

# Granitoides peraluminosos y su relación con las rocas fuentes

## *Peraluminous granitoids and their relationship with the source rocks*

J.A Dahlquist <sup>(1)</sup>, P.H. Alasino <sup>(1)</sup> y C. Galindo <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Centro Regional de Investigaciones Científicas y Transferencia Tecnológica La Rioja. Entre Ríos y Mendoza. (5301) Anillaco, La Rioja. Argentina.

<sup>(2)</sup> Departamento de Petrología y Geoquímica, Facultad de CC. Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

### ABSTRACT

*Comparative compositional studies between two peraluminous unit with magmatic andalusite and cordierite indicate that they were produced by partial melting of two different metasedimentary source rocks. We conclude that geochemical studies from peraluminous unit contributes to define the source rocks and to constrain the pre-orogenic geotectonic environment.*

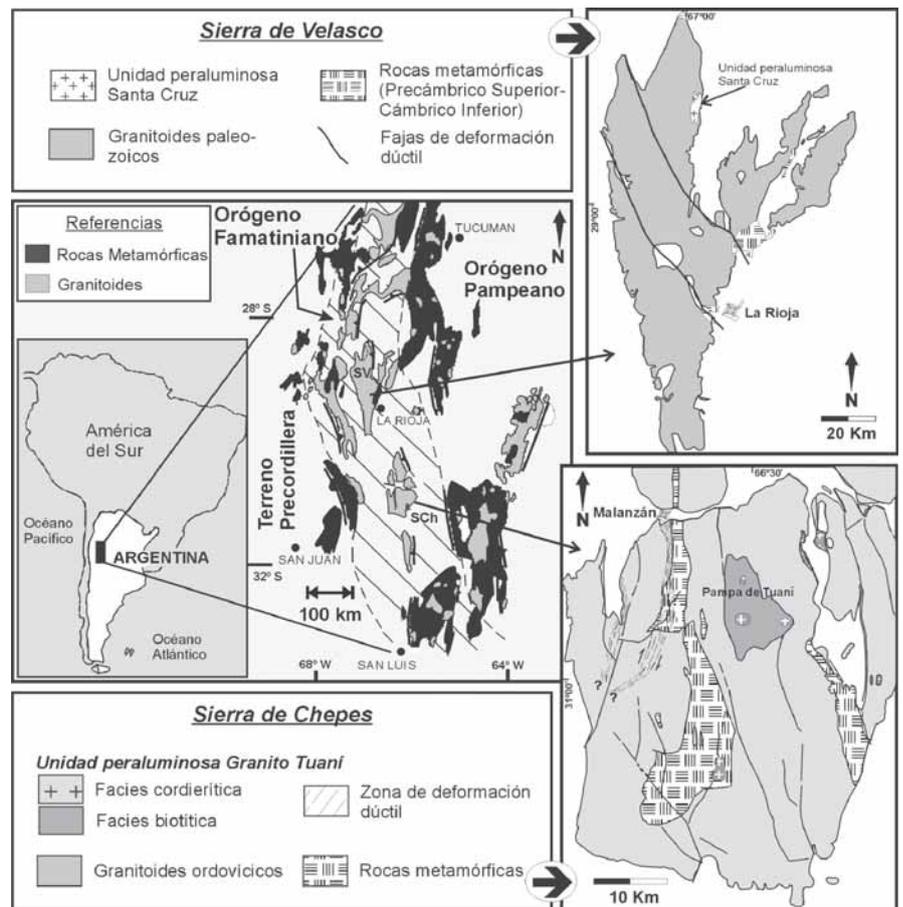
**Key words:** *peraluminous unit, source rocks, geochemical studies, geotectonic environment*

*Geogaceta, 38 (2005), 211-214*  
ISSN: 0213683X

### Introducción

El orógeno famatiniano se desarrolló durante el Paleozoico Inferior sobre el margen proto-Andino de Gondwana (Pankhurst *et al.*, 1998, 2000; Rapela *et al.*, 1998, 2001) y dio origen a un extenso magmatismo que puede seguirse a lo largo de ~800-1.000 km en sentido N-S (Fig. 1). Los granitoides de este orógeno, de edad Ordovícico Inferior-Medio, pueden ser subdivididos dentro de dos tipos: (a) granitoides tipo-I y (b) granitoides peraluminosos, algunos de los cuales son típicos granitoides tipo-S (Pankhurst *et al.*, 1998; Dahlquist *et al.*, 2005). Las unidades ígneas tratadas en este estudio son granitoides peraluminosos producidos durante el orógeno famatiniano, los cuales se encuentran localizadas en el sector central de la sierra de Chepes, Unidad peraluminosa Granito Tuaní (Pankhurst *et al.*, 1998; Dahlquist *et al.*, 2005) y el sector nororiental de la sierra de Velasco; Unidad peraluminosa Santa Cruz (Alasino *et al.*, 2005) (Fig. 1).

Las características petrológicas y geoquímicas de estas dos unidades peraluminosas, con minerales aluminosos tales como andalusita y cordierita, son comparadas en este estudio, estableciendo que las mismas derivan de rocas metasedimentarias de composiciones diferentes. En este sentido, el estudio revela que las características composicionales de los magmas peraluminosos puede ayudar a establecer la composición de las rocas fuente y contribuir a definir el escenario geotectónico previo a la generación



**Fig. 1.-** Mapa geológico simplificado de las sierras de Velasco (SV) y Chepes (Sch). El principal recuadro muestra el contexto regional de este estudio en el NO de Argentina. La localización de la unidad peraluminosa Granito Tuaní y la unidad peraluminosa Santa Cruz son mostradas en la figura.

**Fig. 1.-** Simplified geological map of the Velasco(SV) and Chepes (Sch) mountains range. Main inset show the regional context of this study in the NW Argentina. Localization of the peraluminous Tuaní Granite unit and peraluminous Santa Cruz unit are shown in the figure.

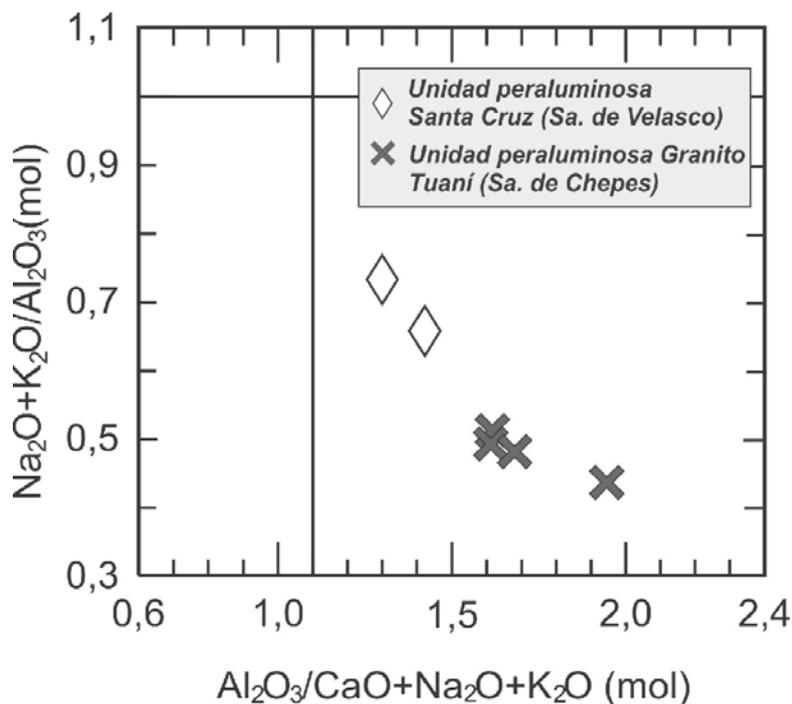


Fig. 2.- Índice de saturación en aluminio (ASI) vs índice albitico (Rapela, 1982). Datos tomados de Dahlquist et al. (2005) para la unidad del Granito Tuani y Alasino et al. (2005) para la unidad Santa Cruz.

Fig. 2.- Aluminium saturation index (ASI) vs the albitic index after Rapela (1982). Data from Dahlquist et al. (2005) for the Tuani Granite unit and Alasino et al. (2005) for the Santa Cruz unit.

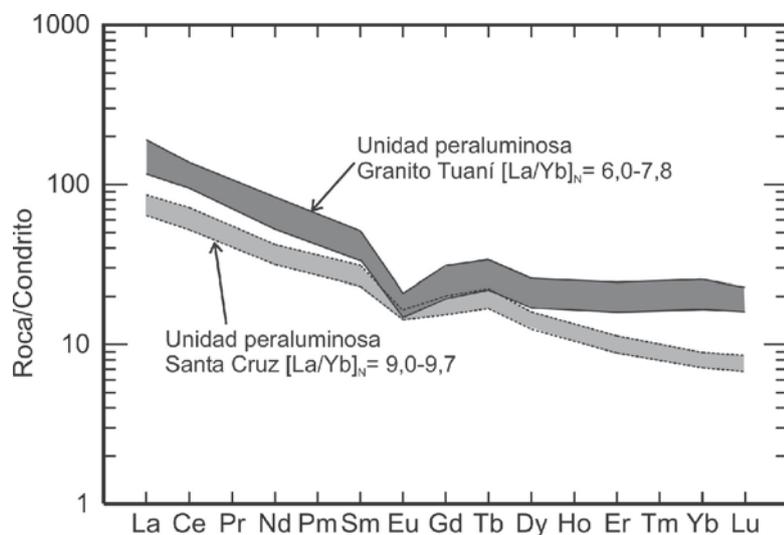


Fig. 3.- Patrón para los elementos de las Tierras Raras normalizadas al condrito (Nakamura, 1974), excepto Tb en Boynton (1984).

Fig. 3.- Chondrite-normalized rare-earth element according to Nakamura (1974) except Tb, according to Boynton (1984).

de los magmas derivados de la anatexis de metasedimentos provenientes de la corteza media.

**Geología de las unidades peraluminosas**

La sierra de Velasco se halla en la parte central del orógeno famatiniano y se

encuentra formada en su gran mayoría por rocas graníticas que constituyen una suite calcoalcalina levemente peraluminosa (índice de saturación en aluminio ~ 1,1) de edad Ordovícico Inferior (Baez et al., 2005; Pankhurst et al., 2000; Dahlquist et al., 2005), que intruyen escasos y discontinuos afloramientos de rocas metamórficas que

afloran en el sector oriental (Espizúa y Caminos, 1979) y, en menor medida, en la región occidental (Rossi y Toselli, 2004) (Fig. 1). La unidad peraluminosa Santa Cruz, la cual aflora en el sector noroeste de la sierra (Fig. 1), muestra una textura equigranular, granulometría media a gruesa, color blanco a gris claro y, como característica distintiva, la abundante presencia de turmalina, mica blanca y como minerales accesorios andalucita y cordierita sódica.

La sierra de Chepes, ubicada al sureste de la sierra de Velasco (Fig. 1), está compuesta por: (i) granitoides calcoalcalinos metaluminosos (~84%) y (ii) granitoides tipo-S que forman pequeños cuerpos (~1%) ambos del Ordovícico Inferior, intrusivos en rocas metamórficas de caja (~15%), las cuales afloran de forma discontinua en dicha sierra (Dahlquist et al., 2005) (Fig. 1). En la unidad peraluminosa Granito Tuani son reconocidas dos facies: 1) granitoides equigranulares de grano fino (ε 1 cm), color marrón claro, con dos micas, principalmente mica blanca, y 2) granitoides equigranulares cordieríticos, de color marrón, grano fino, con alto contenido de mica blanca, y ocasionalmente ricos en fibrolita. Estos granitoides muestran nódulos de cordierita y biotita, así como también numerosos xenolitos de rocas metamórficas, y megacrystalos de cuarzo y feldespato alcalino (4-6 cm). Esta última facies es la considerada para este estudio.

**Petrografía y química mineral de las unidades peraluminosas**

(a) *Unidad peraluminosa Santa Cruz, sierra de Velasco:* estos granitoides, en el diagrama QAP (Strecheisen, 1976), se proyectan en el campo monzogranítico con transiciones al granodiorítico. La asociación magmática mineral es: 27% microclina (Or<sub>86-89</sub>), 31% plagioclasa (Ab<sub>77-78</sub>), 28% cuarzo, 3% biotita (X<sub>Fe</sub> = 0,51 y Al<sup>IV</sup> = 2,86), 6% moscovita (MgO + FeO = 2,01), 2,5% cordierita muy sódica (Na<sup>VI</sup> = 0,36 y X<sub>Fe</sub> = 0,47) y andalucita (Si = 3,85, Al = 8,14 y Fe<sup>3+</sup> = 0,04), fluorapatito (F = 2,5 - 3,8%), turmalina, circón y óxidos (esencialmente pseudobrookita - ferropseudobrookita) como accesorios minerales (2%) (Alasino et al., 2005).

(b) *Unidad peraluminosa Granito Tuani, sierra de Chepes:* esta roca ígnea queda clasificada según el diagrama QAP como granitos ricos en cuarzo. La asociación magmática mineral es 38% cuarzo, 17% microclina (Or<sub>75-93</sub>), 8% plagioclasa (Ab<sub>74-79</sub>), 15% biotita (X<sub>Fe</sub> = 0,48 y Al<sup>IV</sup> =

2,90), 7% moscovita ( $MgO + FeO = 4,34$ ), 11% cordierita ( $Na^{VI} = 0,05$  y  $X_{Fe} = 0,31$ ), y minerales opacos (titanomagnetita, principalmente), circón, turmalina y apatito como accesorios minerales (4%) (Dahlquist *et al.*, 2005).

#### Geoquímica de elementos mayoritarios de las unidades peraluminosas

(a) *Unidad peraluminosa Santa Cruz, sierra de Velasco*: estos granitoides muestran valores intermedios de  $SiO_2$  (65,4 - 68,6%), con bajo contenido de  $CaO$  (0,9 - 1,2%) y  $FeO + MgO + MnO$  (2,2 - 3,5%) y, elevado contenido de álcalis (9,2 - 9,5 %). Poseen un índice de saturación en aluminio intermedio (1,30 a 1,42) (Fig. 2). El patrón de tierras raras tiene pendiente moderada con una relación de  $[La/Yb]_N = 9,0 - 9,7$ ; mostrando una anomalía negativa de Eu ( $Eu/Eu^* = 0,65$  a  $0,76$ ) (Fig. 3) (Alasino *et al.*, 2005).

(b) *Unidad peraluminosa Granito Tuaní, sierra de Chepes*: esta unidad ígnea posee un amplio rango de  $SiO_2$  (67,4 - 73,6%) y valores de  $CaO$  (0,8 - 1,1%) similares a la unidad peraluminosa Santa Cruz. El contenido de  $FeO + MgO + MnO$  (5,2 - 9,0%) y el índice de saturación de aluminio son notablemente más altos que la unidad peraluminosa Santa Cruz (1,61 - 1,95) (Fig. 2). El patrón de tierras raras tiene pendiente moderada con una relación  $[La/Yb]_N = 6,1 - 8,7$  y posee anomalía negativa de Eu ( $Eu/Eu^* = 0,58$  a  $0,60$ ) (Fig. 3) (Dahlquist *et al.*, 2005).

#### Discusión: origen de los magmas peraluminosos y su relación con la roca fuente

Las principales diferencias entre los granitoides peraluminosos analizados en este trabajo se encuentra en los contenidos de  $SiO_2$ ,  $FeO + MgO + MnO$ , álcalis y el índice de saturación en aluminio. Estas diferencias geoquímicas son evidentes en el diagrama A-B de Debon y Le Fort (1983) modificado por Villaseca *et al.*, (1998) (Fig. 4). La unidad peraluminosa Granito Tuaní define una típica línea evolutiva de granitoides tipo-S, incrementando su peraluminosidad hacia las variedades más máficas como los granitoides tipo-S del Lanchlan Fold Belt del SE de Australia (White y Chappell, 1988), definiendo una línea evolutiva similar a la granodiorita Cooma (Flood y Vernon, 1978; Vernon *et al.*, 2001). La unidad peraluminosa Santa Cruz tiene características geoquímicas similares a típi-

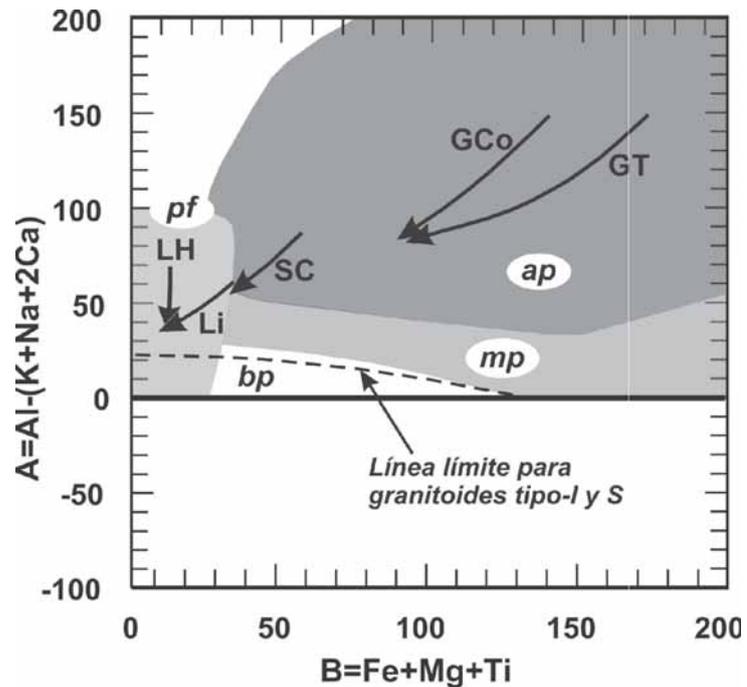


Fig. 4.- Diagrama A-B de Debon y Le Fort (1983) y Villaseca *et al.* (1998) Abreviaturas: GCo = Granodiorita Cooma; Li = Leucogranitos de Limousin; LH = Leucogranitos del Himalaya; tomados de Villaseca *et al.* (1998); SC = unidad Santa Cruz; GT = unidad Granito Tuaní. Los campos para los granitoides son: pf = peraluminosos félsicos; mp = moderadamente peraluminosos; ap = altamente peraluminosos; bp = baja peraluminosidad.

Fig. 4.- A-B diagram after Debon and Le Fort (1983) and Villaseca *et al.* (1998). Abbreviations: GCo = Cooma granodiorite; Li = Limousin leucogranites, LH = Himalayan leucogranites, taken of Villaseca *et al.* (1998); GT = Granito Tuaní unit; SC = Santa Cruz unit. The fields for the granitoids are: pf = felsic peraluminous; mp = moderately peraluminous; ap = highly peraluminous; bp = low peraluminous.

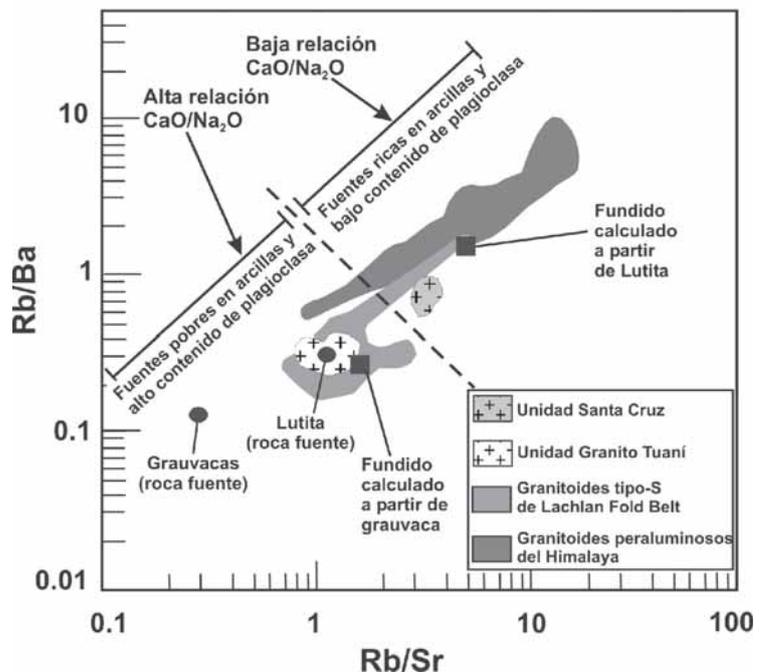


Fig. 5.- Diagrama Rb/Sr vs. Rb/Ba para discriminar fuentes de granitoides fuertemente peraluminosos, modificado a partir de Sylvester (1998). Los campos grises, la línea discontinua y los fundidos calculados a partir de una roca fuente determinada son tomados de la Fig. 7 de Sylvester (1998).

Fig. 5.- Rb/Sr vs. Rb/Ba discrimination diagram for source of strongly peraluminous granitoids modified from Sylvester (1998). The dark fields, discontinuous line, calculated melt, and source rocks from the Fig. 7 of Sylvester (1998).

cos leucogranitos anatéticos, y queda proyectado muy próximo al campo de granitoides peraluminosos félsicos en el diagrama A-B (Fig. 4). Los granitoides más representativos de este campo son los leucogranitos del Alto Himalaya, los leucogranitos Hercínicos de Limousin en Francia y algunos leucogranitos anatéticos de los Cervatos en la región central de España (Debon y Le Fort, 1983; Villaseca *et al.*, 1998) (Fig. 4).

Sylvester (1998) afirma que las concentraciones de CaO y NaO<sub>2</sub> en granitoides tipo-S son controlados por la proporción original de plagioclasa en la roca fuente. Así, fuentes ricas en arcillas (por ej., lutitas), pobres en plagioclasas, producen fundidos con bajas relaciones de CaO/NaO<sub>2</sub> (< 0,3), en caso contrario fundidos obtenidos a partir de fuentes pobres en arcillas y ricas en plagioclasas (por ej., grauvacas) generarán relaciones más altas que la anterior (CaO/NaO<sub>2</sub> > 0,3). En este sentido, la unidad peraluminosa Santa Cruz posee relaciones de CaO/NaO<sub>2</sub> entre 0,26 a 0,34 (Alasino *et al.*, 2005) lo que sugiere una fuente más rica en arcilla que la unidad peraluminosa Granito Tuaní, la cual muestra relaciones de CaO/NaO<sub>2</sub> entre 0,41 a 0,55 (Dahlquist *et al.*, 2005).

Las unidades ígneas Granito Tuaní y Santa Cruz quedan proyectadas en el diagrama discriminador para fuentes de fundidos peraluminosos de Sylvester (1998) (Fig. 5) en dos campos composicionales diferentes. La unidad peraluminosa Santa Cruz, como los leucogranitos del Himalaya, se ubican en el campo de fundidos derivados de pelitas, a diferencia y en concordancia con las altas relaciones de CaO/NaO<sub>2</sub>, la unidad peraluminosa Granito Tuaní se proyecta, junto a los granitoides tipo-S de Lachlan Fold Belt, en el campo de fundidos derivados de fuentes pobres en arcillas.

## Conclusiones

Los granitoides correspondientes a las unidades peraluminosas Granito Tuaní y Santa Cruz analizados en este trabajo tienen composiciones que los definen como magmas típicamente peraluminosos con un índice de saturación en aluminio > 1,1; de acuerdo con la clasificación de Chappell y White (1992). La presencia de minerales aluminosos magmáticos (moscovita, andalucita y cordierita sódica en la unidad peraluminosa Santa Cruz y moscovita y

cordierita en la unidad peraluminosa Granito Tuaní) en las rocas estudiadas es plenamente coherente con la geoquímica de roca total.

El análisis geoquímico indica que los magmas de las unidades peraluminosas estudiadas en este trabajo son derivados de dos rocas fuentes diferentes. El magma primordial de la unidad Granito Tuaní se derivaría de la fusión parcial de metagrauvacas y el magma primordial de la unidad peraluminosa Santa Cruz se derivaría de la fusión parcial de metapelitas.

Durante el desarrollo del orógeno famatiniano, en el Ordovícico Inferior-Medio, tiene lugar la fusión de metasedimentos alojados en la corteza intermedia. Sin embargo, el material fundido en la región de la sierra de Chepes correspondería a un material sedimentario procedente de una plataforma inmadura, mientras que en la región de la sierra de Velasco el protolito que se fundió correspondería a material sedimentario proveniente de una plataforma madura. Esto estaría indicando que durante el pre-ordovícico funcionaron distintos ambientes de sedimentación: (a) ambientes donde se acumulaban sedimentos esencialmente inmaduros, región de la sierra de Chepes (¿prisma de acreción?) y (b) ambientes donde se producía la acumulación de sedimentos maduros, región NE de la sierra de Velasco (¿cuenca de retroarco?). De esta manera, el estudio geoquímico de los granitoides peraluminosos, brinda una valiosa información que puede contribuir a la reconstrucción de los escenarios geotectónicos previos a la generación del magmatismo supracrustal

## Agradecimientos

La realización de este trabajo fue financiado con los subsidios IM40 2000 (ANPCyT), BTE2001-1486 (España) y PIP02082 CONICET. Agradecemos a C. Villaseca la revisión crítica del trabajo.

## Referencias:

Alasino, P.H., Dahlquist, J.A., Galindo, C., Baldo, E. y Casquet, C. (2005). *En: Geología de la provincia de La Rioja-Precámbrico-Paleozoico Inferior*. (J.A. Dahlquist, E.G. Baldo y P.H. Alasino, Eds.). Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial 8, 109-122.

Baez, M., Bellós, L., Grosse, P. y Sardi, F. (2005). *En: Geología de la provincia de La Rioja-Precámbrico-Paleozoico*

*Inferior*. (J.A. Dahlquist, E.G. Baldo y P.H. Alasino, Eds.). Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial 8, 123-130.

Boynton, W.V. (1984). *En: Rare earth element geochemistry*. (P. Henderson, Ed.). Elsevier. 63-114.

Chappell, B.W. y White, A.J.R. (1992). *Transactions Royal Society of Edinburgh*, 83, 1-26.

Dahlquist, J. A., Rapela, C. W., Pankhurst, R. J., Baldo, E., Saavedra, J. y Alasino, P. H. (2005). *En: Geología de la provincia de La Rioja-Precámbrico-Paleozoico Inferior*. (J.A. Dahlquist, E.G. Baldo y P.H. Alasino, Eds.). Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial 8, 87-108.

Debon, F. y Le Fort, P. (1983). *Transactions Royal Society of Edinburgh*, 73, 135-149.

Espizúa, S. y Caminos, R. (1979). *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias. Córdoba, Argentina*, 53, 125-142.

Flood, R.H. y Vernon, R.H. (1978). *Geology*, 6, 81-84.

Nakamura, N. (1974). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38, 757-775.

Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Saavedra, J., Baldo, E., Dahlquist, J.A., Pascua, I. y Fanning, C.M. (1998). *En: The Proto Andean Margin of Gondwana* (R.J. Pankhurst y C.W. Rapela, Eds.). Geological Society of London, Special Publication. 142, 343-367.

Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. y Fanning, C. (2000). *Transactions Royal Society of Edinburgh*. 91, 151-168.

Rapela, C.W. (1982). *Asociación Geológica Argentina*, 37, 313-330.

Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Baldo, E., Saavedra, J. y Galindo, C. (1998). *Geology*, 26, 707-710.

Rapela, C.W., Casquet, C., Blado, E.G., Dahlquist, J.A., Pankhurst, R.J., Galindo, C. y Saavedra, J. (2001). *Journal of Iberian Geology*, 57, 23-41.

Rossi, J. y Toselli, A. (2004). *7º Congreso Mineralogía y Metalogénia, Actas. 403-408, Río Cuarto*.

Streckeisen, A. (1976). *Earth Science Review*, 12, 1-33

Sylvester, P. J. (1998). *Lithos*, 45, 29-44

Vernon, R.H., Richards, S.W. y Collins, W.J. (2001). *Physical and Chemical Earth (A)*, 26, 267-271.

Villaseca, C., Barbero, L. y Herreros, V. (1998). *Transactions Royal Society of Edinburgh*, 89, 113-119.

White, A.J.R. y Chappell, B.W. (1988). *Transactions Royal Society of Edinburgh*, 79, 169-181.