42	1.00	862	0.0012	0.0034	0.704894	0.704843	23
AZ-7209	0.58	2.00	814	0.0025	0.0071	0.705135	0.705026	26
AZ-7211	1.28	30.00	808	0.0371	0.1074	0.707611	0.705966	39
AZ-7215	0.54	7.00	887	0.0079	0.0228	0.704558	0.704209	14
AZ-7216	0.45	9.00	854	0.0105	0.0305	0.704598	0.704131	13
AZ-7210	0.65	2.00	80	0.0250	0.0723	0.705268	0.704161	13
	Sm ppm	Nd ppm	Sm/Nd	<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd <sub>1070</sub>	eNd	TDM
SP-7056	0.67	3.48	####	0.1159	0.512056	0.511242	-0.3	1456
AZ-7207	1.08	6.05	####	0.1079	0.512099	0.511341	1.6	1302
AZ-7208	1.25	6.75	####	0.1119	0.512048	0.511262	0.1	1416
AZ-7209	0.56	3.35	####	0.1003	0.511920	0.511216	-0.8	1440
AZ-7211	1.67	8.23	####	0.1227	0.512181	0.511320	1.2	1367
AZ-7215	0.68	3.58	####	0.1148	0.512003	0.511197	-1.2	1515
AZ-7216	0.69	3.83	####	0.1089	0.512196	0.511431	3.4	1186
AZ-7210	28.48	132	####	0.1304	0.512329	0.511413	3.0	1242

**Tabla 1.** Composición isotópica Rb-Sr y Sm-Nd de anortositas y una jotunita, de las Sierras de Maz y Espinal.

**Table 1.** Rb-Sr and Sm-Nd isotope composition of anorthosites and one jotunitite from the Sierras of Maz and Espinal

ponente cortical en las anortositas. La dispersión de los valores de eNd<sub>1070</sub> podría, por lo tanto, reflejar la mezcla de la fuente empobrecida y cantidades moderadas de un componente continental enriquecido en litófilos. Esto se deduce también de la composición isotópica del Sr cuyos valores (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr<sub>1070</sub> = 0,7041 – 0,7059) son superiores a los de la Tierra (Bulk Earth) a la misma edad (0,7032). Sin embargo, no se observa una correlación clara entre las composiciones isotópicas del Sr y del Nd, como sería de esperar (Fig. 2). Ello podría reflejar una heterogeneidad isotópica de la fuente empobrecida y/o del componente continental, o bien una modificación de los sistemas isotópicos posterior a la cristalización (e.g. metamorfismo). Es probablemente significativo que las rocas con mayor contenido de K<sub>2</sub>O (ver Tabla 1), sean precisamente las que tienen valores más altos de eSr<sub>1070</sub>, por lo que es posible que el metamorfismo sea la causa de la dispersión observada.

La edad modelo T<sub>DM</sub> varía entre 1,18 y 1,51 Ga, que corresponde en un sentido amplio a la orogénesis Grenvilliana. Dado que las rocas metasedimentarias encajantes tienen valores de T<sub>DM</sub> entre 2,1 y 2,3 Ga (Porcher et al., 2004; Casquet et al., 2005b), la edad modelo de las anortositas tiene que corresponder a la de la fuente empobrecida de la que proceden, modificada en cierta medida por el componente continental. De hecho, la roca con el valor de eNd<sub>1070</sub> más positivo y, por lo tanto, menos contaminada (MAZ-7216), tiene una edad modelo T<sub>DM</sub> de 1,18 Ga, valor próximo al de la cristalización, lo que sugiere que dicha fuente empobrecida se formó próxima en el tiempo al magmatismo anortosítico. Estas conclusiones son compatibles con un modelo de "pluma mantélica" (*mantle plume*) anorogénica, posterior a la orogénesis Grenvilliana, con la que se iniciaría el desmembramiento de Rodinia (Casquet et al., 2005b).



**Figura 2.** Diagrama  $\epsilon\text{Nd}$  vs.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{inicial}}$  de anortositas y una jotunita de las sierras de Maz y Espinal.

**Figure 2.**  $\epsilon\text{Nd}$  vs.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{initial}}$  plot of anorthosites and one jotunitite from Sierras of Maz and Espinal.

La gran provincia ígnea (LIP), reconocida por Hanson et al. (2004), con una edad entre 1106 y 1122 Ma, entre los cratones de Kalahari y Laurentia, podría relacionarse con este evento anortosítico (Casquet et al., 2005a).

*Palabras clave:* Argentina, Sierras Pampeanas, Neoproterozoico, Anortositas, Rodinia, modelos de edad Nd

## Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado con el proyecto UCM (PR1/05-13291). Es una contribución al IGCP 436 (Pacific Gondwana Margin).

## Acknowledgment

This work benefited from a PR1/05-13291 Complutense University grant and is a contribution to the 436 IGCP (Pacific Gondwana Margin).

## Referencias bibliográficas

- Ashwal, L.D. 1993. *Anorthosites*. 422 p. Springer, Berlín.
- Casquet, C., Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Galindo, C., Dahlquist, J., Baldo, E.G., Saavedra, J.M., González-Casado, J.M. and Fanning, M. 2005a. Grenvillian massif-type anorthosites in the sierras Pampeanas. *Journal of the Geological Society*, London, 162, 9-12.

- Casquet, C., Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Fanning, C.M Galindo, C., Baldo, E.G., Dahlquist, J., González-Casado, J.M. and Saavedra, J., 2005b. The Maz suspect terrane (Western Sierras Pampeanas). A new Proterozoic domain in the basement of the Argentine Precordillera. *Gondwana 12 Conference*. Mendoza (Argentina).
- Hanson, R.E., Crowley, J.L, Bowring, S.A., Ramezani, J., Gose, W.A., Dalziel, I.W.D., Pancake, J.A., Seidel, E.K., Blenkinsopp, T.G. and Mukwakwami, J. 2004. Coeval large-scale magmatism in the Kalahari and Laurentian cratons during Rodinia assembly. *Science* 304, 1126-1129.
- Hoffman, P.F. 1991. Did the breakout of Laurentia turn Gondwanaland inside-out?. *Science* 252, 1409-1412.
- Porcher, C.C., Fernandes, L.A.D., Vujovich, G.I. and Chericoff, C.J. 2004. Thermobarometry, Sm/Nd ages and geophysical evidence for the location of the suture zone between Cuyania and Pampia terranes. *Gondwana Research* 7, 1057-1076.
- Rapela, C.W., Casquet, C., Baldo, E.G., Dahlquist, J.; Pankhurst, R.J., Galindo, C. y Saavedra, J. 2001. Las Orogénesis del Paleozoico inferior en el margen proto-andino de América del Sur, Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of Iberian Geology* 27, 23-41.