

# Hallazgo de granitoides fuertemente peraluminosos en la sierra de Famatina, orógeno famatiniano

Juan A. DAHLQUIST<sup>1,2</sup> y Pablo H. ALASINO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CRILAR-CONICET, Entre Ríos y Mendoza, Anillaco, 5301, La Rioja.

<sup>2</sup>UNDeC

**RESUMEN.** La unidad fuertemente peraluminosa Cerro Toro, formada por rocas graníticas con cordierita y granate, constituye uno de los afloramientos más occidentales de la sierra de Famatina. Estudios combinados de petrología, geoquímica de roca total y química mineral indican que el magma primordial de esta unidad fue derivada a partir de la fusión parcial de metasedimentos en condiciones de alta temperatura (762°C) y presión media (4,1 Kb). Las elevadas relaciones de Rb/Sr, Rb/Ba y las bajas relaciones de CaO/Na<sub>2</sub>O (< 0,34) sugieren que el magma primordial se derivó de una fuente metasedimentaria de composición psamopelítica rica en plagioclasa (metagrauwacas), apoyando la anatexis de sedimentos provenientes de una plataforma continental inmadura. Este trabajo constituye el primer reporte de rocas graníticas fuertemente peraluminosas en la sierra de Famatina. Estas rocas graníticas son muy similares a las rocas de la unidad peraluminosa Granito Tuaní aflorante en la sierra de Chepes, la cual es formada por típicos granitoides famatinianos, sugiriendo que similares procesos petrogenéticos ocurrieron en ambas regiones del arco magmático desarrollado durante el Ordovícico Inferior a Medio.

**Palabras Claves:** *Cordierita, Granate, Petrología, Geoquímica, Química mineral, Fuente metasedimentaria*

**ABSTRACT.** *Discovery of strongly peraluminous granitoids in the Sierra de Famatina, Famatinian orogeny.* The strongly peraluminous Cerro Toro unit is formed of cordierite- and garnet-bearing granitic rocks and constitutes one of the most western outcrops of the Sierra de Famatina. Combined petrology, chemistry/mineralogy and whole-rock geochemistry studies indicate that the parental magma of this igneous unit was derived from the partial melting of metasediments under high temperature (762°C) and moderate pressure (4,1 Kb) conditions. The higher Rb/Sr, Rb/Ba and lower CaO/Na<sub>2</sub>O ratios (< 0.34) suggest that the parental magma was derived from a metasedimentary source of psamopelitic plagioclase-rich composition (metagreywacke), suggesting anatexis of metasediments from an immature continental platform. This paper presents the first report of strongly peraluminous granitic rocks in the Sierra de Famatina. These granitic rocks are very similar to those of the Tuaní Granite peraluminous unit of the Sierra de Chepes, formed of typical Famatinian granitoids, suggesting that similar petrogenetic processes occurred in both regions of the magmatic arc during the Famatinian orogeny.

**Key words:** *Cordierite, Garnet, Petrology, Geochemical, Mineral/chemistry, Metasedimentary source*

## Introducción

La unidad fuertemente peraluminosa Cerro Toro (UFPCT), está localizada a 15 – 20 km al este de la localidad de Villa Castelli y aflora en el mencionado cerro interdigitado con los granitoides metaluminosos de composición intermedia (tonalitas y granodioritas) conocidos como Granito Cerro Toro (Toselli *et al.* 1988, Saavedra *et al.* 1996) (Fig. 1). La UFPCT posee una asociación mineral típica de granitoides fuertemente peraluminosos como es la cordierita y el granate (Zen 1986), que lo diferencian de las otras rocas aflorantes en el cerro Toro y las rocas graníticas de la sierra de Famatina las cuales constituyen una *suite* metaluminosa ó granitoides tipo-I en la nomenclatura de Chappell y White (1992) (ver Geología del Sistema de Famatina, editado por Aceñolaza *et al.* 1996).

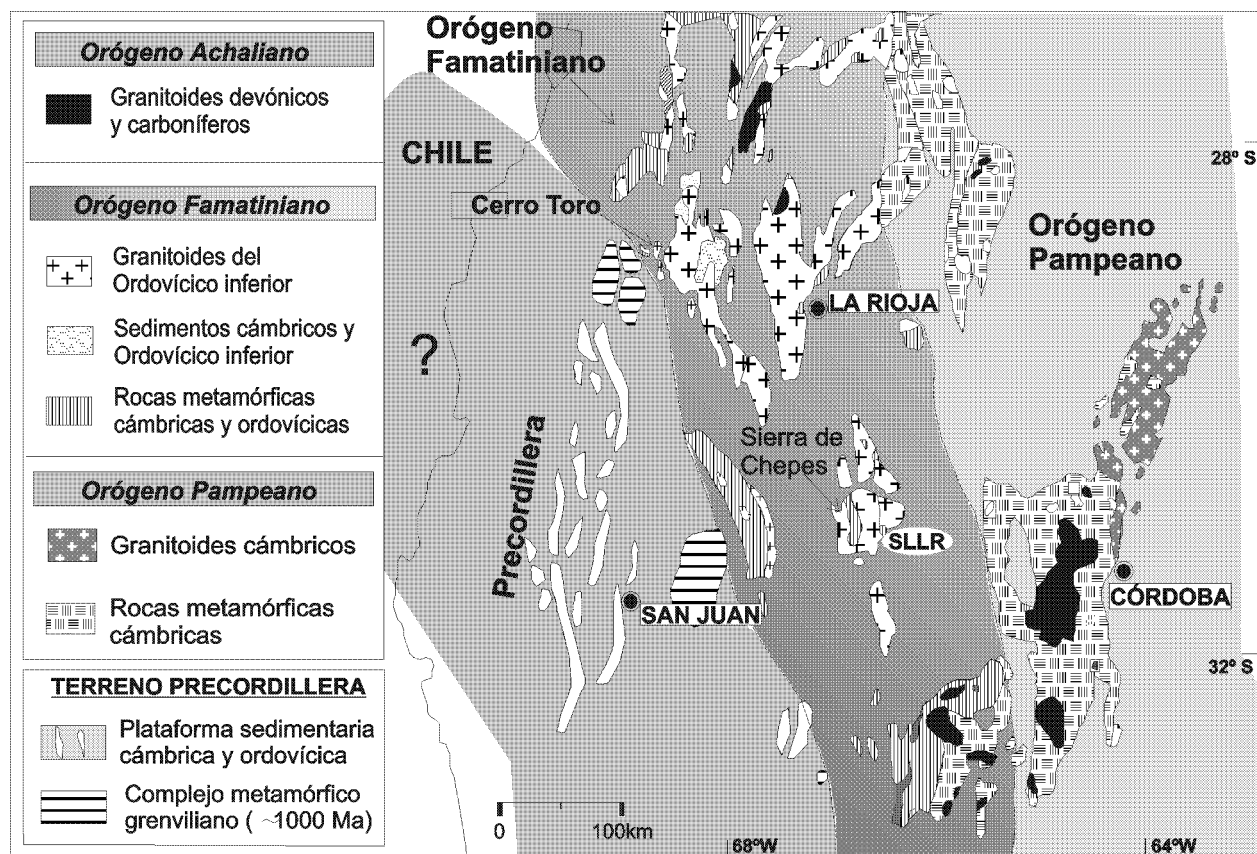
Investigaciones de detalle sobre las relaciones de campo, la petrografía, las características geoquímicas, química mineral e interpretaciones petrogenéticas de la UFPCT jamás han sido realizadas, y es éste el primer reporte de granitoides fuertemente peraluminosos con cordierita – granate en la sierra de Famatina.

De esta manera, en este trabajo, reportamos nuevos datos de petrología, geoquímica y química mineral de esta singular unidad ígnea y discutimos su petrogénesis. Basados en estos datos se establecen comparaciones con otros granitoides fuertemente peraluminosos con cordierita magmática aflorantes en la sierra de Chepes, formada por granitoides típicamente famatinianos (Dahlquist *et al.* 2005a).

## Geología del cerro Toro

Los estudios previos sobre cerro Toro (Toselli *et al.* 1988, Saavedra *et al.* 1992, 1996 y referencias en estos trabajos) definen un amplio rango de variación composicional para los granitoides tipo-I, desde gabros a monzogranitos, donde las tonalitas biotítico-anfibólicas constituyen la roca dominante. Sin embargo, no se menciona la presencia de granitoides peraluminosos como los descritos en este trabajo.

Una datación Rb/Sr (Saavedra *et al.* 1992) sobre los granitoides del cerro Toro indica  $456 \pm 14$  Ma (Fig. 1 y 2). Una edad SHRIMP U-Pb en circón determinada sobre granitoides



**Figura 1:** Esquema geológico de las Sierras Pampeanas entre los 27° y 33° de latitud sur, mostrando la ubicación del cerro Toro, de las Sierras de Los Llanos de La Rioja (SLLR) y la sierra de Chepes. Se muestra también el desarrollo de los orógenos Famatiniano, Pampeano y la extensión del terreno de Precordillera (modificado de Rapela *et al.* 2001). Denominación de orógeno achaliano según Sims *et al.* (1998).

metaluminosos (diorita) similares a los de cerro Toro, aflorantes en el adyacente cerro Aspercito (Fig. 1 y 2), revela una edad de  $468 \pm 3$  Ma (Pankhurst *et al.* 2001). De esta manera, las edades determinadas indican que son granitoides famatinianos.

Los recientes estudios llevados a cabo por los autores de este trabajo en cerro Toro, corroboran la presencia dominante de una suite metaluminosa (unidad metaluminosa Cerro Toro) dominada por tonalitas con biotita y horblenda con abundantes enclaves microgranulares máficos, con la presencia subordinada de monzogranitos y cuerpos máficos (dioritas) que muestran evidencias de mezcla física o *mingling* con los granitoides. La UFPCT fue estudiada en la quebrada Rincón del Toro, hallándose interdigitada y en contacto neto, con las tonalitas-granodioritas biotíticas de la unidad metaluminosa Cerro Toro, dispuesta con orientación N-S (Fig. 2 y 3a). Hasta el momento no se ha observado que la UFPCT intruya a la unidad metaluminosa.

### Caracterización petrológica y petrográfica de la unidad fuertemente peraluminosa Cerro Toro

#### Caracterización petrológica de campo

La UFPCT muestra dos facies distintivas descritas a continuación.

(a) *Facies con cordierita*: la cual constituye la facies con mayor extensión (Fig. 2). Posee estructura masiva, aunque ocasionalmente, y por sectores, esta facies exhibe una estructura migmatítica estromatítica, que consiste en una alternancia de bandas félsicas-máficas con una estructura de  $6^\circ/69^\circ E$ , la cual cambia en pocos centímetros a una roca con textura equigranular típica de granitoides (Fig. 3b) La roca presenta textura equigranular y granulometría media (0,4 – 0,6 cm), con presencia dispersa de fenocristales de cordierita (Fig. 3c). El índice de color, acordando con Thorpe y Brown (1993), es mesocrático y, por sectores, melanocrático debido a un mayor contenido de biotita en la roca. La característica distintiva de esta unidad es el desarrollo de cristales de cordierita de color violeta de buen desarrollo (4 a 3 cm).

(b) *Facies con granate - cordierita*: se encuentra aflorando al este de la facies anterior (Fig. 2). Exhibe un tamaño de grano medio, estructura masiva, textura equigranular y un índice de color mesocrático. Se destaca el desarrollo de granates de dimensiones centimétricas (3 a 5 cm) (Fig. 3d).

La UFPCT muestra la presencia abundante de xenolitos metamórficos de forma ovoidal y, en un afloramiento, fue observado un xenolito ígneo de dimensiones centimétricas. Los xenolitos metamórficos son oscuros, de grano fino y forma ovoidal, con dimensiones de entre 10 a 14 cm.

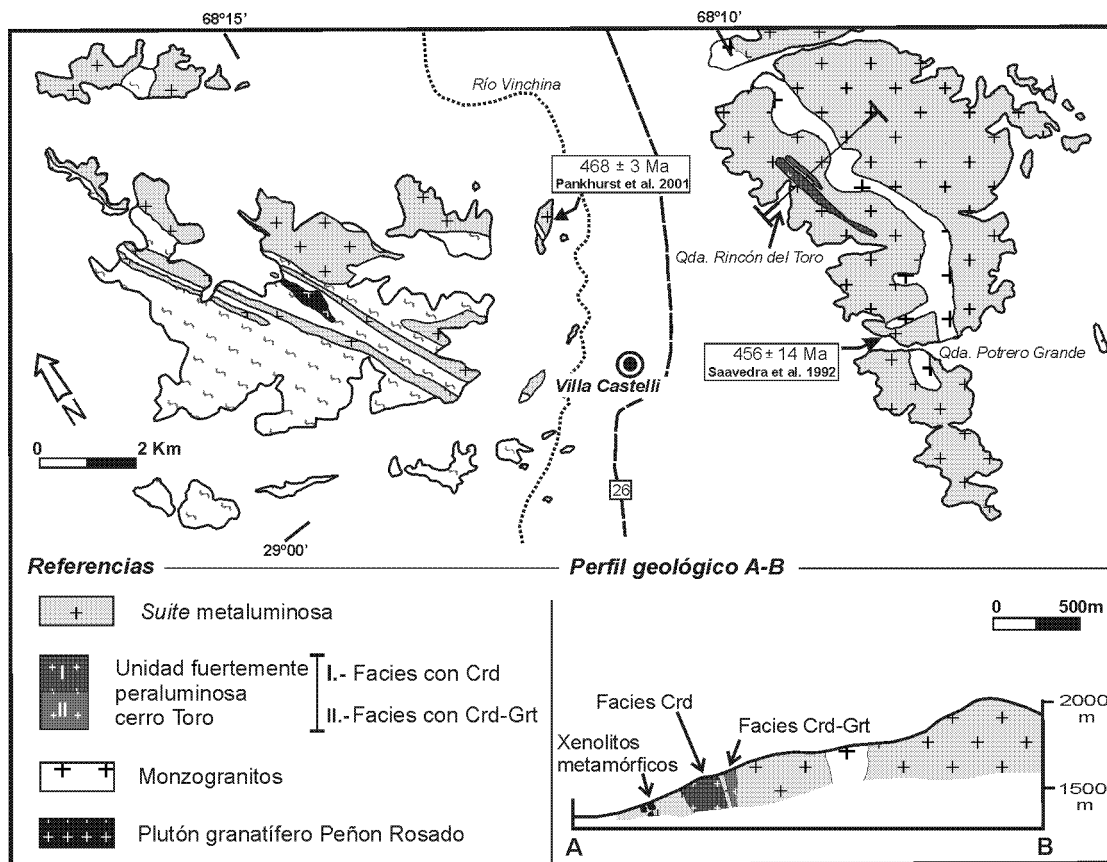


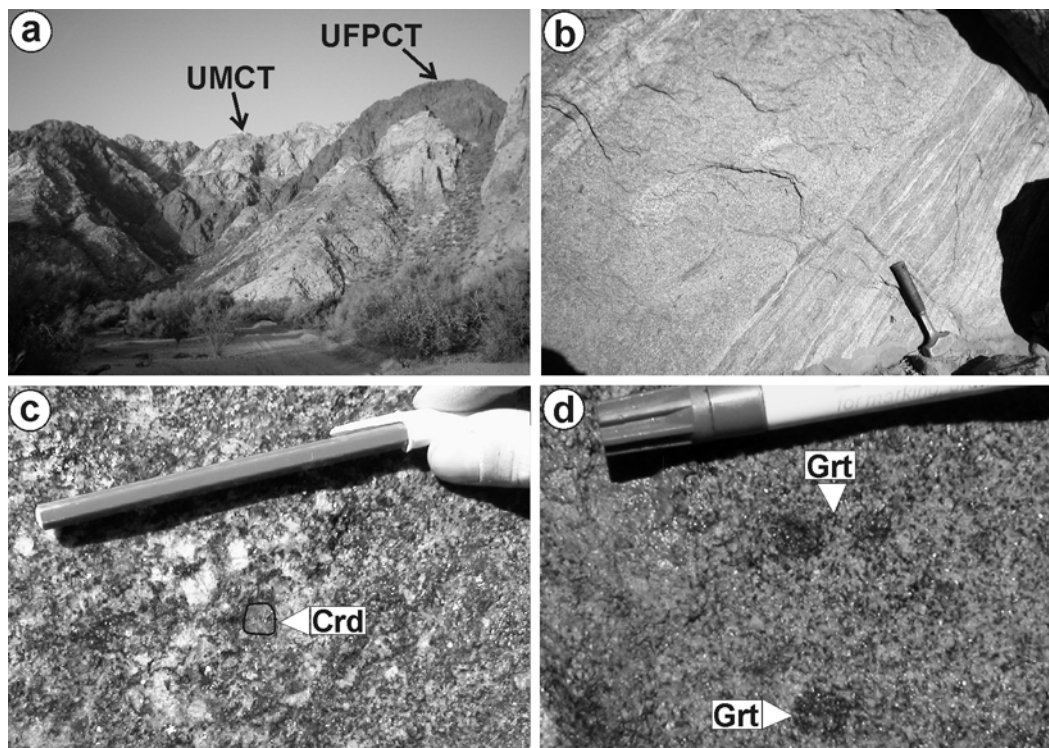
Figura 2: Mapa geológico simplificado de los cerros Toro y Aspercito. Geología del cerro Aspercito según Dahlquist *et al.* (2004, 2005b).

### Petrografía

(a) *Facies con cordierita*: Esta facies, al igual que la facies cordierita - granate, quedan clasificadas como tonalitas en el diagrama modal de Streckeisen (1976) (proporciones modales en Cuadro 1). La asociación mineral magmática es formada por plagioclasa, cuarzo,  $\pm$  microclino, biotita, muscovita, cordierita y circón, minerales opacos (un análisis de química mineral a partir de microsonda de electrones revela la presencia de hematita), fibrolita y clorita, como accesorios minerales. La plagioclasa es de sección tabular, en ocasiones irregular, subhedra-anhedra, mayormente con maclas polisintéticas y zonación progresiva. Presenta pequeñas inclusiones de Opq-Ms-Bt-Chl-Qtz (abreviaciones minerales según Kretz 1983). El cuarzo presenta generalmente forma irregular, subhedro-anhedro y extinción ondulosa. El microclino se ha observado en algunas láminas delgadas (hasta un 6% modal) y en otras, en cambio, está ausente. Es tabular, subhedro a anhedro, mostrando la típica macla del enrejado y algunos cristales constituyen microclinos peritéticos. En general presentan pocas inclusiones de minerales opacos, cuarzo y ocasionalmente de biotita. La biotita tiene forma tabular, irregular, subhedra y con marcado pleocroísmo. Presenta abundantes inclusiones de circón, que generan notorios halos pleocroicos, y minerales opacos. Se asocia a muscovita y fibrolita. Ocasionalmente se muestra alterada a clorita. La muscovita es abundante, de hábito tabular, ocasionalmente irregular, subhedra-euhedra y de

buen desarrollo. Se asocia a biotita y fibrolita, mostrando inclusiones de minerales opacos. Algunas muscovitas están alteradas a clorita. Basados en criterios texturales se sugiere la existencia de muscovitas de origen primario y secundario. La cordierita posee forma rectangular y, en menor medida, irregular, euhedra-subhedra. Muestra escasas inclusiones de Zrn-Opq-Bt-Fib-Qtz y mayormente los cristales se encuentran reemplazados por muscovitas pseudomorfas. La fibrolita es frecuente, generalmente dispuesta "en ramilletes" y asociada a biotita, cordierita y muscovita. Los minerales accesorios son circones incluidos en biotita y cordierita, y minerales opacos, estos últimos con forma rectangular, irregular, subhedros. También, se observaron texturas de exsolución (mirmequitas), principalmente en plagioclasas. Cuarzo y, en menor medida, plagioclasa, exhiben fracturación.

(b) *Facies con granate y cordierita*: La asociación mineral magmática es formada por plagioclasa, cuarzo, microclino, biotita, muscovita, cordierita, granate y circón, minerales opacos, fibrolita y clorita, como accesorios minerales. La plagioclasa muestra hábito tabular, subhedro-euhedro, fracturada, generalmente con suave maclado polisintético y zonación progresiva. Las inclusiones minerales son Bt-Ms-Qtz-Zrn-Opq y muy ocasionalmente granate. El feldespato alcalino es microclino, generalmente con forma tabular, subhedro, con maclas del enrejado y con presencia de perititas. Las inclusiones minerales son escasas. Ocasional-



**Figura 3:** Fotografías de campo de la unidad fuertemente peraluminosa Cerro Toro. **a,** Vista panorámica de la unidad fuertemente peraluminosa Cerro Toro (UFPCT) interdigitada con la unidad metaluminosa Cerro Toro (UMCT). **b,** Facies cordierítica mostrando pasajes de texturas equigranular a migmatítica estromatítica. **c,** Facies cordierítica con fenocristales de cordierita. **d,** Facies cordierita – granate con fenocristales de granate.

mente existen cristales de microclino dentro de plagioclasas fracturadas, sugiriendo el ingreso de fundidos póstumos por las fracturas y posterior cristalización. El cuarzo muestra forma irregular, subhedro-anhedro, con extinción ondulosa. La biotita es abundante, de hábito tabular, en ocasiones irregular, subhedra, pleocroica y con inclusiones de Zrn-Opq. Se encuentra asociada a muscovita, cordierita y granate. La muscovita generalmente se asocia a biotita y plagioclasa, con forma rectangular, irregular, subhedra. La cordierita es muy abundante y de buen desarrollo, principalmente de forma rectangular, euhedra-subhedra con inclusiones de Bt-Opq-Ms (Fig. 4a). Los cristales exhiben típica pinitización y se observa maclado simple. El granate es de buen desarrollo, de forma irregular, subhedro-euhedro, fracturados y con escasas a nulas inclusiones de muscovita y biotita (Fig. 4b). Los minerales accesorios son circón, incluido en biotita y cordierita. La fibrolita es poco frecuente, asociada a biotita, cordierita y, en menor medida, muscovita. Los minerales opacos son escasos y generalmente dispuestos como inclusión en biotita y cordierita. En el contacto de plagioclasa y microclino se desarrollan con frecuencia mirmequitas.

Los xenolitos metamórficos alojados en la UFPCT, muestran una típica textura metamórfica, con porfiroblastos de cordieritas poiquilíticas (aproximadamente el 70% de la roca), con inclusiones de cuarzo y minerales opacos (cinco análisis de química mineral a partir de microsonda de electrones revela la presencia de hematita, titanomagnetita y hercinita) (Fig. 4c) insertos en una matriz granoblástica formada por cuarzo, plagioclasa, porfiroblastos tabulares de sillimanita (Fig. 4d),

minerales opacos, escasa biotita y muy escaso microclino y muscovita (aproximadamente el 30% restante de la roca).

### Geoquímica de la unidad fuertemente peraluminosa Cerro Toro

Esta unidad tiene composición intermedia (tres análisis),  $\text{SiO}_2 = 60,72$  a  $64,65\%$ , con valores de  $\text{K}_2\text{O}$  (3,7 - 4,2%) relativamente altos, deficiencia en  $\text{CaO}$  (0,9 - 1%) y  $\text{Na}_2\text{O}$  (1,6 - 2%), y

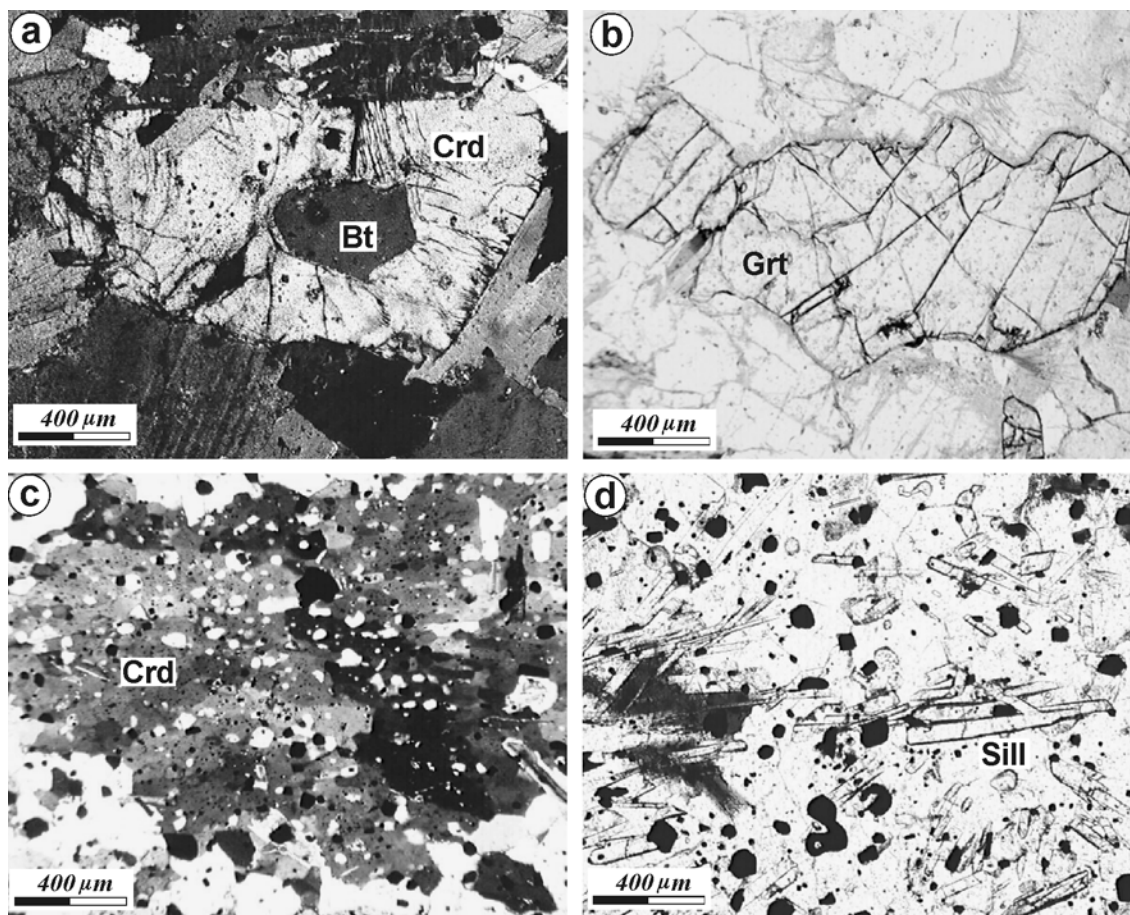
**Cuadro 1:** Proporciones modales de las facies cordierita y cordierita – granate de la unidad fuertemente peraluminosa Cerro Toro.

Facies ígneas	Crd - Grt	Crd
Número de Muestras	2	2
<b>Total puntos</b>	<b>982 ± 68</b>	<b>1.079 ± 54</b>
Qtz	22,4 ± 1,7	31,5 ± 2,1
Kfs	0,6 ± 0,2	—
Pl	36,5 ± 0,9	28,9 ± 2,3
Bt	20,4 ± 1,1	18,3 ± 0,1
Ms	4,3 ± 0,8	15,8 ± 0,6
Crd	10,7 ± 0,5	1,9 ± 0,3
Grt	3,2 ± 0,6	—
Chl	0,6 ± 0,1	0,5 ± 0,1
Ap	—	0,2 ± 0,0
Zrn	0,5 ± 0,1	0,3 ± 0,0
Opq	0,2 ± 0,0	2,1 ± 0,3
Fib-Sill	0,6 ± 0,0	0,5 ± 0,0

Abreviaciones minerales según Kretz, 1983.

UFPCT = unidad fuertemente peraluminosa cerro Toro.

Línea discontinua = mineral ausente.



**Figura 4:** Fotomicrografías de la unidad fuertemente peraluminosa Cerro Toro. **a** y **b**, Cristal de cordierita y granate perteneciente a la facies cordierita – granate. **c**, Porfiroblasto de cordierita poiquilítica con inclusiones de cuarzo y minerales opacos. **d**, Porfiroblastos tabulares de sillimanita.

altos valores de  $\text{Fe}_2\text{O}_3^t + \text{MgO} + \text{Ti}_2\text{O}$  (10 - 12 %), comparado con rocas calcoalcalinas metaluminosas (Cuadro 2). Las concentraciones de elementos mayoritarios, así como el alto índice de saturación en alúmina (Fig. 5), es coherente con su mineralogía, mostrando valores muy similares a las reportados para la unidad peraluminosa Granito Tuani aflorante en la sierra de Chepes (Pankhurst *et al.* 1998, Dahlquist 2000, Dahlquist *et al.* 2005). El patrón de tierras raras es prácticamente idéntico al del Granito Tuani, con valores de  $[\text{La}/\text{Yb}]_N = 7,3 - 9,2$  (normalizado según Nakamura 1974) y marcada anomalía negativa de Eu. La concentración de elementos trazas también muestran llamativa similitud con las concentraciones informadas para el Granito Tuani (Pankhurst *et al.* 1998, Dahlquist 2000, Dahlquist *et al.* 2005a): Rb (137-169 ppm), Sr (110-138 ppm), Ba (493-565 ppm), Y (25-43 ppm), Nb (11-18 ppm), U (2-3 ppm) y Th (18-21 ppm) (Cuadro 2).

#### Condiciones de emplazamiento de la unidad fuertemente peraluminosa Cerro Toro

Acordando con el trabajo experimental de Clemens y Wall (1981), para fundidos peraluminosos (tipo-S), la facies con cordierita – granate de la UFPCT representaría los estadios

iniciales en la secuencia de cristalización y no habría superado los 4 Kb (altas temperaturas, ~ 870°C) - 5 Kb (para bajas temperaturas, ~ 750°C) de presión, ya que, por arriba de estos valores (según la temperatura del magma) la cordierita supera la curva límite de estabilidad de fase y se funde (Fig. 8). Valores de presión y temperatura han sido calculados para la facies cordierita - granate de la UFPCT a partir de la química de minerales seleccionados (Cuadro 3). La temperatura ha sido calculada utilizando el geotermómetro de Ganguly y Saxena (1984), usando la partición  $\text{Fe}^{+2}$  y Mg entre granate - biotita. La presión se obtuvo a partir del geobarómetro cuarzo-plagioclasa-granate-biotita de Hoisch (1990). La temperatura y la presión han sido obtenidas por un proceso de interacción, donde el valor de temperatura obtenido es recalculado hasta satisfacer el valor de presión obtenido a partir del geobarómetro. Los valores calculados dan una presión de 4,1 Kb y una temperatura de 762°C (química mineral en Cuadro 3), siendo coherentes con los datos deducidos a partir de los experimentos de Clemens y Wall (1981) (Fig. 8).

#### Discusión

La proyección de las rocas de la UFPCT en el diagrama

**Cuadro 2:** Análisis geoquímicos representativos de la unidad fuertemente peraluminosa Cerro Toro.

Facies	Unidad Fuertemente Peraluminosa Cerro Toro		
	Crd - Grt	Crd	Crd
Muestras	FAM - 143	FAM - 135	FAM - 145
Método de Análisis	ICP	ICP	ICP
	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS
Óxidos mayoritarios (peso en %)			
SiO <sub>2</sub>	60,72	64,65	63,31
TiO <sub>2</sub>	0,79	0,56	0,89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,53	15,82	16,01
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,18	6,96	6,84
FeO	nd	nd	nd
MnO	0,23	0,16	0,15
MgO	3,15	2,46	2,68
CaO	1,09	1,02	0,89
Na <sub>2</sub> O	1,60	1,78	1,98
K <sub>2</sub> O	3,76	3,70	4,18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09	0,10	0,15
LOI	1,86	1,69	1,73
Total	99,00	99,90	98,81
Elementos traza (ppm)			
Cs	6,70	4,50	4,40
Rb	169,00	137,00	143,00
Sr	114,00	138,00	110,00
Ba	565,00	1180,00	493,00
La	59,70	59,00	56,20
Ce	121,00	123,00	117,00
Pr	12,80	13,10	12,30
Nd	49,00	50,80	47,40
Sm	9,44	9,88	9,65
Eu	1,74	1,71	1,82
Gd	7,93	7,72	8,11
Tb	1,47	1,14	1,35
Dy	8,68	5,86	7,38
Ho	1,61	1,07	1,41
Er	4,45	3,13	5,71
Tm	0,88	0,43	0,65
Yb	5,46	2,57	4,06
Lu	0,86	0,41	0,64
U	2,36	3,11	3,27
Th	19,20	20,50	18,00
Y	43,20	25,30	34,80
Nb	15,70	10,60	18,10
Zr	210,00	202,00	247,00
Hf	6,40	6,50	7,80
Ta	1,03	0,88	1,28
Ga	24,00	23,00	22,00
Ge	3,00	2,40	2,30

Los elementos mayoritarios fueron determinados con ICP y los elementos traza con ICP-MS en los laboratorios de ACTLABs, Ontario, Canadá. Hierro total calculado como FeO<sub>3</sub>  
 nd = no determinado. ICP-MS = en inglés, Inductively Coupled Plasma Emission Mass Spectrometry.

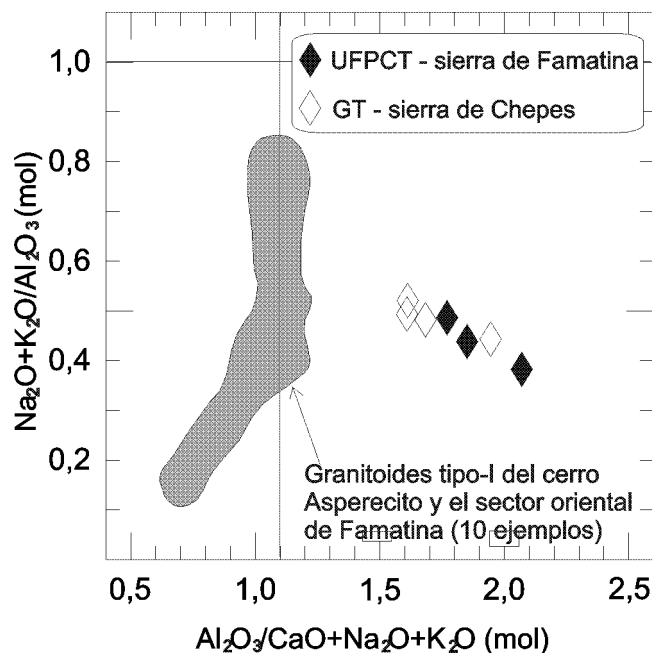
discriminatorio para diferenciar granitoides tipo-I de granitoides tipo-S (Na<sub>2</sub>O vs. K<sub>2</sub>O, Chappell y White 2001) definen claramente a dichas rocas como granitoides tipo-S (Fig. 6). Teniendo en cuenta lo expuesto, la proyección de las rocas de la UFPCT en el diagrama de Sylvester (1998) (Fig. 7), el cual permite discriminar químicamente la fuente que dio origen a las rocas peraluminosas, definen una fuente de composición psamopelíticas (metagrauvas), similar a la fuente de las rocas de la unidad peraluminosa Granito Tuaní, indicando que ambas rocas se originaron a partir de fuentes de composiciones muy similares (Fig. 7). En concordancia, la petrografía del xenolito metamórfico, interpretado como material proveniente de la roca de caja (*resister*) que se fundió y dio origen al mag-

ma primordial de la UFPCT, es muy similar a la asociación mineral de las migmatitas que conforman el basamento metamórfico de la sierra de Chepes (Dahlquist y Baldo 1996, Dahlquist 2000, Dahlquist *et al.* 2005a). La composición inferida para las fuentes sugiere que ambos magmas provienen de la fusión de metasedimentos derivados de una plataforma continental inmadura.

Estructuras migmatíticas estromatíticas, han sido descritas en la unidad peraluminosa Granito Tuaní. Estas estructuras han sido interpretadas por Dahlquist (2000) como el resultado de un progresivo calentamiento de los metasedimentos que culmina con la anatexis local (partiendo de estructuras migmatíticas estromatíticas hacia texturas equigranulares típicas de rocas graníticas). La presencia de una facies con cordierita – granate no ha sido observada hasta el momento en las rocas que forman la unidad peraluminosa Granito Tuaní. Esto puede tener diferentes explicaciones: 1) el volumen de estos cristalizados tempranos es pequeño y no se han encontrado, han sido eliminados por erosión ó no están aflorando; 2) las presiones y temperaturas de cristalización fueron ligeramente diferentes a las registradas en cerro Toro (menor presión y mayor temperatura, como sugiere la paragénesis metamórfica de las migmatitas, Dahlquist y Baldo 1996), y el granate no cristalizó.

Las características texturales de las cordieritas de la UFPCT, similares a las cordieritas magmáticas de la unidad peraluminosa Granito Tuaní de la sierra de Chepes (Dahlquist *et al.* 2000, 2005a) sugieren que ellas tienen un origen magmático cotéctico acordando con Clarke (1995).

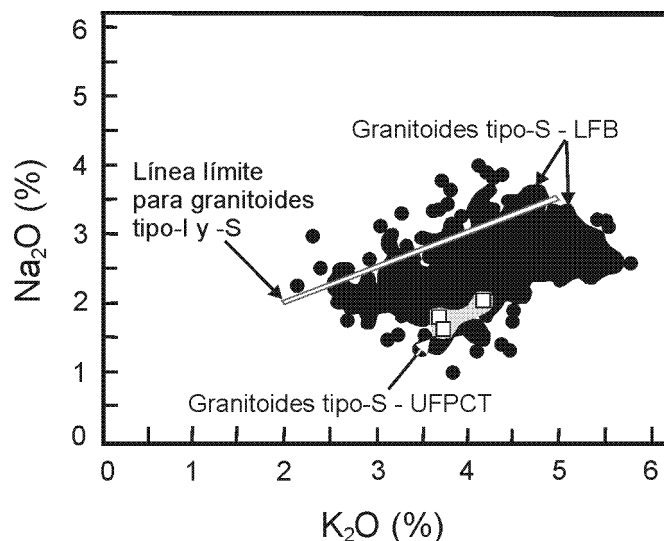
Valores de presión obtenidos a partir del contenido de aluminio en hornblenda alojadas en las rocas de la *suite* metaluminosa de cerro Toro han sido calculados por Rossi de



**Figura 5:** Índice de saturación en alúmina (Shand, 1927) según Rapela (1982) de la unidad fuertemente peraluminosa Cerro Toro y la unidad peraluminosa Granito Tuaní, (sierra de Chepes).







**Figura 6:** Diagrama  $\text{Na}_2\text{O}$  vs.  $\text{K}_2\text{O}$  modificado a partir de Chappell y White (2001). Referencias: LFB = Lachlan Fold Belt, UFPCT = unidad fuertemente peraluminosa Cerro Toro.

(Dahlquist y Galindo 2004), apoyan un emplazamiento casi sincrónico de ambas *suites*. El emplazamiento de una *suite* metaluminosa casi sincrónico con una *suite* peraluminosa durante el Ordovícico Inferior, ha sido demostrado en la sierra de Chepes por Pankhurst *et al.* (2000).

Análisis con microsonda de electrones sobre las fases obtenidas experimentalmente a partir de la cristalización de fundidos peraluminosos derivados de la fusión de rocas metamórficas de alto grado de composición psamopelíticas, a 5 kb de presión (Clemens y Wall 1981), indican que el  $\text{Fe}^{+2\#} = [\text{Fe}^{+2}/(\text{Fe}^{+2}+\text{Mg})]$  para el vidrio (que representa el fundido en equilibrio con las fases minerales que cristalizan) es de 0,7. Valores de  $\text{Fe}^{+2\#} = 0,75$  a  $0,77$  es obtenido a partir de los análisis de roca total de las facies consideradas (Cuadro 2) sugiriendo que la UFPCT, efectivamente, representa un fundido derivado de la fusión de metasedimentos psamopelíticos.

Clemens y Wall (1981) muestran que cuando la roca fuente posee sillimanita, el fundido producido es considerablemente más saturado en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  que cuando este mineral está ausente, sugiriendo la presencia de sillimanita en la fuente. La petrografía de los xenolitos confirma la presencia de abundante sillimanita en la roca fuente, lo cual es coherente con los muy elevados valores del índice de saturación en aluminio de Shand (1927), registrados en la UFPCT (Fig. 5).

## Conclusiones

Las características petrológicas y geoquímicas indican que la unidad descrita es un granitoide fuertemente peraluminoso derivado de la fusión de rocas metamórficas de alto grado de probable composición psamopelítica (metagrauvacas con sillimanita presente), por lo cual es clasificado como un típico granitoide tipo-S, constituyendo este trabajo el primer reporte de granitoides de esta composición

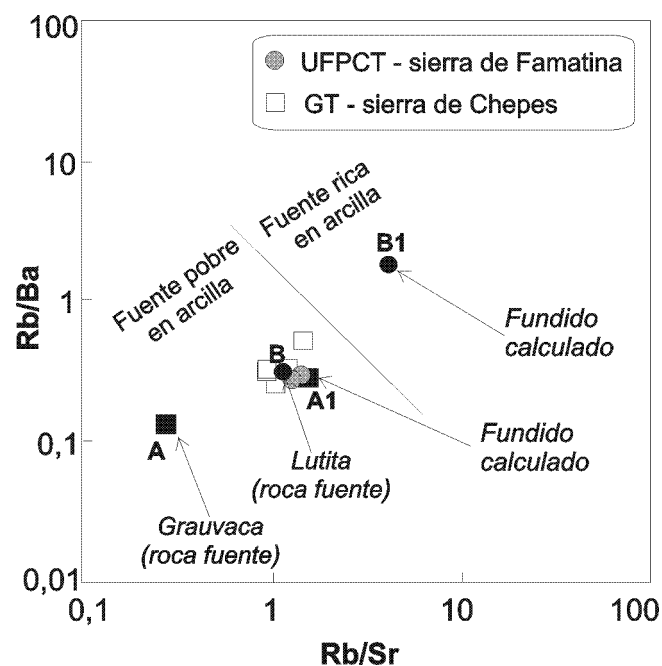
en la sierra de Famatina. La roca fuente refleja la composición de sedimentos provenientes de una plataforma continental inmadura.

El emplazamiento habría ocurrido en temperaturas relativamente elevadas  $762^\circ\text{C}$  y presiones medias de 4,1 kb. Las características de campo y los similares valores de presión de la *suite* metaluminosa - peraluminosa sugieren la posibilidad de un emplazamiento casi sincrónico. Determinaciones geocronológicas que se iniciarán en la región permitirán corroborar o desechar esta hipótesis.

La gran similitud petrológica y geoquímica entre la UFPCT y la unidad peraluminosa Granito Tuaní aflorante en la sierra de Chepes, permite establecer, en líneas generales, un proceso petrogenético similar, que se inicia con la fusión de metasedimentos provenientes de un arco continental inmaduro, en un ambiente de baja-media P y alta T (Pankhurst *et al.* 1998, Dahlquist 2000, 2001). Esto sugiere que los granitoides de la sierra de Famatina y de las Sierras de Los Llanos de La Rioja (Fig. 1) constituyeron un arco magmático con características petrológicas, geoquímicas (una *suite* metaluminosa y una *suite* peraluminosa subordinada) e isotópicas (Dahlquist y Galindo 2004) similares.

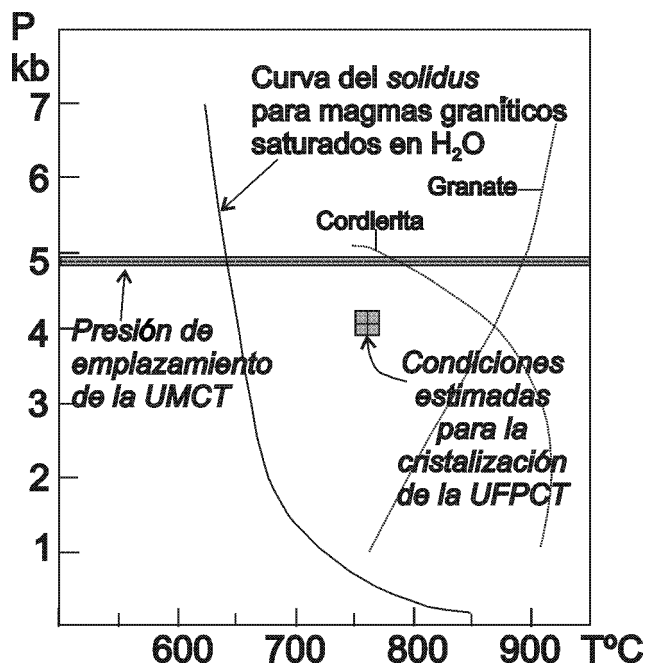
## Agradecimientos

Se agradece al Grupo PAMPRE el constante apoyo recibido, especialmente al Dr. E. Baldo y a los Drs. C. Casquet y C. Galindo. El trabajo fue financiado con los subsidios IM40 2000 (ANPCyT) y BTE2001-1486 (España). Se agradece al CRILAR la apoyatura técnica y a los revisores (Dra. Ana M.



**Figura 7:** Diagrama discriminatorio para diferentes fuentes de granitoides peraluminosos (Sylvester 1998). A y B = roca fuente; B y B1 fundidos primordiales generados a partir de la fusión de las roca A y B. Los fundidos primordiales calculados a partir de Sylvester (1998).





**Figura 8:** Valores de presión y temperatura calculados a partir de la química mineral de la facies cordierita – granate de la UFPCT (datos de química mineral en Cuadro 3) y valor de presión calculado para la *suite* metaluminosa cerro Toro (datos de química mineral a partir de Rossi de Toselli *et al.* 1991). Referencias: UFPCT: unidad fuertemente peraluminosa cerro Toro, UMCT: unidad metaluminosa cerro Toro. Las líneas punteadas representan las curvas de estabilidad para cordierita y granate según los experimentos de Clemens y Wall (1981).

Sato y otro anónimo) de este trabajo que mejoraron la calidad del manuscrito.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aceñolaza, F. G., Miller, H. y Toselli, A. J., 1996. Geología del Sistema de Famatina. *Münchner Geologische Hefte*, Reihe, A19, 412 p.
- Chappell, B. W. y White, A. J., 1992. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Transactions of the Royal Society Of Edinburgh: Earth Sciences* 83: 1-26.
- Chappell, B. W. y White, A. J. R., 2001. Two contrasting granite types: 25 years later. *Australian Journal of Earth Sciences*, 48: 489-499.
- Clarke, D. B., 1995. Cordierite in felsic igneous rocks: a synthesis. *Mineralogical Magazine* 59: 311-325.
- Clemens, J. D. y Wall, V. J., 1981. Origin and crystallization of some peraluminous (S- type) granitic magmas. *Canadian Mineralogist* 19: 111-131.
- Dahlquist, J. A. y Baldo, G. E., 1996. Metamorfismo y deformación famatinianos en la sierra de Chepes, La Rioja, Argentina. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 5: 393-409.
- Dahlquist, J. A., 2000. Geología, petrología y geoquímica de las rocas de la sierra de Chepes, La Rioja, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, (inédita) 464 p.
- Dahlquist, J. A., 2001. Low-pressure emplacement of epidote-bearing metaluminous granitoids in the Sierra de Chepes (Famatinian Orogen) and relationships with the magmas sources. *Revista Geológica de Chile* 28: 147-161.
- Dahlquist, J. A., Rapela, C. W. y Baldo, E., Saavedra, J., y Alasino, P. H., 2005a. Los granitoides de la sierra de Chepes y su comparación con granitoides paleozoicos de las Sierras Pampeanas: implicadas para el orógeno famatiniano. En: Dahlquist, J. A., Baldo, E. G., Alasino, P. H. (Eds). *Geología de la provincia de La Rioja - Precámbrico - Paleozoico Inferior*. Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial 8: 87-108.
- Dahlquist, J. A. y Galindo, C., 2004. Geoquímica isotópica de los granitoides de la sierra de Chepes: un modelo geotectónico y termal, implicancias para el orógeno famatiniano. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 59 (1):57-69.
- Dahlquist, J. A., Alasino, P. H., Galindo, C., Pankhurst, R. J., Rapela, C. W., Casquet, C., Aavedra, J., Baldo, E., González-Casado, J. M. y Fanning, M., 2004. Magmatismo supracrustal en el arco magmático famatiniano. Parte 1. *INSUGEO, Miscelánea* 13: 87-88.
- Dahlquist, J. A., Alasino, P. H., Galindo, C., Pankhurst, R. J., Rapela, C. W., Casquet, C., Aavedra, J., Baldo, E., González-Casado, J. M. y Fanning, M., 2005b. Evolución magmática del plutón granatífero Peñon Rosado, cerro Asperecito. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Enviado para su publicación.
- Ganguly, J. y Saxena, S. K., 1984. Mixing properties of aluminosilicate garnets: constraints from natural and experimental data, and applications to geothermo-barometry. *American Mineralogist* 69: 88-97.
- Hoisch, T. D., 1990. Empirical calibration of six geobarometers for the mineral assemblage quartz + muscovite + biotite + plagioclase + garnet. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 104: 225-234.
- Hollister, L. S., Grissom, G. C., Peters, E. K., Stowell, H. H. y Sisson, V. B., 1987. Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *American Mineralogist* 72: 231-239.
- Johnson, M. C. y Rutherford, M. J., 1989. Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks. *Geology*, 17: 837-841.
- Kretz, R., 1983. Symbols for Rock-Forming Minerals. *American Mineralogist* 68: 277-279.
- Nakamura, N., 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimical et Cosmochimical Acta* 38: 757-775.
- Pankhurst, R. J., Rapela, C. W. Saavedra, J., Baldo, E. Dahlquist, J., Pascua, I. y Fanning, C. M., 1998. The Famatinian arc in the central Sierras Pampeanas: an Early to Mid-Ordovician continental arc on the Gondwana margin. In: Pankhurst, R.J., Rapela, C.W. (Eds.): *The Proto-Andean Margin of Gondwana*, Geological Society of London, Special Publication 142: 343-67.
- Pankhurst, R. J., Rapela, C. W. y Fanning, C., 2001. Age and origin the Coeval TTG, I and S-Type granites in the Famatina belt of NW of Argentina. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 91: 151-168.
- Rapela, C. W., 1982. Aspectos geoquímicos y petrológicos del batolito de Achala, provincia de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 37: 313-330.
- Rapela, C.W., Casquet, C., Baldo, E., Dahlquist, J., Pankhurst R.J., Galindo, C. y Saavedra, J., 2001. La Orogénesis del Paleozoico Inferior en el margen proto-andino de América del Sur, Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of Iberian Geology* 27: 23-41.
- Rossi de Toselli, J. N., Toselli, A. J. y Wagner, S., 1991. Geobarometría de hornblendas en granitoides calcoalcalinos: Sistema de Famatina, Argentina. 6° Congreso Geológico Chileno, Resúmenes Expandidos, 244-247.
- Saavedra, J., Pellitero-Pascual, E., Rossi, J. N. y Toselli, A. J., 1992. Magmatic evolution of the Cerro Toro granite, a complex Ordovician pluton of northwestern Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 5 (1): 21-32.
- Saavedra, J., Toselli, A., Rossi de Toselli, J. N. y Pellitero, E., 1996. Granitoides y rocas básicas del Cerro Toro. En: F.G. Aceñolaza, H. Miller y A. Toselli (eds.): *Geología del Sistema de Famatina*, *Münchner Geologische Hefte* 229-240, München.
- Schmidt, M. W., 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 110: 462 –

- 474.
- Shand, S. J., 1927. *The Eruptive Rock*, John Wiley, 360 p., New York.
- Sylvester, P. J., 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites. *Lithos* 45: 29-44.
- Sims, J. P., Ireland, T. R., Camacho, A., Lyons, P., Pieters, P. E., Skirrow, R. G. y Stuart-Smith, P. G., 1998. U-Pb, Th-Pb and Ar-Ar geochronology from the southern Sierras Pampeanas, Argentina: implications for the Palaeozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin. En: Pankhurst, R. J., Rapela, C. W. (Eds.). *The Proto-Andean Margin of Gondwana*, Geological Society of London, Special Publication 142: 259-281.
- Streckeisen, A., 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews* 12: 1-33.
- Thorpe, R. S. y Brown G. C. 1993. *The Field Description of Igneous Rocks*. John Wiley & Sons, 154 p., New York.
- Toselli, A. J., Rossi de Toselli, J. N., Saavedra, J., Pellitero, E. y Medina, M. E. 1988. Aspectos Petrológicos y Geoquímicos de los Granitoides del entorno de Villa Castelli, Sierras Pampeanas Occidentales – Sistema de Famatina. 5° Congreso Geológico Chileno, Actas 3: 117-128.
- Zen, E., 1986. Aluminum enrichment in Silicate Melts by Fractional Crystallization: Some Mineralogic and Petrographic Constraints. *Journal of Petrology* 27(5): 1095-1117.

**Recibido:** 02/03/05

**Aceptado:** 15/05/05