

# La Formación Garamilla: evento volcánico del Jurásico Inferior del sector occidental de la Comarca Nordpatagónica, Provincia de Río Negro, Argentina

Leonardo BENEDINI<sup>1</sup> y Daniel GREGORI<sup>1</sup>

**Resumen:** La Formación Garamilla aflorante en el borde occidental de la Comarca Nordpatagónica se halla integrada por rocas volcánicas y piroclásticas de composiciones andesitas, dacíticas y riolíticas cuya edad se extiende entre el Triásico Superior –Jurásico Inferior. Particularmente en la zona de los Puestos Quiñena, Fuensalida y los cañadones Mengué, Blancura y Currú Mahuida aflora una secuencia de 800 m de espesor dentro de la cual fueron reconocidos tres eventos: Un evento inicial compuesto por domos, lavas riolíticas e ignimbritas “lava-like”. Un segundo evento volcánico está representado por diques y lavas andesíticas a dacíticas, tobas lapillíticas y tobas lapillíticas eutaxíticas de composiciones dacíticas. El tercer evento se encuentra integrado por tobas, tobas reomórficas, tobas lapillíticas, brechas volcánicas monomíticas, brechas líticas masivas, lavas y diques. Esta unidad conforma una serie calco-alcalina vinculada a un proceso de subducción. Una edad U-Pb  $185 \pm 2$  Ma (Pliesbaquiana) fue obtenida para la litofacies de tobas lapillíticas del segundo evento volcánico. Estas características permiten correlacionarla con el volcanismo calco-alcalino Jurásico Inferior desarrollado en la provincia de Neuquén.

**Abstract:** *THE GARAMILLA FORMATION: LOWER JURASSIC VOLCANIC EVENT IN WESTERN COMARCA NORDPATAGÓNICA, RÍO NEGRO PROVINCE, ARGENTINA.* The Garamilla Formation cropping out at the western edge of the Nordpatagonian Region is composed by volcanic and pyroclastic rocks of andesites, dacitic and rhyolitic compositions whose age extends from the Late Triassic to Early Jurassic. In the area of the puestos Quiñena, Fuensalida and cañadones Mengué, Blancura and Currú Mahuida appears a sequence 800 m thick where three volcanic events were recognized. The first one consists of domes and rhyolitic lavas, as well as lava-like ignimbrites. The second is represented by dikes and andesitic to dacitic lava flows, lapilli-tuffs and eutaxitic lapilli-tuffs of dacitic composition. The third event is made up of tuffs, rheomorphic tuffs, lapilli-tuffs, volcanic breccias, lava flows and dikes. This unit forms a calc-alkaline series related to a subduction process. An U-Pb age of  $185 \pm 2$  Ma (Pliesbachian) was obtained for the lapilli-tuffs lithofacies of the second volcanic event. These features allow correlation with the Lower Jurassic calc-alkaline volcanism developed in the Neuquén province.

**Palabras claves:** Formación Garamilla. Comarca Nordpatagónica. Volcanismo Jurásico. Argentina.

**Key words:** Garamilla Formation. Nordpatagonian Region. Jurassic magmatism. Argentina.

## Introducción

La geología del sector occidental de la Comarca Nordpatagónica, en el área que se ubica entre Piedra del Águila, Comallo, el río Limay y Chasicó, se halla constituida por rocas metamórficas e ígneas cuyas edades son imprecisas y basadas mayoritariamente en comparaciones con otros sectores de la Comarca.

Específicamente entre los  $40^{\circ} 04' S$  y los  $40^{\circ} 15' O$  a lo largo del Río Limay, Cucchi *et al.* (1998) reconocieron un conjunto de rocas volcánicas que asignaron a la Formación Garamilla por comparación litológica con rocas ubicadas en la zona de Ingeniero Jacobacci.

Por otro lado, inmediatamente al oeste del Río Limay, en la zona de Piedra del Águila aparecen volcanitas similares a las aquí estudiadas. Las mismas fueron denominadas

<sup>1</sup> INGEOSUR, Cátedra de Geología Argentina, Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, San Juan 670, 8000 Bahía Blanca, Argentina. E-mail: lbenedini@criba.edu.ar - usgregor@criba.edu.ar

Formación Sañicó (Stipanovic, 1967), a partir de la denominación Sañicolitense, (Galli, 1954) y asignadas a una edad liásica (Ferello, 1947; D'Elia *et al.*, 2011, *en prensa*)

La zona de estudio se ubica en la margen oriental del Río Limay (Figura 1), entre los puestos Quiñenao y Fuensalida ( $69^{\circ}46' - 69^{\circ}58' \text{ O}$  y  $40^{\circ}05' - 40^{\circ}08' \text{ S}$ ). En el presente trabajo se dan a conocer las características geológicas, petrológicas y geoquímicas de las rocas volcánicas que componen la Formación Garamilla con el propósito de comprender sus condiciones genéticas y evolutivas, realizándose correlaciones con unidades aflorantes en la Cuenca Neuquina.

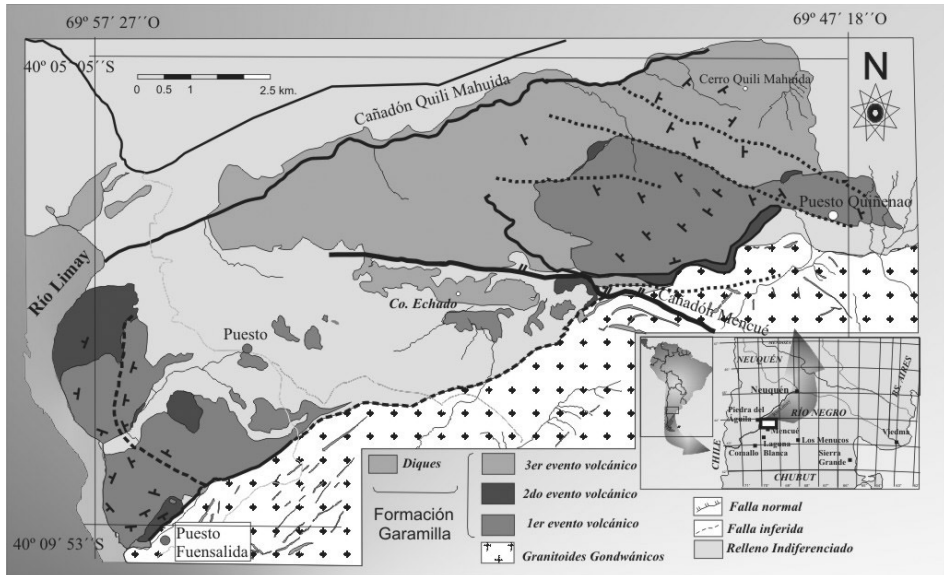


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio y distribución de los eventos volcánicos diferenciados para la Formación Garamilla.

## Marco geológico

Las rocas más antiguas de la zona de estudio corresponden a la Formación Mamil Choique (Sesana, 1968). Esta unidad fue inicialmente descrita por Volkheimer (1964) y posteriormente por Ravazzoli y Sesana (1977). Nullo (1979) distinguió 3 facies dentro de la unidad: facies tonalita-granodiorita, facies migmatita y facies de granito. En la región de Mengué, Núñez y Cucchi (1990 y 1997) agruparon dentro de la Formación Mamil Choique facies graníticas, facies diorítico-tonalíticas y facies hipabisal donde incluyen diques de composiciones dioríticas.

Las edades obtenidas mediante isócronas Rb-Sr (Linares *et al.*, 1988; Cingolani *et al.*, 1991; Dalla Salda *et al.*, 1994) permitieron asignarle inicialmente una edad Siluro-Devónica en la zona de Río Chico. Estudios posteriores realizados por López de Luchi *et al.* (1999, 2000); Cerredo *et al.* (2000) y Pankhurst *et al.* (2006) permiten asociar el origen de la misma a la Orogenia Gondwánica.

Esta unidad representa casi la totalidad de los rasgos pre-triásicos del sector occidental de la Comarca Nordpatagónica, dentro de la cual presenta una importante distribución regional. En inmediaciones al Río Limay se aprecia un sistema de bloques basculados con predominio de una fracturación de rumbo NO-SE que permite observar las facies de la unidad y el contacto con la Formación Garamilla.

Cubriendo en no-concordancia a la unidad arriba descrita aparece la Formación Garamilla cuyo nombre fue empleado para designar al conjunto de rocas volcánicas ácidas dominadas por ignimbritas riolíticas y riódacíticas, riolitas y riódacitas y en menor grado tobas, que anteriormente Volkheimer (1964) denominara “Complejo Porfírico”.

Coira (1979) correlaciona esta unidad con el Miembro superior de la Formación Los Menucos (Stipanovic, 1967) considerando sus características litoestratigráficas y le asigna una edad Triásica Superior.

Franzeze *et al.* (2002) realizaron una determinación geocronológica U-Pb en rocas de esta unidad, aflorantes 40 km al sur de la localidad de Ingeniero Jacobacci, obteniendo una edad jurásica temprana ( $188 \pm 1,5$  Ma). Dicha edad, en conjunto con las características litológicas de la Formación Garamilla le permitieron correlacionarla con la Formación Marifil aflorante en la porción oriental de la provincia de Río Negro y Chubut. Esta última ha sido interpretada por Pankhurst y Rapela (1995) como producto de la anatexis de la corteza inferior acaecida durante la fragmentación del Gondwana.

Hasta el momento no se han reportados estudios estratigráficos y geoquímicos detallados que permitan establecer la evolución y el ambiente geotectónico de emplazamiento de la Formación Garamilla.

En la zona de estudio los principales afloramientos se ubican en la porción occidental del Cañadón Mengué, en inmediaciones del cerro Pafaniyeu y en el Cerro Colorado (Cañadón Pilahue). La secuencia volcánica expuesta en esta última localidad presenta afinidad litológica con aquella descrita por Nullo (1979) en Cañadón Chileno y en el Puesto Antrichipay y que fuera asignada a la Formación Taquetrén (Nullo, 1979). Esta unidad fue definida en Cañadón del Zaino, en la Provincia de Chubut por Nullo y Proserpio, (1975) y posteriormente extendida hacia las zonas de Lipetrén (Nullo, 1978), Ingeniero Jacobacci, Palenqueniyeu y Campana Mahuida (Cucchi *et al.*, 1998).

En estas localidades la unidad se compone principalmente de brechas, lavas y cuerpos subvolcánicos de composiciones andesítica-dacítica, lo cual contrasta notablemente con las secuencias volcánicas observadas en Cañadón Chileno y en el Puesto Antrichipay. Un elemento adicional a considerar es el hallazgo de palinomorfos de edad triásica reconocidos por Pöthe de Baldi (1975, en Nullo, 1979) y por Zavattieri *et al.* (1999) en la zona del Cerro Puntudo, localizado a 25 km al sudeste de Cañadón Chileno. Ello pone en duda la correlación efectuada por Nullo (1979) entre las rocas aflorantes en Cañadón Chileno y Puesto Antrichipay con aquellas de la Formación Taquetrén.

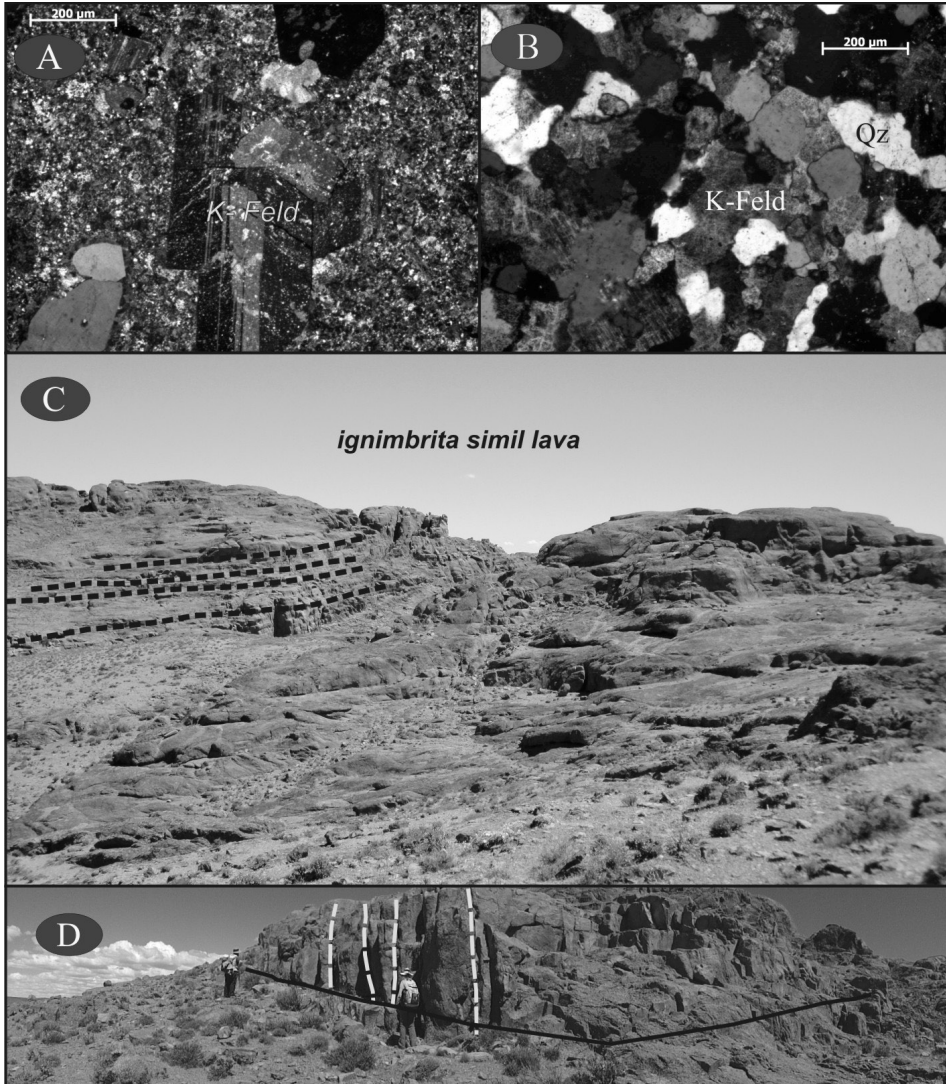
## Petrografía

Durante las tareas de campo fueron individualizados 3 eventos volcánicos a partir de la confección de 8 perfiles de detalle. Los afloramientos, así como la distribución de los eventos descritos, pueden reconocerse en la *Figura 1*.

El primer evento presenta 3 litofacies: a) domos o cuerpos subvolcánicos, b) lavas riolíticas y c) ignimbritas símil-lava.

- a) Los domos riolíticos son color rosa pálido a anaranjados, microcristalinos a porfíricos y se componen principalmente de cristales de cuarzo y feldespato potásico, mientras que la plagioclasa y biotita son minoritarias. Microscópicamente se observa una textura porfírica definida por agregados de cuarzo y feldespato potásico, euhedrales a subhedrales inmersos en una pasta formada por sílice criptocristalina y sericita. En

las facies microcristalinas se puede observar textura gráfica que evidencia condiciones de cristalización eutéctica. La plagioclasa se encuentra alterada a calcita. La biotita es euhedral y muestra una incipiente oxidación y cloritización.



**Figura 2.** Características petrológicas y morfológicas del primer evento volcánico. (A) Glomérulo de feldespato potásico (K-Feld) dispuesto en una pasta felsítica en facies de lavas riolíticas masivas. (B) Textura granofítica en ignimbritas simil lavas. (C) y (D) Características morfológicas de ignimbritas simil lava, estratificación y disyunción columnar respectivamente.

- b) Las lavas riolíticas (Figura 2A) se presentan hacia los márgenes de los cuerpos dómicos y cubren parcialmente las facies piroclásticas simil-lava. Dichas lavas presentan una morfología masiva, son de coloración rosada a anaranjada pálida, presentan un espesor menor a 100 m y desarrollo de texturas felsíticas en la pasta. La textura porfírica esta definida por agregados de cuarzo y feldespato dispuestos en una pasta fluidal compuesta

dominantemente por sílice microcristalina. Los cristales de feldespato potásico y plagioclasa son euhedrales a subhedrales y presentan una alteración sericitica moderada, mientras que la clorita y la calcita afectan a los cristales de biotita y plagioclasa.

- c) Las ignimbritas símil-lava están caracterizadas por un mosaico equigranular de cristales de cuarzo y feldespato potásico (*Figura 2B*), anhedrales a subhedrales. Los cristales individuales son menores a 200  $\mu\text{m}$ . No se observan texturas de desvitrificación.

Sus afloramientos comienzan 1 km al noroeste del puesto Quiñena y se extienden hacia el norte donde abarca la zona del cerro Quili Mahuida y hacia el oeste a lo largo de aproximadamente 5 km. Se presentan estratificadas en bancos de 0.20 a 1 m de espesor (*Figura 2C*). Usualmente se reconoce disyunción columnar (*Figura 2D*).

El segundo evento volcánico evidencia un cambio composicional y está representado por a) diques y lavas andesíticas a dacíticas (*Figura 3A*), b) tobas lapillíticas y c) tobas lapillíticas eutaxíticas de composiciones dacíticas. Estas litofacies afloran en las inmediaciones del Cañadón Mengué así como en las proximidades del Cerro Bonito, sobre el Río Limay, donde es cubierta por una sucesión de lavas y tobas lapillíticas riolíticas. Presentan un mejor desarrollo hacia el sur (Puesto Fuensalida) donde se apoyan sobre granitos de edades gondwánicas y constituyen las primeras facies volcánicas registradas. Unos 600 m al oeste del puesto Quiñena se apoyan en contacto normal sobre las ignimbritas símil-lava. El espesor del evento en conjunto es menor a los 100 m. Las lavas andesíticas (a) exhiben una textura porfírica formada por cristales subhedrales a euhedrales de plagioclasa de 1.5 mm de diámetro junto con fenocristales de anfíboles inmersos en una pasta traquítica. Como accesorios se observan hornblenda y clinopiroxenos alterados a epidoto.

Las lavas dacíticas, por otro lado, tienen menores proporciones de mafitos y se componen principalmente de feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y biotita. La pasta muestra una textura traquítica con una marcada orientación de los microfenocristales de plagioclasa. La plagioclasa se encuentra alterada a epidoto. Los cristales de cuarzo muestran escaso desarrollo y son porcentualmente limitados ( $\text{SiO}_2$ : 61-65%).

Las tobas lapillíticas (b) consisten de fragmentos juveniles vesiculados (pomes), de colores azulados a violáceos y cristales dispuestos dentro de una matriz de grano fino alterada a sericita y epidoto. Los cristales de plagioclasa, subhedrales a anhedrales, se encuentran fracturados y alterados a epidoto. Conjuntamente se reconocen fragmentos líticos de migmatitas, granitos y lavas andesíticas tanto a meso como a microescala (*Figura 3B*).

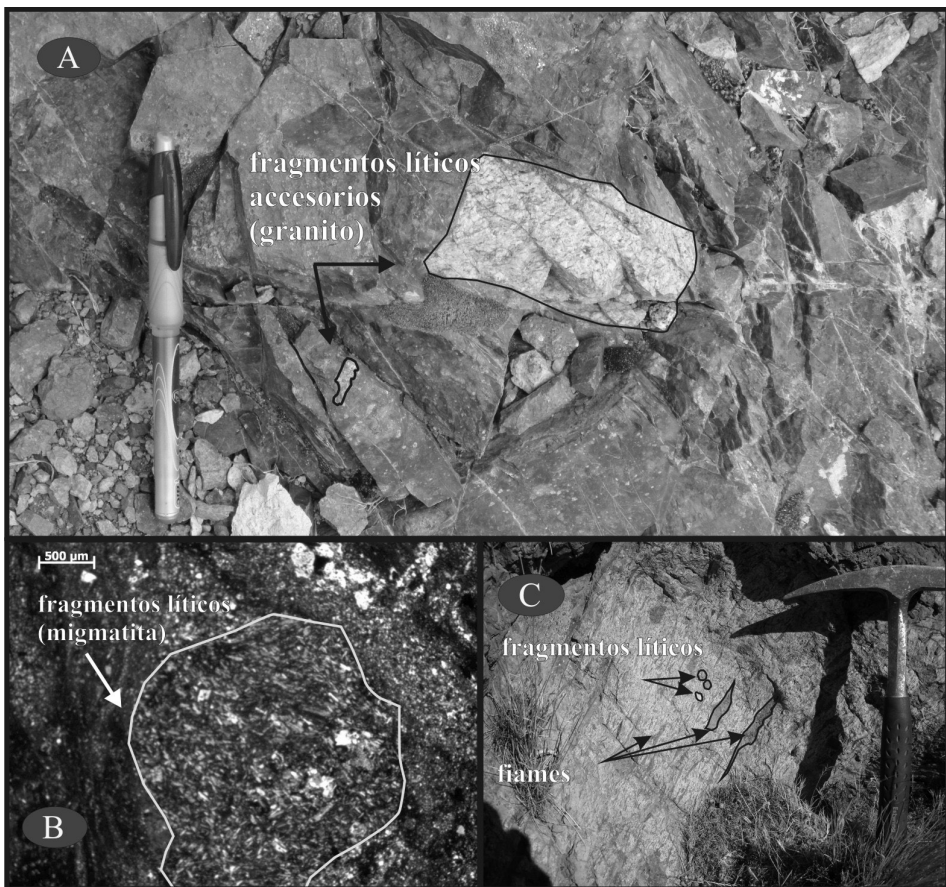
Las tobas lapillíticas eutaxíticas (c) se encuentran parcialmente desvitrificadas. Los fragmentos juveniles vesiculados aparecen deformados y con formas de flama configurando texturas eutaxíticas (*Figura 3C*). Son de colores grises y están compuestas por cristales y fragmentos líticos. La plagioclasa es el mineral más abundante y se encuentra alterada a epidoto. El anfíbol es un mineral relicto ya que está enteramente alterado a epidoto y minerales de óxidos de hierro, mientras que la biotita se encuentra alterada a clorita. La matriz está reemplazada por minerales arcillosos de grano fino. Los cristales son subhedrales y porcentualmente limitados (aprox. 20%).

El tercer evento se encuentra representado por a) tobas y tobas reomórficas, b) tobas lapillíticas, c) brechas tobáceas monomíticas, d) brechas líticas masivas y e) lavas riolíticas totalizando unos 500 m de espesor. Las tobas (a) consisten de capas finamente estratificadas de coloración beige a blanquecinas ricas en cristales (aprox. 40%). Se disponen usualmente hacia la base de las sucesiones piroclásticas riolíticas y muestran en conjunto con las litofacies sobreyacentes, secuencias estrato y grano creciente (*Figuras 4A y 4E*). Incluyen cristaloclastos de cuarzo, sanidina, plagioclasa y biotita. El cuarzo es anhedral a subhedral, usualmente

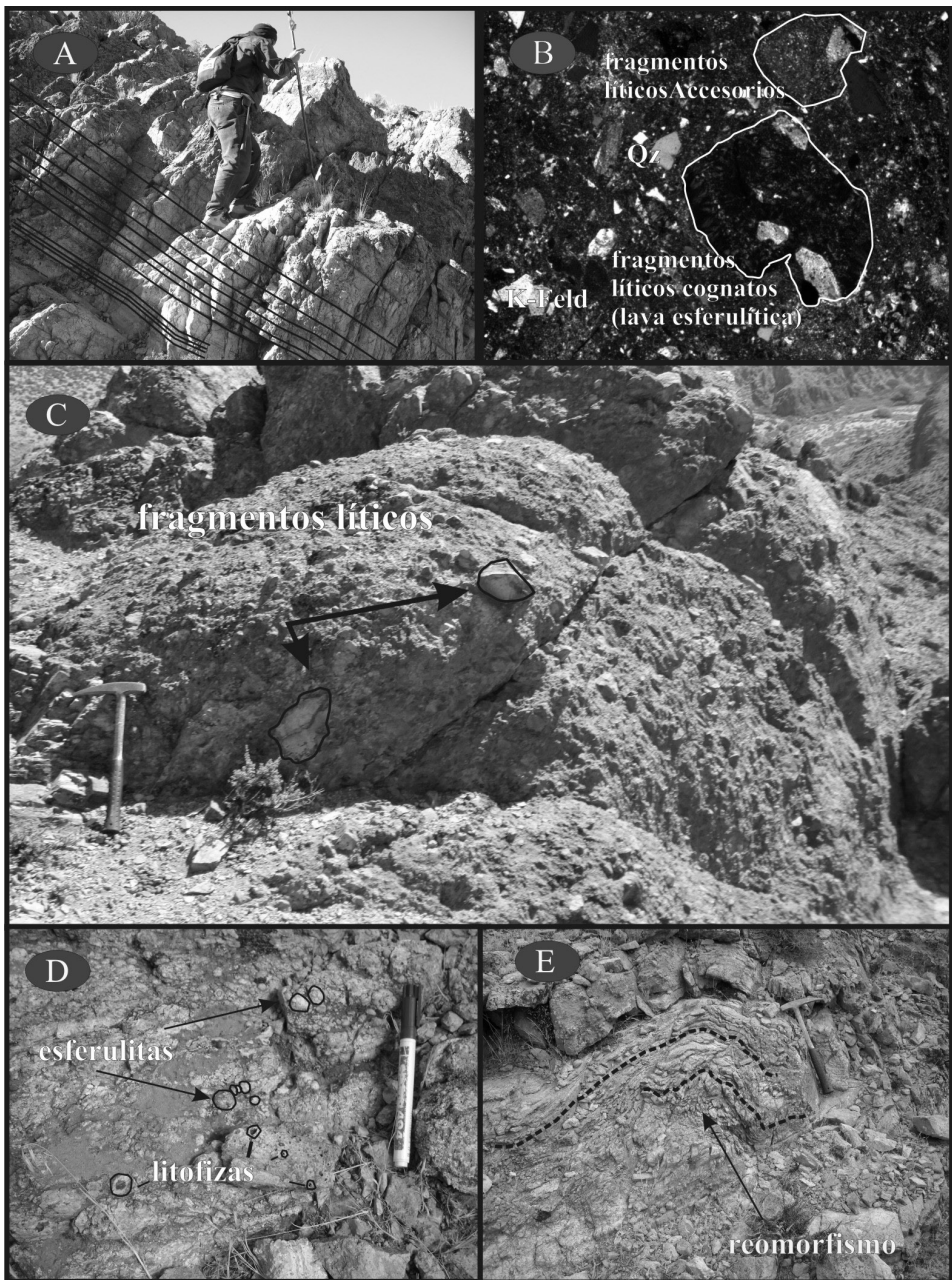
fracturado. La biotita y la plagioclasa se encuentran alteradas a óxidos de hierro y epidoto respectivamente; y es común la deformación de estos cristales. La matrix corresponde a ceniza fina y se encuentra alterada a sericita y minerales arcillosos.

Las tobas lapillíticas (b) son rosadas a blanquecinas y contienen cristales y fragmentos líticos no vesiculados (*Figura 4B*). Los cristales de cuarzo y feldespato potásico son dominantes, mientras que la plagioclasa y la biotita son escasas. Los fragmentos líticos son en general porfíricos o esferulíticos, subredondeados a subangulares de 0.2 a 1.5 cm de diámetro. La mátrix, de granulometría fina, se halla parcialmente silicificada. Esta litofacies se apoya sobre las facies del evento previo en inmediaciones del puesto Fuensalida.

Los depósitos de brechas tobáceas (c) son de base planar a levemente erosiva, presenta clastos de lavas riolíticas de granulometría y composición homogénea (fragmentos líticos cognatos de 10 a 20 cm de diámetro). Los mismos se hallan dispuestos dentro de una mátrix tobácea de coloración gris clara sin participación de fragmentos juveniles vesiculados (*Figura 4C*). Se caracteriza por una estratificación gruesa de 1 a 2 m de espesor. Estos se apoyan sobre las tobas y tobas lapillíticas de composiciones riolíticas previamente descriptas y afloran casi exclusivamente en inmediaciones del Cañadón Mencué.



**Figura 3.** Características petrográficas del segundo evento volcánico. (A) Fragmentos accidentales subangulares de granito en facies de andesitas masivas. (B) Fragmento lítico accidental de migmatita en toba lapillítica dacítica. (C) Desarrollo de textura eutaxítica en tobas lapillíticas dacíticas.



**Figura 4.** Características petrográficas del tercer evento volcánico. (A) Litofacies de tobas estratificadas (B) Fragmentos líticos accidentales y accesorios presentes en tobas lapillíticas riolíticas (C) Brecha tobácea monolitológica con estratificación gruesa y fragmentos congénitos subangulares a subredondeados. (D) Texturas mesoscópicas esferulítica y litofísica en lava riolítica. (E) Bandeamiento de flujo en tobas reomórficas.

Las brechas líticas masivas (d) fueron identificadas hacia el techo de la sucesión piroclástica presente en el Cañadón Mencué, sobreyaciendo a las tobas lapillíticas y brechas tobáceas con estratificación grosera. Su principal característica es la presencia de grandes cantidades de fragmentos líticos de tobas, granitos y dacitas que exhiben formas subangulares a subredondeados y una marcada heterogeneidad granulométrica ya que varían de algunos centímetros hasta casi 1 m de diámetro. Las lavas (*Figura 4D*), se presentan hacia el techo de la secuencia y muestran espesores individuales del orden de los 20 m, con desarrollos laterales acotados.

## Geoquímica de las sucesiones volcánicas

Con el propósito de establecer las características químicas de las sucesiones volcánicas se seleccionaron 26 muestras representativas de la Formación Garamilla. Todas ellas fueron analizadas en ACTLABS, Canadá, utilizando fluorescencia de rayos X y espectrometría de masas con fuente de plasma inductivamente acoplado para el análisis de los elementos mayoritarios y trazas. Los geostandards utilizados para la calibración fueron MRG-1, JGb-1, Jb1 y JG1a.

## Geoquímica de elementos mayoritarios

Los análisis geoquímicos (*Tabla 1*) de la sucesión volcánica revelan una tendencia calco-alcalina a calco-alcalina de alto potasio (Pecerillo y Taylor, 1976) (*Figura 5A*) con concentraciones de  $K_2O$  que oscilan entre 1,5 a 5% y abundancias relativas de  $K_2O/Na_2O$  entre 0,5 y 2. De acuerdo a las relaciones de  $K_2O$  y  $Na_2O$  (*Figura 5B*) versus sílice (Le Bas *et al.*, 1986), las muestras clasifican en tres grupos: andesitas, dacitas y riolitas donde la sílice varía entre 60 y 82%. La secuencia presenta un carácter metaluminoso a peraluminoso donde los contenidos de  $Al_2O_3$  varían entre 11 y 15%.

Las concentraciones de  $TiO_2$  por otro lado, varían entre a 0,05 y 0,15% en las riolitas y entre 0,5 a 0,95 en rocas dacíticas a andesíticas. El  $P_2O_5$  varía de 0,02 a 0,05 % y entre 0,1 a 0,3% respectivamente para los mismos grupos y su fraccionamiento esta vinculado a las cristalización de apatito. Estos contenidos coinciden con el rango de valores medios de  $P_2O_5$  de las series calco-alcalinas (0,1 y 0,2%) determinados por Gill (1981).

## Geoquímica de los elementos traza

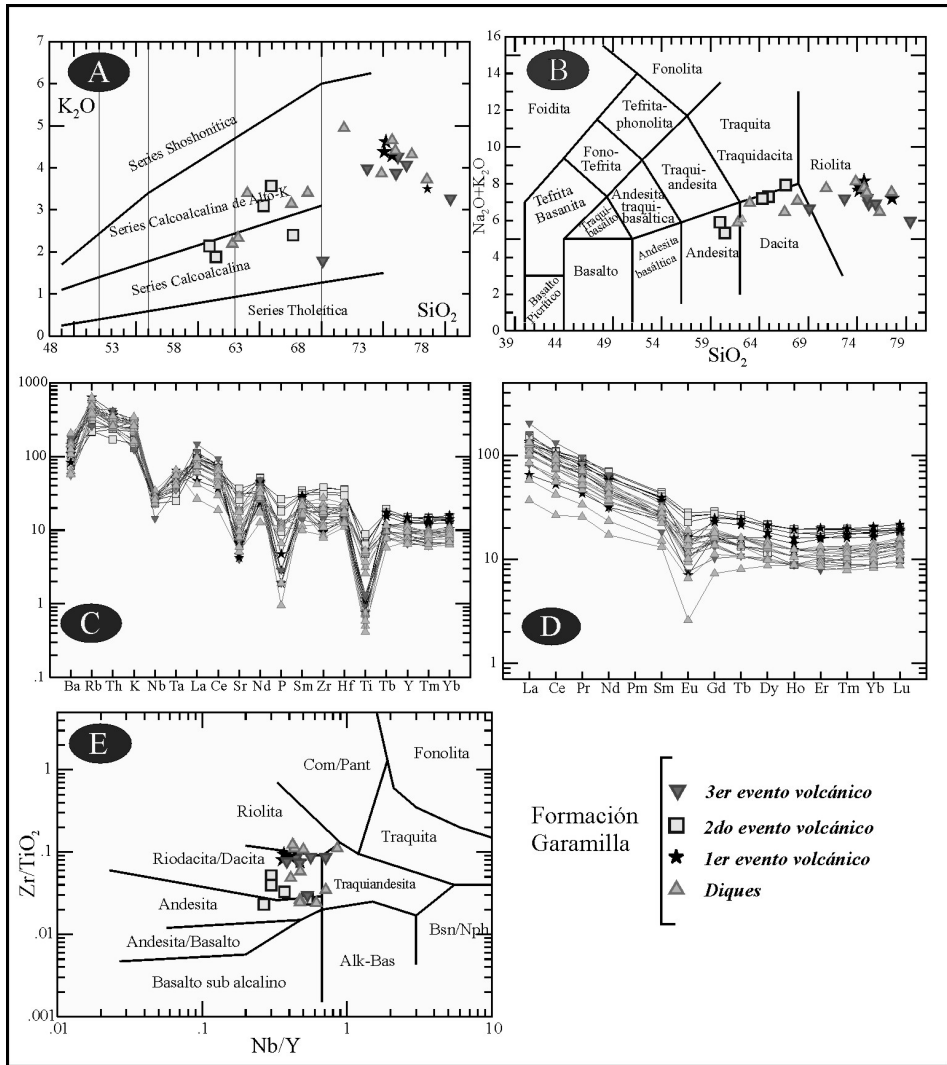
Los diagramas de distribución de los elementos trazas normalizados a condritos (Thompson, 1982) de la *Figura 5C* muestran un enriquecimiento en LILE (Ba, Rb, Th, K, Sr, La, Ce) conjuntamente con anomalías negativas de Sr, P y Ti.

Las facies riolíticas presentan en general anomalías negativas más significativas en Ti, P y Sr, además de mayores concentraciones de LILE que las restantes composiciones indicando un fraccionamiento de feldespato, apatito y titanita durante la evolución magmática. Otra característica exhibida en el diagrama de Thompson, (1982) es la presencia de anomalías negativas de Nb y Ta respecto de Th y La, mientras que la relación Nb/Ta varía entre 6,5 y 16.



	Promedio de muestras del evento 1 (n: 4)	Promedio de muestras del evento 2 (n: 5)	Promedio de muestras del evento 3 (n: 6)	Promedio de muestras de Diques (n: 11)
<b>SiO<sub>2</sub></b>	76.15	64.28	75.56	70.98
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	12.32	15.35	12.49	13.31
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(T)</b>	1.57	4.96	1.84	2.72
<b>MnO</b>	0.04	0.10	0.03	0.04
<b>MgO</b>	0.14	1.36	0.21	0.67
<b>CaO</b>	0.45	3.77	0.55	1.54
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	3.53	4.11	3.25	3.39
<b>K<sub>2</sub>O</b>	4.20	2.62	3.53	3.68
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0.11	0.65	0.18	0.26
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.03	0.18	0.04	0.06
<b>LOI</b>	0.72	2.04	1.38	2.43
<b>Total</b>	99.23	99.41	99.05	99.07
<b>Sc</b>	3.25	12.60	3.83	5.55
<b>V</b>	5.25	79.80	18.67	38.09
<b>Ba</b>	802.25	809.80	958.17	797.45
<b>Sr</b>	66.25	330.80	130.00	159.09
<b>Y</b>	24.75	26.40	15.50	18.27
<b>Zr</b>	90.75	217.60	102.00	109.36
<b>Cr</b>	12.25	10.00	16.17	19.00
<b>Ga</b>	14.75	19.00	13.83	16.09
<b>Rb</b>	181.50	95.40	148.67	160.09
<b>Nb</b>	9.75	8.80	8.00	9.27
<b>Cs</b>	4.15	8.58	7.22	5.55
<b>La</b>	26.38	31.28	31.78	23.04
<b>Ce</b>	53.03	59.54	54.53	43.37
<b>Pr</b>	6.51	7.76	6.67	5.14
<b>Nd</b>	22.88	28.80	22.17	17.97
<b>Sm</b>	4.83	5.88	3.98	3.77
<b>Eu</b>	0.68	1.38	0.68	0.68
<b>Gd</b>	4.13	5.16	2.93	3.26
<b>Tb</b>	0.73	0.84	0.45	0.53
<b>Dy</b>	4.38	4.80	2.73	3.13
<b>Ho</b>	0.88	0.94	0.53	0.61
<b>Er</b>	2.65	2.78	1.62	1.83
<b>Tm</b>	0.42	0.43	0.26	0.28
<b>Yb</b>	2.93	2.82	1.82	1.94
<b>Lu</b>	0.47	0.44	0.30	0.33
<b>Hf</b>	3.48	6.10	3.07	3.18
<b>Ta</b>	1.03	0.66	0.80	1.01
<b>Th</b>	14.03	9.68	13.22	11.68
<b>U</b>	3.15	2.52	2.65	3.57

Tabla 1. Composición química de las rocas de la Formación Garamilla.



**Figura 5.** (A) y (B) Diagramas bivariantes  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  vs  $\text{SiO}_2$  y  $\text{K}_2\text{O}$  vs  $\text{SiO}_2$  (Le Bas *et al.*, 1986 y Pecerillo y Taylor, 1976). (C) Diagramas multielementos y de tierras raras (REE) normalizados a MORB Thompson (1982). (D) Diagramas de tierras raras normalizados a N-MORB (Sun y McDonough, 1989). (E) Diagrama  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  vs  $\text{Nb}/\text{Y}$  (Winchester y Floyd, 1977).

Las concentraciones de Zr varían entre 50 y 280 ppm y muestran una relación inversa respecto de las concentraciones de  $\text{SiO}_2$ . Aquellos ejemplares más evolucionados contienen entre 50 y 120 ppm de Zr mientras que en las dacitas y las andesitas varían entre 150 y 280 ppm.

En el diagrama de distribución de tierras raras normalizado a condrito S1 de Sun y McDonough (1989) (Figura 5D) el Eu presenta anomalías negativas leves a marcadas. El crecimiento de la anomalía negativa de Eu puede vincularse con fraccionamiento de feldespato alcalino. En todos los caso se observa enriquecimiento de tierras raras livianas (LREE) respecto a las tierras raras pesadas (HREE). Los patrones de tierras raras en conjunto, la similitud en las pendientes y las variaciones de concentraciones indican un

carácter cogenético de los productos. Los valores de MREE indican que la hornblenda fue la fase mineral que controló la cristalización y la ausencia de granate en el magma parental.

La composición de estas rocas de acuerdo a las clasificaciones  $\text{SiO}_2$  vs Nb/Y (no mostrado) y  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  vs Nb/Y de Winchester y Floyd (1977) confirman que se trata de rocas de composiciones andesíticas, dacíticas y riolíticas. La relación Nb/Y presenta un rango de valores en general menores a 0,6 indicando que pertenecen a la serie subalcalina (*Figura 5E*).

## Interpretación geotectónica de la secuencia volcánica

Con el propósito de establecer el ambiente geotectónico de emplazamiento de las rocas estudiadas, las mismas fueron graficadas en los diagramas Rb vs Y+Nb y Nb vs Y de Pearce *et al.*, (1984). En ambos diagramas (no mostrados) las muestras ácidas e intermedias se agrupan en los campos de rocas relacionadas a arco magmáticos. Las relaciones Ta-Yb (Pearce, 1982) también evidencian ambientes ígneos relacionados a márgenes convergentes de placas (arco volcánico). Su carácter peraluminoso y en menor medida metaluminoso podría deberse en parte a la asimilación de corteza continental o fusión de sedimentos subductados.

El enriquecimiento en LILE mostrado en los diagramas de distribución de elementos incompatibles permite considerar, de acuerdo a Pearce (1982) y otros autores, que la fuente magmática habría recibido aportes de fluidos derivados de corteza oceánica subductada. Las marcadas anomalías negativa de Nb y Ta corroboran dicha hipótesis.

Las concentraciones de Nb/Y mayores a 0,6 así como el desarrollo de marcadas anomalías de Eu en algunas de las muestras no permiten descartar la presencia de un componente alcalino relacionada a la Formación Garamilla.

Por lo tanto, las composiciones químicas de las rocas volcánicas analizadas en el presente trabajo muestran una signatura de arco magmático, pero su ubicación en el contexto del margen sudoccidental de la cuenca neuquina hace problemática dicha asignación. Estas características podría revelar la existencia de componentes de subducción heredados que no se compatibilizan con el ambiente tectónico extensional donde fueron eruptados.

## Discusión y correlaciones

Con el propósito de establecer correlaciones entre la unidad analizada y otras de la Comarca Nordpatagónica y la Cuenca Neuquina se obtuvo una edad U/Pb de  $185 \pm 2$  Ma en roca aflorantes 1 km al sur del puesto Quiñena.

El análisis facial, petrográfico y geoquímico de las rocas volcánicas de la Formación Garamilla en la zona de los puestos Quiñena y Fuensalida, revelan un volcanismo calco-alcalino que incluye componentes de subducción, así como indicios de evolución a condiciones de intraplaca.

Sin embargo se considera que los componentes de subducción podrían ser heredados de un evento anterior, de edad desconocida.

Esta sucesión presenta además notables similitudes químicas y cronológicas con las rocas volcánicas que conforman la mayor parte de los afloramientos del ciclo de sinrift precuyano de la cuenca neuquina presente en la provincia de Neuquén.

Las primeras consideraciones acerca de la presencia de un volcanismo extensional relacionado a subducción a partir de análisis geoquímicos dentro de la secuencia precuyana fue establecida en el sector de la Dorsal de Huincul, por Bermúdez *et al.* (2002). Estos

autores describieron una importante secuencia conformada preponderantemente por rocas volcánicas de 2.500 m de espesor para el depocentro de Cerro Bandera. Dicho depocentro se ubica en el sector occidental de la dorsal y en su interior registra una sección inferior conformada por coladas fenoandesíticas con intercalaciones sedimentarias, una sección media caracterizada por una intercalación de rocas sedimentarias (limolitas y limolitas arenosas) con tobas litoclásticas y cristaloclásticas integrantes de depósitos de flujos piroclásticos y una sección superior con tobas cristaloclásticas fenoriolíticas integrantes de depósitos de flujos piroclásticos.

Shiuma y Llambías (2007) y Llambías *et al.* (2007) reportaron un volcanismo con signatura de arco para el depocentro de Anticlinal Campamento ubicado en la porción occidental de la dorsal, registrado a partir de sondeos exploratorios. Dentro del mismo describen lavas y flujos de bloques y cenizas de composiciones andesíticas, dacíticas a riolíticas y lavas, ignimbritas y depósitos de caída ricos en sílice. Estas rocas fueron asignadas al Triásico tardío (Rético)-Jurásico temprano (Hetangiano) a partir estudios isotópicos U-Pb en circones ígneos.

Por otro lado, en el sector austral de la Cuenca Neuquina aparece la Formación Piedra del Aguila (Ferello, 1947) de edad jurásica y que Gulisano *et al.* (1984) incluyeron en el ciclo precuyano. Edades jurásicas tempranas han sido reportadas inicialmente por Ferello (1947) a partir del hallazgo de flora liásica y posteriormente confirmada por Spalletti *et al.* (2010) a partir de hallazgos de flora equivalente y de una datación U-Pb ( $191.7 \pm 2.8$  Ma) en un nivel de tobas intercalado en la sección superior de esta unidad. Esta unidad es sucedida por la Formación Sañicó, la cual consiste de lavas andesitas, tobas dacíticas y que se apoya, según Galli (1969) de manera concordante sobre la unidad previa, mientras que Spalletti *et al.* (2010) reconocen la existencia de una suave discordancia angular entre ambas.

Por otro lado D'Elia *et al.* (2011, *en prensa*) describen 3 secciones en la Formación Sañicó, reconocidas entre Cerro Michal y Cerro Corona, donde la unidad se inicia con una sección inferior caracterizada por rocas volcánicas andesíticas y dacitas con volcanoclásticas asociadas. Continúa la sección media compuesta por depósitos de flujos piroclásticos de composiciones riolíticas a riodacíticas intercalados con depósitos volcanoclásticos monomícticos. Concluye con una sección superior integrada por lavas andesíticas con rocas sedimentarias epiclásticas y carbonáticas intercaladas. Las rocas pertenecen mayoritariamente a la serie calco-alcalinas y son de carácter subalcalino, con patrones de elementos trazas típicas de series orogénicas. Sin embargo la secuencia muestra algunas diferencias evolutivas y composicionales (> 50% de términos diferenciados ácidos) con las series clásicas de arco. D'Elia *et al.* (2011, *en prensa*) acotan estratigráficamente dicha secuencia al Sinemuriano (Liásico).

Estas características permiten extender el volcanismo presente en la porción centro sur de la Cuenca Neuquina a la porción occidental de la Comarca Nordpatagónica a partir de una correlación directa entre las formaciones Sañicó y Garamilla.

## Conclusiones

En el sector occidental de la Comarca Nordpatagónica los afloramientos de la Formación Garamilla constituyen depósitos volcánicos donde se han reconocido 3 eventos diferenciados petrológica y geoquímicamente. En su conjunto representan una suite calco-alcalina que posee componentes de subducción y evoluciona a magmatismo de intraplaca. Su edad jurásica temprana así como sus características geoquímicas permite correlacionar estos depósitos con el volcanismo de synrift Triásico tardío a Jurásico temprano presente en la cuenca neuquina y con la Formación Sañicó, localizada en el borde sudoccidental de dicha cuenca.

## Agradecimientos

A los pobladores de la zona de trabajo, especialmente las familias Quiñenao, Fuensalida y Cortés, integrantes de la Comunidad Blanca que desinteresadamente nos ofrecieron sus comodidades y el acceso a sus campos. También agradecemos el aporte financiero de FONCyT (Bid-pict 01649), CONICET (PIP 108) y UNS (24/H100).

## Bibliografía

- Bermúdez, A., Delpino, D. y Pángaro F. 2002. Volcanismo de arco asociado a procesos de subducción - extensión durante el Triásico Superior - Jurásico Inferior (Precuyano). Área Cerro Bandera, Cuenca Neuquina, Argentina. *IV Congreso de Exploración y Desarrollo en Hidrocarburos*, Actas en CD. Mar del Plata.
- Cerredo, M., López de Luchi, M., Ostera, H., Cagnoni, M. y Linares, E. 2000. Amphibolite tonalites in the south western of the North Patagonian Massif. Geochemistry, age and tectonic setting. *IX Congreso Geológico Chileno*, Puerto Varas, Actas 2: 712-715.
- Cingolani, C., Dalla Salda, L., Hervé, F., Munizaga, F., Pankhurst, R.J., Parada, M.A. y Rapela, C.W. 1991. The magmatic evolution of northern Patagonia; New impressions of pre- andean tectonics. *Geological Society of America Special Paper*, 265: 29-43.
- Coira, B. 1979. Descripción de la Hoja 40d, Ingeniero Jacobacci, Provincia del Río Negro. *Servicio Geológico Nacional*, Buenos Aires, Boletín 168, 101 pp.
- Cucchi, R., Espejo, P. y González, R. 1998. Hoja Geológica 4169-I Piedra del Águila. *Subsecretaría de Minería de la Nación, SEGEMAR*, Buenos Aires, Boletín 242, 74 pp.
- Dalla Salda, L.H., Varela, R., Cingolani, C.A. y Aragón, E. 1994. The Rio Chico Paleozoic Crystalline Complex and the evolution of Northern Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences*, 7: 1-10.
- D'Elia, L., Muravchik, M., Franzese, J.R. y López, L. 2011. Tectonostratigraphic analysis of the Late Triassic-Early Jurassic syn-rift sequence of the Neuquén Basin in the Sañicó depocentre, Neuquén Province, Argentina. *Andean Geology (en prensa)*.
- D'Elia, L., Muravchik, M., Franzese, J.R. y López, L. 2011. Volcanismo de sin-rift de la Cuenca Neuquina, Argentina: relación con la evolución Triásico Tardía - Jurásico Temprano del margen Andino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina (en prensa)*.
- Ferello, R. 1947. Los depósitos plantíferos de Piedra del Águila (Neuquén) y sus relaciones. *Boletín de Informaciones Petroleras*, Buenos Aires, 278: 248-261.
- Franzese, J.R. y Spalletti, L.A. 2001. Late Triassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-breakup rifting. *Journal of South American Earth Sciences*, 14: 257-270.
- Franzese, J., Pankhurst, R., Rapela, C., Spalletti, L., Fanning, M. y Muravchik, M. 2002. Nuevas evidencias geocronológicas sobre el magmatismo gondwánico en el noroeste del Macizo Norpatagónico. *XV Congreso Geológico Argentino*, El Calafate, Actas 1: 144-154.
- Galli, C.A. 1954. Acerca de una nueva interpretación de las formaciones rético-liásicas de la Patagonia septentrional. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 8: 220-235.
- Galli, C.A. 1969. Descripción geológica de la hoja 38c Piedra del Águila, provincias de Neuquén y Río Negro. *Boletín Servicio Nacional Minería y Geología*, Buenos Aires, Boletín 111, 67 pp.
- Gill, J. 1981. Orogenic Andesites and Plate Tectonics. *Springer-Verlag*, Berlín, 390 pp.
- Guliano, C., Gutiérrez Pleimling, A. y Digregorio, R. 1984. Esquema estratigráfico de la Secuencia Jurásica del oeste de la provincia del Neuquén. *IX Congreso Geológico Argentino*, San Carlos de Bariloche, Actas 1: 236-259.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. y Zanettin, B. 1986. A Chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27: 745-750.
- Linares, E., Cagnoni, M.C., Do Campo, M. y Ostera, H.A. 1988. Geochronology of metamorphic and eruptive rocks of southeastern Neuquén and northwestern Río Negro Provinces, Argentine Republic. *Journal of South American Earth Sciences*, 1: 53-61.
- Llambías, E.J., Leanza, H.A. y Carbone, O. 2007. Evolución tectono-magmática durante el Pérmico al Jurásico Temprano en la cordillera del Viento (37°05' S - 37°15' S): nuevas evidencias geológicas y geoquímicas del inicio de la cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 62: 217-235.
- López de Luchi, M.G., Ostera, H.A., Cerredo M.E., Linares, E., Haller, M.J. y Cagnoni, M.C. 1999. Unravelling the ages of the crystalline basement at Sierra de Mamil Choique, Río Negro, Argentina. *II Simposio de Geología Isotópica*, Villa Carlos Paz, Anales 34, SEGEMAR, Buenos Aires, 322-326.

- López de Luchi, M.G., Ostera, H.A., Cerredo M.E., Cagnoni, M.C y Linares, E. 2000. Permian Magmatism in Sierra de Mamil Choique, North Patagonian Massif, Argentina, *IX Congreso Geológico Chileno*, Puerto Varas, Chile, Actas 2: 750-754.
- Nullo, F.E. 1978. Descripción Geológica de la Hoja 41d, Lipetrén, Provincia de Río Negro. *Servicio Geológico Nacional*, Buenos Aires, Boletín 158, 88 pp.
- Nullo, F.E. 1979. Descripción geológica de la Hoja 39c, Paso Flores. *Servicio Geológico Nacional*, Buenos Aires, Boletín 167, 70 pp.
- Nullo, F.E. y Proserpio, C. 1975. La Formación Taquetrén en Cañadón del Zaino (Chubut) y sus relaciones estratigráficas en el ámbito de la Patagonia, de acuerdo a la flora. República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 29: 377-378.
- Núñez, E. y Cucchi, R.J. 1990. Estratigrafía del sector noroccidental del Macizo Nordpatagónico en los alrededores de Mengué, provincia del Río Negro, República Argentina. Actas *XI Congreso Geológico Argentino*, San Juan, Actas 2: 125-128.
- Núñez, E. y Cucchi, R.J. 1997. Geología y petrografía de Trapalcó, Provincia del Río Negro *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52: 297-310.
- Pankhurst, R.J. y Rapela, C.R. 1995. Production of Jurassic rhyolites by anatexis of the lower crust of Patagonia. *Earth and Planetary Science Letters*, 134: 23-36.
- 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.
- Pearce, J.A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. En: Thorpe, R.S. (Ed.), *Orogenic Andesites and Related Rocks*. Wiley J. & Sons, 230-249.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. y Tindle, A.G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretations of the granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25: 956-983.
- Pecerillo, A. y Taylor, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene cal-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58: 63-81.
- Pöthe de Baldis, E.D. 1975. [Examen palinológico de muestras de Cerro Puntudo, Hoja 40c, Comallo. Informe 629, *Servicio Geológico Nacional*, Buenos Aires, Inédito]. En: Nullo, 1979.
- Ravazzoli, I. y Sesana, F.L. 1977. Descripción Geológica de la Hoja 41c, Río Chico, Provincia de Río Negro. *Servicio Geológico Nacional*, Buenos Aires, Boletín 148, 78 pp.
- Sesana, F. 1968. Rasgos petrológicos de la comarca de Río Chico, Río Negro. *Terceiras Jornadas Geológicas Argentinas*, Actas 3: 99-107.
- Schiama, M. y Llambías, E.J. 2007. New ages on Lower Jurassic volcanism in the Dorsal de Huincul, Neuquén. *III Simposio Argentino del Jurásico*, Mendoza, Resúmenes: 74.
- Spalletti, L.A., Franzese, J.R., Morel, E., D'Elia, L., Zúñiga, A. y Fanning C.M. 2010. Consideraciones acerca de la sedimentología, paleobotánica y geocronología de la Formación Piedra del Águila (Jurásico Inferior, Neuquén, República Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 66: 305-313.
- Stipanovic, P.N. 1967. Consideraciones sobre las edades de algunas fases magmáticas del Neopaleozoico y Mesozoico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 22: 101-133.
- Sun, S.S. y McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. En: Saunders, A.D. y Norry, M.J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basin*. *Geological Society of London Special Publication*, 42: 313-345.
- Thompson, R.N. 1982. British Tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology*, 18: 49-107.
- Volkheimer, W. 1964. Estratigrafía de la zona extrandinas del Departamento de Cushamen (Chubut) entre los papalelos 42° y 42°30' y los meridianos 70° y 71°. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 19: 85-107.
- Winchester, J.A. y Floyd, P.A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20: 325-343.
- Zavattieri, A.M., Volkheimer, W. y Rosenfeld, U. 1994. Palynology and facies of the Late Triassic of Comallo (Northern Patagonia, Argentina). *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*, Teil I: 133-154.

**Recibido:** 14 de octubre de 2011

**Aceptado:** 15 de diciembre de 2011