



XX CONGRESO GEOLÓGICO ARGENTINO  
7-11 de agosto de 2017 | San Miguel de Tucumán



## CONDICIONES FÍSICAS DEL METAMORFISMO DE ALTA TEMPERATURA Y BAJA PRESIÓN DEL BASAMENTO PALEOZOICO INFERIOR EN EL ÁREA DE SAN MARTÍN DE LOS ANDES, NEUQUÉN

Samanta SERRA-VARELA<sup>1</sup>, Pablo D. GONZALEZ<sup>1</sup>, Raúl E. GIACOSA<sup>2</sup>,  
Nemesio HEREDIA<sup>3</sup>, Ana M. SATO<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología. CONICET-UNRN. Av. General Roca 1242. CP 8332. General Roca, Río Negro.

<sup>2</sup>Instituto de Geología y Recursos Minerales (SEGEMAR). Delegación Comahue, General Roca, Río Negro.

<sup>3</sup>Instituto Geológico y Minero de España, Oviedo, España.

<sup>4</sup>Centro de Investigaciones Geológicas. La Plata, Buenos Aires.

ssvarela@unr.edu.ar, pdgonzalez@unrn.edu.ar, rgiacosa@unrn.edu.ar, n.heredia@igme.es, sato@cig.museo.unlp.edu.ar

### RESUMEN

El basamento metamórfico de la zona de San Martín de los Andes incluye esquistos, gneises y migmatitas que se encuentran intruidos por granitoides devónicos que cortan las estructuras de dichas rocas. Se trata de un basamento relacionado con un ciclo pre-Gondwanico del que se desconoce su extensión regional en los Andes Nordpatagónicos. Análisis petrográficos y de pseudosecciones PT nos permitieron determinar parámetros físicos para caracterizar las condiciones del metamorfismo. Las migmatitas se encontrarían en una serie de baja presión y alta temperatura (LP-HT), en la transición entre las facies anfíbolita y granulita. Considerando las características del metamorfismo y su edad (pre-Devónico), no se han encontrado rocas equivalentes a las de San Martín de los Andes en áreas cordilleranas aledañas con afloramientos de basamento pre-andino.

**Palabras clave:** Metamorfismo LP-HT, migmatitas, Andes Norpatagónicos.

### ABSTRACT

*Physical conditions of the high temperature – low pressure metamorphism for the Lower Paleozoic basement rocks of San Martín de los Andes area, Neuquén.* Metamorphic rocks from San Martín de los Andes area comprise schists, gneisses and migmatites. These rocks are intruded by Devonian granitoids that cut the metamorphic internal structure of these rocks. These rocks belong to a pre-Gondwanan cycle and its regional extension in the Nordpatagonian Andes is unknown. Petrographic analysis and PT pseudosections allowed us to determine physical parameters in order to characterize the metamorphic conditions. Migmatitic rocks would be part of a low pressure – high temperature series (LP-HT) in the transition between amphibolite and granulite facies. Considering its metamorphic characteristics and age (pre-Devonian), no equivalent rocks have yet been found in nearby areas with outcrops of pre-Andine basement.

**Keywords:** : LP-HT metamorphism, migmatites, Northpatagonian Andes.

### INTRODUCCIÓN

El basamento pre-andino del área de San Martín de los Andes comprende rocas metamórficas de medio-alto grado, las cuales se encuentran intruidas por cuerpos ígneos post-tectónicos devónicos (Serra-Varela *et al.* 2016). Estudios geocronológicos recientes ubican tem-

poralmente este basamento dentro del Paleozoico inferior (Serra-Varela *et al.* 2016). Dalla Salda *et al.* (1991) definieron un grado metamórfico medio-alto para las rocas del área, alcanzando condiciones de fusión parcial. Posteriormente no se realizaron trabajos de detalle sobre el metamorfismo de esta área. Actualmente se están llevando a cabo trabajos de detalle sobre las condiciones fi-

sicas del metamorfismo de alto grado y las estructuras tectónicas asociadas (Serra Varela, en prep).

El objetivo de este trabajo es realizar una caracterización petrológica de las rocas metamórficas de la zona de San Martín de los Andes y establecer, mediante la confección de pseudosecciones, condiciones estimadas de presión y temperatura para las rocas migmatíticas de esta zona. Los resultados permiten caracterizar las condiciones físicas del metamorfismo de alta temperatura y baja presión que acompañaron a la orogénesis pre-gonwánica en los Andes Nordpatagónicos.

## MARCO GEOLÓGICO

Las rocas metamórficas predominantes en San Martín de los Andes son esquistos, gneises y migmatitas que afloran como *roof pendants* en las rocas plutónicas (Serra-Varela *et al.* 2016). Las mismas fueron agrupadas por Dalla Salda *et al.* (1991) dentro del Complejo Colohuincul. Dentro de las migmatitas predominan las diatexitas, con menor proporción de metatexitas. La edad máxima de sedimentación para el protolito de un paragneis, en el área de San Martín de los Andes, fue propuesta para la Edad 5 del Cámbrico (*ca.* 506 Ma) en base al análisis U-Pb LA-ICP de circones detríticos (Serra-Varela *et al.* 2016). Las rocas intrusivas son predominantemente granodioritas con menor presencia de tonalitas. Su edad de cristalización se encuentra definida en *ca.* 400 Ma (Devónico Temprano; U-Pb SHRIMP; Pankhurst *et al.* 2006; Hervé *et al.* 2013). Estas rocas intrusivas son post-tectónicas respecto de las rocas metamórficas ya que cortan las estructuras dúctiles de dichas rocas.

## GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

### Estructuras de las rocas metamórficas

En las rocas metamórficas se distinguen tres foliaciones tectónicas principales, donde la fábrica regional corresponde a una foliación  $S_2$ . Esta fábrica contiene la asociación metamórfica principal y es concordante con los leucosomas de las metatexitas. Al aumentar la proporción de fundido, los leucosomas son tanto concordantes como discordantes con esta foliación. La foliación  $S_1$  es una fábrica relictica y sólo se distingue en charnelas de pliegues donde la  $S_2$  constituye un clivaje de crenulación. Al microscopio se diferencian como arcos poligonales relicticos entre la foliación  $S_2$ . Finalmente, las rocas metamórficas presentan pliegues cerrados, asimétricos que afectan a la  $S_2$  regional con ejes de rumbo NO-SE, vergencia hacia el SO que pueden llevar asociado un clivaje espaciado ( $S_3$ ).

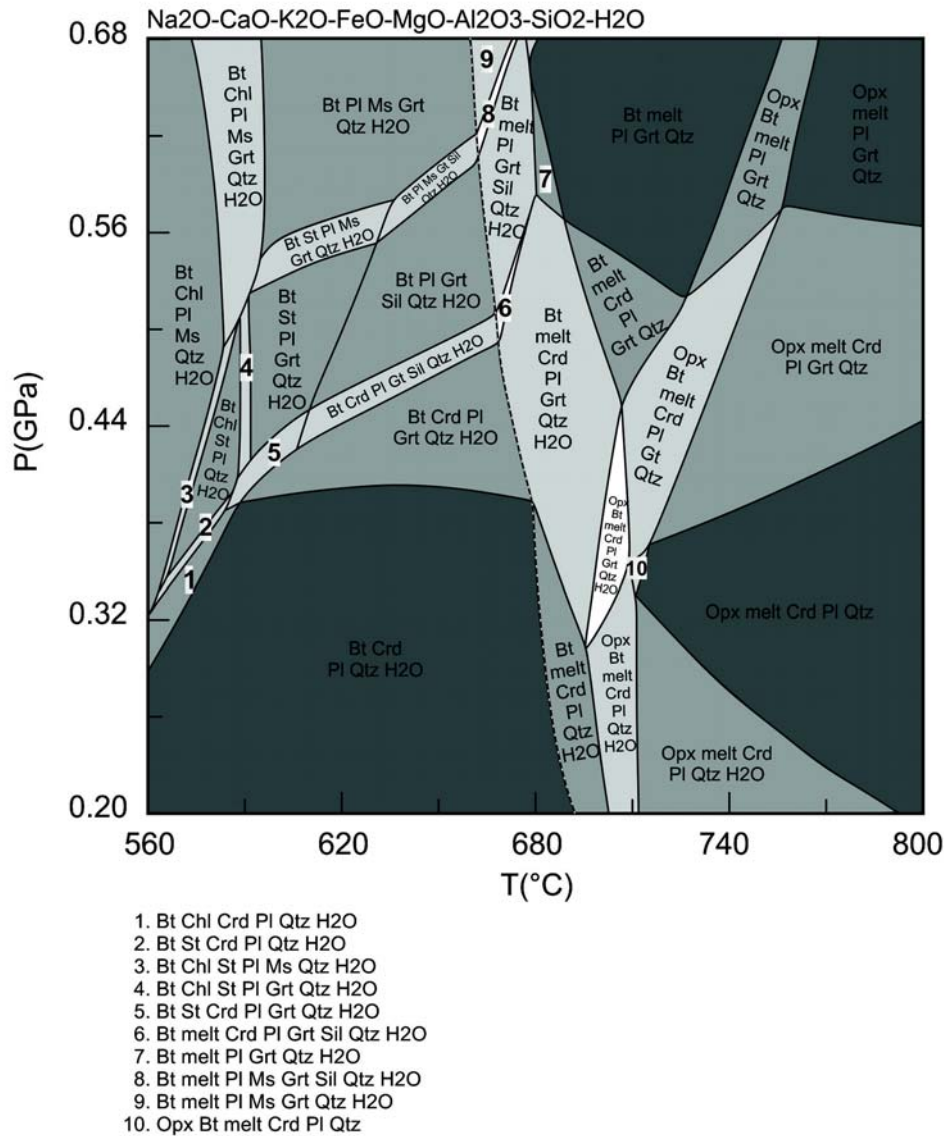
### Petrografía de las rocas metamórficas

Las rocas sin fusión parcial incluyen una alternancia de esquistos y gneises, la cual representaría la estratificación original del protolito ( $S_0$ ), preservada en forma relictica en las rocas de alto grado. La misma se dispone subparalela a la  $S_2$  regional. Por otro lado, los esquistos y paragneises muestran un pasaje transicional con las rocas migmatíticas del complejo. Los esquistos presentan una coloración negra, tamaño de grano medio y una textura lepidoblástica diferenciada por las abundantes biotitas. En cambio, los gneises presentan una coloración gris, tamaño de grano medio-grueso y una textura grano-blástica marcada.

En los esquistos, se distinguen dos asociaciones metamórficas principales: (1) Qtz + Pl + Bt + Crd + Sil (fibrolita)  $\pm$  Kfs; (2) Qtz + Pl + Bt + Grt  $\pm$  Crd  $\pm$  Kfs. En los gneises, la asociación metamórfica principal es: Qtz + Pl + Bt + Crd  $\pm$  Sil (fibrolita)  $\pm$  Kfs. (Abreviaturas según Kretz, 1983). Las asociaciones de ambos tipos de rocas definen la foliación  $S_2$  regional. Cerca del contacto con las migmatitas, se desarrollan porfiroblastos post-tectónicos de muscovita sobrepuestos a la fábrica regional de los gneises. Estos últimos presentan numerosas inclusiones de cuarzo y silimanita, y en sus bordes se forman simplectitas entre cuarzo y muscovita. Esta microestructura es comúnmente utilizada para reconocer la presencia de reacciones de rehidratación entre los minerales metamórficos y fluidos acuosos tardíos (White *et al.* 2005).

Con respecto a las migmatitas, dentro de las metatexitas se distinguen estromatitas y, entre las diatexitas, se distinguen de tipo schollen y tipo schlieren (Clasificación según Sawyer 2008). Las estromatitas presentan leucosomas de hasta 3 centímetros de ancho, que son concordantes con la foliación  $S_2$ . La asociación mineral del paleosoma mayormente se define por Qtz + Pl + Bt + Ms + Crd  $\pm$  Sil (fibrolita)  $\pm$  Kfs. En una sola muestra la asociación del paleosoma es Qtz + Pl + Bt + Grt. En este caso los granates son poiquilíticos con abundantes inclusiones de cuarzo. En el contacto con los leucosomas, los granates aparecen fragmentados y presentan una corona de cordierita. Las estromatitas tienen un mesosoma compuesto en su mayoría por Bt  $\pm$  Crd, donde las biotitas alcanzan hasta 1,5 cm de longitud. Los leucosomas son graníticos con textura granosa media.

Las diatexitas tipo schollen presentan balsas de gneises con fusión parcial incipiente. El leucosoma de estas rocas es el que presenta un mayor porcentaje de feldspato de tipo microclino, junto con cuarzo y plagioclasa en una textura granosa media a gruesa. Las diatexitas tipo schlieren son homogéneas en composición y se caracterizan por un bandeamiento por flujo dado por la



**Figura 1.** Pseudosección PT calculada para la composición química de roca total correspondiente a un gneis sin fusión parcial. La línea gris punteada corresponde al inicio de la fase fundida. Abreviaturas minerales según Kretz, (1983). Melt refiere a una fase fundida.

orientación de los schlieren formados por biotitas y minerales opacos. La asociación mineral que caracteriza estas migmatitas es Bt + Pg + Qtz + Crd ± Ms. Es común encontrar en las diatexitas texturas mirmequíticas (intercrescimiento entre feldespato y cuarzo) y cristales poiquilíticos de feldespatos y plagioclasas con inclusiones redondeadas de biotita y cuarzo. Son frecuentes las sim-

plectitas entre micas (muscovita y biotita) y cuarzo.

Por último, tanto las rocas metamórficas como los intrusivos Devónicos, están afectados por una asociación mineral de bajo grado metamórfico, compuesta por Chl + Ep + Prh + Sericita. En las rocas metamórficas, esta asociación metamórfica de bajo grado se superpone a la asociación regional de alto grado. En el caso de los

granitoides, es el primer registro de metamorfismo que los afecta en forma conjunta con su caja.

## METODOLOGÍA

Para acotar las condiciones físicas de presión y temperatura a las cuales se formaron las migmatitas y así obtener el climax del metamorfismo, se realizó el análisis del equilibrio mineral mediante la construcción de pseudosecciones PT, utilizando análisis químicos de roca total. Dichos cálculos fueron realizados con el software PERPLE\_X (Connolly, 2005) versión descargada desde [www.perplex.ethz.ch](http://www.perplex.ethz.ch) y la base de datos de (Holland y Powell, 1998). Las muestras fueron modeladas en el sistema  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{K}_2\text{O}-\text{FeO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$  (NCKFMASH) a una temperatura variable entre 620-800°C y una presión entre 0.2-0.7 GPa. Los modelos de soluciones sólidas utilizados fueron: Clorita (Holland, 1998), Biotita (Tajčmanová 2009), Micas (Coggon y Holland, 2002; Auzanneau, 2010), Granate (Holland y Powell, 1998), Ortopiroxeno (Holland y Powell, 1996), Plagioclasa y feldespato potásico (Fuhrman y Lindsley, 1988), Fundido (Holland y Powell, 2001; White *et al.* 2001), y un modelo de solución ideal para la Cordierita y Estaurolita. La cantidad de  $\text{H}_2\text{O}$  del sistema fue ajustada considerando los valores de pérdida por calcinamiento (LOI).

## RESULTADOS

La pseudosección PT preparada corresponde a un gneis sin fusión parcial, con textura granoblástica poligonal. El mismo ha sido reconocido como protolito de las migmatitas de la región cuya paragénesis está compuesta por Bt + Crd + Pl + Qtz + fundido. El campo de estabilidad de dicha paragénesis está a una temperatura entre 680° y 700° C, y a una presión menor a 0.40 GPa. (Fig. 1). Las condiciones determinadas son características del metamorfismo de baja presión y alta temperatura (LP-HT, Bucher y Grapes, 2011, entre otros), y además son coherentes con la paragénesis mineral de las rocas. En dicho rango de temperatura, la primera reacción de origen de fundido sería la reacción de descomposición de la muscovita ( $\text{Ms} + \text{Pl} + \text{Qtz} = \text{Sil} + \text{Kfs} + \text{Liq}$ ). Asimismo, la asociación metamórfica  $\text{Qtz} + \text{Pl} + \text{Bt} + \text{Crd} + \text{Sil}$  (fibrolita)  $\pm$  Kfs de las rocas sin fusión parcial, permite inferir que la reacción de descomposición de la biotita ( $\text{Bt} + \text{Pl} + \text{Sil} + \text{Qtz} = \text{Crd} + \text{Kfs} + \text{Liq}$ ) también se produjo. La presencia de coronas de cordierita en los granates en las rocas migmatíticas puede deberse a una reacción incongruente de consumición de granate ( $\text{Grt} + \text{Sil} + \text{Qtz} + \text{H}_2\text{O} = \text{Crd}$ ) o representar una descompresión del sistema metamórfico, luego de alcanzado el pico térmico. (Sawyer 1987; Bucher y Grapes 2011).

## COMPARACIÓN CON OTRAS UNIDADES

A lo largo de la Cordillera Nordpatagónica hay numerosos afloramientos de rocas metamórficas e ígneas preandinas. Los principales afloramientos están en los alrededores de los lagos Aluminé, Lolog y Lácar, entre los lagos Mascardi y Gutierrez y en los cordones Maitén y Esquel (Varela *et al.* 2005; Cingolani, 2011). Si bien se conoce su distribución y características generales, los estudios detallados son incipientes. En cuanto a los antecedentes sobre el estudio de sus condiciones metamórficas, fueron realizados en rocas cuya pertenencia a un determinado ciclo orogénico no siempre se establecía con precisión. Vattuone (1990) estableció la presencia de rocas metamórficas de LP-HT en la zona de Aluminé mientras que, en el área de Bariloche, García-Sansegundo *et al.* (2009) determinaron dos eventos metamórficos, el primero de HP-LT y el segundo de IP-IT a los que asignan una edad Gondwánica.

En base al análisis de circones detriticos, la edad máxima de sedimentación del protolito de las rocas metamórficas de San Martín de los Andes se encuentra en 506 Ma. Considerando que las mismas son intruidas post tectónicamente por granitos del Devónico Inferior, la evolución metamórfica de la zona ocurrió entre el Cámbrico tardío y el Devónico Temprano (Serra-Varela *et al.* 2016).

De este modo, es posible establecer que las rocas metamórficas de la Cordillera Norpatagónica se integran en dos ciclos orogénicos diferentes: uno correspondiente al Paleozoico inferior, sin saber todavía si se trata de un nuevo ciclo o si puede correlacionarse con alguno de los ya reconocidos, y otro correspondiente en su mayor parte al Paleozoico superior, el ciclo Gondwánico. Las características y relaciones entre estos dos ciclos orogénicos pre-andinos todavía deben precisarse.

## CONCLUSIONES

1. Las rocas metamórficas de alto grado presentes en la Cordillera Norpatagónica del entorno de San Martín de los Andes, corresponden a una serie de baja presión y alta temperatura (LP-HT). Estos resultados permitirían caracterizar las condiciones físicas de un metamorfismo desarrollado durante el Paleozoico temprano, relacionado con un ciclo orogénico anterior al Gondwánico.
2. Las condiciones metamórficas de formación de las migmatitas se consideraron como el pico térmico del basamento de la región. La temperatura y presión encontradas mediante el uso de pseudosecciones PT se encuentran entre 680° y 700°C a una presión menor a 0.40 GPa. Este rango de temperatura se encuentra sustentado con las asociaciones



minerales encontradas en las rocas metamórficas. Dichas condiciones corresponden a la transición entre las facies anfibolita y granulita.

- Las reacciones que dieron origen al fundido de las migmatitas corresponden a las reacciones de descomposición de la muscovita y de la biotita. Los rangos de temperatura son coherentes con los valores encontrados con el uso de las pseudosecciones y las asociaciones metamórficas encontradas.

### AGRADECIMIENTOS

Los trabajos de campo fueron realizados dentro del Parque Nacional Lanín. Expresamos nuestro agradecimiento al PN, especialmente al guardaparque de la Seccional Lolog Guillermo D'Oliveira por la ayuda brindada. Los trabajos de campo y análisis químicos se realizaron mediante apoyo económico del PIP-CONICET 112-201101-00324. El proyecto TORANDES (CGL2012-38396-C03) del Plan Nacional de I+D+i de España subvencionaron trabajos de campo.

### LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Auzanneau, E., Schmidt, M. W., Vielzeuf, D., Connolly, J. A. 2010. Titanium in phengite: a geobarometer for high temperature eclogites. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 159(1): 1-24.
- Bucher, K., y Grapes, R. H. 2011. *Petrogenesis of metamorphic rocks* (8th ed.). Springer-Verlag. 428p; Berlin.
- Cingolani, C., Zanettini, J., Leanza, H. 2011. El Basamento ígneo metamórfico. *Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén*. 18º Congreso Geológico Argentino. E. Trama. Buenos Aires: 37-47.
- Coggon, R. y Holland T. J. B. 2002. Mixing properties of phengitic micas and revised garnet-phengite thermobarometers. *Journal of Metamorphic Geology* 20(7): 683-696.
- Connolly, J. A. D. 2005. Computation of phase equilibria by linear programming: A tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation. *Earth and Planetary Science Letters* 236(1-2): 524-541.
- Dalla Salda, L., C. Cingolani y R. Varela 1991. El basamento pre-andino ígneo metamórfico de San Martín de los Andes, Neuquén." *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 46(3-4): 223-234.
- Fuhrman, M. L. y D. H. Lindsley 1988. Ternary-Feldspar Modeling and Thermometry. *American Mineralogist* 73: 201-219.
- García-Sansegundo, J., Fariás, P., Gallastegui, G., Giacosa, R. E., Heredia, N. 2009. Structure and metamorphism of the Gondwanan basement in the Bariloche region (North Patagonian Argentine Andes). *International Journal of Earth Science* 98(7): 1599-1608.
- Hervé, F., Calderón M., Fanning C. M., Pankhurst R. J. y Godoy E. 2013. "Provenance variations in the Late Paleozoic accretionary complex of central Chile as indicated by detrital zircons." *Gondwana Research* 23: 1122-1135.
- Holland, T., Baker, J. y Powell, R. 1998. Mixing properties and activity-composition and relationships of chlorites in the system MgO-FeO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. *European Journal of Mineralogy* 10(3): 395-406.
- Holland T. y Powell R (1996) Thermodynamics of order-disorder in minerals. 2. Symmetric formalism applied to solid solutions. *American Mineralogist* 81:1425-1437.
- Holland, T. y Powell R. 2001. Calculation of Phase Relations Involving Haplogranitic Melts Using an Internally Consistent Thermodynamic Dataset. *Journal of Petrology* 42(4): 673-683.
- Holland, T. J. B. y Powell R. 1998. An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology* 16(3): 309-343.
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. *Am. Mineral.* 68: 277 - 279.
- Pankhurst, R. J., Rapela C. W., Fanning C. M. y Márquez M. 2006. Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth Science Reviews* 76: 235-257.
- Sawyer, E. W. 1987. The Role of Partial Melting and Fractional Crystallization in Determining Discordant Migmatite Leucosome Compositions. *Journal of Petrology* 28(3): 445-473.
- Sawyer, E. W. 2008. *Atlas of Migmatites. The Canadian Mineralogist, Special Publication 9*. N RC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada. 371 p.
- Serra-Varela, S., Giacosa R., Gozalez P., Heredia N., Martín-González F. y Pedreira D. 2016. Geología y geocronología del basamento paleozoico de los Andes Norpatagónicos en el área de San Martín de los Andes. *Geotemas* 16(2): 431-434.
- Serra-Varela, S. Estructura y metamorfismo pre-Andinos del basamento ígneo-metamórfico del Lago Lácar, Neuquén. Tesis doctoral en preparación. Universidad Nacional de La Plata.
- Tajčmanová, L., Connolly, J. A. D. y Cesare, B. 2009. A thermodynamic model for titanium and ferric iron solution in biotite. *Journal of Metamorphic Geology* 27(2): 153-165.
- Turner, J. C. 1965. Estratigrafía de Aluminé y adyacencias, provincia de Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 20(2): 153-184.
- Varela, R., Basei, M. A.S., Cingolani, C. A., Siga Jr, O. y Passarelli, C. R. 2005. El basamento cristalino de los Andes norpatagónicos en Argentina: geocronología e interpretación tectónica. *Revista Geológica de Chile* 32(2): 167-187.
- Vattuone, M., 1990. Paragénesis mineral del área de Aluminé, Cordillera Neuquina. *Revista de la Asociación geológica Argentina*, 45 (1-2): 107-119.
- White, R. W., Pomroy N. E. y Powell R. 2005. An in situ metatexite-diatexite transition in upper amphibolite facies rocks from Broken Hill, Australia. *Journal of Metamorphic Geology* 23(7): 579-602.
- White, R. W., Powell R. y Holland T. J. B. 2001. Calculation of partial melting equilibria in the system Na<sub>2</sub>O-CaO-K<sub>2</sub>O-FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O (NCKFMASH). *Journal of Metamorphic Geology* 19(2): 139-153.