

# Geología y geocronología del basamento paleozoico de los Andes Norpatagónicos en el área de San Martín de los Andes

## *Geology and geochronology of the paleozoic basement of the North Patagonian Andes in San Martín de los Andes area*

S. Serra-Varela<sup>1</sup>, R. Giacosa<sup>1</sup>, P. González<sup>1</sup>, N. Heredia<sup>2</sup>, F. Martín-González<sup>3</sup> y D. Pedreira<sup>4</sup>

1 Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología, Universidad Nacional de Río Negro, Avenida Roca 1242. 8332 Argentina.

[ssvarela@unmedu.ar](mailto:ssvarela@unmedu.ar) [giacosaraul@yahoo.com.ar](mailto:giacosaraul@yahoo.com.ar) [pdgonzalez@unrn.edu.ar](mailto:pdgonzalez@unrn.edu.ar)

2 Instituto Geológico y Minero de España, c/Matemático Pedrayes 25. 33005 Oviedo. [n.heredia@igme.es](mailto:n.heredia@igme.es)

3 Área de Geología ESCET Universidad Rey Juan Carlos, c/Tulipán s/n, 28933 Móstoles, Madrid. [fidel.martin@urjc.es](mailto:fidel.martin@urjc.es)

4 Departamento de Geología, Universidad de Oviedo, c/Jesús Arias de Velasco s/n, 33005 Oviedo. [david@geol.uniovi.es](mailto:david@geol.uniovi.es)

**Resumen:** El basamento ígneo-metamórfico pre-mesozoico de la Cordillera Nordpatagónica se asigna al Complejo Colohuincul. El mismo incluye rocas metamórficas de medio-alto grado ubicadas en el área de San Martín de los Andes, rocas metamórficas de bajo grado ubicadas en Cuesta de Rahue y rocas ígneas intrusivas devónicas (ca. 400 Ma). Estas rocas fueron deformadas por eventos orogénicos distintos, uno pre-Wenlock (rocas metamórficas de alto grado) y otro Carbonífero superior-Pérmico inferior (rocas metamórficas de bajo grado e intrusivos). Investigaciones previas sobre circones detríticos en las metamorfitas de la Cuesta de Rahue han arrojado edades máximas de sedimentación de 364 Ma (Devónico Superior). Nuevos trabajos de campo en la zona de San Martín de los Andes indican que las rocas metamórficas de alto grado serían *roof pendants* y encajantes de los cuerpos ígneos intrusivos del Devónico Inferior, por lo cual estas metamorfitas tendrían una edad anterior a ca. 400 Ma. En este trabajo presentamos nuevos datos de circones detríticos obtenidos en las metamorfitas de alto grado que permiten interpretar una edad máxima de sedimentación de 506 Ma. Esta nueva edad señala que en la zona de San Martín de los Andes se encuentra el basamento más antiguo conocido de los Andes Norpatagónicos.

**Palabras clave:** Andes, basamento paleozoico, circones detríticos, orogenias paleozoicas

**Abstract:** *The pre-Mesozoic igneous and metamorphic basement of the North Patagonian Andes was named Colohuincul Complex. This basement includes medium-high grade metamorphic rocks from San Martín de los Andes; low grade metamorphic rocks from Cuesta de Rahue and Devonian intrusive rocks (ca. 400 Ma). These rocks were deformed by different orogenic events, a pre-Wenlock event (high grade metamorphic rocks) and another one in the upper Carboniferous – lower Permian (Low grade metamorphic rocks and intrusive). Previous studies of detrital zircons analysis on Cuesta de Rahue metamorphic rocks have shed a maximum sedimentation age of 364 Ma (Upper Devonian). New field work in San Martín de los Andes area have recognized the high grade metamorphic rocks as roof pendants and country rocks of the Lower Devonian intrusive rocks. These metamorphic rocks would have a pre 400 Ma age. In this work we present new detrital zircon data obtained on high grade metamorphic rocks that allow us to interpret a maximum sedimentation age of 506 Ma. This age indicates that the high grade metamorphic rocks of San Martín de los Andes are the oldest known Paleozoic basement in the North Patagonian Andes.*

**Key words:** *Andes, paleozoic basement, detrital zircons, Paleozoic orogens.*

## INTRODUCCIÓN

El basamento ígneo-metamórfico pre-mesozoico del ámbito de la Cordillera Nordpatagónica fue denominado Complejo Colohuincul (Dalla Salda et al. 1991). El mismo aparece en afloramientos aislados en las zonas de Rahue-Aluminé, San Martín de los Andes y Bariloche (Fig. 1).

Las primeras edades obtenidas en rocas metamórficas de alto grado de este complejo fueron obtenidas por el método Rb-Sr y las ubicaron en el Neoproterozoico ( $860 \pm 23$  Ma Dalla Salda et al.

1991). Posteriormente, una edad en circones detríticos sobre rocas metasedimentarias de bajo grado, de la Cuesta de Rahue, interpretaron la edad máxima de sedimentación de este Complejo en el Devónico Superior (364 Ma Ramos et al. 2010; Fig. 1).

La edad de cristalización de las rocas ígneas en la zona de San Martín de los Andes fué establecida en el Devónico Inferior, ca. 400 Ma, por dataciones U-Pb SHRIMP en circones (Hervé et al. 2013).

Nuevos trabajos de campo en la zona han demostrado que el basamento metamórfico de alto grado aparece como roca encajante, intruida por los

cuerpos ígneos, por lo que la edad del mismo sería pre Devónico Inferior. (Serra-Varela et al. 2015).

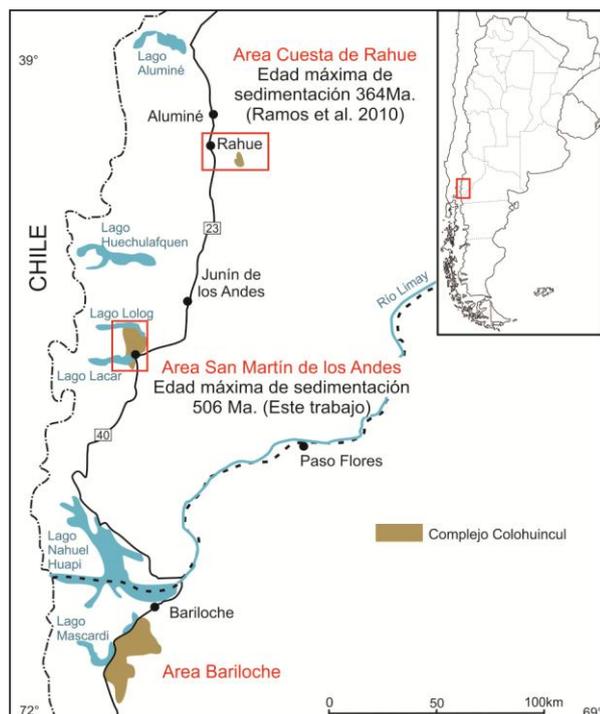


FIGURA 1. Afloramientos del Complejo Colohuincul con edades radimétricas en los Andes Norpatagónicos

En esta contribución se presenta el primer estudio de circones detríticos de las rocas metasedimentarias paleozoicas de alto grado de la zona de San Martín de los Andes.

## LITOLOGÍA DEL BASAMENTO

### Metamorfitas de alto grado

Las rocas metamórficas de alto grado en la zona de San Martín de los Andes incluyen paragneises y migmatitas como las rocas más abundantes, y esquistos en menor proporción. Dentro de las migmatitas predominan las diatexitas, con menor proporción de metatexitas. La asociación mineral correspondiente al pico metamórfico está dada por  $Qz + Pl + Bt + Crd + Feld-K \pm Sill$  (fibrolita)  $\pm$  fundido. Esta asociación sugiere un tipo de metamorfismo de baja presión y alta temperatura.

Las rocas presentan hasta tres foliaciones metamórficas, donde la asociación mineral del pico metamórfico está contenida en la  $S_2$ . Dichas foliaciones están relacionadas con estructuras de trazado aproximadamente N-S y vergencia occidental. Además, se puede reconocer una  $S_0$  dada por la alternancia granulométrica y composicional del protolito sedimentario (alternancia arenoso-pelítica).

## Rocas ígneas

La Tonalita San Martín de los Andes y la Granodiorita Lago Lácar cortan las foliaciones metamórficas con contactos netos.

Por otro lado la mayor parte de los afloramientos de las rocas metamórficas de alto grado son *roof pendants* o xenolitos de variados tamaños relacionados con dichos intrusivos. (Fig. 2)

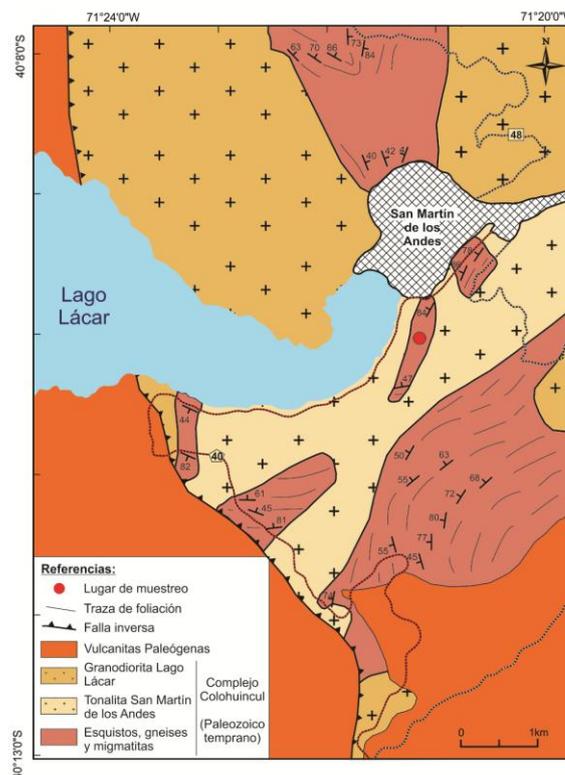


FIGURA 2. Mapa geológico del área San Martín de los Andes.

## ANÁLISIS U-Pb EN CIRCONES DETRÍTICOS

### Metodología

La muestra analizada corresponde a las rocas metamórficas de alto grado, concretamente a un paragneis de tamaño de grano medio cuya ubicación es  $40^{\circ} 10' 2'' S$ ,  $71^{\circ} 21' 8'' O$ . El mismo presenta una textura granoblástica bien desarrollada con una paragénesis de  $Bt + Qz + Pl + Feld-K + Ms$ .

La muestra fue procesada en el Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (UNRN – Conicet) donde en primera instancia se trituró en un molino de mandíbulas. Posteriormente se tamizó y se conservó el material pasante de la malla 80 (177  $\mu m$ ). Luego se concentraron con métodos hidráulicos los minerales pesados, los cuales fueron separados según su magnetismo con imanes de neodimio. Finalmente sobre la fracción no magnética, se separaron los circones bajo lupa binocular.

En la Universidad de Oviedo se montaron los circones en resina epoxi y se fotografiaron con una

lupa binocular. Posteriormente se pulió el preparado y se recubrió con oro para finalmente tomar fotomicrografías de electrones retrodispersados (BSE) con un microscopio electrónico de barrido. A partir de estas imágenes se eligieron los puntos a analizar.

Los análisis se realizaron en el Instituto SGIker (Universidad del País Vasco) con un espectrómetro de masas cuadrupolar con fuente de plasma acoplado inductivamente (Q-ICP-MS) marca Thermo Fisher Scientific, modelo XSeries-II. Para el control y corrección de la fraccionación se ha analizado el circón GJ\_1 cada 5 muestras problema. Además, para el control de los resultados obtenidos se ha analizado el circón Plesovice. Los datos obtenidos han sido tratados empleando los programas Iolite 3 (Paton et al. 2011) y VizualAge (Petrus & Kamber, 2011) para la obtención de los resultados. Los cálculos de edades y los gráficos fueron realizados con el software ISOPLOT (Ludwig, 2008).

### Resultados

Un total de 62 circones arrojaron edades concordantes, definiendo 3 poblaciones principales: (1) 656 – 496 Ma. (11%) (2) 1264 – 874 Ma. (63%) (3) 1510 – 1299 Ma. (19.5%). Aparte de las tres poblaciones principales, cuatro circones dieron edades aisladas de 1891, 2056, 2127 y 2556Ma. (Fig. 3).

La edad media ponderada de los cuatro circones más jóvenes es de  $506 \pm 12$  (MSWD = 0.87). Estos cristales presentan zonación oscilatoria típica de los circones magmáticos y relaciones Th/U >0.1. Esta edad ubica la edad máxima de sedimentación del protolito de las rocas metamórficas de alto grado de San Martín de los Andes en el Piso 5 del Cámbrico.

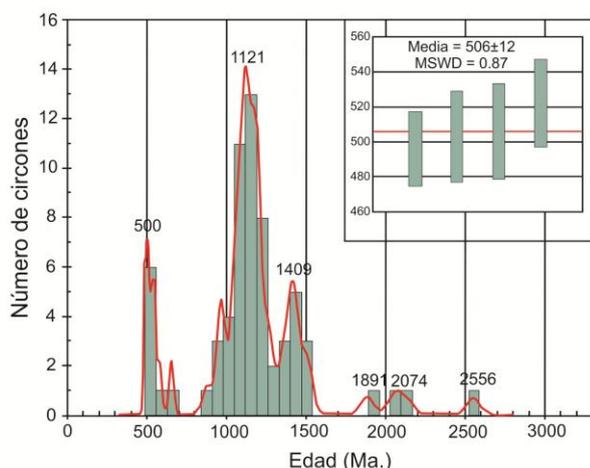


FIGURA 3. Diagrama de frecuencia de los circones detríticos y media ponderada de los cuatro circones más jóvenes.

La muestra analizada presenta un tipo de patrón de circones detríticos en el que la población más importante no corresponde con la de edad más joven. Este tipo de patrones se relaciona con cuencas alejadas

de un arco volcánico activo (Cawood et al. 2012). Por otro lado, el patrón de circones detríticos muestra un aporte importante de circones con edades mesoproterozoicas, lo que sugiere que el principal área fuente corresponde a un basamento de esta edad.

### DISCUSIÓN

Las relaciones de campo entre los cuerpos intrusivos y las metamorfitas de alto grado de San Martín de los Andes, indican que la edad de sedimentación, metamorfismo y deformación de las rocas paraderivadas habría ocurrido con anterioridad al Devónico Inferior. La edad máxima de sedimentación interpretada en este trabajo es coherente con las observaciones realizadas en el campo.

Por otro lado, esta edad es más antigua que la edad obtenida para las rocas metamórficas de bajo grado ubicadas en Cuesta de Rahue (Edades de sedimentación en el Devónico Superior; Ramos et al. (2010)). (Fig. 1).

Además, el Complejo Colohuicul, al que fueron adscritas estas rocas, ha sido correlacionado con las rocas metamórficas de la Formación Cushman, del Macizo Nordpatagónico Occidental (Cingolani et al. 2011 y referencias citadas). Hervé et al. (2005) han propuesto una edad máxima de sedimentación para esta formación de 335 Ma (Carbonífero inferior). Esta edad indicaría que la Formación Cushman sería más joven que las unidades metamórficas de alto grado de San Martín de los Andes.

Además de esto, el patrón de circones detríticos con mayoría de edades mesoproterozoicas y escasez de circones de edades jóvenes, podría indicar su relación bien con un margen pasivo o con una cuenca de rift. Esto lo diferencia de otros patrones obtenidos para unidades cambro-ordovícicas del Macizo Nordpatagónico Oriental que presentarían serían relacionables con cuencas asociadas a arcos volcánicos activos que no presentan además circones de edades mesoproterozoicas.

Por otro lado, la deformación que afecta a las rocas metamórficas de alto grado estudiadas en este trabajo, puede precisarse por el conocimiento regional que se tiene de las deformaciones pre-devónicas. En este sentido, rocas sedimentarias de edad silúrico-devónicas y cuya base es Wenlock, se apoyan discordantemente sobre las secuencias paleozoicas más antiguas y sólo presentan una deformación más joven que puede relacionarse con la Orogenia Gondwánica. Esta misma deformación gondwánica es la que presentan las rocas ígneas devónicas de San Martín de los Andes y las rocas metamórficas de bajo grado de la Cuesta de Rahue, la cual ha tenido lugar entre el Carbonífero superior y el Pérmico inferior (García-Sansegundo et al. 2009). Las estructuras gondwánicas tienen un

trazado NO-SE, una vergencia generalizada hacia el NE y pueden llevar asociadas hasta dos foliaciones penetrativas.

De lo anteriormente expuesto se deduce que la sedimentación y deformación de estas rocas tuvo lugar entre el Piso 5 del Cámbrico y el Wenlock.

Así pues, en el basamento paleozoico del entorno de San Martín de los Andes existen rocas deformadas en dos eventos orogénicos distintos, los cuales tienen estructuras con trazado, vergencia y condiciones de deformación distintas. Las rocas metamórficas de alto grado que aparecen como xenolitos y encajantes de los granitos devónicos, han sido deformadas en un evento pre-Wenlock y en la orogenia gondwánica que afectó a las rocas ígneas y rocas sedimentarias de bajo grado entre el Carbonífero superior y el Pérmico inferior.

## CONCLUSIONES

Se ha realizado un análisis en circones detríticos pertenecientes a rocas metamórficas de alto grado del basamento paleozoico en el entorno de San Martín de los Andes, obteniéndose una edad máxima de sedimentación de  $506 \pm 12$  Ma.

Tanto esta datación como las observaciones de campo permiten concluir que la sedimentación, metamorfismo y deformación de las rocas metamórficas de alto grado en San Martín de los Andes se habría producido entre el Piso 5 del Cámbrico y el Silúrico medio.

La edad obtenida señala que las rocas metamórficas de alto grado de San Martín de los Andes constituyen el basamento más antiguo de los Andes Norpatagónicos. Por otro lado, este dato señala una desvinculación temporal con las rocas metamórficas de bajo grado ubicadas en Cuesta de Rahue.

Finalmente, el patrón de circones detríticos obtenido para las rocas metamórficas de alto grado permite interpretarlas como depositadas en cuencas relacionadas con un margen pasivo o con una cuenca de tipo rift; diferenciándolo de aquellos obtenidos con anterioridad para las rocas cambro-ordovícicas del Macizo Nordpatagónico Oriental que indican su pertenencia a una cuenca asociada con un arco volcánico activo.

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro especial agradecimiento a Álvaro Rubio, Andrés Cuesta (UniOvi), Gloria Gallastegui (IGME) y Santiago González (UNRN) por la ayuda brindada en la separación, preparación e interpretación de los análisis de circones. Este trabajo ha sido financiado por el proyecto del Plan Nacional de I+D+i de España con referencia CGL2012-38396-C03,

el cual incluye fondos FEDER de la UE. Los comentarios realizados por el Dr. Luis González ayudaron a mejorar la edición final del manuscrito.

## REFERENCIAS

- Cawood, P. A., Hawkesworth C. J., Dhuime, B (2012): Detrital zircon record and tectonic setting. *Geology* 40(10): 875-878.
- Cingolani, C., Zanettini, J., Leanza, H. (2011): El Basamento ígneo metamórfico. En: *Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén* (Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C., Valles, J. M., eds.). Buenos Aires: 37-47.
- Dalla Salda, L., Cingolani, C., Varela, R. (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
- García-Sansegundo, J., Farias, 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., Haller, M., Duhart, P. y Fanning, M. (2005): SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons from Cushamen and Esquel formations, North Patagonian Massif, Argentina: geological implications. En: *16° Congreso Geológico Argentino*, Actas: 309-314.
- Hervé, F., Calderón, M., Fanning, C.M., Pankhurst, R.J., Godoy, E. (2013): Provenance variations in the Late Paleozoic accretionary complex of central Chile as indicated by detrital zircons. *Gondwana Research* 23: 1122-1135.
- Ludwig, K.R. (2008). User's manual for Isoplot 3.6: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. *Berkeley Geochronology Center Special Publication*, 4, 77.
- Paton C, Hellstrom J, Paul B, Woodhead J, Hergt J (2011): Iolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data. *J. Anal. At. Spectrom.* 26, 2508-2518
- Petrus J.A., Kamber B.S. (2011): VisualAge: A Novel Approach to U-Pb LA-ICP-MS. En: *Geochronology. Goldschmidt Conference Abstracts*. p. 1633
- Ramos, V. A., García Morabito, E., Hervé, F., Fanning, C.M. (2010): Grenville-age sources in Cuesta de Rahue, northern Patagonia: Constrains from U/Pb SHRIMP ages from detrital zircons. En: *Geosur. Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata* 51, 42
- Serra Varela, S., González, P.D., Giacosa, R., Heredia, N., Pedreira, D., González, F. (2015): Geología y relaciones estructurales entre los granitoides y metamorfitas del Complejo Colohuincul en San Martín de los Andes, Neuquén. En: *3° Simposio de Petrología ígnea y Metalogénesis Asociada* Actas 156.