

# Datación Sm-Nd del metamorfismo en la Sierra de las Imanas (Sierras Pampeanas Occidentales, Argentina)

*Sm-Nd dating of metamorphism of the Sierra de las Imanas (Sierras Pampeanas Occidentales, Argentina)*

C. Galindo <sup>(1)</sup>, J. Murra <sup>(2)</sup>, E. Baldo <sup>(2)</sup>, C. Casquet <sup>(1)</sup>, C.W. Rapela <sup>(3)</sup>, R.J. Pankhurst <sup>(4)</sup> y J. Dahlquist <sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> Dpto. de Petrología y Geoquímica, Fac. de CC. Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

<sup>(2)</sup> Departamento de Geología, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina Centro de Investigaciones

<sup>(3)</sup> Geológicas, Universidad Nacional de La Plata, Calle 1 No. 644, La Plata, Argentina

<sup>(4)</sup> British Antarctic Survey, Cambridge CB3 0ET, United Kingdom

<sup>(5)</sup> Centro Regional de Investigaciones y Transferencia Tecnológica La Rioja. Entre Ríos y Mendoza. (5301). Anillaco. La Rioja. Argentina.

## ABSTRACT

*Sm-Nd garnet geochronology of a migmatite gneiss from the Sierra de las Imanas (Western Sierras Pampeanas) has provided a peak metamorphic age of  $464.6 \pm 4.5$  Ma, i.e., Middle Ordovician, corresponding to the Famatinian orogeny of Western Argentina. This age agrees with metamorphic ages obtained in nearby areas by U-Pb SHRIMP dating of zircon overgrowths. This coincidence confirms the reliability of the Sm-Nd garnet chronometer in the study of metamorphic terranes. A Proterozoic  $T_{DM}$  age of 1628 Ma suggests the involvement of an old recycled crustal component in the sedimentary protolith of the migmatite.*

**Key words:** *Sm-Nd dating, metamorphism, Sierras Pampeanas, Argentina*

*Geogaceta, 35 (2004), 75-78  
ISSN:0213683X*

## Introducción

La Sierra de las Imanas junto a la Sierra de Valle Fértil y La Huerta ( $31^{\circ} 30'$  de latitud sur) constituyen un alineamiento morfoestructural de basamento cristalino pre-andino. Esta elevación es una de las que forman las Sierras Pampeanas Occidentales (SPO) y se ubica en provincia de San Juan (Fig.1)

Tanto la Sierra de Las Imanas como las Sierras de la Huerta y Valle Fértil están compuestas por metamorfitas para y ortoderivadas en general de alto grado (gneises metapelíticos, migmatitas, mármoles, metagabros coroníticos, metabasitas hornbléndicas y ultrabasitas), intruidas por granitoides calcoalcalinos metalumínicos (granodioritas, tonalitas y gabros) y un complejo de pegmatitas graníticas discordante, tardío (Mirre, 1976; Rabbia, 1996; Baldo et al., 1999; Rapela et al., 2001; Casquet et al., 2003). Tanto las unidades metamórficas como las ígneas, han sido deformadas

en zonas de cizallamiento dúctil y transformadas en milonitas.

Este complejo cristalino pertenece al cinturón orogénico famatiniano (FMB) (Ordovícico), que se extiende de norte a sur, entre la Precordillera Argentina (PC) por el oeste, y el orógeno Pampeano (Cámbrico) por el este, que constituye el antepaís (Fig. 1). En el sector de estudio, la orogénesis Famatiniana fue acompañada por la acreción, en el Ordovícico Medio, de la Precordillera Argentina, terreno exótico de probable procedencia Lauréntica (Thomas y Astini, 1996; Rapela et al., 2001, y referencias en el mismo). Las Sierras de Las Imanas, Valle Fértil y La Huerta son por tanto parte del margen continental Gondwanico y en ellas se ubica el arco magmático correspondiente formado durante la etapa de subducción que precedió a la colisión de la Precordillera (p. ej., Pankhurst et al., 2001).

En la Sierra de Las Imanas se han diferenciados dos conjuntos litológicos

principales (Fig. 1), gneises migmatíticos paraderivados y ortogneises metalumínicos que forman franjas de rumbo este-oeste separadas por fajas miloníticas. Las migmatitas contienen intercalaciones de esquistos cuarzosos (metasamitas), mármoles, rocas ultrabásicas e intercalaciones de bancos continuos de anfibolitas de hasta 70 m de espesor. Los ortogneises son metagabronoritas, metatonalitas y metagranodioritas hornbléndicas.

En determinados sectores, los gneises migmatíticos presentan espectaculares nódulos de granate, que alcanzan dimensiones de 10 a 15 cm de diámetro, y están rodeados por una aureola leucocrática de plagioclasa y cuarzo, de hasta 2 a 4 cm de anchura (Fig. 2).

El objetivo de este trabajo es precisamente datar el metamorfismo en este tipo de gneises de alto grado, mediante el empleo del método Sm-Nd en Roca Total + Granate. Este método, relativa-

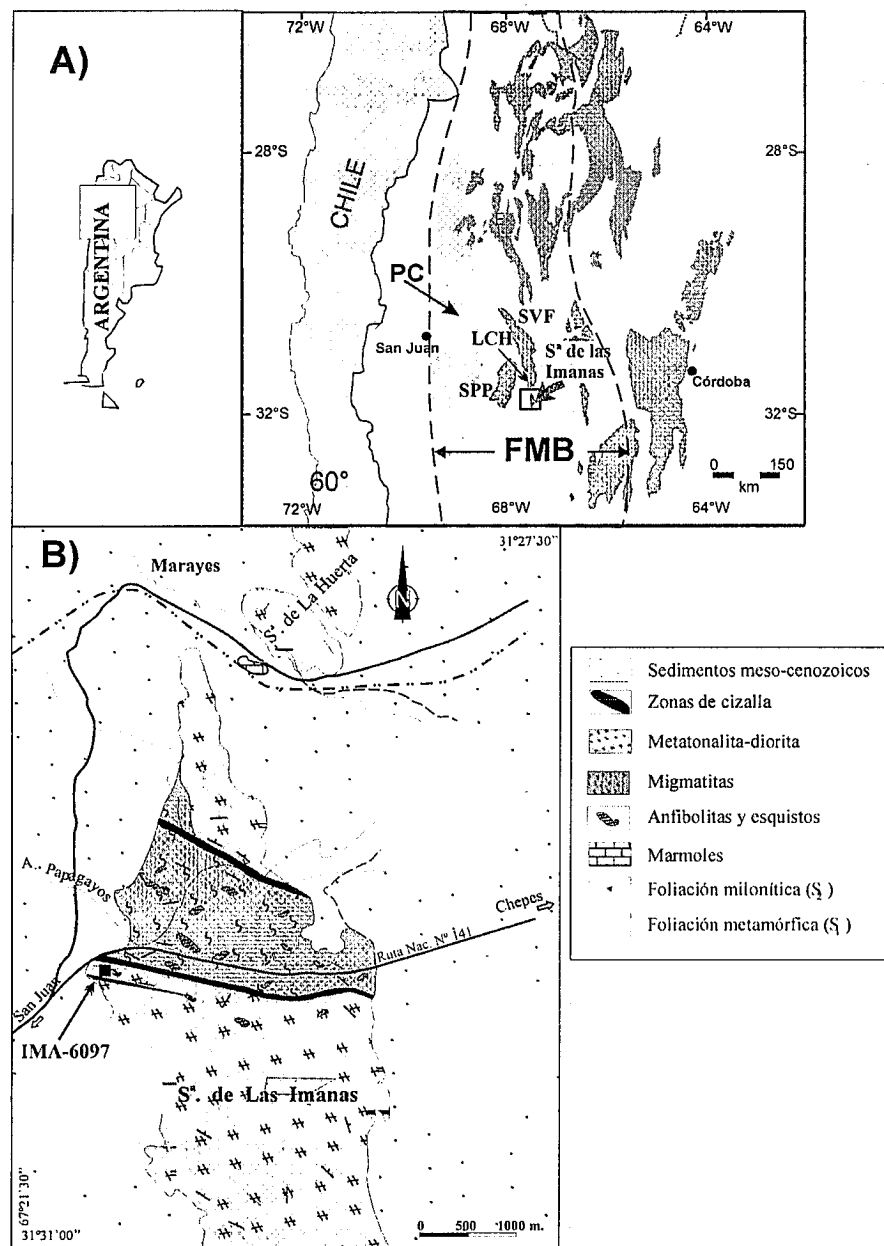


Fig. 1.- Localización de las Sierras Pampeanas y mapa esquemático de la Sierra de las Imanas.

Fig. 1.- Location map of Sierras Pampeanas and enlarged sketch map of Sierra de las Imanas

mente fácil y de poco coste, permite dataciones muy precisas de la edad del pico metamórfico (máximo térmico) (Jung y Mezger, 2003; Vance y Harris, 1999, y otros). Como en este sector del orógeno Famatiniano se dispone de diversas dataciones del metamorfismo famatiniano obtenidas mediante el método U-Pb SHRIMP en recrecimientos de circones (Rapela et al., 2001; Baldo et al., 2001; Casquet et al., 2001) los resultados permiten, además de datar el metamorfismo, valorar la propia fiabilidad del método. También se ha determinado la composición Rb-Sr.

Con este fin, se tomó una muestra seleccionada de un gneis migmatítico (IMA-6097), al sureste de la carretera N° 141, (coord.: 31°29'43" S y 67°20'57" O; Fig.1), donde éstas rocas afloran de manera espectacular.

**Descripción del gneis IMA-6097. Condiciones de formación**

La roca presenta una asociación mineral sencilla compuesta por Grt - Pl - Qtz - Bt - Ap - Zr - Ilm (abreviaturas según Kretz, 1983). La matriz granolepidoblástica la forman abundan-

te biotita ( $X_{Mg} = 0,50$ ,  $TiO_2 = 4,31\%$ ), plagioclasa ( $An_{42}$ ), cuarzo, y granates esporádicos de pequeñas dimensiones ( $Alm_{68}$ ,  $Grs_{12}$ ,  $Pyr_{11}$ ,  $Sps_8$ ), que son anhedrales y contienen inclusiones de biotita. Los megablastos de granate son poiquilíticos, con inclusiones de cuarzo, biotita, ilmenita y, en particular, de abundantes cristales de apatito. Los grandes granates son prácticamente homogéneos (Núcleo:  $Alm_{61}$ ,  $Prp_{26}$ ,  $Grs_5$  y  $Sps_7$ ; Borde:  $Alm_{63}$ ,  $Prp_{23}$ ,  $Grs_6$  y  $Sps_7$ ), como corresponde a granates de alto grado (Tracy, 1982). El contacto con la aureola plagioclásica es muy irregular. La aureola está formada por un agregado granoblástico de Pl ( $An_{40-41}$ ), Qtz y Bt ( $X_{Mg} = 0,53$ ,  $TiO_2 = 3,4\%$ ).

La migmatización se relaciona con el evento tectotérmico principal (M-1, D-1) que afectó a los metasedimentos de la Sierra de las Imanas. Fue seguido por otro evento de deformación milonítica (M-2, D-2), también en condiciones de alto grado y, finalmente, se reconoce un estadio de metamorfismo retrógrado (M3). La aplicación de diversos geotermómetros y barómetros ha permitido evaluar la  $T_{max}$  en 720-790 °C y  $P_L = 6,5 - 7$  kbar.

**Método analítico y resultados**

El método seguido para la datación es el de la isocrona interna, obtenida a partir de las composiciones isotópicas de los minerales, y de la propia roca total, en una muestra seleccionada. El granate y la plagioclasa de la muestra IMA-6097 se separaron bajo lupa binocular. La concentración de Rb, Sr, Sm y Nd de determinó, tanto en los minerales como en la roca total, por dilución isotópica, mediante adición de los spikes  $^{84}Sr$  y  $^{87}Rb$  (Oak Ridge) y spike mixto  $^{149}Sm$ - $^{150}Nd$ .

Para eliminar la interferencia, en la composición isotópica del granate, de las abundantes inclusiones de apatito, se procedió al lixiviado del mismo, siguiendo el método de Thöni (2003). Las medidas  $^{87}Sr/^{86}Sr$  han sido corregidas de posibles interferencias con  $^{87}Rb$ , y normalizadas respecto al valor  $^{88}Sr/^{86}Sr = 0.1194$ , para corregir la posible fraccionación de masas. Las medidas  $^{144}Nd/^{143}Nd$  han sido, igualmente, corregidas de interferencias por  $^{142}Ce$  y  $^{144}Sm$  y normalizadas respecto al valor  $^{146}Nd/^{144}Nd = 0.7219$ , para corregir la posible fraccionación de masas. Las medias de las medidas de los patrones NBS-987 y Johnson & Matthey son:  $^{87}Sr/^{86}Sr =$

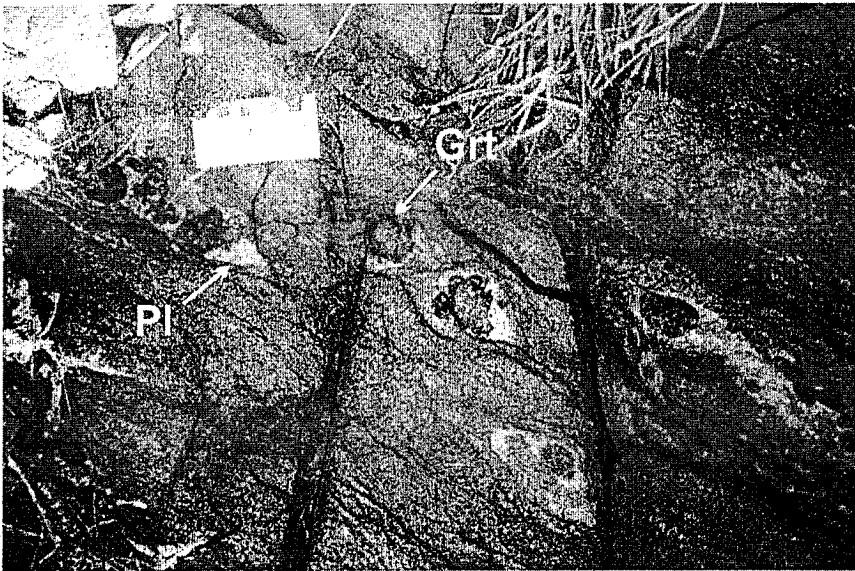


Fig. 2.- Gneises migmatíticos con deformación D2 superpuesta. Grandes cristales de granate aparecen envueltos por una aureola de plagioclasa y cuarzo y rodeados por la foliación milonítica

Fig. 2.- Migmatitic gneisses with superimposed D2 deformation. Large crystals of garnet are enveloped by plagioclase and quartz, and wrapped around by the mylonitic foliation.

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 se expresan a nivel 2 $\sigma$ . Son respectivamente: 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 análisis se han realizado en el Laboratorio de Geocronología y Geoquímica Isotópica de la Universidad Complutense de Madrid en un Espectrómetro de masas VG-Micromass Sector 54 (TIMS). Los granates de esta roca se caracterizan por elevados contenidos en Nd (>5 ppm) y bajas relaciones  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  (<0.5). Los datos se recogen en la Tabla 1.

La edad Sm-Nd se ha calculado con ISOPLOT (Ludwig 2000). El resultado es una edad isocrona 464.6  $\pm$  4.5 Ma, obtenida con granate lixiviado (L), plagioclasa y roca total. Si se emplea el granate sin lixiviar, se obtiene una edad errorcrona de 463  $\pm$  23 Ma (MSWD = 5.5). Los valores de la  $\epsilon\text{Nd}$  y  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , calculados a los 465 Ma, son de -6.4 y 0.7105 respectivamente. La edad isocrona corresponde al Ordovícico Medio en la escala de la IUGS de 2002.

#### Significado de la edad Sm-Nd y geoquímica isotópica

Las significativas diferencias entre el granate sin lixiviar y el granate lixiviado por lo que respecta a los contenidos de Sm y Nd, y la consiguiente

relación Sm/Nd, son debidas a la presencia de abundantes inclusiones de apatito (Tabla 1). En general, concentraciones de Nd elevadas y relaciones  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  bajas en granates, indican la presencia de microinclusiones ricas en LREE, que si bien pueden ser despreciables desde el punto de vista volumétrico, pueden tener un efecto dramático en la composición isotópica de los mismos (Prince et al, 2000), y por lo tanto, en el propio cómputo de la edad. El lixiviado tiene por objeto eliminar el efecto de dichas inclusiones (apatito, monacita...). Su resultado (Tabla 1) es el aumento considerable de la relación  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  en el granate, después de la lixiviación.

Por otro lado, el elevado valor de la desviación ponderada en la regresión con el granate sin lixiviar (MSWD= 5.5),

comparada con la de la regresión con el granate lixiviado, indica la existencia de desequilibrio isotópico entre el granate y el apatito incluido en el mismo. Ello, a pesar de la elevada T (720-790°C) alcanzada durante el metamorfismo regional, capaz de homogeneizar químicamente al granate, pero no a las inclusiones de apatito.

En cuanto al significado de la edad Sm-Nd (GRT + PI + RT), hay que preguntarse si corresponde a la edad del pico metamórfico (temperatura máxima del metamorfismo) o es una edad de enfriamiento. A este respecto, es significativa la coincidencia entre la edad obtenida en este trabajo (464.6  $\pm$  4.5 Ma), con las obtenidas por el método U-Pb SHRIMP en los recrecimientos metamórficos de circones, en sectores aledaños a la Sierra de las Imanas: 465.9  $\pm$  4.4 Ma y 466.5  $\pm$  7.7 Ma en migmatitas de la Sierra de Valle Fértil (Rapela et al, 2001); aprox. 460 Ma, en metapelitas cálcicas de bajo grado en la Sierra de Pié de Palo (Casquet et al, 2001); 463  $\pm$  2 Ma en migmatitas de la Loma de Las Chacras (Baldo et al, 2001). Es difícil que siendo el comportamiento cristalquímico del Pb en el circon, tan distinto del Sm y el Nd en el granate, se obtengan resultados tan coincidentes si se tratase de edades de enfriamiento. Pensamos pues que la edad Sm-Nd (GRT + PL + RT) obtenida, es próxima a la del pico metamórfico. (Jung y Mezger, 2001; Thöni, 2003).

El elevado valor de la relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de esta migmatita ( $\text{Sr}_{465} = 0.710543$ ) y el valor muy bajo de la relación  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ( $\epsilon\text{Nd}_{465} = -6.4$ ), apuntan a un protolito sedimentario para la misma. Otras migmatitas de la Sierra de Valle Fértil, probablemente equivalentes, contienen efectivamente circones con núcleos redondeados detríticos y edades deposicionales máximas de 500 Ma (Cámbrico) (Rapela et al., 2001). La

MUESTRA	Rb ppm	Sr ppm	Rb/Sr	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\text{Sr}_{465}$
IMA-6097 RT	182.709	226.39	0.8071	2.3392	0.726040	0.710543
Plagioclasa	16.066	260.21	0.0617	0.1788	0.714601	
Granate	4.461	23.905	0.1866	0.5402	0.713642	

MUESTRA	Sm ppm	Nd ppm	Sm/Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon\text{Nd}$	2T <sub>DM</sub>	Nd <sub>465</sub>
IMA-6097 RT	14.494	53.117	0.2729	0.1649	0.512217	-6.4	1628	0.511715
Plagioclasa	4.741	17.52	0.2706	0.1636	0.512213			
Granate L	1.936	0.899	2.1535	1.3029	0.515680			
Granate	3.698	7.179	0.5151	0.3114	0.512722			

Tabla I.- Datos isotópicos Rb-Sr y Sm-Nd de roca total y minerales de Las Imanas.

Table I.- Rb-Sr and Sm-Nd whole rock and mineral data for Las Imanas

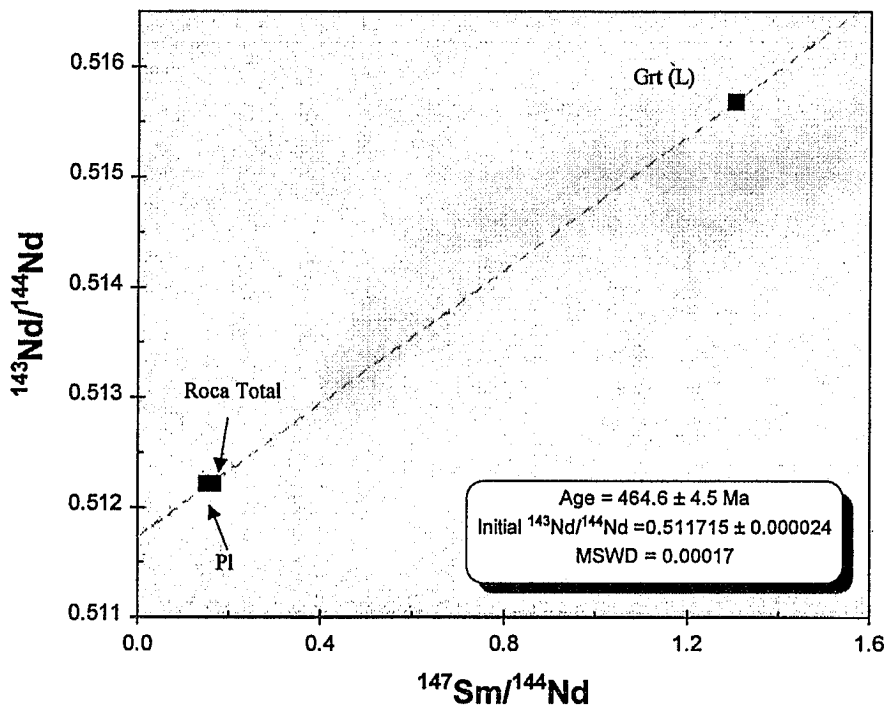


Fig. 3.- Isocrona interna Sm-Nd (Roca Total + Pl + Grt) de la migmatita IMA-6097, de la sierra de las Imanas

Fig. 3.- Sm-Nd internal isochrone (Whole Rock + Pl + Grt) of migmatite IMA-6097 from the sierra de las Imanas

edades de residencia del Nd ( $T_{DM} = 1628\text{Ma}$ ), calculada mediante la ecuación de Börg et al.(1990), junto con las de otras migmatitas de la Sierra de Valle Fértil ( $T_{DM} = 1622\text{-}1633\text{ Ma}$ ), indican una edad de acreción inicial de corteza continental de este sector de las Sierras Pampeanas, en el Mesoproterozoico.

**Agradecimientos**

Este trabajo se ha realizado gracias a los datos adquiridos con fondos de los

proyectos PIP 4148 del CONICET (Argentina) y BTE2001-1486 (MCYT, España).

**Referencias:**

Baldo,E.; Casquet,C.; Rapela,C.; Pankhurst,R.J.; Galindo,C.; Fanning, C.M. & Saavedra,J. (2001) *III South American Symposium on Isotope Geology*, Pucón (Chile) Abstracts Congreso  
 Baldo, E., Murra,J., Casquet, C.,

Saavedra, J. y Galindo, C. (1999): *Bol. Soc. Esp. Min.*, 22-A., 17-19.  
 Börg,S.G.; De Paolo, D.J. y Smith, B.M. (1990): *Jour. Geophys. Res*, 95, 6647-6667.  
 Casquet,C.; Baldo,E.; Pankhurst,R.J.; Rapela,C.; Galindo,C.; Fanning,C.M. y Saavedra,J (2001): *Geology*, 29(8), 703-706.  
 Casquet,C.; Galindo,C.; Rapela,C.; Pankhurst,R.J.; Baldo,E.; Saavedra,J y Dahlquist, J. (2003): *Bol. Soc. Esp. Min.*, 26A, 133-134.  
 Jung, S. y Mezger, K. (2001): *Jour. Metamorphic Geology*, 8, 551-578.  
 Jung, S. y Mezger, K. (2003): *Chem. Geol.* 198, 223-247  
 Kretz, R., (1983): *Am. Miner.* Vol 68, págs. 277-279.  
 Ludwig, K.R. (2000): Berkeley Geochronology Center. *Sp. Publ.*, nº 1a, 53 pp.  
 Mirré, J. (1976): *Earth Sci.* 91,151-168  
 Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. y Fanning, C.M. (2001) *Trans. Roy. Soc. Edin.: Earth Sci.*, 91, 151-168  
 Prince, C.I.; Kosler, J.; Vance,D. Y Günther, D. (2000): *Chem. Geol., Isot. Geosci. Sect.*, 168, 255-274.  
 Rabbia, O. (1996): *Actas XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Explotación de Hidrocarburos*, Vol. V p. 561, Bs. As.  
 Rapela,C.; Pankhurst,R.J.; Baldo,E.; Casquet,C.; Galindo,C.; Fanning,C.M. y Saavedra,J (2001): *III South American Symposium on Isotope Geology*, Pucón (Chile) Abstracts Congreso.  
 Thöni, M. (2003). *Chem. Geol.* 194, 353-379.  
 Thomas, W.A. y Astini, R.A. (1996): *Science*, 273, 752-757  
 Vance, D. y Harris, N. (1999): *Geology*, 27(5), 395-398