



## DEFORMACIÓN EN EL BASAMENTO NEOPROTEROZOICO DE LAS SIERRAS AUSTRALES DE BUENOS AIRES: EDAD DE LA DEFORMACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LOS FLUIDOS

Ballivián Justiniano, C.A.<sup>1,2</sup>, Lanfranchini, M.E.<sup>1,3</sup>, de Barrio, R.E.<sup>1</sup> y Etcheverry, R.O.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Recursos Minerales (INREMI), Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. Calle 64 esq. 120 s/n, C.P. 1900, La Plata. [carlos\\_ballivian@hotmail.com](mailto:carlos_ballivian@hotmail.com)

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

<sup>3</sup> Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICBA)

El basamento neoproterozoico de las Sierras Australes de Buenos Aires aflora en el área de los cerros Pan de Azúcar y del Corral (Rapela *et al.* 2003), ubicado a unos 18 km al nor-noreste de Tornquist. Las rocas cristalinas de la zona consisten en los granitos cataclásticos y miloníticos de los cerros Pan de Azúcar, del Corral y 21 de Septiembre y la Loma Marcelo, la ignimbrita milonítica del Cerro del Corral y los pequeños afloramientos de metandesita del Cerro Pan de Azúcar y del *skarn* Loma Marcelo (Ballivián Justiniano *et al.* 2015 y referencias allí citadas). Estas rocas se encuentran cortadas por vetas y vetillas de cuarzo ( $\pm$  sericita y/o calcita).

En los cerros Pan de Azúcar y del Corral pueden reconocerse los flancos de una estructura anticlinal volcada hacia el noreste y fallada dúctilmente a lo largo de cuyo eje la erosión labró el Abra Meyer (Kilmurray 1968), constituyendo una ventana erosiva o “*inlier*” que permite observar las rocas de basamento subyacentes a la secuencia sedimentaria eopaleozoica allí expuesta. La deformación y metamorfismo habrían alcanzado temperaturas de 400–450°C y presiones del orden de 2 kb (Delpino y Dimieri 1992, Delpino 1993). Grecco *et al.* (2000) concluyeron que la milonización del basamento favoreció la movilización de todos los elementos mayoritarios y trazas, incluyendo las tierras raras. La deformación fue atribuida a la Fase Orogénica San Rafael y asignada al Pérmico Temprano en base a estudios paleomagnéticos realizados en la Formación Tunas del Grupo Pillahuincó (Tomezzoli y Vilas 1999).

Las estructuras identificadas y la interpretación de su vinculación genética permitieron establecer la evolución cinemática responsable de la estructuración del área de los cerros Pan de Azúcar y del Corral. Esta comenzó con la milonización del basamento cristalino y el plegamiento de la cubierta sedimentaria paleozoica; ambos procesos habrían ocurrido simultáneamente. Las fallas dúctiles, a las cuales se asocian fajas de ultramilonitas, se desarrollaron posteriormente en respuesta a la prosecución del acortamiento cortical, generando una imbricación de escamas tectónicas. Durante las etapas tardías de la deformación y mediante procesos disolución por presión y reprecipitación, el material soluble fue inyectado en forma de vetas y vetillas de cuarzo.

Con el objeto de determinar la edad de la deformación e investigar la composición de los fluidos relacionados, se realizaron fechados isotópicos Rb-Sr, determinaciones de isótopos estables y estudios microtermométricos de inclusiones fluidas en minerales de las vetas y vetillas que cortan a las rocas de basamento del área de los cerros Pan de Azúcar y del Corral y del *skarn* Loma Marcelo.

El análisis por el método Rb-Sr de concentrados de cuarzo y sericita de una veta que corta a las milonitas graníticas de la Loma Marcelo permitió la construcción de una isocrona de dos puntos que arrojó una edad de  $364,4 \pm 3,6$  Ma con una relación  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  inicial de 0,74606. Esta edad Famenense coincide con la edad Devónico Tardío-Carbonífero Temprano propuesta por Massabie y Rossello (1984) y Tomezzoli (2012) para la deformación evidenciada en las Sierras Australes y que asignaron a la Fase Orogénica Chánica.

Determinaciones de isótopos estables de oxígeno y carbono en cuarzo y calcita de una vetilla que corta a las milonitas graníticas del Cerro 21 de Septiembre dieron valores de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$  de +9,35‰ en cuarzo y +7,55‰ en calcita y de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  de -3,00‰ en calcita. Estas determinaciones de  $\delta^{18}\text{O}$  están comprendidas dentro del intervalo de valores de las rocas graníticas ( $\delta^{18}\text{O} = -5,1/+13,8\%$ ; Rollinson 1993) y metamórficas ( $\delta^{18}\text{O} = +3,3/+24,9\%$ ; Rollinson 1993). Si bien los fluidos a partir de los cuales se formaron el cuarzo y la calcita se originaron en un ambiente metamórfico, es posible que también estén reflejando la composición de las rocas de las cuales proceden. En este sentido, Grecco *et al.* (2000) sugirieron que la pérdida de componentes observada en las rocas ígneo-metamórficas del área de los cerros Pan de Azúcar y del Corral estuvo asociada a una disminución importante del contenido de agua de las rocas, la cual pudo haber sido exudada de las fajas miloníticas. Adicionalmente, las similitudes en la composición isotópica existentes entre la calcita hidrotermal de la vetilla del Cerro 21 de Septiembre y los carbonatos del *skarn* Loma Marcelo ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}} = -2,59/-3,18\%$  y  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}} = +8,59/+13,62\%$ ; Ballivián Justiniano *et al.* 2015) sugieren una homogeneización isotópica asociada a la deformación y metamorfismo debido a la circulación de una gran cantidad de fluido favorecida por la alta permeabilidad que proveen los planos de foliación milonítica. Los modelos geoquímicos realizados sugieren relaciones agua/roca (W/R) comprendidas entre 10 y 50, es decir, entre 10.000 cm<sup>3</sup> y 50.000 cm<sup>3</sup> de fluido por cada 1.000 cm<sup>3</sup> de roca. La dependencia de la temperatura del fraccionamiento isotópico entre pares de minerales cogenéticos es con frecuencia un sensible indicador de la temperatura de formación de la roca. La temperatura isotópica calculada para el par calcita-cuarzo fue de 217°C y correspondería al equilibrio isotópico alcanzado entre dichas dos fases en una etapa tardía de la deformación.

También se realizaron estudios preliminares de inclusiones fluidas en muestras de cuarzo intersticial con textura granoblástica procedentes del *skarn* Loma Marcelo. Las inclusiones fluidas estudiadas son irregulares y bifásicas, tienen longitudes de 20-35  $\mu\text{m}$  y la fase vapor constituye el 20% del volumen total. La temperatura media de fusión inicial fue de  $-22^{\circ}\text{C}$ , indicando la pertenencia de la fase fluida al sistema NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O. Las temperaturas de fusión final estuvieron comprendidas entre  $-4,6^{\circ}\text{C}$  y  $-1,2^{\circ}\text{C}$ , revelando salinidades de 2,07-7,31% en peso de NaCl equivalente y densidades en torno a 0,93 g/cm<sup>3</sup>. Las temperaturas de entrapamiento estimadas, corregidas para una presión de 2 kb, se encuentran entre 178°C y 232°C.

El estudio petrográfico-textural y mineraloquímico del *skarn* Loma Marcelo permitió identificar tres eventos metamórficos y reconocer la importancia del F en los fluidos metamórficos vinculados a la deformación. El primer evento estuvo asociado al magmatismo neoproterozoico representado por los granitos tipo S del área de los cerros Pan de Azúcar y del Corral (607-581 Ma; Rapela *et al.* 2003, Tohver *et al.* 2012) y el segundo al magmatismo cámbrico representado por los granitos tipo A del Cerro Colorado y la Estancia Agua Blanca (531-524 Ma; Rapela *et al.* 2003, Tohver *et al.* 2012). Este segundo evento metamórfico fue el responsable del influjo de F en las rocas del área de los cerros Pan de Azúcar y del Corral y de la formación de minerales con altos contenidos de este elemento en el *skarn* Loma Marcelo, como vesuvianita (hasta 2,70% F) y condrobita (8,69% F en promedio). Finalmente, el tercer y último evento metamórfico estuvo vinculado a la deformación y metamorfismo neopaleozoicos y está representado por la cristalización de grosularia casi pura (95,17-99,82%) en el *skarn*, presente como masas de cristales euhédricos rombododecaédricos intercrecidos y como individuos euhédricos de aproximadamente 100  $\mu\text{m}$  de diámetro en el interior de pequeñas cavidades junto a cuarzo y/o calcita. A diferencia de los cristales de granate de los dos eventos metamórficos anteriores que muestran evidencias de deformación intracrystalina y se encuentran intensamente fracturados, los cristales de granate del tercer evento no exhiben señales de deformación, por lo que fueron interpretados como postectónicos, habiéndose formado por cristalización estática tardía (Ballivián Justiniano *et al.* 2015). La presencia de F en el sistema favoreció la movilidad del Al en los fluidos hidrotermales mediante la formación de complejos fluorurados, lo cual incrementó la disponibilidad de Al y permitió la formación de grosularia casi pura.

En conclusión, la edad chánica determinada a partir del par cuarzo-sericita correspondería a una fase deformacional D1, mientras que la deformación pérmica constituiría una segunda fase (D2). Las determinaciones de isótopos estables y los estudios microtermométricos de inclusiones fluidas indican que circularon grandes cantidades de fluido (elevada relación agua/roca) y que las vetas y vetillas de cuarzo se formaron a temperaturas inferiores a 250°C a partir de fluidos acuosos de baja salinidad. La actividad del F y de otros agentes complejantes podría ayudar a explicar la extrema movilidad de elementos mayoritarios y trazas señalada por Grecco *et al.* (2000) durante la milonitización del basamento de las Sierras Australes de Buenos Aires.

## REFERENCIAS

- Ballivián Justiniano, C.A., Lanfranchini, M.E., Recio Hernández, C. y de Barrio, R.E. 2015. Procesos metamórficos y metamórficos en el *skarn* Loma Marcelo, basamento neoproterozoico de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 72: 404-418.
- Delpino, S.H. 1993. Mecanismos de deformación y transformaciones mineralógicas como indicadores del régimen de deformación operante sobre las rocas del basamento del faldeo occidental del cerro del Corral, Sierras Australes de Buenos Aires. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 3: 21-31, Buenos Aires.
- Delpino, S.H. y Dimieri, L.V. 1992. Análisis de la deformación sobre las rocas del basamento aflorantes en el faldeo occidental del cerro del Corral, Sierras Australes Bonaerenses. 7° Reunión de Microtectónica, Actas: 53-61, Bahía Blanca.
- Grecco, L.E., Delpino, S.H., Gregori, D.A. y Dimieri, L.V. 2000. Evaluación de la movilidad de elementos mayoritarios y traza durante la milonitización de rocas del basamento de las Sierras Australes de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 55: 352-362.
- Kilmurray, J.O. 1968. Petrología de las rocas cataclásticas y el *skarn* del anticlinal del Cerro Pan de Azúcar (Partido de Saavedra, Provincia de Buenos Aires). 3° Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 3: 217-238, Buenos Aires.
- Massabie, A. y Rossello, E. 1984. La discordancia pre-Formación Sauce Grande y su entorno estratigráfico, Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 337-352, Buenos Aires.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Fanning, C.M. y Grecco, L.E. 2003. Basement evolution of the Sierra de la Ventana Fold Belt: new evidence for Cambrian continental rifting along the southern margin of Gondwana. *Journal of the Geological Society* 160: 613-628.
- Rollinson, H. 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation.* Longman Scientific & Technical, 378 p., Harlow.
- Tohver, E., Cawood, P.A., Rossello, E.A. y Jourdan, F. 2012. Closure of the Clymene Ocean and formation of West Gondwana in the Cambrian: Evidence from the Sierras Australes of the southernmost Río de la Plata craton, Argentina. *Gondwana Research* 21: 394-405.
- Tomezzoli, R.N. 2012. Chileña y Patagonia: ¿un mismo continente a la deriva? *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69: 222-239.
- Tomezzoli, R.N. y Vilas, J.F. 1999. Paleomagnetic constraints on age of deformation of the Sierras Australes thrust and fold belt, Argentina. *Geophysical Journal International* 138: 857-870.