

CARACTERIZACIÓN PETROLÓGICA, GEOQUÍMICA Y ESTRUCTURAL DE DIQUES SUBVOLCÁNICOS Y SUS RELACIONES CON LA DEFORMACIÓN DE LA FAJA CORRIDA Y PLEGADA DEL AGRIO, PROVINCIA DEL NEUQUÉN

Fernando LEBINSON¹, Martín TURIENZO¹, Cristina FRISICALE¹, Natalia SÁNCHEZ¹, Vanesa ARAUJO¹ y Luis DIMIERI¹

¹ INGEOSUR-CONICET, Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. E-mail: fernando.lebinson@uns.edu.ar

RESUMEN

Se estudió la petrología, geoquímica y estructura de los diques subvolcánicos Pitrén distribuidos en el extremo septentrional de la faja corrida y plegada del Agrio que no han sido analizados previamente y se consideraron sus posibles mecanismos de emplazamiento en relación con los procesos de deformación andina. Estos cuerpos ígneos se disponen de manera segmentada con una orientación NE-SO (049°), y son oblicuos a las estructuras principales de orientación NNO-SSE de la faja del Agrio. Los diques están compuestos por rocas andesíticas y andesíticas-basálticas de ambiente de arco con anomalías negativas de Nb, Ta y Ti. Los valores altos de Zr y moderados de Ti permitieron diferenciar a los diques Pitrén de las rocas ígneas de regiones aledañas. A partir de estudios de fracturas de mesoescala, lineamientos y pliegues se determinó que la orientación del esfuerzo máximo compresivo de la región tiene una dirección principal OSO-ENE. Tanto los lineamientos como las fracturas de cizalla dextrales tienen la misma orientación NE-SO que los diques. Por lo cual, el emplazamiento de los diques se produciría a lo largo de estas estructuras oblicuas formadas durante la compresión andina.

Palabras claves: *Magmatismo; estructuras tectónicas; emplazamiento; Cuenca Neuquina*

ABSTRACT

Petrological, geochemical and structural characterization of subvolcanic dykes and their connections with the deformation of the Agrio fold and thrust belt, Neuquén Province

Petrology, geochemistry and structure as well as possible emplacement mechanisms in connection with the Andean deformation processes are studied for the first time for the Pitrén dykes located at the northern end of the Agrio fold and thrust belt. These igneous bodies crop out discontinuously along a NE-SW (049°) orientation, being oblique to the main NNW-SSE structures of the Agrio belt. These andesitic and andesitic-basaltic dykes have volcanic arc signatures as indicated by negative anomalies of Nb, Ta and Ti. High Zr and moderate Ti allow to distinguish the Pitrén dykes from the surrounding igneous rocks. Structural analysis of meso-scale fractures, lineaments and folds indicates WSW-ENE regional orientation of the maximum compressive stress. Both lineaments and dextral shear fractures have the same NE-SW orientation that the dykes. Therefore the emplacement of the dykes would occur along these oblique structures formed during the Andean compression.

Keywords: *Magmatism; tectonic structures; emplacement; Neuquén Basin*

INTRODUCCIÓN

La faja corrida y plegada del Agrio (Ramos 1978), definida inicialmente por Bracciacini (1970) como fosa del Agrio, se encuentra localizada en la región centro-occidental de la Cuenca Neuquina. Esta región se ubica en la parte más oriental de la Cordillera de los Andes entre las latitudes 35° y 41°S y constituye una de las más importantes cuencas sedimentarias productoras

de hidrocarburos de Argentina.

A lo largo de las fajas corridas y plegadas de la Cuenca Neuquina se han registrado numerosos cuerpos ígneos (lacolitos, diques, filones capa, coladas) cuyas edades varían desde el Cretácico al Cuaternario (Kay *et al.* 2006). Estas rocas presentan en general una composición variable desde basáltica a riodacítica, formadas en un ambiente de arco y de retroarco, estas últimas en la región frontal del orógeno.

La edad de la deformación de este sector sur de los Andes Centrales ha sido discutida en las últimas décadas y el estudio de la interacción de diques con las estructuras tectónicas ha permitido delimitar posibles edades de deformación (Zamora Valcarce *et al.* 2006, Güerer *et al.* 2015). En diversos sectores a lo largo de los Andes se han encontrado evidencias que indican que el emplazamiento de algunos cuerpos ígneos cenozoicos está controlado por estructuras andinas bajo

regímenes compresivos. Algunas investigaciones señalan que los corrimientos actúan como canales de alimentación de cuerpos ígneos como por ejemplo el lacolito del cerro Palao Mahuida (Dimieri 1992) y el cuerpo de laguna Amarga (Araujo *et al.* 2013), ambos ubicados en la faja corrida y plegada de Malargüe (provincia de Mendoza), y también en el lacolito del cerro Caicayén (Lebinson *et al.* 2015a) en la faja corrida y plegada del Agrio. Del mismo modo, al norte de la localidad de Chos Malal Güer *et al.* (2015) estudiaron en el cerro Negro una serie de diques cuyo emplazamiento estaría relacionado con la formación de un anticlinal. Asimismo, Galland *et al.* (2007) sobre la base de datos estructurales, geocronológicos y experimentales interpretaron la formación del Volcán Tromen (al noreste de Chos Malal) en un contexto tectónico compresivo. Los mencionados estudios demuestran la dinámica vinculación entre la deformación y el magmatismo en ambientes tectónicos compresivos a lo largo de las fajas corridas y plegadas.

Este trabajo tiene como objetivo el estudio de una serie de diques subvolcánicos situados al suroeste de la localidad de Chos Malal (Fig. 1 a y b), en el ámbito de la faja corrida y plegada del Agrio, los cuales no han sido descritos anteriormente. A partir del análisis de las rocas muestreadas en el terreno se caracterizó la composición petrográfica y química de los diques para poder compararlos con el magmatismo de las regiones aledañas. Además, se analizó la distribución espacial de los diques en relación con las estructuras tectónicas del área para finalmente proponer un modelo de emplazamiento y evaluar el campo de esfuerzos al cual se encuentran asociados.

MARCO GEOLÓGICO

La Cuenca Neuquina presenta un registro sedimentario de más de 7000 metros de espesor que comprende desde el Triásico Superior hasta el Paleoceno, depositado sobre un basamento neopaleozoico-triásico (Fig. 2). Esta cuenca ha sido definida como una cuenca de retroarco (Ramos 1978, Vergani *et al.* 1995) rellena por una secuencia meso-cenozoica que incluye las principales rocas madres y reservorios que dieron origen a los yacimientos de hidrocarburos. Durante el Triásico Tardío la cuenca se inició rela-

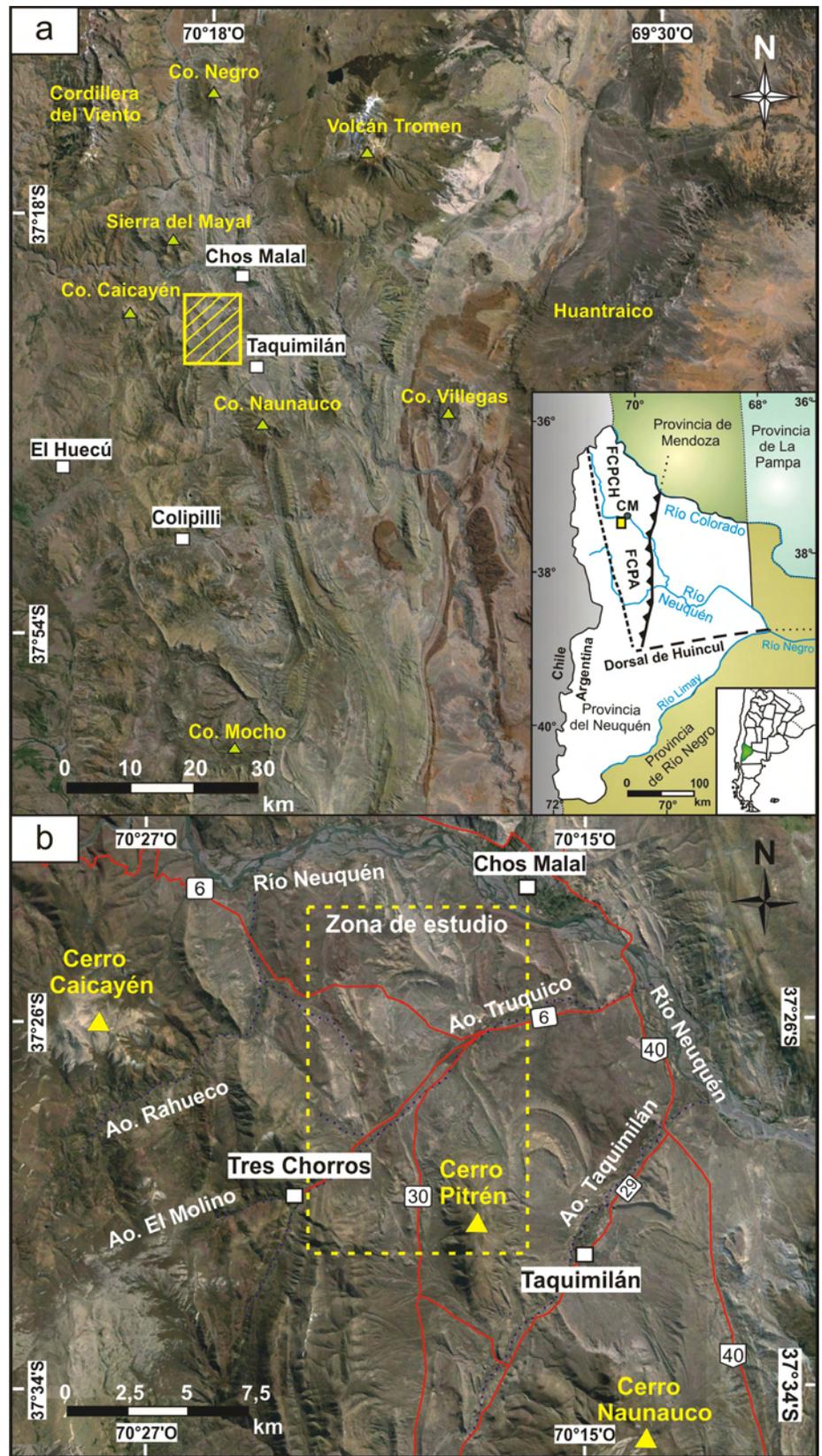


Figura 1: a) Localización regional del área de estudio donde se muestra un esquema regional de las fajas corridas y plegadas en la provincia del Neuquén. CM: Chos Malal; FCPC: faja corrida y plegada de Chos Malal; FCPA: faja corrida y plegada del Agrio; b) Imagen satelital de detalle de la zona de estudio.

cionada a un sistema de rift que dio origen principalmente a hemigrábenes (Vergani, *et al.* 1995, Franzese y Spalletti 2001). La extensión regional de la Cuenca Neuquina durante el Mesozoico temprano podría haber resultado de una lenta subducción de la corteza oceánica por debajo del margen pacífico de Sudamérica (Digregorio y Uliana 1980). Posteriormente, como resultado de la deformación andina, la Cuenca Neuquina evolucionó a una cuenca de antepaís a partir del Cretácico Tardío (Ramos 1981). El basamento de la cuenca está formado por rocas meta-sedimentarias marinas y rocas volcánicas de edad paleozoica tardía del Grupo Andacollo (Zöllner y Amos 1973, Danieli *et al.* 2011) y por cuerpos intrusivos y rocas volcánicas-volcanoclásticas del Grupo Choiyoi de edad permotriásica (Llam-bías *et al.* 2007), aflorantes en la región de la Cordillera del Viento. Sobre este basamento, durante el Triásico se depositó el ciclo Precuyano integrado por las Formaciones Cordillera del Viento, Milla Michicó y La Primavera (Leanza *et al.* 2013), consideradas como depósitos de sin-rift (Legarreta y Gulisano 1989, Vergani *et al.* 1995). Desde el Jurásico Temprano hasta el fin del Cretácico Temprano, la sedimentación en la Cuenca Neuquina estuvo asociada a numerosos ciclos marinos transgresivos-regresivos desarrollados en una cuenca de retroarco (Vergani *et al.* 1995). La primera inundación marina se produjo durante el Pliensbaquiano-Calloviano depositándose las sedimentitas del Grupo Cuyo (Fig. 2), integrado en el área de estudio por las Formaciones Los Molles y Tábanos expuestas al sur del cerro Caicayén. Un segundo ciclo de sedimentación tuvo lugar durante el Calloviano y Oxfordiano, en el cual se depositaron las Formaciones Lotena, La Manga y Auquilco del Grupo Lotena. Entre el Jurásico Tardío y el Cretácico Temprano, se acumularon las sedimentitas del Grupo Mendoza, constituido por las Formaciones Tordillo, Vaca Muerta, Mulichinco y Agrio. Para los tiempos del Barremiano-Aptiano la Cuenca Neuquina inicia su desconexión con el océano Pacífico comenzando así una gradual continentalización de la cuenca representada por las Formaciones Huitrín y Rayoso que integran el Grupo Bajada del Agrio. A fines del Cretácico Tardío, se depositó el Grupo Neuquén, discordantemente sobre el Grupo Bajada del Agrio, vinculado

ERA	PERÍODO	FORMACIÓN	GRUPO	TECTÓNICA	
Cenoicoico	Cuaternario	Depósitos coluviales y fluviales modernos		Orogenia Andina ↓ Deformación en la FCP del Agrio ↓ Subsistencia termal ↓ Cuenca Neuquina ↓ Extensión ↓ Fase diastrófica San Rafael	
		Tromen - Tilhué			
		Pampa Encima			
	Neógeno	Rincón Bayo			
		Chos Malal - Tralalhué			
	Paleógeno	Cretácico Superior	Cayanta		Malargüe
			Colipilli		
			Pircala		
		Roca			
Loncoche					
Río Colorado		Neuquén			
Río Neuquén					
Río Limay					
Cretácico Inferior		Rayoso	Bajada del Agrio		
		Salina			
	La Tosca				
	Troncoso	Huitrín			
	Agua de la Mula	Agrio			
	Avilé				
	Pilmatué				
Mulichinco	Mendoza				
Vaca Muerta					
Mesozoico	Jurásico Superior	Tordillo	Lotena		
		Auquilco			
		La Manga			
		Lotena			
	Jurásico Medio	Tábanos	Cuyo		
		Los Molles			
	Jurásico Inferior	Chachil	Ciclo Precuyano		
		La Primavera			
	Triásico	Med. Sup.	Milla Michicó		
		Med.	Cordillera del Viento		
Inf.					
Paleozoico	Pérmico	La Premio	Choiyoi		
		Granito Huingancó			
	Carbónico	Huaraco	Andacollo		
		Arroyo del Torreón			

Figura 2: Cuadro estratigráfico de la Cuenca Neuquina en la región de estudio (basado en Gulisano y Gutiérrez Pleimling 1995, Leanza *et al.* 2006; 2013).

al inicio de la fase de antepaís de la Cuenca Neuquina y en respuesta a una tectónica compresional sobre el margen andino (Ramos 1981).

En discordancia con la Formación Rayoso, en una estructura sinclinal ubicada en la región del arroyo Truquico, aflora una secuencia de sedimentitas continentales neógenas en la que se destaca la Formación Chos Malal. Esta unidad fue interpretada por Cervera y Leanza (2009) como depósitos sinorogénicos correlacionables con el Conglomerado Tralalhué, definido por Ramos (1998) al oeste del Cerro Naunauco, al cual se le asignó una edad miocena media sobre la base de la presencia de un fósil de notoungulado (Repol *et al.* 2002).

Magmatismo en la faja corrida y plegada del Agrio

A lo largo de la evolución tectónica del orógeno, desde fines del Mesozoico hasta la actualidad, ocurrieron diversos eventos magmáticos que produjeron un importante

volumen de rocas ígneas. Entre el Cretácico Temprano y el Eoceno, se desarrolló en la región una actividad magmática evidenciada por los diques del cerro Mocho y el Grupo Naunauco (Zamora Valcarce 2007), cuyos afloramientos se encuentran en las áreas de Colipilli, Naunauco, Caicayén, Mayal y Andacollo.

Los diques del cerro Mocho se localizan en las proximidades del cerro homónimo (Fig. 1a) y corresponden a una serie de diques con rumbo E-O que cortan discordantemente a las estructuras tectónicas. La edad de estos cuerpos fue determinada mediante el método ⁴⁰Ar/³⁹Ar por Zamora Valcarce (2007) dando como resultado edades 101,9 ± 0,69 Ma y 91,97 ± 4,06 Ma, indicando un evento magmático cretácico temprano tardío. Por otra parte, el Grupo Naunauco incluye a la Formación Colipilli (Llambías y Rapela 1989) integrada por cuerpos intrusivos y facies extrusivas, y a la Formación Cayanta (Rapela y Llambías 1985) compuesta por coladas y brechas volcánicas. El

cerro Caicayén, ubicado al oeste de la zona de estudio (Fig. 1b), consiste en un cuerpo lacolítico principal rodeado por numerosos diques y flones capa de menor tamaño, que se encuentran emplazados en las rocas de los Grupos Cuyo, Lotena y Mendoza. La edad eocena del intrusivo fue determinada por Llambías y Rapela (1989) por el método ⁴⁰K/⁴⁰Ar en 44,7 ± 2,2 Ma. Hacia el noreste del cerro Caicayén, en la faja corrida y plegada de Chos Malal se encuentra el intrusivo de la sierra del Mayal (Fig. 1a) con edades ⁴⁰Ar/³⁹Ar en 39,7 ± 0,2 Ma (Cobbold y Rossello 2003). Otro cuerpo intrusivo de la Formación Colipilli, presente al sur de la zona de estudio, es el que aflora en el cerro Naunauco (Fig. 1b) cuya edad fue calculada por el método ⁴⁰Ar/³⁹Ar en 65,5 ± 0,46 Ma (Zamora Valcarce *et al.* 2006). Dentro de la Formación Colipilli, Zamora Valcarce (2007) de acuerdo a las características mineralógicas y geoquímicas, agrupó también a una serie de diques con orientación E-O localizados en el flanco oeste del sinclinal

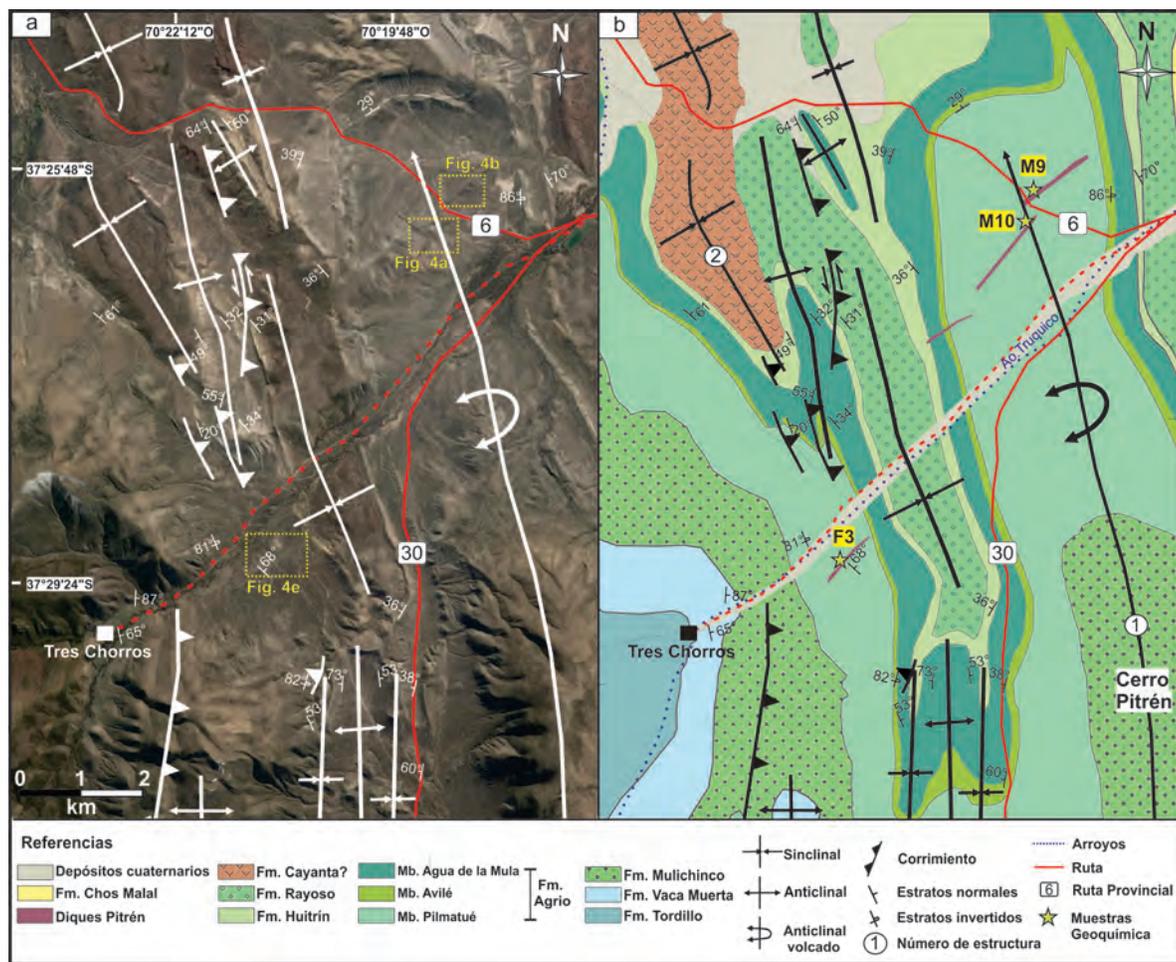


Figura 3: a-b) Mapa geológico de los afloramientos de los diques Pitrén y las estructuras del área. 1. Anticlinal Cerro Pitrén; 2. Sinclinal Rahueco.

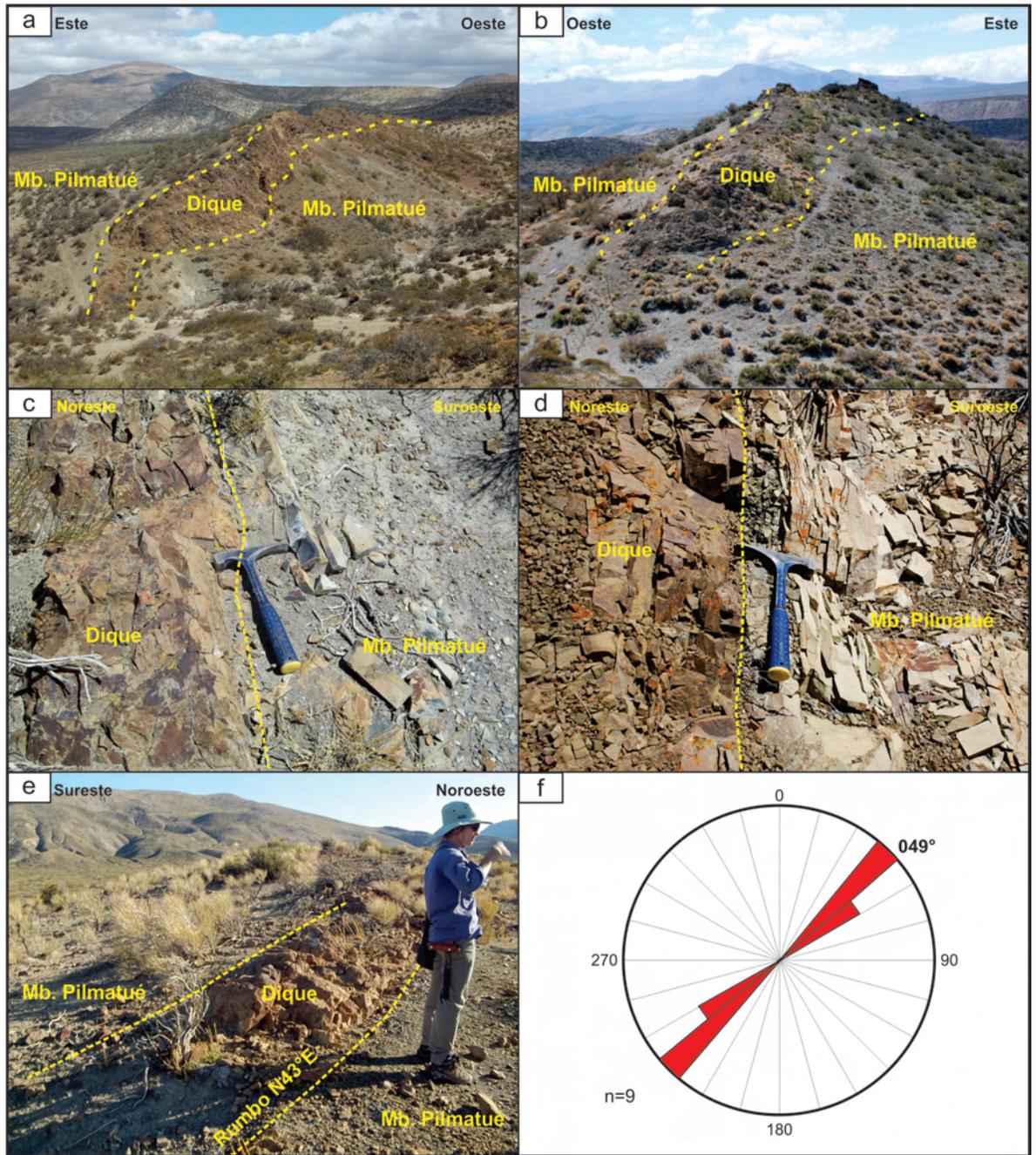


Figura 4: Afloramientos de los diques subvolcánicos Pitrén. a) Segmento al sur (Muestra M10); b) segmento al norte (Muestra M9) de la ruta 6 al norte del cerro Pitrén; c-d) Contacto intrusivo entre dique y pelitas del Miembro Pilmatué; e) Afloramiento de dique (Muestra F3) al noreste de Tres Chorros; f) Diagrama de rosas de las orientaciones de los diques Pitrén.

Colipilli.

Hacia el este del cerro Caicayén en el núcleo del sinclinal Rahueco se distinguieron brechas volcánicas y basaltos que cubren en discordancia angular a las Formaciones Huitrín y Rayoso (Fig. 3). Estas rocas volcánicas podrían ser correlacionables con las rocas de la Formación Cayanta, aunque por el momento no existen dataciones para confirmar dicha correlación.

De acuerdo a Ramos y Folguera (2005) el evento de deformación-magmático del Cretácico-Paleógeno, que dio lugar a las rocas

previamente descritas, se vincula con la migración del arco volcánico hasta la región de Colipilli como consecuencia de una somerización de la placa de Nazca.

Entre el Oligoceno y el Plioceno se desarrolló en la región de Huantraico un volcanismo de retroarco evidenciado por basaltos, andesitas y tobas (Ramos y Barbieri 1989). En esta región se destacan una serie de diques con disposición radial correspondientes a la Formación Desfiladero Negro (Ramos 1981). Esta unidad se compone de andesitas y basaltos que cortan discordan-

temente a las rocas mesozoicas y a las rocas volcánicas miocenas de la sierra Huantraico. Dos edades fueron determinadas en estos diques, 9 ± 1 Ma $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ en roca total (Ugarte 1976) y 25 ± 4 Ma $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en roca total (Kay 2001), siendo la primera la edad considerada más aceptable para estos diques por Garrido *et al.* (2012) sobre la base de relaciones estratigráficas. Además, hay evidencia de volcanismo de edad miocena al norte de la localidad de Chos Malal donde se halla el intrusivo andesítico del Cerro Negro (Fig. 1a) con edades $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $11,70 \pm 0,20$

en hornblenda (Kay *et al.* 2006) y U-Pb en circones de $11,63 \pm 0,20$ Ma, $11,58 \pm 0,18$ Ma y $11,55 \pm 0,06$ Ma (Gürer *et al.* 2015). Por último en el área de estudio, al este de la localidad de Chos Malal existen grandes extensiones de coladas basálticas y domos andesíticos-dacíticos plio-cuaternarios correspondientes al agrupamiento volcánico Tromen-Tilhué (Lambías *et al.* 2011), cuya composición, edad y contexto tectónico fue discutido por Galland *et al.* (2007) y no es objeto de análisis en el presente trabajo.

GEOLOGÍA DE LOS DIQUES

Al norte del cerro Pitrén y al noreste de la localidad de Tres Chorros se ubica una serie de diques de entre 2 y 5 m de espesor de rumbo NE-SO que en este trabajo denominamos diques Pitrén (Figs. 3 y 4). Los afloramientos de estos cuerpos se caracterizan por ser de tonalidades rojizas anaranjadas, con una aureola de contacto en la roca de caja de dimensiones reducidas de aproximadamente 10 cm (Figs. 4a - d). Macroscópicamente, en general, los diques muestran una textura homogénea y no presentan zonación lateral. Al norte del cerro Pitrén, se encuentran distribuidos tres diques a lo largo de 4 km en total, que cortan oblicuamente a la estructura anticlinal Cerro Pitrén intruyendo principalmente a las pelitas del Miembro Pilmatué de la Formación Agrio (Figs. 3 y 4). En este sector a lo largo de la ruta 6, dos de dichos diques se disponen subparalelos y están separados entre sí aproximadamente 200 m (Fig. 3). En dicha región cada uno de estos cuerpos mide entre 1300 y 1800 m de extensión, mientras que un tercer dique ubicado en el limbo occidental del anticlinal tiene una longitud de 900 metros.

Por otra parte, a 3 km aproximadamente en dirección noreste desde Tres Chorros, se registró otro dique similar a los ubicados en el cerro Pitrén emplazado también en el Miembro Pilmatué (Fig. 4e). Este dique tiene un rumbo N43°E y tiene menor dimensión que los diques localizados al norte del cerro Pitrén, con una extensión de aproximadamente 800 metros. A lo largo de los afloramientos distribuidos en el cerro Pitrén y al este de Tres Chorros se midieron las orientaciones de los diques (Fig. 4f), y se graficaron en un diagrama de rosas dando como resultado un rumbo promedio NE-SO (049°).

Petrografía y geoquímica

Las rocas de los diques Pitrén muestran una textura que varía de equigranular de grano fino a porfírica. Las rocas con textura porfírica exhiben fenocristales de plagioclasa inmersos en una pasta de tonalidad parda amarillenta pilotáxica a intersertal (Figs. 5 a y b) donde los microlitos de plagioclasa (60%) se disponen sin orientación preferencial. Los fenocristales de plagioclasa son euhedrales a subhedrales de hasta 0,8 mm, presentan maclado polisintético y su composición según el método Michel-Levy es andesina. Tanto los fenocristales como los microlitos de plagioclasa están parcialmente alterados a calcita. En una muestra obtenida en la parte central del dique M9 (Fig. 3), el tamaño de los fenocristales de plagioclasa oscila entre 0,6 y 0,8 mm, mientras que cerca del contacto con las pelitas el tamaño de los mismos disminuye (< 0,5 mm) y la roca presenta mayor alteración. En las rocas con textura equigranular, las tablillas de plagioclasa (80%) son de mayor tamaño y los espacios entre las tablillas están ocupados por serpentina y minerales opacos. Tanto en las rocas de textura porfírica como equigranular, los minerales máficos no se han reconocido claramente debido a su intensa alteración a serpentina. En uno de estos diques (M9), se observaron posibles microfenocristales de piroxeno, identificados por su hábito cristalino basal octogonal, que se encuentran completamente reemplazados por serpentina (Fig. 5a). Asimismo, en otra muestra (M10), se identificaron algunas secciones basales rómbicas posiblemente de anfíbol, reemplazadas totalmente por calcita (Fig. 5b). En todas las rocas se reconoció la presencia de microfenocristales de cuarzo en muy bajas proporciones (<3%), dispuestos como cristales individuales, agregados y en forma intersticial.

Como minerales secundarios se identificaron serpentina, calcita, biotita y titanita. La calcita además se presenta en forma de venillas que atraviesan la roca y formando amígdalas. Estas últimas se observan en todas las muestras analizadas, particularmente en la muestra F3 donde son más abundantes y llegan a medir en algunos casos más de 2 mm. Las amígdalas de calcita presentan en sus bordes crecimientos de cristales de cuarzo y de minerales opacos, y algunas veces muestran un borde de

alteración (Figs. 5c y d). Una particularidad de uno de estos diques (M10) es que poseen fragmentos de rocas carbonáticas (posiblemente de calizas de la roca de caja) con bordes engolfados indicando corrosión por parte de la pasta de la roca ígnea (Figs. 5e y f).

Se efectuaron tres análisis geoquímicos en total correspondientes a los diques, dos en las muestras con texturas porfíricas (F3 y M10) y uno en las equigranulares (M9), con el fin de caracterizar la composición de dichas rocas (Cuadro 1). Los análisis químicos sobre roca total fueron realizados en el laboratorio AcmeLabs, Vancouver (Canadá), utilizando espectrometría de masa ICP-ES para la determinación de los elementos mayores y espectrometría de masa en plasma inductivamente acoplado (ICP-MS) para los elementos traza y tierras raras. A partir de que todas las muestras presentan concentraciones de LOI (perdida por ignición) por encima del 5 % debido a la fuerte alteración hidrotermal presentes en las mismas, las rocas se clasificaron con el diagrama de Winchester y Floyd (1977) que utiliza elementos considerados inmóviles (Zr, TiO₂, Nb, Y). De acuerdo a este diagrama todas las rocas corresponden al límite entre andesitas y andesitas-basaltos (Fig. 6a). En el caso de la muestra F3 (Cuadro 1), se puede observar un valor de sílice de 45%, menor al que poseen las rocas M9 y M10. Esta deficiencia en sílice estaría relacionada con el alto contenido en LOI (11,1 %) que tiene la muestra y no con variaciones composicionales originales de estas rocas. Este valor anómalo estaría vinculado a la gran proporción de carbonatos observados en la muestra de mano y en la sección petrográfica.

En el diagrama de Wood (1980), el cual divide a los basaltos en distintos ambientes tectónicos, las muestras de los diques se concentran en el campo de basaltos de arco volcánico (Fig. 6b).

La figura 6c muestra el diagrama de tierras raras (REE) normalizado a condrito (Sun y McDonough 1989), en el cual se observa un diseño con pendiente moderada para las tierras raras livianas evidenciando un enriquecimiento en las mismas (La/Yb>1) y un diseño subhorizontal de las tierras raras pesadas, coincidiendo con lo esperado para rocas calcoalcalinas de arco (Pearce 1982). Se registra una anomalía negativa en Eu en

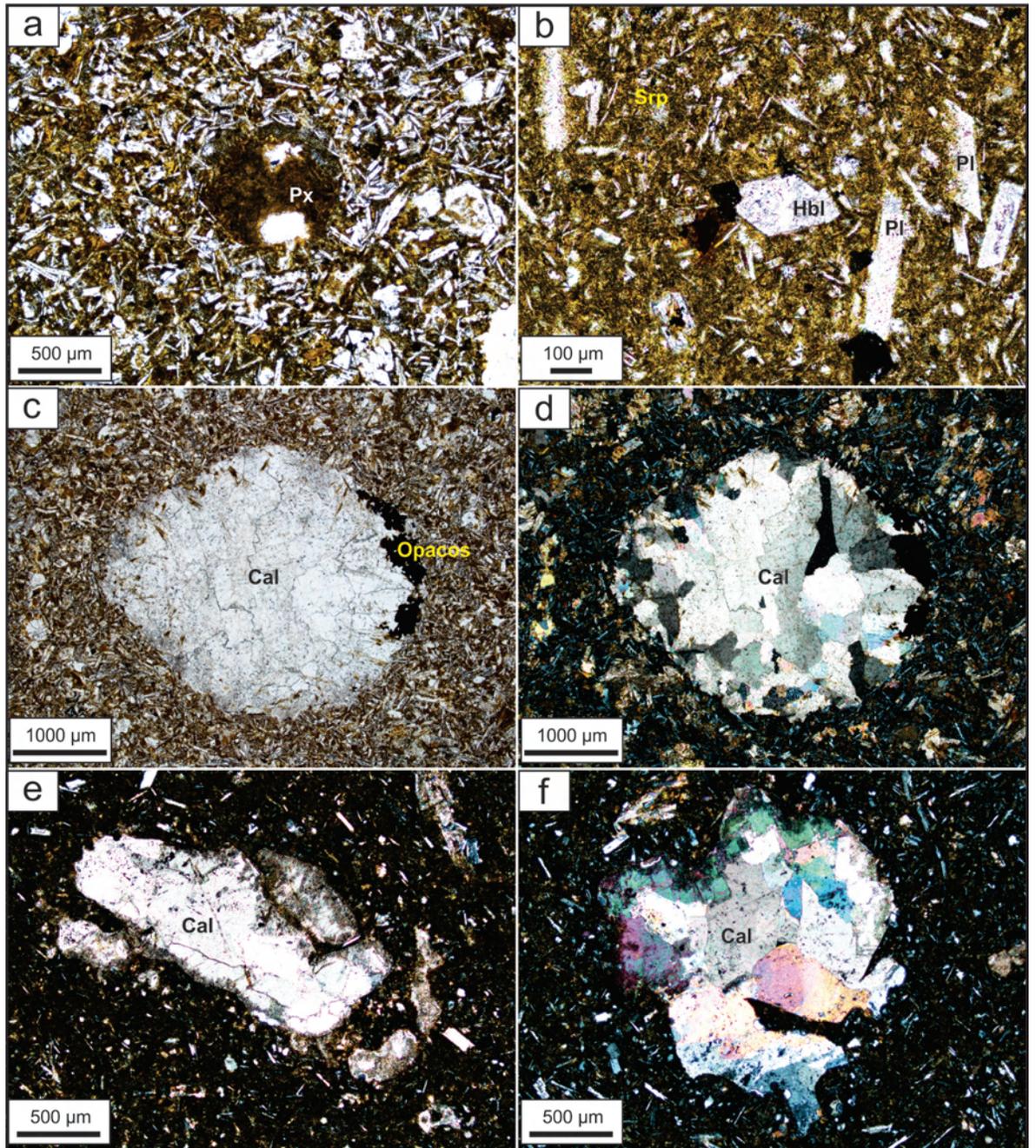


Figura 5: a- b) Textura porfirica de las muestras de los diques Pitrén con pasta pilotáxica a interstital donde se identificaron posibles microfocristales de piroxeno y anfíbol totalmente reemplazados (sin polarizador); c-d) Amígdala rellena de calcita (c: sin polarizador, d: con polarizadores cruzados); e-f) Fragmentos de caliza con evidencia de corrosión por la pasta de la roca ígnea (con polarizadores cruzados).

las tres muestras (Fig. 6c) cuantificada mediante la fórmula de Taylor y McLennan (1985) $Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N \times Gd_N)^{1/2}$, la cual arrojó valores que varían entre 0,54 y 0,68. Estas anomalías negativas de Eu se podrían atribuir a la eliminación de feldespato de la masa fundida por cristalización fraccionada o por la fusión parcial de una roca en donde el feldespato es retenido en la fuente (Rollinson 1993).

Además, en el diagrama multielemental (Fig. 6d) de las rocas estudiadas normaliza-

das a un Basalto de Dorsal Centro Oceánica (MORB: *Mid-ocean Ridge Basalt*) según los factores de normalización de Pearce (1983), se evidencia que las muestras presentan un patrón similar indicando una relación genética entre ellas. Las rocas analizadas muestran un enriquecimiento en los elementos K, Rb, Ba y Th, y un empobrecimiento en Ta, Nb y Ti, característico de rocas de ambiente de arco relacionado a zonas de subducción (Pearce 1982, Briquet *et al.* 1984).

ESTRUCTURA DEL ÁREA

El estilo estructural de este segmento de la faja plegada y corrida del Agrío se caracteriza por estructuras de primer orden que involucran al basamento en la deformación, y estructuras de diversos órdenes, con rumbos y vergencias variables, que afectan a las unidades mesozoicas de la Cuenca Neuquina (Minniti *et al.* 1986, Lebinson *et al.* 2015b). En el área de estudio se destaca el anticlinal Cerro Pitrén, con rumbo N-S a

NNO, de aproximadamente seis kilómetros de longitud de onda. La estructura tiene una vergencia oriental y en su núcleo aflora la Formación Mulichinco (Fig. 3). El limbo occidental del anticlinal Cerro Pitrén cerca de la ruta 6 buza 25°-35° SO y hacia el sur aumenta a 50°. Por otra parte, su flanco oriental tiene buzamientos muy altos en dirección E-NE e incluso invertidos. Hacia el oeste del cerro Pitrén se encuentra el sinclinal Rahueco cuyo núcleo está cubierto por coladas basálticas y brechas volcánicas levemente plegadas que cubren en discordancia al Grupo Bajada del Agrio. Entre el limbo oriental del sinclinal y el anticlinal Cerro Pitrén es posible observar anticlinales y sinclinales de 1 km de longitud de onda aproximadamente, que afectan a las Formaciones Agrio, Huitrín y Rayoso (Fig. 3).

A lo largo del área de estudio se midieron distintos juegos de fracturas de mesoescala con el fin de caracterizar la fracturación a nivel regional (Fig. 7). En total se distinguieron cuatro juegos de fracturas, los cuales se graficaron individualmente y se calculó la orientación promedio de cada uno. Los juegos de fracturas con orientaciones ENE-OSO (080°) y NNO-SSE (350°) se interpretaron como fracturas de extensión debido a que se reconocieron estructuras plumosas que comúnmente se encuentran rellenas por minerales. De acuerdo a la clasificación de fracturas asociadas a plegamiento de Twiss y Moores (2007), las fracturas perpendiculares a los ejes de los pliegues corresponden a fracturas tipo ac (ENE-OSO) mientras que las fracturas paralelas a los ejes serían fracturas tipo bc (NNO-SSE). Los otros dos juegos de fracturas tienen una orientación NO-SE (114°) y NE-SO (45°) (Fig. 7), y a partir de la presencia de estrías en algunos de los planos medidos, se interpretaron como fracturas conjugadas de cizalla. De acuerdo a las orientaciones promedio de cada uno de los cuatro juegos de fracturas se obtuvo que el esfuerzo máximo compresivo (paralelo a las fracturas ac) tiene una orientación OSO-ENE, coincidente con la orientación perpendicular a los ejes de los pliegues NNO-SSE. Sobre la base de la orientación del esfuerzo compresivo máximo, las fracturas NO-SE corresponden a un juego de fracturas de cizalla sinistral, mientras que las fracturas con orientaciones NE-SO serían de cizalla dextral (Fig. 7). Este análisis de fracturación regional per-

CUADRO 1: Resultados de los análisis químicos de los diques Pitrén.

Muestra	Diques Pitrén		
	M9	M10	F3
Elementos mayoritarios en % peso			
SiO ₂	52,07	53,08	45,13
Al ₂ O ₃	15,40	14,46	14,63
Fe ₂ O ₃	10,03	10,98	8,61
MgO	5,38	4,61	2,68
CaO	2,02	3,52	10,94
Na ₂ O	3,94	3,17	2,89
K ₂ O	2,30	2,05	1,69
TiO ₂	1,61	1,57	1,60
P ₂ O ₅	0,40	0,38	0,36
MnO	0,04	0,06	0,10
Cr ₂ O ₃	0,003	0,005	0,004
LOI	6,6	5,9	11,1
Total	99,78	99,77	99,76
Elementos trazas en ppm			
Ni	<20	<20	<20
Sc	33	32	32
Ba	382	393	379
Be	<1	2	<1
Co	20,5	21,5	43,0
Cs	0,8	2,1	0,4
Ga	17,6	16,4	19,1
Hf	6,4	6,2	5,9
Nb	8,6	8,8	8,4
Rb	51,6	58,8	32,7
Sn	3	3	4
Sr	88,7	149,2	465,4
Ta	0,6	0,5	0,7
Th	13,1	13,1	12,2
U	3,2	3,5	3,0
V	316	296	318
W	1,0	1,0	1,2
Zr	240,9	232,5	223,4
Y	37,8	38,8	40,5
La	27,6	27,8	28,4
Ce	64,6	63,9	61,3
Pr	7,94	7,83	7,43
Nd	33,6	32,8	30,6
Sm	7,40	7,44	6,90
Eu	1,33	1,66	1,63
Gd	7,30	7,46	7,62
Tb	1,16	1,20	1,19
Dy	6,95	6,91	7,17
Ho	1,37	1,41	1,50
Er	4,06	4,13	4,44
Tm	0,59	0,56	0,69
Yb	3,89	3,76	4,51
Lu	0,60	0,60	0,68
TOT/C	0,24	0,50	1,86
TOT/S	0,13	0,05	0,05

Figura 6: a) Diagrama Zr/TiO_2 vs. Nb/Y de Winchester y Floyd (1977) de las muestras de los diques Pitrén; b) Diagrama discriminador tectónico $Th-Hf/3-Ta$ de Wood (1980); c) Diagrama de tierras raras (REE) normalizado a condrito (Sun y McDonough 1989); d) Diagrama multielemental normalizado a Basalto de Dorsal Centro Oceánica (MORB: *Mid-ocean Ridge Basalt*) según el orden y los factores de normalización de Pearce (1983).

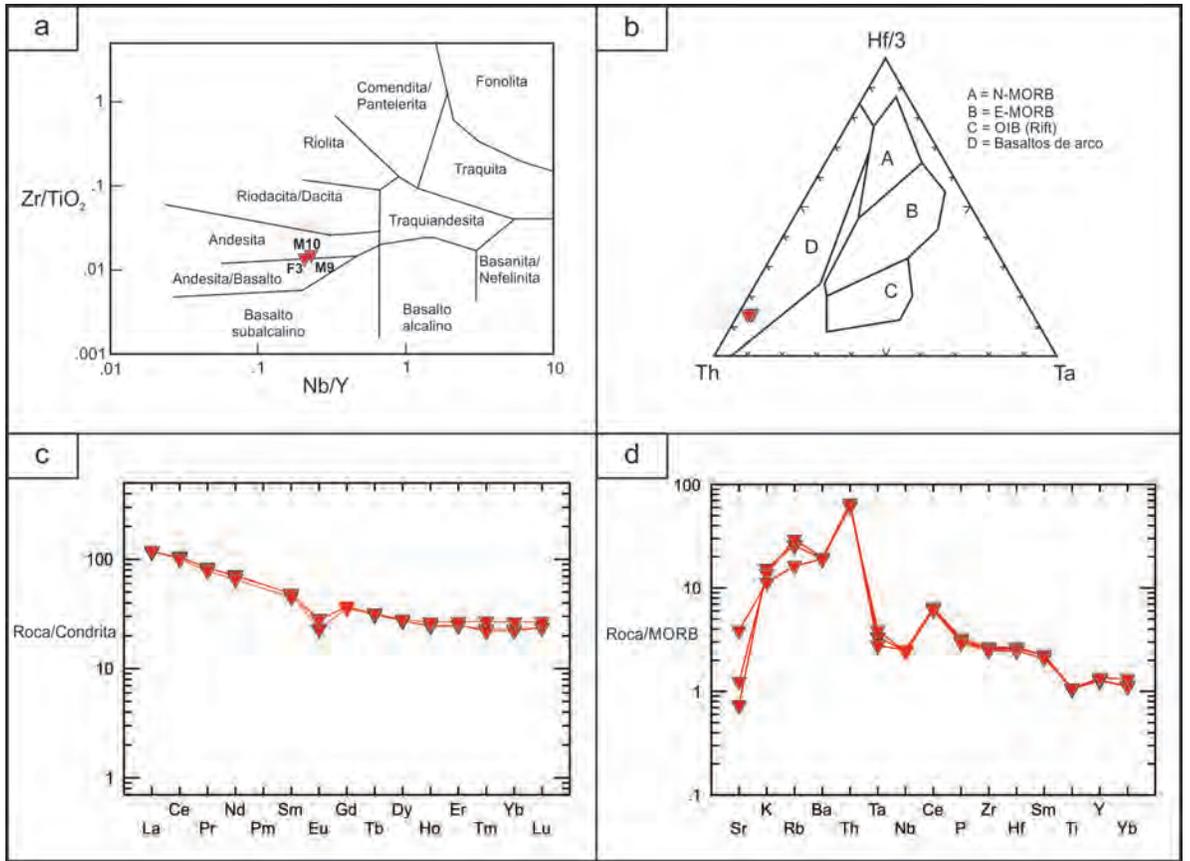
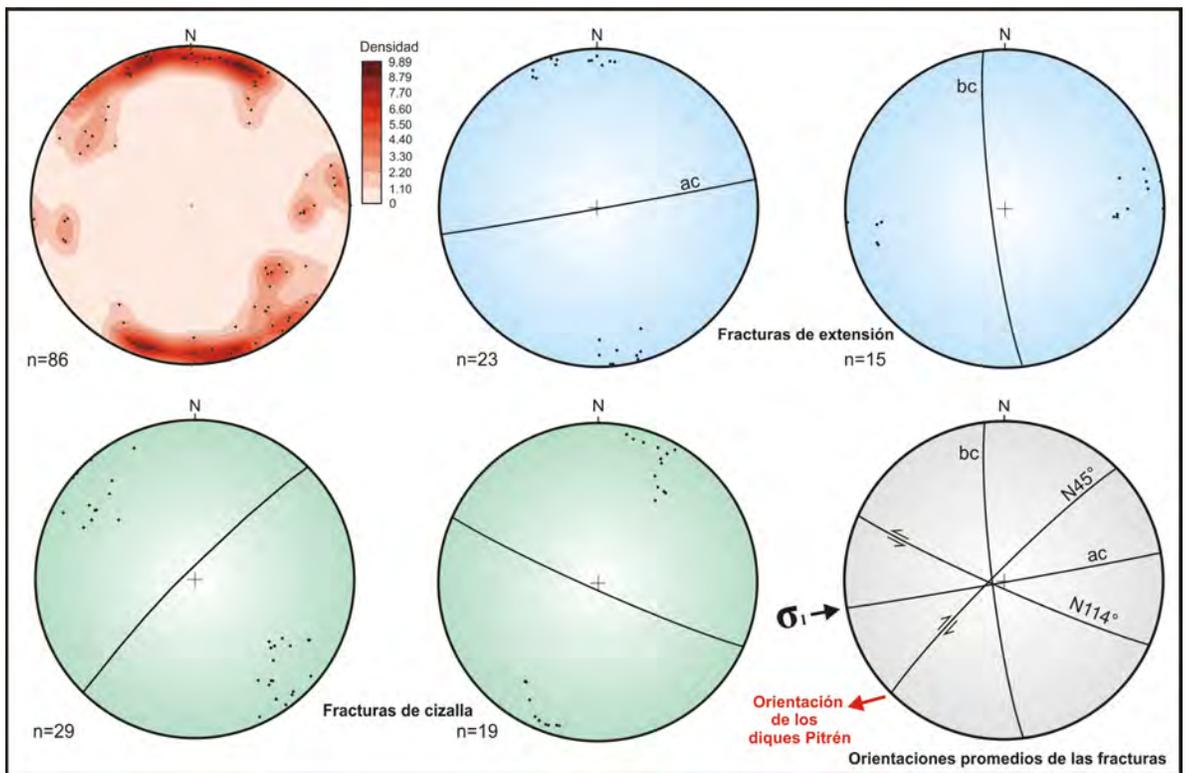


Figura 7: Proyecciones estereográficas de polos y planos con proyección en el hemisferio inferior de las mediciones de fracturas en distintos afloramientos que afectan a las rocas sedimentarias en la región de estudio. Se registraron cuatro juegos de fracturas principales, dos juegos correspondientes a fracturas de extensión (ac y bc) y dos juegos de fracturas de cizalla. Teniendo en cuenta las orientaciones de las fracturas, se determinó un esfuerzo máximo compresivo con orientación OSO-ENE.



mite reconocer que estas últimas fracturas de orientaciones NE-SO tienen la misma orientación que los diques Pitrén.

Por otra parte, en la zona de estudio se identificaron mediante fotointerpretación tres lineamientos regionales con rumbo aproximado NE-SO, ubicados a lo largo de los arroyos Rahueco, Truquico y Taquimilán (Fig. 8a). A lo largo de estos lineamientos es posible identificar desplazamientos con cinemática dextral de estructuras reconocibles en la imagen como por ejemplos en el limbo oriental del anticlinal Cerro Pitrén y en el eje del sinclinal Rahueco (Fig. 8a). Estos lineamientos corresponderían a fallas de rumbo que se habrían formado durante el estadio final de la deformación o posteriormente a la misma debido a que afectan a las estructuras tectónicas del anticlinal Cerro Pitrén y sus alrededores. Además, se observa que los diques Pitrén se encuentran distribuidos al sur y al norte del lineamiento que discurre a lo largo del arroyo Truquico (Lineamiento Truquico) y poseen una orientación subparalela al mismo (Fig. 8b). Tanto el lineamiento, como los ejes de pliegue NNO, y los sistemas de fracturas de mesoescala medidos, son consistentes con una dirección de acortamiento (σ_1) desde el OSO (Fig. 8c).

DISCUSIÓN

Comparaciones de los diques Pitrén con el magmatismo de la región

El magmatismo en el sector de la faja corrida y plegada del Agrio se distribuye en toda la región conformando lacolitos, filones capa, diques, brechas volcánicas y coladas. Considerando la petrografía, los análisis geoquímicos y la orientación, se puede interpretar que todos los diques comprendidos entre el cerro Pitrén y Tres Chorros provienen de una misma fuente magmática.

Con el fin de correlacionar geoquímicamente los diques Pitrén con el magmatismo de los alrededores se los comparó con los análisis de los diques en las áreas del cerro Mocho (Zamora Valcarce 2007), Colipilli (Zamora Valcarce 2007), cerro Negro (Gürer *et al.* 2015) y Huantraico (Kay *et al.* 2006, Dyrh *et al.* 2013).

El diagrama Th/Hf *versus* Ta/Hf (Fig. 9a) muestra la relación Th/Hf, la cual puede usarse como medida relativa de la componente de la fuente de origen asociada con

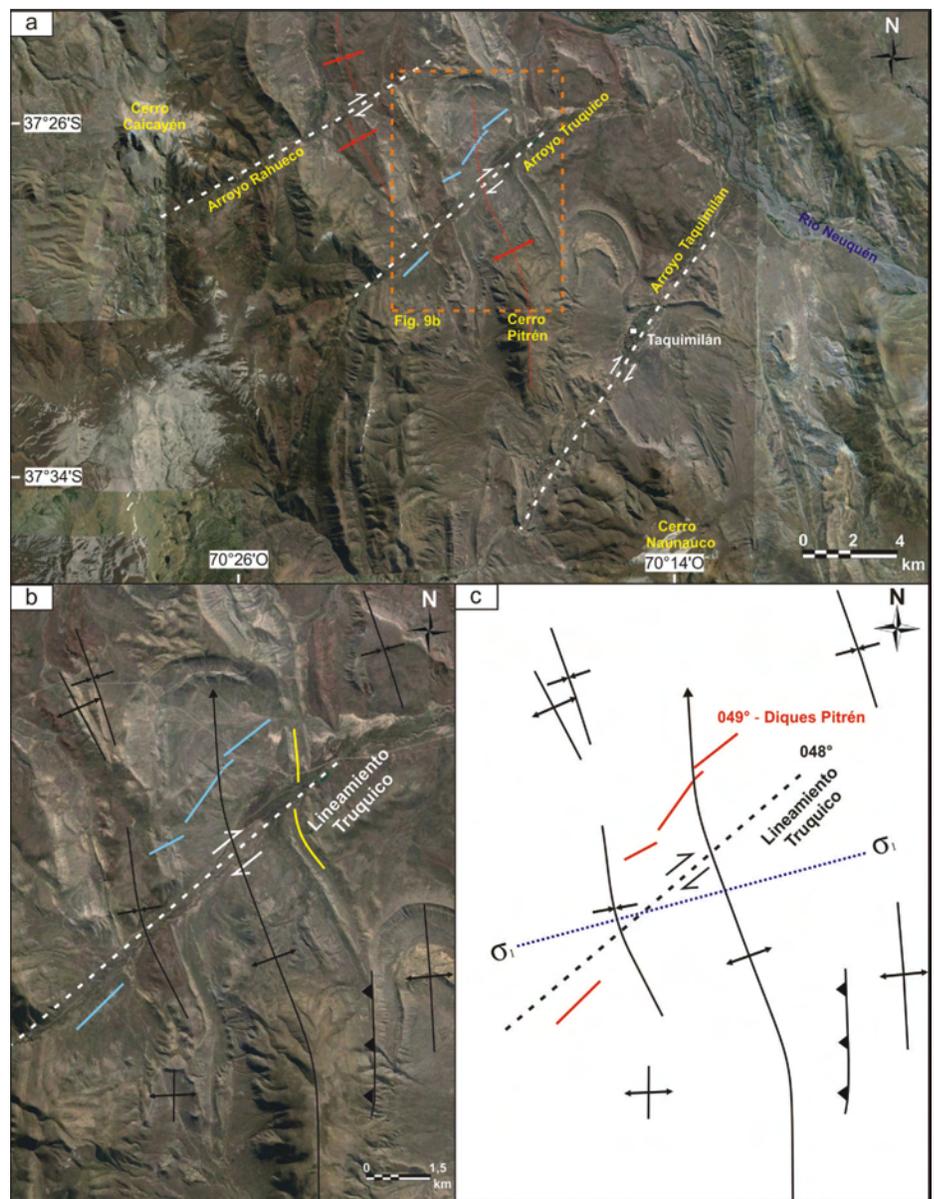


Figura 8: a) Ubicación en imagen satelital de los lineamientos regionales de orientación NE-SO; b-c) Imagen de detalle donde se observa la relación cinemática entre el lineamiento que corresponde a una falla de rumbo con cinemática dextral ubicado a lo largo del arroyo Truquico y los diques Pitrén con respecto al esfuerzo máximo compresivo del área.

la subducción de la placa oceánica, y también, la relación Ta/Hf, la cual se asocia a una medida relativa del enriquecimiento del manto. En dicho diagrama las muestras de los diques Pitrén, Colipilli y cerro Negro se encontrarían en el rango de rocas de arco volcánico debido a los altos valores de Th/Hf y bajos en Ta/Hf. Además, los diques del cerro Mocho presentan un empobrecimiento en ambas relaciones reflejando una transición entre MORB y rocas de arco volcánico (Zamora Valcarce 2007). Por otra parte, las muestras de los diques de Huantraico

tienen altas relaciones de Ta/Hf correspondiendo a rocas de retroarco, coincidiendo con lo expresado por Ramos y Barbieri (1988) y Kay *et al.* (2006).

Asimismo, se utilizó el diagrama de Hildreth y Moorbath (1988) en el cual se grafica la relación La/Sm, indicativa de la pendiente de las tierras raras livianas, *versus* la relación Sm/Yb, que refleja la pendiente de las tierras raras pesadas. En este diagrama (Fig. 9b), se observa que la mayoría de las rocas de los diques Pitrén, Colipilli y del cerro Negro habrían fraccionado piroxeno y an-

fibrol como minerales residuales en la fuente en equilibrio con el fundido de acuerdo a sus bajas relaciones Sm/Yb, mientras que los diques de Huantraico en general indican anfíbol residual en la fuente. Por otra parte, los diques cerro Mocho muestran una alta relación Sm/Yb, lo cual estarían reflejando un origen profundo para estos magmas, con granate como fase residual en la fuente, mineral en la cual el Yb es altamente compatible (Zamora Valcarce 2007).

Con el fin de comparar las rocas aflorantes en la faja corrida y plegada del Agrio se utilizó el diagrama discriminador tectónico Ti - Zr de Pearce y Cann (1973) (Fig. 9c) donde se muestran todas las rocas volcánicas del área estudiadas por Franchini *et al.* (2000), Zamora Valcarce (2007), Kay *et al.* (2006), Montero (2007), Mateo Fernández Caso *et al.* (2011), Dyrh *et al.* (2013) y Gürer (2015). Este diagrama fue utilizado para la región de Colipilli por Mateo Fernández Caso *et al.* (2011) donde les permitió discriminar distintos eventos magmáticos. En dicho diagrama se observan cuatro sectores de concentración de muestras (Fig. 10c). Con altas concentraciones de Ti y bajas en

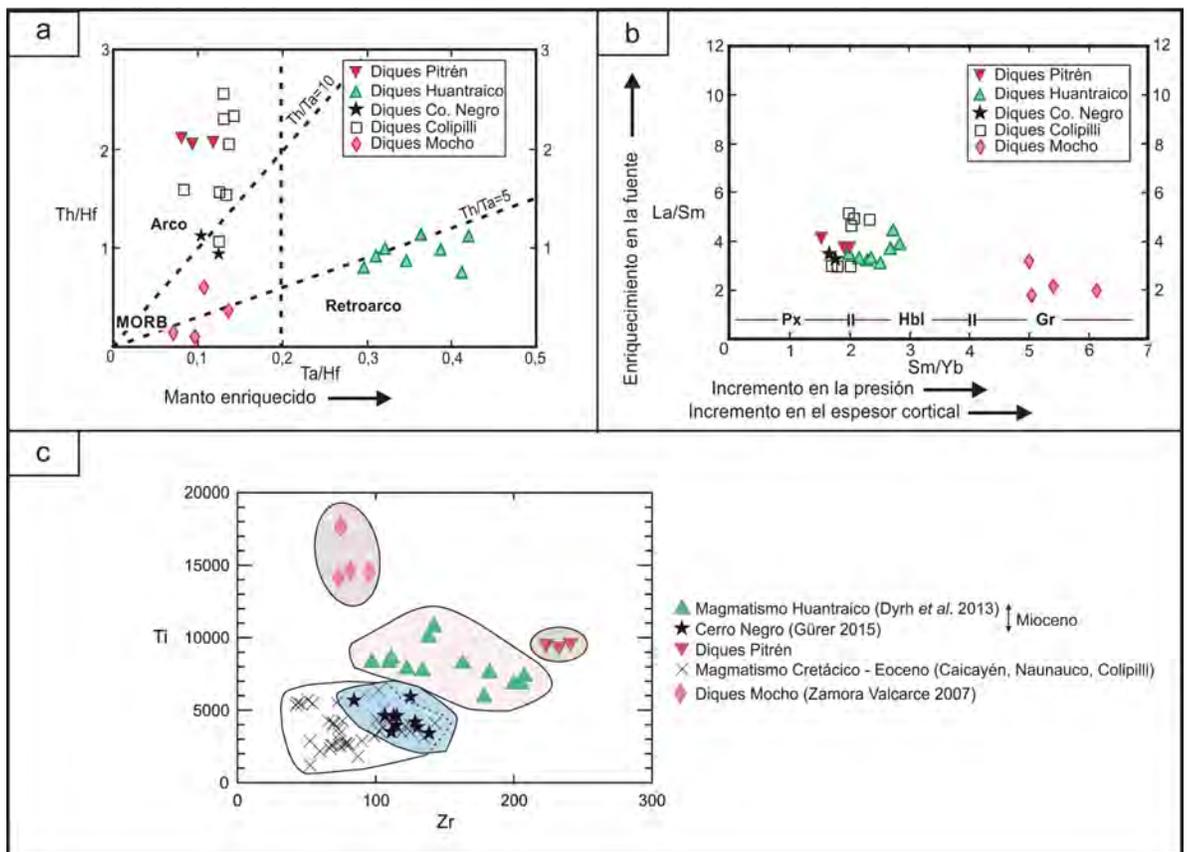
Zr se ubican los diques del cerro Mocho de edad cretácica. Por otra parte, las rocas de edad cretácica a eocena de las Formaciones Colipilli y Cayanta obtenidas por distintos autores, y las rocas miocenas del cerro Negro, tienden a concentrarse en una zona con valores bajos de Ti y moderados de Zr. Por último, se destacan los diques Pitrén, con concentraciones moderadas de Ti y altas en Zr, remarcando un magma con tendencia calco-alcalina. De acuerdo a este diagrama (Fig. 9c), se podría diferenciar los diques Pitrén de las rocas del Grupo Naunauco, de los diques cerro Mocho, y también del volcanismo mioceno de cerro Negro y Huantraico. Tanto en la figura 9c como en las figuras 9 a y b se observa que los diques Pitrén tienen características químicas diferentes a la de las otras expresiones magmáticas de la región y por lo tanto no es posible su correlación ni estimación de la edad por comparación.

Mecanismo de emplazamiento

En las últimas décadas, en el norte de la faja corrida y plegada neuquina se realizaron estudios con respecto al emplaza-

miento de diques volcánicos y bitumen, y las orientaciones de los esfuerzos asociados a la formación de los mismos. Guzmán *et al.* (2011) efectuaron un relevamiento de diques de bitumen y volcánicos en las sierras de la Cara Cura y de Reyes, donde indicaron que la orientación media de los diques de bitumen es 64,9°, mientras que la mayoría de los diques volcánicos tienen una orientación principal de 53,8° los cuales se habrían emplazados posteriormente a la deformación. No existen dataciones para dichos diques volcánicos, pero según Pomilio y Vila (2005) podrían ser de edad oligocena tardía-miocena. De acuerdo a la orientación y la posible edad de los diques, Guzmán *et al.* (2011) señalaron que no hubo cambios importantes en la dirección de esfuerzo horizontal máximo entre el Paleoceno y Mioceno. Asimismo, Cobbold *et al.* (1999) determinaron una orientación general de 060° para los diques de bitumen distribuidos en la faja corrida y plegada del Agrio. Dichos autores indicaron que esa orientación era compatible con la orientación de convergencia oblicua entre la placa Sudamericana y la placa de Nazca durante el Eoceno obtenida

Figura 9: a) Diagrama Th/Hf - Ta/Hf modificado de Kay *et al.* (2006); b) Diagrama La/Sm - Sm/Yb de Hildreth y Moor bath (1988), Px: piroxeno; Hbl: hornblenda; Gr: Granate; c) Diagrama Ti - Zr de Pearce y Cann (1973) donde se comparan todas las rocas de distintas composiciones y edades a lo largo de la faja corrida y plegada del Agrio. Los datos de los análisis geoquímicos fueron tomados de Franchini *et al.* (2000), Zamora Valcarce (2007), Kay *et al.* (2006), Montero (2007), Mateo Fernández Caso *et al.* (2011), Dyrh *et al.* (2013) y Gürer (2015).



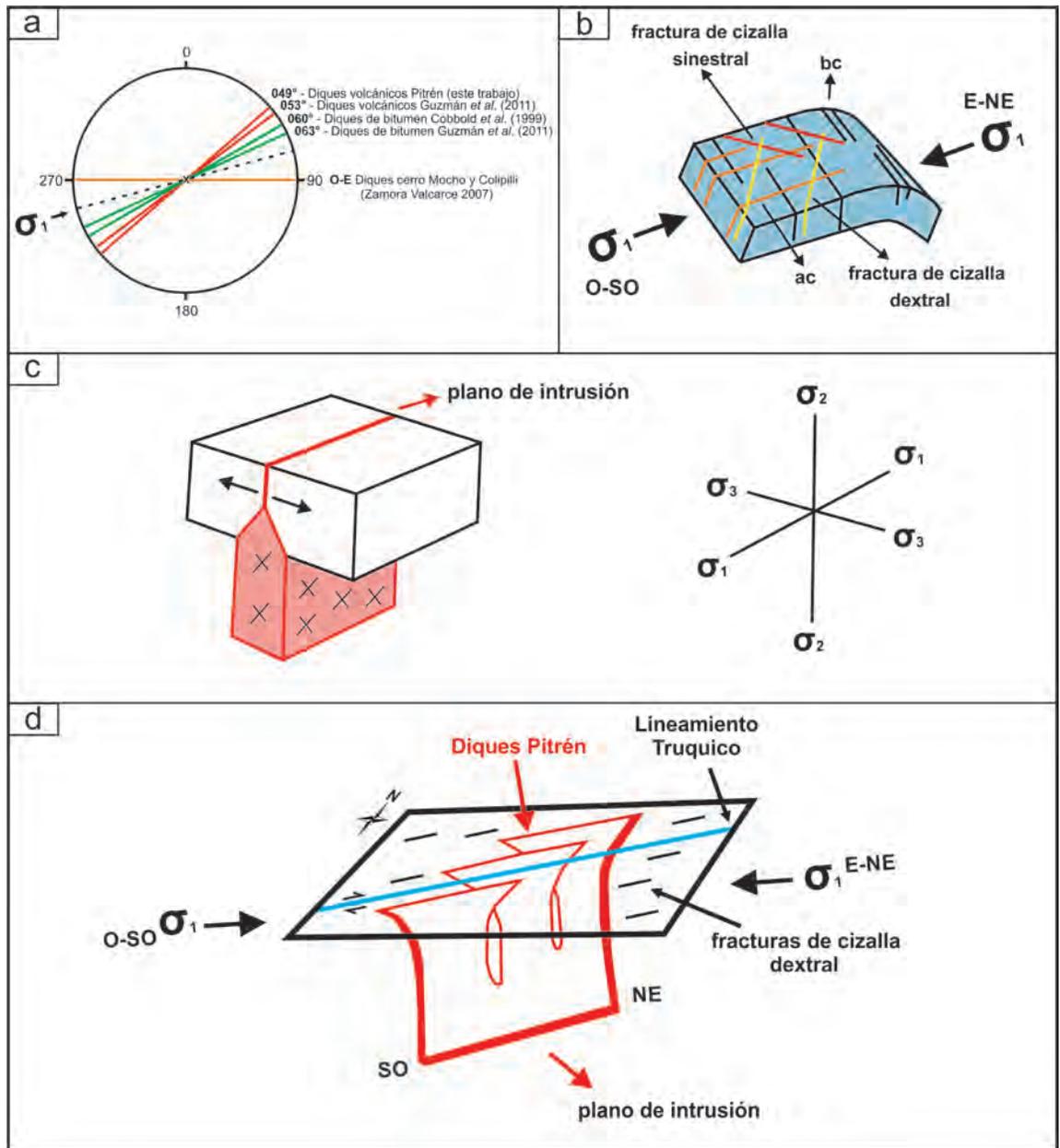


Figura 10: a) Proyección estereográfica de las orientaciones generales de los diques subvolcánicos y de bitumen en la faja corrida y plegada (Cobbold *et al.* 1999, Zamora Valcarce 2007 y Guzmán *et al.* 2011); b) Esquema ilustrativo de las fracturas asociadas al plegamiento del área de estudio basado en la clasificación de fracturas de Twiss y Moore (2007); c) Modelo de intrusión de un dique (modificado de Park 1983); d) Modelo de emplazamiento de los diques Pitrén. Los diques en profundidad corresponderían a un mismo plano de intrusión, donde el magma en su ascenso aprovecharía los planos de debilidad relacionados al lineamiento regional y a las fracturas oblicuas.

por Pardo-Casas y Molnar (1987) a partir de estudios paleomagnéticos. A partir de estas observaciones, Cobbold *et al.* (1999) interpretaron que esa orientación podría corresponder a la orientación de fracturación extensional durante el plegamiento de la región y que los diques de bitumen se habrían formado durante el Eoceno. Sin embargo, posteriormente, Cobbold *et al.* (2014) considerando nuevos datos determinaron que los diques de bitumen se formaron durante el Plioceno - Pleistoceno. Los datos de orientación de los diques volcánicos y de bitumen relevados por Guzmán *et al.* (2011), Cobbold *et al.* (1999) y Zamora Valcarce (2007) se proyectaron en una red estereográfica a fin de compararlos con la orientación de los diques Pitrén (Fig. 10a). También, se indica en la figura el esfuerzo máximo compresivo (075°) para el Neógeno (Pardo-Casas y Molnar 1987). Como resultado de comparar las distintas orientaciones se destaca que la orientación de los diques Pitrén, oblicua al esfuerzo máximo compresivo, coincide con los lineamientos regionales y con las fracturas de cizalla de cinemática dextral. La orientación promedio obtenida en los diques Pi-

trén (049°) se asemeja a la orientación de los diques volcánicos del estudio de Guzmán *et al.* (2011), pero la falta de dataciones y de datos geoquímicos impide correlacionar dichos cuerpos ígneos y conocer la edad de emplazamiento. Por otra parte, las fracturas medidas en la región de estudio permitieron obtener cuatro juegos de fracturas diferenciándose dos juegos de fracturas de extensión perpendiculares y paralelas al esfuerzo máximo compresivo (bc y ac respectivamente) y dos orientaciones de fracturas oblicuas interpretadas como juegos de cizalla conjugados.

trén (049°) se asemeja a la orientación de los diques volcánicos del estudio de Guzmán *et al.* (2011), pero la falta de dataciones y de datos geoquímicos impide correlacionar dichos cuerpos ígneos y conocer la edad de emplazamiento. Por otra parte, las fracturas medidas en la región de estudio permitieron obtener cuatro juegos de fracturas diferenciándose dos juegos de fracturas de extensión perpendiculares y paralelas al esfuerzo máximo compresivo (bc y ac respectivamente) y dos orientaciones de fracturas oblicuas interpretadas como juegos de cizalla conjugados.

El esfuerzo compresivo máximo a partir de las fracturas y de los ejes de pliegue de las estructuras tendría una orientación ENE-OSO (Fig. 10b). Este dato coincide con los resultados obtenidos por Cristallini *et al.* (2002) para la región del norte de la provincia del Neuquén donde determinaron a partir de estudios de fracturación una orientación de esfuerzo máximo compresivo de 072°. El juego de fracturas interpretado de cizalla dextral, tiene la misma orientación NE-SO que los diques Pitrén, conformando posibles zonas de debilidad para la intrusión de los cuerpos ígneos. Los diques volcánicos generalmente se emplazan en fracturas extensionales donde el esfuerzo mínimo compresivo es perpendicular al plano de intrusión del dique (Anderson 1951, Fig. 10c), pero sin embargo en cercanía a la superficie los diques también pueden estar controlados por planos de debilidad locales (Park 1983, Rubin 1995), como ejemplo fracturas de cizalla o fallas de rumbo (Spacapan *et al.* 2016).

Sobre la base de las características petrológicas, geoquímicas y estructurales previamente descritas se interpreta un modelo de emplazamiento en el cual los diques se encuentran asociados a un cuerpo ígneo en profundidad, y hacia niveles más superficiales los diques se orientan en segmentos controlados por los lineamientos NE-SO y las fracturas de cizalla dextrales asociadas al plegamiento de la región (Fig. 10d).

CONCLUSIONES

Los diques Pitrén, localizados en la región septentrional de la faja corrida y plegada del Agrio, consisten en una serie de cuerpos ígneos de rumbo NE-SO (049°) que cortan oblicuamente a las estructuras tectónicas del área. La petrología y la geoquímica de estos diques indican una composición andesítica-basáltica correspondiente a un ambiente de arco volcánico calco-alkalino relacionado a zonas de subducción. A su vez, las concentraciones de Ti y Zr permiten diferenciar a los diques Pitrén tanto de los diques cerro Mocho como del Grupo Naunauco (Formaciones Colipilli y Cayanta) y de las rocas miocenas del cerro Negro y Huantraico. Esto permitiría indicar un evento magmático diferente a las rocas de las regiones aledañas cuya edad todavía se desconoce. Los diques Pitrén se disponen de manera

oblicua respecto al rumbo general NNO de las principales fallas y pliegues que forman este segmento de la faja corrida y plegada. El estudio de fracturas a escala de afloramiento permitió identificar cuatro juegos principales de fracturas, incluyendo fracturas extensionales tipo ac de orientación ENE, extensionales tipo bc NNO, y dos juegos de cizalla conjugadas de orientación ONO y NE, todos consistentes con una dirección del máximo esfuerzo compresivo desde el OSO. El análisis de imágenes satelitales de la región permitió identificar tres lineamientos de orientación aproximada NE, que desplazan algunas estructuras de plegamiento y evidencian una cinemática dextral, coincidente con el juego NE (dextral) de fracturas de cizalla de mesoescala.

Teniendo en cuenta a la orientación NE de los diques Pitrén y el esfuerzo máximo compresivo ENE-OSO determinado a partir de las estructuras en esta región de la faja plegada y corrida del Agrio se propone un modelo de emplazamiento en el cual los diques se hallan controlados estructuralmente por el lineamiento Truquico y las fracturas de cizalla asociadas a la compresión andina.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado con el apoyo logístico y financiero del Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur y el INGEOSUR-CONICET, y financiado con fondos de PIP CONICET, PGI SECYT-UNS y PICT de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Se agradece especialmente a Gabriela Isabel Massaferrero y Ariel Ortiz Suárez por las revisiones que contribuyeron a mejorar este trabajo.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Anderson, E.M. 1951. The dynamics of faulting and dyke formation with applications to Britain. Oliver and Boyd, 206p, Edinburgh.

Araujo, V.S., Dimieri, L.V., Frisicale, M.C., Turienzo, M.M. y Sánchez, N.P. 2013. Emplazamiento del cuerpo subvolcánico Laguna Amarga y su relación con las estructuras tectónicas andinas, sur de la Provincia de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 70: 40-52.

Braccini, I.O. 1970. Rasgos tectónicos de las acumulaciones mesozoicas en las provincias de

Mendoza y Neuquén, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 25: 275-282.

Briqueu, L., Bougault, H. y Joron, J. L. 1984. Quantification of Nb, Ta, Ti and V anomalies in magmas associated with subduction zones: petrogenetic implications. *Earth and Planetary Science Letters* 68: 297-308.

Cervera, M. y Leanza, H.A. 2009. Hallazgo de sedimentitas sinorogénicas neógenas en los alrededores de Chos Malal, Cuenca Neuquina, Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales* 11: 15-22.

Cobbold, P. y Rossello, E. 2003. Aptian to recent compressional deformation, foothills of the Neuquén Basin Argentina. *Marine and Petroleum Geology* 20: 429-443.

Cobbold, P.R., Diraison, M. y Rossello, E.A. 1999. Bitumen Veins and Eocene Transpression, Neuquén Basin, Argentina. *Tectonophysics* 14: 423-442.

Cobbold, P.R., Ruffet, G., Leith, L., Loseth, H., Rodrigues, N., Leanza, H.A. y Zanella, A. 2014. Radial patterns of bitumen dykes around quaternary volcanoes, provinces of northern Neuquén and southernmost Mendoza, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 56: 454-467.

Cristallini, E.O., Bottesi, G., Pérez, D., Tomezzoli, R., Cómeron, R., Varadé, R., Vitulli, N., Bjarski, G., Pioli, O., Zardo, E., Olea, G., Cortés, L., Ramirez, J., Mallimaci, D., Vernales, G. y Grinberg, M. 2002. Fracturación regional en el norte de Neuquén y sur de Mendoza. 5° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Trabajos Técnicos, Actas en CD: 16 p., Buenos Aires.

Danieli, J.C., Coppolecchia, M. y Elisondo, M. 2011. El Grupo Andacollo (Paleozoico Tardío). En: Leanza, H.A., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J.C. y Vallés, J.M. (Eds.), *Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén*. Asociación Geológica Argentina, 49-62, Buenos Aires.

Digregorio, J.H. y Uliana, M. 1980. Cuenca Neuquina. En: Turner J.C. (ed.), 2° Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias 2: 985-1032, Córdoba.

Dimieri, L. 1992. Emplazamiento lacolítico a través de retrocorrimientos, cerro Palao Mahuida, Bardas Blancas, Mendoza. *Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Monografías* 8: 163-166.

Dyhr, C.T., Holm, P.M., Llambías, E.J. y Scherstén, A. 2013. Subduction controls on Miocene back-arc lavas from Sierra de Huantraico and

- La Matancilla, Argentina and new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating from the Mendoza Region, Argentina. *Lithos* 179: 67-83.
- Franchini M., Meinert L. y Montenegro T. 2000. Skarns related to porphyry-style mineralization at Caicayen Hill Neuquen, Argentina. Composition and evolution of hidrothermal fluids. *Economic Geology* 35: 1197-1213.
- Franzese, J.R. y Spalletti, L.A. 2001. Late Triassic-early Jurassic continental extension in southwestern Gondwana: tectonic segmentation and pre-break-up rifting. *Journal of South American Earth Sciences* 14: 257-270.
- Galland, O., Hallot, E., Cobbold, P.R., Ruffet, G., de Bremond d'Ars, J. 2007. Volcanism in a compressional Andean setting: A structural and geochronological study of Tromen volcano (Neuquén province, Argentina). *Tectonics* 26: 1-24.
- Garrido, A., Kramarz, A., Forasiepi, A. y Bond, M. 2012. Estratigrafía, mamíferos fósiles y edad de las secuencias volcanosedimentarias eoceno-miocenas de la sierra de Huantraico-sierra Negra y cerro Villegas (provincia del Neuquén, Argentina). *Andean Geology* 39: 482-510.
- Gulisano, C. y Gutiérrez Pleimling, A. 1995. The Jurassic of the Neuquén Basin, a) Neuquén Province. Secretaría de Minería de la Nación, Publicación 158, 111 p., Buenos Aires.
- Gürer, D. 2015. The structure and evolution of magmatic complexes in fold-and-thrust belts: a case study of Cerro Negro, Neuquén Province, Argentina. Tesis de Maestría, Universidad de Oslo (inédito), 115 p., Oslo.
- Gürer, D., Galland, O., Corfu, F., Leanza, H.A. y Sassi, C. 2015. Structure and evolution of volcanic plumbing systems in fold-and-thrust belts: A case study of the Cerro Negro de Tricao Malal, Neuquén Province, Argentina. *Geological Society of America Bulletin* 128: 315-331.
- Guzmán, C.G., Cristallini, E.O., García, V.H. y Bechis, F. 2011. Evolución del campo de esfuerzos horizontal desde el eoceno a la actualidad en la cuenca neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68: 542-554.
- Hildreth, W. y Moorbath, S. 1988. Crustal contributions to arc magmatism in the Andes of central Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 98: 455-489.
- Kay, S.M. 2001. Magmatic and tectonic setting of the Neuquén Basin, Argentina. Informe REP-SOL-YPF (inédito), 215 p.
- Kay, S.M., Burns, M. y Copeland, P. 2006. Upper Cretaceous to Holocene magmatism and evidence for transient Miocene shallowing of the Andean subduction zone under the northern Neuquén Basin. En: Kay, S.M. y Ramos, V.A. (eds.), *Evolution of an Andean Margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35-39°S)*. Geological Society of America, Special Paper 407: 19-60.
- Leanza, H.A., Repol, D., Hugo, C.A. y Sruoga, P. 2006. Hoja Geológica 3769-31 Chorriaca, provincia de Neuquén. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina a escala 1:100000. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Boletín 354: 1-93, Buenos Aires.
- Leanza, H.A., Mazzini, A., Corfu, F., Llambías, E.J., Svensen, H., Planke S. y Galland, O. 2013. The Chachil Limestone (Pliensbachian earliest Toarcian) Neuquén Basin, Argentina: U-Pb age calibration and its significance on the Early Jurassic evolution of southwestern Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences* 42: 171-185.
- Lebinson, F., Turienzo, M., Araujo, V., Sánchez, N. y Dimieri, L. 2015a. Control estructural en el emplazamiento de las rocas ígneas del cerro Caicayén, faja corrida y plegada del Agrio, Neuquén. 16 Reunión de Tectónica, Actas 138-139, General Roca.
- Lebinson, F., Turienzo, M., Sánchez, N., Araujo, V. y Dimieri, L. 2015b. Geometría y cinemática de las estructuras tectónicas en el extremo septentrional de la faja corrida y plegada del Agrio, Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 72: 299-313.
- Legarreta, L. y Gulisano, C. 1989. Análisis estratigráfico secuencial de la Cuenca Neuquina (Triásico superior-Terciario inferior). En: Chebli, G., Spalletti, L. (eds.), *Cuencas Sedimentarias Argentinas. Serie Correlación Geológica* 6: 221-243, Tucumán.
- Llambías, E.J. y Rapela, C.W. 1989. Las vulcanitas de Colipilli, Neuquén, y su relación con otras unidades paleógenas de la Cordillera. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 44: 224-236.
- Llambías, E., Leanza, H. y Carbone, O. 2007. Evolución tectono-magmática durante el Pérmico al Jurásico Temprano en Cordillera del Viento (37° 5' S - 37° 15' S): Nuevas Evidencias geológicas y geoquímicas del inicio de la Cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 62: 217-235.
- Llambías, E., Leanza, H. y Galland, O. 2011. Agrupamiento volcánico Tromen-Tilhue. En: Leanza, H., Arregui, C., Carbone, O., Danieli, J. y Vallés, J. (eds.), *Geología y Recursos Naturales de La Provincia de Neuquén*. Asociación Geológica Argentina, 627-636, Neuquén.
- Mateo Fernández Caso, M.P., Montero, D., Leal, P.R. y Ramos, A.V. 2011. Petrografía y geoquímica del magmatismo cretácico superior-eoceno en el área de Pichaihue, provincia de Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68: 173-184.
- Minniti, S., Gutiérrez Pleimling, A., Artega, M. y Pestalardo, F. 1986. Análisis estructural y estratigráfico de la Faja Plegada Neuquina a la latitud de 37°30', Departamentos de Ñorquinco y Pehuenches, provincia de Neuquén. Informe Gerencia General de Exploración (YPF), Subgerencia de Geología, Comisión Geológica 1, 64 p. (inédito).
- Montero D.G. 2007. Geología del sinclinal de Colipilli. Provincia de Neuquén. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires (inédito), 81 p., Buenos Aires.
- Pardo-Casas, F. y Molnar, P. 1987. Relative motion of the Nazca (Farallon) and South American plates since Late Cretaceous time. *Tectonics* 6: 233-248.
- Park, R.G. 1983. *Foundations of Structural Geology*. Blackie, 135 p., Glasgow.
- Pearce, J.A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. En: Thorpe, R.S. (ed.), *Andesites*. EDITORIAL, 525-548, Chichester.
- Pearce, J.A. 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. En: Hawkesworth, C.J. y Norry, M.J. (eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva Publishing Co., 230-250, Cheshire.
- Pearce, J.A., y Cann, J.R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth and Planetary Science Letter* 19: 290-300.
- Pomilio, A. y Vila, M. 2005. Review of igneous intrusives in the Ranquíl Norte Area, Neuquén Basin-southern Mendoza Province. 6° Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos, Trabajos Técnicos, Actas en CD, 14 p., Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1978. Estructura. En: Yrigoyen, M.R. (ed.), *Geología y Recursos Naturales del Neuquén*. Asociación Geológica Argentina, 7° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 99-118, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1981. Descripción geológica de la Hoja 33c, Los Chihuidos Norte. Boletín del Servicio Geológico Nacional 182, 103 p., Buenos Aires.
- Ramos, V.A. 1998. Estructura del sector occidental de la faja plegada y corrida del Agrio, cuenca Neuquina, Argentina. 10° Congreso Latinoamericano

- mericano de Geología, Actas 2: 105-110, Buenos Aires.
- Ramos, V.A. y Barbieri, M. 1989. El volcanismo cenozoico de Huantraico: Edad y relaciones isotópicas iniciales, provincia de Neuquén. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 43: 210-223.
- Ramos, V.A. y Folguera, A. 2005. Tectonic evolution of the Andes of Neuquén: Constraints derived from the magmatic arc and foreland deformation. En Spalletti, L., Veiga, G., Schwarz, E. y Howell, J. (eds.), *The Neuquén Basin: A case study in sequence stratigraphy and basin dynamics*. Geological Society, Special Publications 252: 15-35, London.
- Rapela, C.W. y Llambías, E.J. 1985. La secuencia andesítica terciaria de Andacollo, Neuquén, Argentina. 4° Congreso Geológico Chileno, Actas 4: 458-488, Antofagasta.
- Repol, D., Leanza, H.A., Sruoga, P. y Hugo, C.A. 2002. Evolución tectónica del Cenozoico de la comarca de Chorriaca, Provincia del Neuquén, Argentina. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas en CD, El Calafate.
- Rollinson, H. R. 1993. *Using Geochemical Data; Evaluation, Presentation, Interpretation*. EDITORIAL, 352 p., London.
- Rubin, A. M. 1995. Propagation of magma-filled crack. *Annual Review of Earth and Planetary Science* 23: 287- 336.
- Spacapan, J.B., Galland, O., Leanza, H.A. y Planke, S. 2016. Control of strike-slip fault on dyke emplacement and morphology. *Journal of the Geological Society* 173: 573-576.
- 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.), *Magma-tism in ocean basins*. Geological Society of London 42: 313-345, Londres.
- Taylor, S.R. y McLennan, S.M. 1985. *The Continental Crust; Its composition and evolution; an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks*. Blackwell, 312, Oxford.
- Twiss, R. y Moores, E. 2007. *Structural Geology*. W.H. Freeman and Company, 736 p. Nueva York.
- Ugarte, F.R.E. 1976. Teoría de la fracturación de un yacimiento fisurado de hidrocarburos (Aguada San Roque), Provincia del Neuquén. 6° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 307-317, Buenos Aires.
- Vergani, G.D., Tankard, A.J., Belotti, H.J. y Welsink, H.J. 1995. Tectonic evolution and paleogeography of the Neuquén Basin, Argentina. En: Tankard, A.J., Suarez Soruco, R. y Welsink, H.J. (eds.), *Petroleum Basins of South America*, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 383-402, Tulsa.
- 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.
- Wood D.A. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters* 50: 11-30.
- Zamora Valcarce, G. 2007. *Estructura y cinemática de la faja plegada del Agrio*. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédito), 304 p., Buenos Aires.
- Zamora Valcarce, G., Zapata, T., Delpino, D. y Ansa, A. 2006. Structural evolution and magmatic characteristics of the Agrio fold-and-thrust belt. En: Kay, S.M. y Ramos, V.A. (eds.), *Evolution of an Andean margin: A tectonic and magmatic view from the Andes to the Neuquén Basin (35°-39°S lat)*. Geological Society of America, Special Paper 407: 125-145, Nueva York.
- Zöllner, W. y Amos, A.J. 1973. Descripción geológica de la Hoja 32b, Chos Malal, provincia del Neuquén. *Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín* 143: 91 p., Buenos Aires.

Recibido: 3 de junio de 2016

Aceptado: 16 de noviembre de 2016