



El pórfiro de Alcaparrosa y su correlación con la sección inferior de la provincia magmática Choiyoi

Sonia, QUENARDELLE^{1,2}, Emma Beatriz¹, MAISONNAVE y Nora, RUBINSTEIN²

¹ Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Ciencias Geológicas, Buenos Aires.

² CONICET – Universidad de Buenos Aires, Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA), Buenos Aires.

Email: soniaquena@gmail.com

Editora: Carmen Martínez Dopico

Recibido: 2 de abril de 2020

Aceptado: 8 de junio de 2020

RESUMEN

El pórfiro de Alcaparrosa, situado en la Precordillera Occidental de San Juan (31° 17' 14" S y 69° 23' 43" O), constituye un pequeño cuerpo hipabisal (de aproximadamente 0.8 km²) de composición andesítica a dacítica y edad pérmica, con mineralización de Cu, Mo y metales base distribuida tanto en venillas como diseminada. Tanto en el intrusivo como en la roca de caja se detectó alteración potásica, filíca y propilítica penetrativa y en venas, lo que confirma que la mineralización corresponde a un sistema de tipo pórfiro. Los nuevos datos geoquímicos del cuerpo hipabisal muestran que el magmatismo precursor de la mineralización tiene características típicas de arco (magnesiano, calcoalcalino y metaluminoso) y se generó a profundidades relativamente someras. La comparación con rocas magmáticas de similar edad y características geoquímicas permite asignar al pórfiro de Alcaparrosa a la sección inferior de la provincia magmática Choiyoi.

Palabras clave: Sección inferior de Choiyoi, Gondwana SO, pórfiro Precordillera, Magmatismo pérmico.

ABSTRACT

The porphyry of Alcaparrosa and its relationship with the lower section of the Choiyoi magmatic province.

The porphyry of Alcaparrosa, located in the Western Precordillera of San Juan (31° 17' 14" S and 69° 23' 43" W), constitutes a small hypabyssal body (approximately 0.8 km²) of andesitic to dacitic composition and Permian age, with disseminated and in veins Cu, Mo, and base metals mineralization. Pervasive and in veins potassic, phyllic and propylitic alteration affecting the intrusive and the host rock confirms that the mineralization corresponds to a porphyry-type system. The new geochemical data of the hypabyssal body show that the magmatism precursor of mineralization has typical arc characteristics (magnesian, calc-alkaline and metaluminous) and was generated at relatively shallow depths. Comparison with magmatic rocks of similar age and geochemical characteristics allows including the Alcaparrosa porphyry in the lower section of the Choiyoi magmatic province.

Keywords: Lower section of Choiyoi, SW Gondwana, Precordillera porphyry, Permian magmatism.

INTRODUCCIÓN

El estudio del pórfiro de Alcaparrosa situado en la Precordillera Occidental de San Juan (31° 17' 14" S y 69° 23' 43" O) trae aparejado el análisis de la evolución magmática

permo-triásica de un amplio territorio vinculado con el margen andino de América del Sur. La evolución geodinámica de este margen continental se remonta a la del borde sudoccidental de Gondwana, en el que se distinguieron ciclos y pulsos magmáticos con períodos de calma magmática a los que

se atribuyen diversos significados tectónicos. Es por ello que se hace necesario tener en cuenta numerosos antecedentes para analizar la petrogénesis y el contexto geodinámico de este pequeño cuerpo magmático mineralizante vinculado con la provincia magmática Choiyoi (Kay et al. 1989, Llambías et al. 1993, Llambías 1999, Sato et al. 2015) que aflora en las cercanías de la localidad de Calingasta en la provincia de San Juan (Fig. 1).

Si bien se conocía la existencia de este cuerpo a partir de trabajos regionales y/o mineros (Quartino et al. 1971, Sillitoe 1977) dichos trabajos no incluyen una revisión petrológica de este magmatismo. Por este motivo en esta contribución se presenta la caracterización geoquímica del pórfiro de Alcaparrosa y se discute su significado petrológico a la luz de los modelos de evolución geodinámica propuestos (Llambías y Sato 1995, Kleiman y Japas 2009, del Rey et al. 2016). Para ello se analizarán los datos geoquímicos de otros afloramientos asignados a la provincia magmática Choiyoi y en particular a su sección inferior, con el objeto de confirmar la hipótesis de que el pórfiro de Alcaparrosa se corresponde con la sección inferior de la citada provincia magmática.

MARCO GEOLÓGICO GENERAL

Características y distribución regional de la provincia magmática Choiyoi

La provincia magmática Choiyoi se desarrolló en el borde sudoccidental del continente de Gondwana entre el Pérmico y el Triásico Tardío (Kay et al. 1989, Llambías et al. 1993, Llambías 1999, Kleiman y Japas 2009, Sato et al. 2015). Esta extensa provincia comprende afloramientos discontinuos de rocas plutónicas someras, volcánicas y piroclásticas, desde latitudes tan septentrionales como 20°S, en territorio chileno (Munizaga et al. 2008) y en territorio argentino desde los 23°S en la Puna (Poma et al. 2014) hasta aproximadamente los 42°S en el Macizo Nordpatagónico (Llambías y Rapela 1984, Rapela y Llambías 1985, Caminos et al. 1988, Pankhurst et al. 1992, Sato et al. 2015, Martínez Dopico et al. 2017 y 2019). No obstante, los mayores afloramientos ocurren en la Cordillera Frontal y en el Bloque de San Rafael y su prolongación hacia la región centro sudoccidental de Neuquén en Cordillera del Viento (Llambías 1999), donde representan los afloramientos del cinturón orogénico. En la región del antepaís, también se vinculan con este magmatismo los asomos localizados en la provincia de La Pampa (Bloques del Chadileuvú y Las Matras, Quenardelle y Llambías 1997, Llambías et al. 2003) y en la región de López Lecube (oeste de la provincia

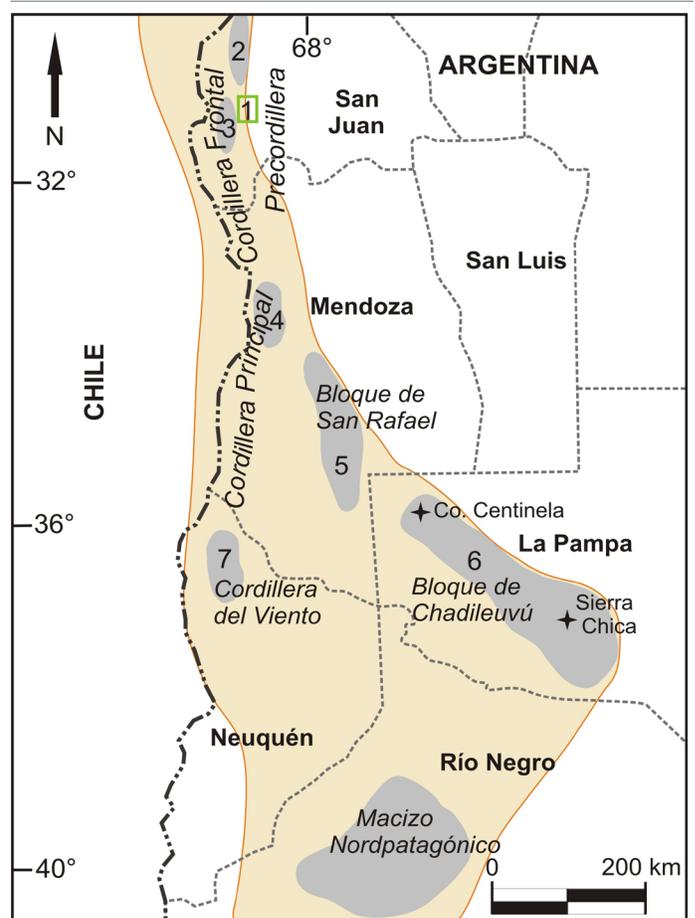


Figura 1: Esquema de distribución geológica de la provincia magmática de Choiyoi (en color naranja) y ubicación general de las litologías de la sección inferior consideradas (en color gris): 1. Pórfiro de Alcaparrosa en Precordillera (recuadro en verde, no a escala); 2. Cordón de Colangüil; 3. Formación. Vega de Los Machos; 4. Cordón del Portillo (Co. Punta Blanca). 5. Bloque de San Rafael (Grupo Cochicó); 6. Bloque del Chadileuvú (secciones Sierra Chica y Co. Centinela). Basado en esquemas de Llambías (1999) y Rocher et al. (2015).

de Buenos Aires, Gregori et al. 2003, Pankhurst et al. 2006).

En la región andina, Llambías y Sato (1990) trabajaron en el Batolito de Colangüil, donde reconocieron representantes plutónicos y volcánicos. Para los primeros identificaron dos tipos de composiciones, una granodiorítica y otra granítica. Asimismo, establecieron que la Granodiorita Las Piedritas es la unidad más antigua que representa la primera etapa vinculada con un ambiente de subducción y que el Granito Agua Blanca con su Plutón Chita, son los representantes del último estadio del magmatismo. Asimismo, Sato y Llambías (1993) reconocieron en las rocas volcánicas de dicha zona una sección inferior, de composición andesítica, y una superior, de composición riolítica. Estos autores consideraron a las rocas de la sección inferior como equivalentes efusivos de las granodioritas y a las de la sección superior como equivalentes efusivos de los granitos, aunque establecieron que unas no derivan de las otras. Dichos autores también reconocieron

que toda la actividad magmática ocurrió con posterioridad a la Fase Orogénica San Rafael por lo que consideran que se trata de un magmatismo postorogénico.

En líneas generales y teniendo en cuenta la gran extensión de la provincia magmática Choiyoi puede decirse que los representantes no intrusivos están conformados por rocas piroclásticas, flujos lávicos, intrusivos subvolcánicos y depósitos volcanoclásticos (Llambías 1999). El rango composicional de las rocas volcánicas es variable entre andesítico y traquiandesítico en sus partes basales o sección inferior y dacítico a riolítico en los términos más jóvenes o sección superior (Sato y Llambías 1993, Llambías 1999).

Algunos investigadores mencionan una tercera sección integrada por cuerpos intrusivos e hipabisales ácidos (Polanski 1958, Martínez y Giambiagi 2010, Rocher et al. 2015, Strazzere et al. 2016 entre otros) aunque en el análisis de este trabajo y luego de las publicaciones de datos geocronológicos más recientes, se tendrán en cuenta solamente dos secciones, una inferior y otra superior, separadas por las diferencias composicionales y siguiendo el esquema tradicional de Sato y Llambías (1993) ya que dicho esquema es lo suficientemente amplio para comprender todas las composiciones petrográficas encontradas.

En el extremo oriental de la Cordillera Frontal en San Juan, afloran rocas de la provincia magmática Choiyoi denominadas Grupo Choiyoi, representado por la Formación Vega de Los Machos (Caballé 1986), Formación El Palque (Caballé 1986) y Formación Horcajo (Mirrè 1966), citadas en orden cronológico. La primera está conformada por lavas andesíticas con intercalaciones de areniscas tobáceas, brechas volcánicas y depósitos de flujos piroclásticos y ha sido asimilada a la sección inferior del mencionado Grupo Choiyoi por Rocher et al. (2015). Dichos autores consideran que las formaciones El Palque y Horcajo, conformadas por riolitas y dacitas en facies lávicas y piroclásticas, son representantes de la sección superior.

Otros importantes afloramientos de la extensa provincia magmática Choiyoi se encuentran en la Cordillera Frontal de Mendoza (Gregori et al. 1996, Gregori y Benedini 2013) y el Bloque de San Rafael (Llambías et al. 1993, Kleiman 1999, Kleiman y Japas 2009). Asimismo, la influencia de la Fase Orogénica San Rafael ha sido objeto de consideración en las características impuestas sobre el magmatismo. Esto ha sido explicado por Heredia et al. (2002) en el sentido que la intrusión de algunos cuerpos someros habría sucedido hacia finales de la Fase Orogénica San Rafael o el inicio de la etapa extensional subsiguiente.

En el tramo de la Cordillera Frontal de Mendoza, Gregori

et al. (1996) reconocen varios cuerpos graníticos de la provincia magmática Choiyoi, tanto en el Cordón del Portillo como en el Cordón del Plata (Fig. 1, afloramiento indicado como 4). Gregori y Benedini (2013) analizan en particular los plutones que afloran en el área oriental del Cordón del Portillo. Allí distinguen, además, una potente secuencia de rocas volcánicas y piroclásticas a las que también asignan al Grupo Choiyoi. Asimismo, establecen que dicha secuencia es intruída por los *stocks* del Cordón del Portillo denominados Cerro Punta Blanca, Cerro Bayo y Cerro Punta Negra. El *stock* Cerro Punta Blanca es una granodiorita con abundante plagioclasa, cuarzo y feldespato alcalino subordinado. Sus máficos primarios son biotita y anfíbol, acompañados por apatita, circón, titanita y magnetita. Este cuerpo se considera representativo de la sección inferior del Choiyoi (Gregori y Benedini 2013).

El Bloque de San Rafael (Fig. 1) representa otra zona emblemática en la consideración de la provincia magmática Choiyoi. Allí este magmatismo está representado por el Grupo Cochicó (González Díaz 1972, Kleiman y Japas 2009) compuesto por una sucesión volcano-sedimentaria integrada por conglomerados, ignimbritas, areniscas, brechas volcánicas y flujos de lavas. La composición de estas rocas es mayoritariamente andesítica y dacítica. La edad de la base de la secuencia de este grupo es de 281.4 ± 2.5 Ma (U/Pb sobre circones, Rocha-Campos et al. 2011). No obstante, las ignimbritas están intruídas por algunos pequeños pórfiros como el de San Pedro con una edad de cristalización (U/Pb sobre circones) de 263.1 ± 4.2 Ma (Gómez et al. 2015). El Grupo Cochicó representa a la sección inferior del Choiyoi y su extensión es limitada teniendo en cuenta el gran volumen que representa a la sección superior en el Bloque de San Rafael. Esta sección, en general de composición más félsica, está conformada por las formaciones Agua de los Burros, Quebrada del Pimiento y Cerro Carrizalito (González Díaz 1972).

Otra de las zonas en donde se desarrolló la provincia magmática Choiyoi fue en parte del territorio de la provincia de La Pampa. Allí se extiende en los Bloques de Las Matras y del Chadileuvú (Fig. 1), donde las rocas magmáticas cubren en ligera discordancia a la Formación Carapacha (Melchor 1999, Tomezzoli et al. 2009). Si bien ambas secciones de la provincia magmática están representadas en esta zona, la sección inferior tiene una extensión mucho más acotada. Su composición es traquiandesítica y andesítica mientras que la sección superior es de composición riolítica de alta sílice (Llambías et al. 2003). Asimismo, en dicha zona la actividad volcánica y piroclástica se desarrolló en un ambiente de relativa estabilidad tectónica a diferencia de lo que ocurrió en la Cordillera Frontal y en el Bloque de San Rafael (Llambías et al. 2003).

Existen, además, varios depósitos minerales genéticamente vinculados con la provincia magmática Choiyoi, particularmente en la Cordillera Frontal y el Bloque de San Rafael. Estas mineralizaciones incluyen principalmente depósitos de tipo pórfiro que se asocian con la sección inferior de la provincia magmática Choiyoi (Rubinstein et al. 2004, Garrido et al. 2018, Torres et al. 2020, entre otros) y escasos sistemas epitermales de cuarzo-adularia relacionados a la sección superior (Mugas Lobos et al. 2018, Cócola et al. 2019, entre otros).

ENTORNO GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

El pórfiro de Alcaparrosa (Fig. 2) aflora en las proximidades de la localidad de Calingasta, donde las rocas más antiguas comprenden secuencias del Paleozoico inferior que representan un ambiente marino de talud, con secuencias turbidíticas e intercalaciones de lavas almohadilladas basálticas de edad ordovícica (Formación Alcaparrosa, Harrington y Leanza 1957). Por encima de la Formación Alcaparrosa y, en contacto tectónico, se encuentra la Formación Calingasta (Harrington y Leanza 1957) conformada por pelitas y lutitas de edad pre-devónica. A partir del Devónico, con la depositación de secuencias sedimentarias litorales marinas y continentales de las formaciones El Planchón, Codo, El Ratón y Del Salto, habría comenzado una somerización del ambiente (Quartino et al. 1971, Caballé 1986, Sessarego 1988). Dichas secuencias luego fueron afectadas por la Fase Orogénica San Rafael que produjo una discordancia angular regional (Llambías et al. 1993). Sobre ella se depositaron las facies lávicas y/o piroclásticas (Formación Vega de Los Machos, Caballé 1986) de la sección inferior de la provincia magmática Choiyoi y se intruyeron rocas subvolcánicas como por ejemplo el pórfiro de Alcaparrosa.

PÓRFIRO DE ALCAPARROSA

Este cuerpo fue descrito originalmente por Quartino et al. (1971), datado en primer término por Sillitoe (1977) quien obtuvo una edad de enfriamiento de 267 ± 4 Ma (K/Ar sobre biotita hidrotermal) y recientemente por Poole et al. (2020) en 279.6 ± 2.8 Ma por U/Pb sobre circones.

El cuerpo tiene forma globosa y orientación general NO, con longitud máxima aproximada de 1100 m y un ancho variable entre 750 m en su parte central y 350 m en sus extremos. Los afloramientos satelitales al asomo mayor continúan

hacia el sureste, aunque desconectados en superficie. En el terreno, la zona de contacto entre el pórfiro y la roca de caja no se presenta muy definida en toda su extensión, aunque en sectores se pueden apreciar contactos de tipo neto, con efectos de metamorfismo térmico apreciables microscópicamente como recristalización sobre las areniscas feldespáticas de la Formación Alcaparrosa. La estratigrafía de la región se completa con secuencias de depósitos continentales afines con el desarrollo del rift triásico que forman el Grupo Sorocayense (Mésigos 1953, Stipanovic 1979) y con volcanitas félsicas y depósitos epiclásticos del Neógeno (Mirré 1966, Caballé 1986, Espina et al. 1998, Heredia et al. 2002, Rocher et al. 2015). La cubierta más joven pertenece al Cuaternario y consta de depósitos de origen aluvial-fluvial ubicados en la gran depresión del valle de Calingasta (Caballé 1986, Espina et al. 1998).

Petrografía

Las rocas del pórfiro de Alcaparrosa poseen textura porfírica con alto contenido cristalino (aproximadamente 65% de fenocristales en volumen) y pasta de textura microgranosa hasta granosa fina. Los minerales que la componen son plagioclasa (oligoclasa - andesina), biotita, anfíbol cálcico

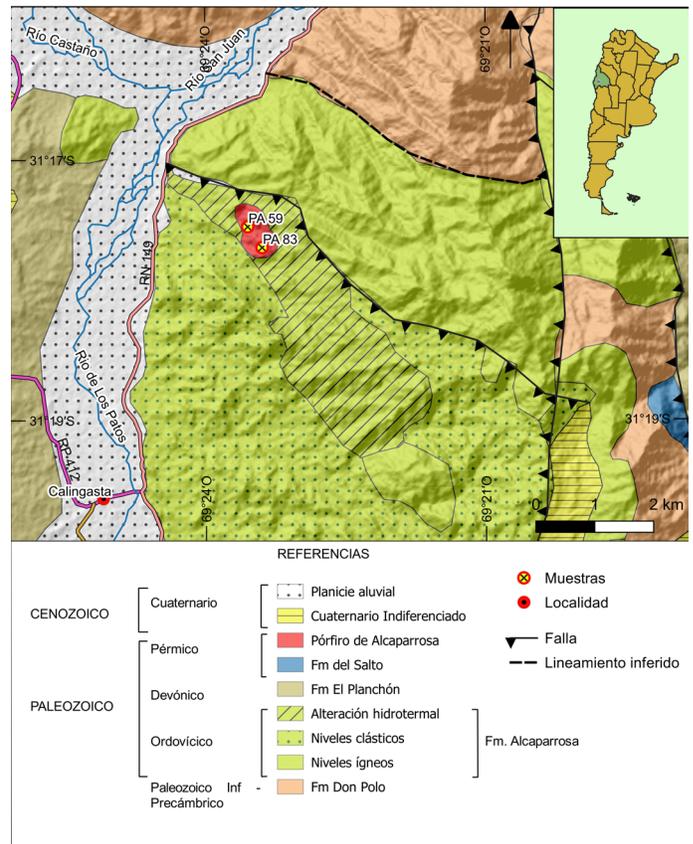


Figura 2: Mapa geológico de la zona del pórfiro de Alcaparrosa, modificado de Brodtkorb et al. (2015).

(hornblenda), feldespato alcalino y cuarzo. Como minerales accesorios menores se presentan apatita, circón, titanita y minerales opacos. Los fenocristales presentan buen desarrollo de su tamaño de grano llegando a los 5 mm sólo en algunos casos. Composicionalmente la roca se clasifica como dacita según la clasificación modal de la IUGS (Le Bas y Streckeisen 1991) y texturalmente como un pórfiro dacítico de emplazamiento hipabisal o muy somero.

Se detecta mineralización distribuida en venillas y también diseminada, tanto en el pórfiro como en la roca de caja. Los sulfuros primarios son piritita, calcopirita, pirrotina, esfalerita en dos generaciones, galena y escasa molibdenita y los minerales secundarios son calcosina, covelina y marcasita en ganga de cuarzo, carbonatos y escasa sílice amorfa (Belvideri y Rossa 1994). Los procesos de alteración detectados en el pórfiro y la caja circundante son alteración potásica, fílica y propilítica. La alteración potásica está presente dentro del cuerpo porfírico donde la alteración oblitera la textura original, reemplazándola por un mosaico cuarzo - feldespático con fuerte hematización y nidos de biotita. Asociadas a la alteración potásica se reconocen venillas de tipo A (Gustafson y Hunt 1975), de contornos irregulares compuestas por cuarzo y feldespato con participación de minerales opacos y venillas EB (Gustafson y Quiroga 1995). Éstas están compuestas por biotita y minerales opacos parcialmente oxidados (posiblemente magnetita) tanto en el pórfiro como en la roca de caja. La alteración fílica es escasa y está representada por venillas de tipo D (Gustafson y Hunt 1975) compuestas por piritita a las que se asocia piritita diseminada tanto en el pórfiro como en la roca de caja. La alteración propilítica solo se reconoce en el pórfiro y está representada por clorita y tremolita-actinolita que reemplazan a los fenocristales de anfíbol y también se distribuye en la pasta. Además, asociada a esta alteración se reconocen venillas de carbonato. Tanto la alteración como la mineralización que afectan al intrusivo como a sus cajas son características de los sistemas hidrotermales de tipo pórfido.

Particularmente las rocas analizadas químicamente, muestras PA83 y PA59, poseen alteración propilítica suave y potásica suave. La primera roca mencionada exhibe tremolita - actinolita y biotitización. La segunda roca muestra también tremolita - actinolita y biotitización y feldespatización.

GEOQUÍMICA

Se realizó un muestreo con el objetivo de caracterizar al cuerpo desde el punto de vista petrológico y se eligieron para geoquímica aquellas rocas que presentaron las menores evi-

Cuadro 1. Análisis químicos del pórfiro de Alcaparrosa, Precordillera.

Unidad	Pórfiro de Alcaparrosa	
	PA83	PA59
Muestra		
Latitud	31 17' 36.67" S	31 17' 25.11" S
Longitud	69 23' 23.64" O	69 23' 32.87" O
(% en peso)		
SiO ₂	59.57	65.72
TiO ₂	0.76	0.47
Al ₂ O ₃	15.88	16.28
Fe ₂ O ₃ t	5.48	4.25
MnO	0.06	0.06
MgO	2.62	1.48
CaO	5.49	3.55
Na ₂ O	4.08	4.45
K ₂ O	2.61	2.23
P ₂ O ₅	0.24	0.15
LOI	2.68	1.13
Total	99.47	99.77
(ppm)		
V	114.00	54.00
Ga	19.70	20.40
La	16.70	20.80
Ce	38.50	43.00
Pr	5.09	5.17
Nd	21.40	19.30
Sm	4.22	3.55
Eu	1.17	1.10
Gd	3.97	3.03
Tb	0.58	0.41
Dy	3.48	2.25
Ho	0.68	0.41
Er	1.98	1.19
Tm	0.31	0.17
Yb	2.01	1.18
Lu	0.33	0.18
Ba	671	952
Th	4.80	4.40
Nb	9.90	10.70
Y	19.00	11.90
Hf	3.90	4.10
Ta	0.70	0.60
U	10.80	1.50
Pb	1.00	1.50
Rb	110.80	54.20
Cs	3.40	1.30
Sr	550	601.8
Zr	140.10	149.8
Eu/Eu*	0.87	1.03
A/CNK	0.81	1.01
MALI	139.29	148.79

Se incluyen los índices petrológicos Eu/Eu* o magnitud de la anomalía de Eu, A/CNK o índice de saturación en alúmina (Shand 1943) y MALI o índice modificado de álcalis-calcio (Frost et al. 2001).

dencias de alteración en el campo. Las muestras fueron analizadas en AcmeLabs (Argentina) por el método de Fluorescencia de Rayos X con un límite de detección de 0.01%, para los elementos mayoritarios y por el método de Espectrometría de Masa Inductivamente Acoplada (ICP-MS) con límites de detección entre 0.01 y 8 ppm para elementos traza. Los resultados de los análisis químicos se presentan en el cuadro 1.

Las muestras analizadas del pórfiro de Alcaparrosa se clasifican químicamente como andesita y traquiandesita (Fig. 3a) según el diagrama de Winchester y Floyd (1977) basado en elementos traza de naturaleza inmóvil. Se eligió esta clasificación debido a que las rocas analizadas están levemente afectadas por alteración hidrotermal y presentan valores elevados de pérdida de volátiles por ignición (LOI) por lo que los contenidos de elementos alcalinos pudieron verse modificados. No obstante, para el tratamiento de los datos de elemen-

tos mayoritarios se utilizaron recálculos sobre base anhidra. El contenido de SiO_2 varía entre aproximadamente 60 y 66% en peso (véanse valores del cuadro 1).

Las rocas son metaluminosas (A/CNK molar y sin corrección por apatita 0.81 y 1.01) y de acuerdo con los diagramas de Frost et al. (2001) resultan magnesianas y calcoalcalinas (índice MALL modificado, véanse valores en cuadro 1).

A los efectos de hacer una correlación geoquímica de las rocas del pórfiro de Alcaparrosa con otras asignadas a la sección inferior de la provincia magmática Choiyoi, se eligió compararlas con litologías cuyo contenido de SiO_2 varía entre 57 y 70 % (cuadro 2). En primer término, se compara con las volcanitas de la Formación Vega de Los Machos (datos químicos de Rocher et al. 2015) dada la proximidad geográfica entre ambas litologías. De acuerdo con los gráficos de clasificación (Fig. 3 a) ambas unidades muestran gran afinidad compo-

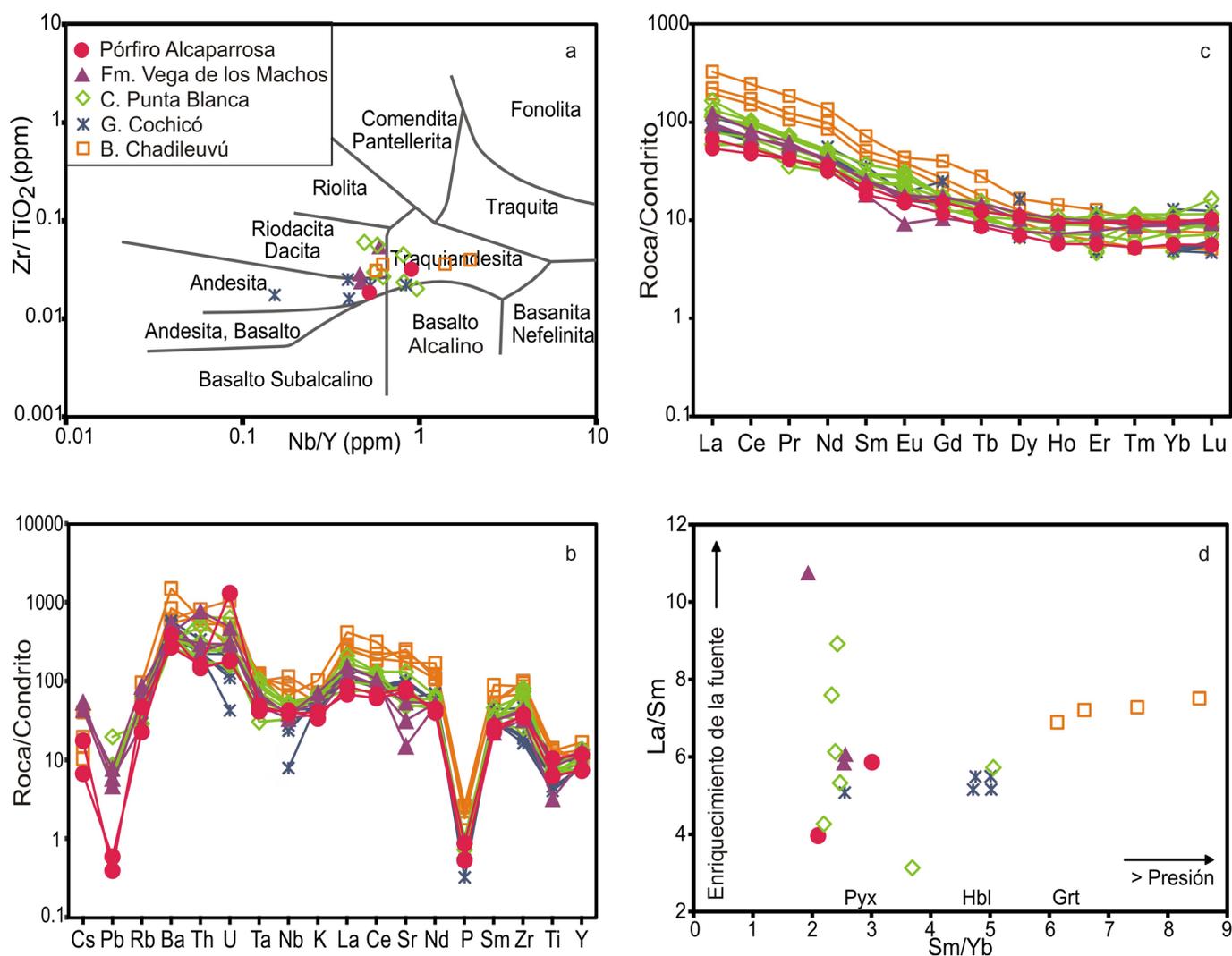


Figura 3: a) Clasificación de Winchester y Floyd (1977) basada en elementos traza inmóviles; b) Diagrama de variación multielemental empleando como normalizador el condrito C1 de Sun y Mc Donough (1989); c) Diagrama para los ETR normalizados con valores de condrito de Boynton (1984); d) diagrama de variación de relaciones Sm/Yb vs. La/Sm de las unidades consideradas.

sional, con la única excepción que la Formación Vega de Los Machos tiene un representante que supera ligeramente el 70 % de SiO_2 . También se realizó una comparación con las litologías de Cerro Punta Blanca del Cordón del Portillo en la Cordillera Frontal mendocina (Gregori y Benedini 2013); el Grupo Cochicó en el Bloque de San Rafael (Kleiman y Japas 2009) y las secuencias de Sierra Chica (Quenardelle y Llambías 1997), Cerro Centinela y Lomas de Olguín (Llambías et al. 2003) de los Bloques Las Matras y del Chadileuvú, en la provincia de La Pampa (Fig. 1 y cuadro 2).

En el diagrama multielemental de la figura 3 b se aprecia la correlación entre todas las rocas consideradas. Dichas unidades comparten el marcado enriquecimiento en contenidos de elementos de gran radio iónico (LILE) acentuado a medida que las rocas incrementan su contenido de SiO_2 . Todas las curvas tienen depresiones en los contenidos de Nb-Ta, indicando su vinculación con un ambiente de arco (Wilson 1989). Los comportamientos más diferenciados los exhiben los contenidos de P y Pb, con un gran empobrecimiento con respecto a otros elementos LILE como el Cs y el Rb. El Sr exhibe menores valores para las muestras de la Formación Vega Los Machos (113 y 407 ppm) con respecto a las rocas de Alcaparrosa (550 y 602 ppm). Tanto el Zr como el Hf (ver valores en cuadro 1 y cuadro 2) presentan dispersión de comportamiento, siempre para rocas del mismo intervalo de variación de SiO_2 . Otro de los elementos con comportamiento destacable es el Ti, que muestra un descenso marcado con respecto al Zr y al Y, para todas las rocas analizadas. Por todos los rasgos descritos, el diseño del diagrama es el característico de volcanitas calcoalcalinas de ambientes de arco continental (Wilson 1989).

En el gráfico de Elementos de las Tierras Raras (ETR, normalizado a condrito de Boynton 1984, Fig. 3 c) se observa un marcado enriquecimiento en el contenido de todos estos elementos, especialmente en ETR livianas (ETRL) y una leve depresión en las intermedias (ETRM). Asimismo se reconoce una tendencia común para todas las litologías consideradas, con una leve pendiente negativa con valores $(\text{La}/\text{Yb})_N$ entre 5 y 19. Los contenidos totales de ETR son similares para todas las litologías analizadas (varían entre 100.42 y 161.07 ppm) salvo para las rocas de La Pampa, cuyos valores oscilan entre 221.54 y 359.46 ppm.

Un rasgo llamativo de la comparación entre las rocas del pórfiro de Alcaparrosa y las rocas de las otras localidades consideradas es que en la mayoría de ellas se nota ausencia de anomalía de Eu (valores de Eu/Eu^* en cuadros 1 y 2 para un intervalo de variación de SiO_2 entre 57 y 70 % en peso o leve anomalía negativa para el caso de la muestra con mayor

contenido de SiO_2 de la Formación Vega de Los Machos). Asimismo, las pendientes de ETR pesadas (ETRP) son planas para todas las muestras.

DISCUSIÓN

Sobre la base de los nuevos datos geoquímicos aquí presentados se realiza una comparación entre varias litologías asignadas a la sección inferior de la provincia magmática Choiyoi, aunque sus afloramientos no tienen vinculación geográfica entre sí, sino que corresponden a una extensa zona (véase Fig. 1). Para realizar análisis comparativos y discutir las características en común de este magmatismo, las litologías consideradas son las que se mencionan en el apartado de Geoquímica.

Un aspecto singular por considerar acerca de las rocas representativas de la sección inferior de la provincia magmática Choiyoi en la zona límite de Cordillera Frontal – Precordillera Occidental, es que hay escasas rocas de composición básica. Éstas últimas se presentan solamente en la zona del Cordón del Portillo (Cordillera Frontal de Mendoza) en particular en el cerro Pajarito y en el cerro Manzano, como dieron a conocer Poma y Ramos (1994) quienes reconocieron una sucesión fundamentalmente lávica formada por basaltos, basandesitas, andesitas y dacitas. Sobre la base de sus características geoquímicas Poma y Ramos (1994) consideran a estas rocas como representantes de un magmatismo de arco, no obstante sus altos valores de álcalis y de LOI.

Tal como se detalla en el apartado de geoquímica, el magmatismo de la Precordillera sanjuanina (pórfiro de Alcaparrosa) presenta características calcoalcalinas y metaluminosas compatibles con un ambiente tectónico de arco magmático continental. Por lo tanto, considerando la ubicación espacial de los cuerpos ígneos de Alcaparrosa y de la Formación Vega de Los Machos (límite entre Cordillera Frontal y Precordillera en San Juan) podría considerarse que representan, a la latitud aproximada a los 30° - 31° S, la porción más oriental del retroarco correspondiente al arco magmático central conformado por la unidad Guanta del Complejo Elqui de Chile (288.2 ± 1.8 Ma, U/Pb sobre circones, Hervé et al. 2014). Esto se basa en que dicha unidad, según Mpodozis y Kay (1992), consiste en una asociación tonalita – granodiorita con hornblenda y biotita, con carácter metaluminoso, contenidos de K entre medios y altos y con un relativo enriquecimiento en ETRL que permiten caracterizarla como perteneciente a la serie calcoalcalina típica del magmatismo de arco continental. Estos autores sostienen que las rocas de arco habrían expe-

Cuadro 2. Datos químicos de las litologías de las seleccionadas para el análisis de la sección inferior de la provincia magmática Choiyoi.

Unidad	Vega de Los Machos ¹			Cerro Punta Blanca - Cordón del Portillo ²							
	Muestra	VM1	VM2	VM3	PB522	PB522b	PB923	PB325	PB425	PB625	PB725
(% en peso)											
SiO ₂	66.80	61.40	73.30	62.64	63.22	67.29	66.19	68.29	67.25	69.12	
TiO ₂	0.61	0.68	0.24	0.53	0.50	0.57	0.61	0.52	0.6	0.54	
Al ₂ O ₃	15.00	15.25	12.65	15.78	15.67	14.37	14.61	14.79	13.12	13.81	
FeOt	3.77	4.83	1.70	3.87	3.51	3.69	3.88	3.31	3.87	3.39	
MnO	0.16	0.07	0.03	0.10	0.10	0.13	0.08	0.07	0.09	0.08	
MgO	1.02	2.68	0.28	1.37	1.19	1.23	1.68	1.42	1.46	1.52	
CaO	2.28	3.81	1.16	5.12	4.85	3.76	4.15	3.00	4.59	2.61	
Na ₂ O	3.78	2.47	2.71	4.55	5.66	1.98	3.70	4.37	4.74	3.92	
K ₂ O	2.48	3.43	4.70	4.13	3.87	4.31	4.44	4.65	4.17	4.75	
P ₂ O ₅				0.29	0.28	0.16	0.21	0.21	0.25	0.25	
LOI	3.47	4.82	1.42	1.12	0.61	1.97	1.10	0.46	0.84	0.53	
(ppm)											
V	---	---	---	44.00	50.00	65.00	72.00	52.00	69.00	57.00	
Ga	18.20	19.80	13.20	20.00	19.00	17.00	18.00	19.00	17.00	18.00	
Zn	---	---	---	63.00	84.00	83.00	67.00	124.0	67.00	258.0	
La	28.60	30.30	38.20	18.14	18.71	41.39	51.3	24.35	35.12	37.15	
Ce	57.40	56.50	67.00	48.15	46.60	83.50	83.15	55.80	77.50	71.20	
Pr	6.77	7.15	7.66	4.97	4.34	8.88	8.74	5.94	8.31	6.64	
Nd	25.30	25.30	23.10	19.95	18.80	31.30	29.55	21.60	28.75	24.25	
Sm	4.89	4.99	3.55	5.79	4.39	7.23	5.75	4.57	5.73	4.89	
Eu	1.24	1.33	0.68	1.55	1.42	2.30	2.11	1.78	1.97	1.63	
Gd	4.55	4.40	2.70	3.30	3.45	4.55	4.43	3.16	4.55	4.36	
Tb	0.67	0.70	0.44	0.53	0.48	0.53	0.74	0.60	0.60	0.51	
Dy	3.32	3.83	2.49	2.53	2.71	2.61	3.57	3.49	3.36	3.29	
Ho	0.67	0.74	0.52	0.52	0.43	0.60	0.71	0.79	0.71	0.65	
Er	2.01	2.08	1.63	1.49	1.32	0.98	2.29	2.06	2.34	1.85	
Tm	0.29	0.32	0.28	0.20	0.31	0.28	0.26	0.37	0.37	0.38	
Yb	1.93	1.95	1.84	1.57	2.00	1.43	2.37	1.85	2.4	2.1	
Lu	0.30	0.31	0.31	0.31	0.28	0.23	0.53	0.27	0.37	0.29	
Ba	1400	894	993	894	926	686	710	1009	770	979	
Th	7.10	9.01	23.30	9.41	7.20	5.46	19.63	5.04	15.01	7.34	
Nb	8.50	9.90	9.50	12.23	12.53	9.70	13.70	10.40	11.10	8.30	
Y	18.50	21.20	16.00	15.00	13.00	12.00	22.00	18.00	20.00	17.00	
Hf	5.00	4.50	4.00	5.02	4.38	6.62	6.48	6.27	4.86	7.69	
Ta	0.70	0.90	1.00	1.20	1.34	0.84	1.52	0.66	1.04	0.44	
U	2.57	2.43	3.96	2.08	2.14	1.31	5.25	1.39	2.61	1.97	
Pb	15.00	12.00	20.00	16.00	19.00	50.00	22.00	19.00	19.00	21.00	
Rb	65.70	136.50	208.00	117.0	134.0	69.00	100.0	143.0	108.0	103.0	
Cs	10.55	8.48	8.57	---	---	---	---	---	---	---	
Sr	407	238	113	635	585	986	413	378	436	353	
Zr	175	161.0	130.0	125.0	101.0	256.0	163.0	293.0	179.0	324.0	
Eu/Eu*	0.80	0.87	0.67	1.08	1.12	1.23	1.28	1.43	1.08	1.18	
A/CNK	1.15	1.04	1.09	0.74	0.70	0.97	0.79	0.84	0.64	0.85	
MALI	173.85	159.96	128.91	124.3	100.3	255.0	162.2	292.2	178.4	323.1	

Localidades: Cordillera Frontal (¹Formación Vega de Los Machos, datos de Rocher et al. 2015), Cordón del Portillo (²Co. Punta Blanca, datos de Gregori y Benedini 2013), Bloque de San Rafael (³Grupo Cochicó, datos de Kleiman y Japas 2009) y Bloque de Chadileuvú (⁴Quenardelle y Llamblás 1997, ⁴Llamblás et al. 2003).

rimentado fraccionamiento de plagioclasa y de anfíbol en la fuente según el análisis del comportamiento de sus ETR y el arco se habría desarrollado en una corteza de espesor normal (<40 km). Asimismo, cabe mencionar que Mpodozis y Kay (1992) consideran que los granitoides del complejo Elqui (edades de intrusión incluidas en el lapso entre el Carbonífero tardío y el Pérmico temprano) corresponden al denominado magmatismo “pre-Choiyoi” en Chile. En Argentina dichas unidades equivalen a la sección inferior de la provincia magmática Choiyoi. Con respecto a las características geoquímicas, compartidas tanto por el pórfiro de Alcaparrosa como por la Formación Vega de Los Machos con las rocas de la unidad Guanta, corresponde mencionar que ninguna de ellas presenta anomalía negativa de Eu.

En la figura 3 a puede apreciarse la clasificación de todas las litologías consideradas donde se destacan las rocas (dacitas y traquiandesitas) de La Pampa con afinidades alcalinas. Las correspondientes a la unidad Cerro Punta Blanca resultan dacitas y traquiandesitas limitando con el campo de basaltos alcalinos y las representativas del Grupo Cochicó se clasifican como andesitas y traquiandesitas. No obstante, según la figura 3 b, las secuencias de Bloque del Chadileuvú o equivalentes de la porción más oriental de la provincia magmática Choiyoi, están más enriquecidas en ETRL que en ETRP y tienen una tendencia negativa levemente mayor ($28 < (La/Yb)_N < 43$) que las rocas de la Precordillera sanjuanina (pórfiro de Alcaparrosa) y Cordillera Frontal (Formación Vega de Los Machos), Cordón del Portillo (Cerro Punta Blanca) y del Bloque de San Rafael (Grupo Cochicó). La superposición de los patrones de las rocas representantes de estas cuatro litologías mencionadas es notoria (Fig. 2 b). Solo cabe mencionar, en particular, que la pendiente La/Yb es más marcada para las muestras del Bloque del Chadileuvú (B. Chadileuvú en la figura 3).

Cuadro 2. (cont.) Datos químicos de las litologías de las seleccionadas para el análisis de la sección inferior de la provincia magmática Choiyoi.

Unidad	Grupo Cochicó - Bloque San Rafael ³					Bloque de Chadileuvú ⁴			
Muestra	LCA1	LCI2	LCI4	LCI5	LCI6	CEN4	CC99-2	PU 14	LP36
(% en peso)									
SiO ₂	63.24	66.37	67.80	68.43	68.59	60.25	57.70	59.41	58.61
TiO ₂	0.73	0.43	0.50	0.34	0.30	1.00	1.04	0.88	0.95
Al ₂ O ₃	16.73	14.98	15.74	15.33	15.01	16.00	15.70	15.71	12.47
FeOt	3.78	2.77	3.06	2.37	2.58	4.89	5.82	5.15	5.65
MnO	0.07	0.04	0.06	0.02	0.05	0.08	0.08	0.09	0.09
MgO	1.30	0.90	0.73	0.67	1.00	2.32	1.88	2.25	3.17
CaO	3.20	2.50	2.60	2.08	1.33	3.99	4.39	4.56	4.74
Na ₂ O	3.35	4.05	3.39	4.89	4.38	5.48	5.61	4.15	2.71
K ₂ O	3.36	3.55	3.79	2.91	3.28	4.58	3.48	4.54	6.62
P ₂ O ₅	0.22	0.18	0.20	0.09	0.15	0.64	0.69	0.51	0.72
LOI	3.85	1.92	2.00	2.85	2.35	0.78	1.58	0.47	1.73
(ppm)									
V	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ga	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Zn	---	---	---	---	---	---	---	---	---
La	34.90	25.90	27.20	27.80	26.60	64.70	60.48	68.45	101.5
Ce	70.10	51.90	57.70	54.30	53.50	116.0	122.08	139.2	198.2
Pr	---	---	---	---	---	12.70	12.96	15.06	22.48
Nd	33.60	27.00	27.40	26.80	25.70	52.90	50.99	59.61	81.25
Sm	6.88	5.02	5.28	5.06	4.85	8.62	8.31	9.94	14.04
Eu	1.40	1.29	1.28	1.18	1.37	2.09	2.51	2.84	3.20
Gd	6.44	3.70	4.09	3.69	3.41	5.84	5.79	6.92	10.39
Tb	---	---	---	---	---	0.63	0.70	0.84	1.32
Dy	5.27	2.21	2.60	2.28	2.15	2.90	3.11	4.07	5.33
Ho	---	---	---	---	---	0.45	0.51	0.71	1.03
Er	2.54	1.02	1.18	1.00	1.01	1.34	1.30	1.84	2.67
Tm	---	---	---	---	---	0.16	0.17	0.25	0.33
Yb	2.70	1.00	1.12	1.01	1.02	1.01	1.11	1.62	2.13
Lu	0.40	0.18	0.18	0.20	0.15	0.15	0.16	0.24	0.304
Ba	875	1070	1439	1256	1302	1510	1360	2080	3717
Th	7.0	6.51	10.00	6.64	6.65	24.30	20.00	15.80	18.38
Nb	13.0	2.00	6.00	11.00	7.00	29.0	22.30	12.30	16.74
Y	15.30	13.20	15.00	13.10	13.30	15.0	16.0	21.70	27.0
Hf	---	---	---	---	---	9.30	7.90	6.80	9.73
Ta	---	---	---	---	---	1.44	1.60	1.80	1.74
U	0.90	0.35	1.57	1.82	1.04	8.64	3.74	4.36	2.15
Pb	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Rb	120.0	93.00	133.00	81.00	97.00	138.0	101.0	126.0	229.0
Cs	---	---	---	---	---	3.80	2.00	2.90	7.81
Sr	460	688	708	723	776	1890	1320	1750	1281
Zr	183.0	75.00	80.00	75.00	65.00	399.0	375.0	273.0	341.0
Eu/Eu*									
A/CNK	1.12	1.00	1.09	1.02	1.14	0.75	0.75	0.78	0.62
MALI	181.88	74.00	78.91	73.98	63.86	398.2	374.2	272.2	340.4

Localidades: Cordillera Frontal (¹Formación Vega de Los Machos, datos de Rocher et al. 2015), Cordón del Portillo (²Co. Punta Blanca, datos de Gregori y Benediti 2013), Bloque de San Rafael (³Grupo Cochicó, datos de Kleiman y Japas 2009) y Bloque de Chadileuvú (⁴Quenardelle y Llambías 1997, ⁴Llambías et al. 2003).

El resto de las unidades consideradas presentan, a partir del Dy, un diseño plano casi paralelo al normalizador, excepto una de las muestras de Cerro Punta Blanca que posee leve pendiente positiva. Un rasgo común a todas las rocas representantes de la sección inferior de la provincia magmática Choiyoi analizadas es la ausencia de anomalía para el Eu, que indica que en estos magmas el Eu estaba en su estado +3, es decir se trata de magmas oxidados. Solamente dos muestras, una de la zona del Bloque del Chadileuvú (LP36, Eu/Eu* = 0.81) y otra de la Formación Vega de Los Machos (VM3, Eu/Eu* = 0.67) poseen leve anomalía negativa. Las restantes litologías estudiadas no presentan anomalía de Eu y sus pendientes de ETRP son planas. Al incorporar en la comparación las litologías de Cordillera Frontal de Mendoza (Cordón del Portillo – Cerro Punta Blanca), del Bloque de San Rafael (Grupo Cochicó) y del Bloque del Chadileuvú sigue siendo llamativa la tendencia general. Sin embargo, se reconocen diferencias en los valores de Zr, Sr, Ba, Hf y Nb. Las muestras CEN4, CC99-2 y PU14 del Bloque del Chadileuvú se apartan levemente de los patrones generales de ETRL y ETRM descritos al presentar mayores pendientes debido a sus relaciones La/Sm y Sm/Dy (Fig. 2 b).

Para analizar la posible paragénesis mineral en la fuente se volcaron en un gráfico las relaciones del contenido de ETRL respecto de los ETRP en la figura 3 b. De la observación del gráfico se infiere el fraccionamiento de fases residuales que retienen en la fuente ETRM y ETRP, reconociéndose dos tendencias que guardan relación con la ubicación geográfica de las unidades litológicas consideradas. Las unidades ubicadas en Precordillera (pórfiro de Alcaparrosa) y Cordillera Frontal (Formación Vega de Los Machos y Cerro Punta Blanca) poseen relaciones Sm/Yb relativamente bajas, lo que se asocia con fuentes situadas a baja presión o profundidades relativamente someras, en equilibrio con piroxeno como fase residual, además presentan un amplio rango de variación para la relación La/Sm. Este comportamiento permite inferir que el fraccionamiento de plagioclasa en la fuente estuvo minimizado, lo cual posiblemente se deba no solamente al Eu+3 sino también al contenido de agua del magma y a las características oxidantes del mismo (Christiansen y Mc Curry 2008).

En cambio, las unidades localizadas más al sur, correspondientes al Bloque de San Rafael (Grupo Cochicó) presentan relaciones Sm/Yb intermedias, mientras

que las que afloran al sudeste, en el Bloque del Chadileuvú, muestran valores de Sm/Yb altos, lo que sugiere fuentes más profundas o a mayores presiones, en equilibrio con fases residuales como hornblenda o incluso granate (Rollinson 1993).

Llambías y Sato (1990, 1995) consideraron el régimen de esfuerzos bajo el cual se emplazó la provincia magmática Choyoi en base al análisis estructural del Batolito de Colangüil. Estos autores consideran que el emplazamiento de los plutones fue favorecido por un estado de esfuerzos que prevalecía en la corteza superior, por encima de la zona de transición "frágil - dúctil". Inclusive el Batolito Tabaquito, (337 ± 2 Ma a 322 ± 5 Ma, U/Pb en circones, Moreno et al. 2020) que corresponde al magmatismo anterior al desarrollo de Colangüil, también representa niveles estructurales someros con emplazamiento a presiones menores a 2.5 kb y temperaturas en el rango de 705° a 810° C, según las investigaciones de Moreno et al. (2020). Con posterioridad a ese emplazamiento se produjo el efecto compresivo de la Fase Orogénica San Rafael (Artinskiano según Sato et al. 2015) y luego un marco no compresivo (relajación post compresión) que habría propiciado el emplazamiento de los plutones que componen el Batolito Colangüil (Llambías y Sato 1995).

Las similitudes químicas del magmatismo analizado en este estudio permiten coincidir con lo propuesto por Sato et al. (2015) en su estudio geocronológico considerando la continuidad magmática desde el área del Batolito de Colangüil (provincia de San Juan) hacia el sur, hasta la región del Bloque del Chadileuvú, en la provincia de La Pampa.

De acuerdo con Gregori y Benedini (2013) todos los plutones que constituyen el Batolito compuesto de la Cordillera Frontal en la provincia de Mendoza son calcoalcalinos de tipo I y están vinculados con el magmatismo Choyoi, pero sólo el Cerro Punta Blanca representa la etapa vinculada con el desarrollo del arco magmático continental. La composición petrográfica de estas rocas es mayoritariamente granodiorítica, con hornblenda y biotita. En esa zona de Mendoza, en general, la sección inferior del Choyoi comprende además de los plutones mencionados, una secuencia de unos 150 m de espesor compuesta por conglomerados y areniscas interestratificadas con delgados flujos de lava andesíticos. A esta secuencia Strazzere y Gregori (2005, 2007) la vincularon con la subducción vigente en ese momento en el margen suroccidental de Gondwana. El plutón Cerro Punta Blanca, en particular, es aquel cuya geoquímica representa mejor a un magmatismo vinculado con ambiente de arco magmático continental, mientras que los otros intrusivos, más félsicos, muestran improntas del cese del componente de subducción. Existen resultados de dataciones por diversos métodos para

las rocas de Cerro Punta Blanca, entre ellos pueden citarse 348 ± 35 Ma (método Rb/Sr) y de 337 ± 15 Ma y 291 ± 10 Ma (método K/Ar) de Caminos et al. (1979). Llambías y Caminos (1987) obtuvieron una edad de 264 ± 8 Ma (ambos métodos, Rb/Sr y K/Ar) y Orme et al. (1996) obtuvieron 276.29 ± 0.79 Ma (U/Pb en circones por el método TIMS). Estos valores permiten incluir a este plutón dentro de la sección inferior de la provincia magmática Choyoi.

Para el Bloque de San Rafael, Kleiman y Japas (2009) sostienen que las secuencias calcoalcalinas de la sección inferior de la provincia magmática Choyoi (Grupo Cochicó) también tienen fuertes improntas de un proceso de subducción y que se habrían emplazado sintectónicamente con la segunda etapa de la Fase Orogénica San Rafael (transpresión sinistral ONO). El Grupo Cochicó es una secuencia volcano-sedimentaria depositada en una cuenca de rumbo NNE (Kleiman 1999, Cortés y Kleiman 1999, Japas y Kleiman 2004). Kleiman y Japas (2009) proponen que la expansión del magmatismo hacia el este es el resultado de la subhorizontalización de la placa paleo pacífica al sur de los 31° de latitud. El pico de la deformación habría ocurrido cerca de los 280 Ma y sus efectos se extendieron hacia el este del Gondwana sudoccidental de modo diacrónico llegando a Sudáfrica hacia el intervalo comprendido entre 276 ± 5 Ma y 261 ± 3 Ma como primera etapa de deformación (Hälbich et al. 1983, Hansma et al. 2016). Dicha deformación habría sido responsable de que las secuencias que en el Bloque de San Rafael representan la sección superior de la provincia magmática Choyoi (Formaciones Agua de los Burros, Quebrada del Pimiento y Cerro Carrizalito) cubran discordantemente a las secuencias del Grupo Cochicó y tengan una estructuración típicamente transtensiva (Kleiman y Japas 2009).

Del análisis realizado sobre los datos consignados en la bibliografía surge que los efectos de la Fase Orogénica San Rafael han sido más relevantes al sur de los 31° S, en particular en el Bloque de San Rafael, atenuando su intensidad en las provincias geológicas adyacentes tanto hacia el noroeste (zona analizada de la Precordillera) como hacia el sudeste (Bloque del Chadileuvú, provincia de La Pampa).

Entre los factores involucrados en el cambio de los esfuerzos regionales estarían la disminución de la velocidad de subducción aproximadamente a los 268 Ma (Rapalini 1989) que habría propiciado el pasaje de un estadio transpresivo a uno transtensivo con disminución de la inclinación del ángulo de subducción y cambio hacia la oblicuidad en la subducción de la losa (Kleiman y Japas 2009). En etapa transtensiva ya no se habría podido involucrar la cuña mantélica, lo que condujo a la fusión parcial de corteza dando lugar al magmatismo con alto

contenido de sílice (Llambías y Sato 1990, 1995) representado por la sección superior de la provincia Choiyoi. Kleiman y Japas (2009) sugieren que el cambio de las condiciones tectónicas al sur de los 31° S y, por ende, del tipo de magmatismo, se debió a la subducción de una dorsal asísmica. El magmatismo pasó de estar vinculado con un arco magmático y tener características calcoalcalinas (sección inferior) a ser posorogénico y altamente silícico (sección superior).

En el oeste, en Chile y dentro de lo que corresponde al arco magmático principal, del Rey et al. (2016) distinguen dos ciclos magmáticos sobre la base de edades de cristalización de circones, uno que comprende el lapso de 325 a 270 Ma, (Serpukhoviense – Roadiense) y otro de 270 a 210 Ma (Roadiense – Noriense). El primer ciclo mencionado incluye cuerpos magmáticos con un componente cortical (valores de $\delta^{18}\text{O} > 6.5\text{‰}$ y $\epsilon\text{Hf}_i < 0$) y el segundo ciclo incluye rocas con una impronta mantélica (valores de $\delta^{18}\text{O} < 6.5\text{‰}$ y ϵHf_i de -3 a +3) o de corteza inferior máfica y adelgazada (¿ambiente extensional?). Estos autores presentan además edades U-Pb sobre circones del Batolito Montosa - El Potro a la latitud de 28 a 28° 30' S y que corresponden a plutones con edades de cristalización entre 286 ± 2 Ma a 248 ± 2 Ma. Con estos datos, los autores calcularon edades modelo sobre dos etapas (TDM2) entre 0.9 Ga a 1.5 Ga (Neoproterozoico temprano – Mesoproterozoico) con las que infieren que la fuente de las rocas del Batolito Montosa – El Potro, se habría separado de un manto empobrecido durante el Mesoproterozoico y habría tenido un prolongado tiempo de residencia en la corteza. Dicha hipótesis está basada en los altos valores de $\delta^{18}\text{O}$ ($> 6.5\text{‰}$) y los bajos valores de ϵHf_i (< 0) obtenidos a partir de las muestras analizadas. Esos cambios en los parámetros de afinidad petrogenética debido a los procesos tectónicos serían los responsables de que las fuentes de las rocas magmáticas involucradas tanto en el arco como en el retroarco de la provincia magmática Choiyoi sean diferentes y diacrónicas. A su vez las rocas magmáticas más antiguas se habrían formado en un ambiente transpresivo, y previa o sincrónicamente a los efectos de la primera fase de la Fase Orogénica San Rafael (sección inferior de la provincia magmática Choiyoi) según Kleiman y Japas (2009). Aunque esta fase no habría tenido los mismos efectos en la zona de la Precordillera argentina que en el Bloque de San Rafael o en la zona de la provincia de La Pampa (Bloque del Chadileuvú) debido a las posiciones más cercanas o lejanas al arco principal. En consecuencia, los cambios en la velocidad y en el ángulo de subducción serían los responsables de los cambios de la profundidad o somerización de la placa subducida según modelo de Kleiman y Japas (2009) y en consecuencia del tipo de las rocas

fuentes involucradas en el magmatismo de las dos secciones de la provincia magmática Choiyoi.

El análisis de las edades del Grupo Cochicó (sección inferior del Choiyoi) del Bloque de San Rafael, permite considerar que se formó entre los 281.4 ± 2.5 Ma (Cissuraliense, Kunguriense) y los 264.8 ± 2.3 Ma (Guadalupiense, Capitaniense) que representa la edad de la Formación Agua de los Burros, correspondiente a la sección superior de la provincia magmática Choiyoi según los resultados de las dataciones U/Pb sobre circones publicados por Rocha-Campos et al. (2011). Esto concuerda con los resultados obtenidos a partir de numerosas dataciones U/Pb sobre circones por Maksaeve et al. (2014) para la región chilena (Formación La Tabla o pre-Choiyoi de 282.0 ± 11.4 a 270.4 ± 4.6 Ma) y con los resultados obtenidos para la Formación Portezuelo del Cenizo de 277 ± 3.0 Ma (metodología U/Pb en circones) sobre una muestra de traquidacita por Strazzere et al. (2016) en la Precordillera mendocina. Por otra parte, Domeier et al. (2011) obtienen una edad U/Pb de 257 ± 2.8 Ma para la sección inferior del Choiyoi en la secuencia de Sierra Chica en el Bloque del Chadileuvú (provincia de La Pampa). Lo llamativo es que esta localidad con litología traquiandesítica arrojó una edad considerablemente menor que otras de las de la sección inferior. Esa misma secuencia de Sierra Chica fue asignada a la sección inferior del Choiyoi por Quenardelle y Llambías (1997) sobre el análisis de las relaciones geológicas de las secciones presentes en la zona. La traquiandesita en cuestión es equivalente composicionalmente a la datada por Tickyj et al. (2010) en el flujo lávico identificado en Cerro Centinela (provincia de La Pampa) y que arrojó una edad de 276 ± 11 Ma (método U/Pb sobre circones únicos). La edad de cristalización de 279.6 ± 2.8 Ma (metodología U/Pb sobre circones) obtenida por Poole et al. (2020) para el pórfiro de Alcaparrosa concuerda con todos los resultados obtenidos para las litologías usadas en la comparación y confirman su vinculación con la sección inferior del Choiyoi.

El estudio de Hervé et al. (2014) sobre la geocronología del Batolito de la Cordillera Frontal de Chile, sostiene que las bases de datos de los isótopos de Hf (ϵHf entre -5 y 0 para edades mayores a 265 Ma y entre 0 y +9 para los de 265 a 255 Ma) y de O (valores de $\delta^{18}\text{O}$ elevados, mayores de 7 para los de mayor edad o ≈ 265 Ma) de esas rocas muestran que para la evolución del magmatismo desde el Pérmico temprano y hasta el Triásico temprano, se habría registrado una disminución del aporte de material cortical y un paulatino incremento de componentes juveniles. Esto es concordante con el cambio de un ambiente contraccional a uno extensional. Aunque también podría deberse a la incorporación de sedimentos de antearco en el descenso de la losa, pasando éstos a la fuen-

te magmática y luego disminuir paulatinamente, por lo que el magmatismo tendría mayor influencia mantélica directa, sin ningún tipo de contaminación de materiales corticales.

Sin embargo, si se considera el modelo convencional de Hildreth y Moorbath (1988) en el que magmas de origen mantélico se mezclan y homogenizan con rocas máficas de corteza inferior y luego, en los tramos finales del ascenso de los fundidos magmáticos hacia superficie, se contaminarían con las de corteza superior, se podrían conseguir valores similares de isótopos de Hf y O a los presentados, al menos para la sección inferior del Choiyoi o “pre-Choiyoi” según la denominación de los colegas chilenos.

Con respecto a las edades de los pulsos magmáticos propuestos por Hervé et al. (2014) para la evolución del magmatismo permo-triásico de Chile, se considera que los representantes ígneos comprendidos en el presente estudio, corresponden al período de transición entre el Pérmico temprano (301 – 284 Ma) a Pérmico tardío–Triásico Medio (264 – 242 Ma) congruente con el intervalo de 40 Ma del 286 a 247 Ma (Atinskiense a Olenekiense) de duración del magmatismo Choiyoi de acuerdo con Sato et al. (2015).

Respecto de la separación de la provincia magmática Choiyoi de las unidades de magmatismo permo-triásico de la provincia de La Pampa, que plantean Chernicoff et al. (2019) sobre la base de nuevos datos isotópicos δHf y edades U/Pb, puede decirse que estos autores consideran, en su análisis, a un grupo heterogéneo de rocas en cuanto a sus composiciones químicas, que las hacen cercanas al campo de la peralcalinidad. Los datos isotópicos aportados por estos autores les permiten considerar que la secuencia analizada tiene una fuente mantélica, similar a OIB, con contaminación de corteza continental. Sin embargo, los estadios finales del desarrollo de magmatismo de retroarco correspondiente a un arco muy evolucionado también podrían dar valores de $\delta\text{Hf}_i < 0$ como los que obtienen los mencionados autores.

Por lo expuesto en nuestro análisis comparativo (Fig. 3b y c) las rocas del Bloque del Chadileuvú tienen comportamientos marcadamente similares de sus elementos traza y ETR con las otras secuencias correspondientes a la sección inferior de la provincia magmática Choiyoi. El único rasgo singular se observa en la figura 3 d, en la que se analizan las relaciones de La/Sm vs. Sm/Yb. Allí las rocas del Bloque del Chadileuvú muestran una fuente compatible con paragénesis estables a mayor presión (granate). Como las edades de estas rocas han sido establecidas fehacientemente dentro del lapso considerado, queda en evidencia que los centros volcánicos ubicados en una región más cercana al antepaís tenían una fuente localizada a mayor profundidad (corteza engrosada en

esa posición geográfica) que las del retroarco más occidental (Precordillera Occidental) al borde del Gondwana.

CONCLUSIONES

El análisis de comparación general llevado a cabo sobre las rocas del pórfiro de Alcaparrosa (Precordillera Occidental de San Juan), Formación Vega de Los Machos (Cordillera Frontal de San Juan), Cerro Punta Blanca (Cordillera Frontal de Mendoza) y Grupo Cochicó (Bloque de San Rafael), que son consideradas representantes de la sección inferior de la provincia magmática Choiyoi dentro del territorio argentino, permite sostener que se trata de rocas calcoalcalinas, metaluminosas, originadas en un ambiente de margen continental activo, desarrollado sobre una corteza continental con espesor normal, y con fraccionamiento de piroxenos en la fuente. Esta fuente posiblemente haya estado localizada en una profundidad compatible con la corteza inferior y los magmas provenientes de la misma hayan cristalizado en el intervalo temporal entre los 284 y 264 Ma, que es el intervalo de edad de las suites analizadas. Mención aparte merecen las litologías de la provincia del Bloque del Chadileuvú (provincia de La Pampa) como Sierra Chica, Cerro Centinela y Lomas de Olguín, que también representan la sección inferior de la provincia magmática Choiyoi pero se desarrollaron en una corteza engrosada o de características diferentes, ya que el análisis de sus ETRP involucra una fuente con mineralogía residual compatible con mayores profundidades.

El presente análisis de datos e hipótesis de generación, exclusivamente enfocado en las rocas que se asignan a la sección inferior de la gran provincia magmática Choiyoi, refuerza la idea de que ésta comenzó a desarrollarse como una secuencia de arco magmático, con formación de depósitos de tipo pórfido de Cu-Mo (Gómez et al. 2015, Torres et al. 2020). Este ambiente tectono-magmático habría estado vigente aproximadamente desde el Cisuraliano hasta que se produjeron cambios en la geometría y velocidad de la placa que se subducía lo que habría sucedido hacia el límite Olenikiano – Anisiano (Sato et al. 2015, Oliveros et al. 2020). La modificación de dichos parámetros habría desembocado en un cambio del campo de esfuerzos regional que dio origen a un ambiente extensional y permitió que se involucrara material mantélico. Esto podría haber sucedido a través de un proceso de erosión térmica de la litosfera (Oliveros et al. 2020) para fundir corteza superior y provocar el gran magmatismo félsico que representa la sección superior de la provincia magmática Choiyoi.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio es parte del proyecto Petrogénesis y Metalogenia del magmatismo gondwánico y mioceno de la Precordillera de San Juan (PIP CONICET 112 201301 00107). Se desea agradecer especialmente a los revisores, un colega anónimo y Dra. L. Maydagán, y a la editora asociada, Dra. C. Martínez Dopico que con sus observaciones y sugerencias contribuyeron a mejorar la publicación.

REFERENCIAS

- Belvideri, I.L. y Rossa N. T. 1994. Mineralización asociada a los cuerpos subvolcánicos en la Sierra del Tontal, San Juan, Argentina. 4° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 746-750, Antofagasta.
- Brodtkorb, M. K. de, Herrmann, C., Pezzutti, N., Leal, P. González, M.P. y Meissl, E. 2015. Mineralización de sulfuros en las ofiolitas famatinianas y rocas asociadas, Calingasta, Precordillera de San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 72 (2): 182-194.
- Boynton, W.V. 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. En: Henderson, P. (ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, 510 p. Amsterdam.
- Caballé, M.F. 1986. Estudio geológico del sector oriental de la Cordillera Frontal entre los ríos Manrique y Calingasta (Provincia de San Juan). Tesis doctoral, Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (inédito), 205 p., La Plata.
- Caminos, R., Cordani, U. y Linares, E. 1979. Geocronología y geología de las rocas metamórficas y eruptivas de la Precordillera y Cordillera Frontal de Mendoza. 2° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 43-61, Arica.
- Caminos, R., Llambías, E. J., Rapela, C. W. y Parica C. A. 1988. Late Paleozoic-Early Triassic magmatism of Argentina and the significance of Rb-Sr ages from northern Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences* 1 (2): 137-145.
- Chernicoff, C.J., Zappettini, E.O., Santos, J.O. y McNaughton, N. 2019. El Corredor Magmático Intracratónico Pérmico-Triásico de la provincia de La Pampa, Argentina: nuevas edades U-Pb SHRIMP, composición isotópica de Hf e implicancias geodinámicas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 36 (1): 13-26.
- Christiansen, E.H. y Mc Curry, M. 2008. Contrasting origins of Cenozoic silicic volcanic rocks from the western Cordillera of the United States. *Bulletin of Volcanology* 70: 251-267.
- Cócola, M.A., Strazzere, L., D'Annunzio, M.C. y Guido, D. 2019. Estudio estructural, mineralógico y geoquímico de la veta Dios Protege, distrito minero Castaño Nuevo, San Juan, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 76 (3): 263-278.
- Cortés, J.M. y Kleiman, L.E. 1999. La orogenia Sanrafaélica en los Andes de Mendoza. 14° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 31, Salta.
- del Rey, A., Deckart, K., Arriagada, C. y Martínez, F. 2016. Resolving the paradigm of the late Paleozoic–Triassic Chilean magmatism: Isotopic approach. *Gondwana Research* 37: 172-181.
- Domeier, M., Van der Voo, R., Tohver, E., Tomezzoli, R. N., Vizan, H., Torsvik, T.H. y Kirshner, J. 2011. New Late Permian paleomagnetic data from Argentina: Refinement of the apparent polar wander path of Gondwana. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 12: Q07002.
- Espina, R., Cegarra, M., Ragona, D., González, P. y Lo Forte, G. 1998. Mapa escala 1:250.000 de Hoja 3169-20 Castaño Nuevo, provincia de San Juan, Argentina. Servicio Geológico Nacional, Secretaría de Minería de la Nación, SEGEMAR, Buenos Aires.
- Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J. y Frost, C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology* 2 (11): 2033-2048.
- Garrido, M.M., Grecco, L.E., González, M.V. y Pavón Pivetta, C.M. 2018. Petrography, geochemistry and geochronology of San Jorge Porphyry Cu-Au deposit, Mendoza, Argentina. Constraints for the timing of magmatism and associated mineralization. *Acta Geológica Lilloana* 30 (1): 1-22.
- Gómez, A.R.L., Rubinstein, N.A. y Valencia, V.A. 2015. Gondwanan magmatism with adakite-like signature linked to Cu (Mo)-porphyry deposits from the San Rafael Massif, Mendoza Province, Argentina. *Chemie der Erde* 75: 89-104.
- González Díaz, E.F. 1972. Descripción geológica de la Hoja 30e, Agua Escondida, provincias de Mendoza y la Pampa. Servicio Nacional Minero Geológico, Boletín 135: 1-78 Buenos Aires.
- Gregori, D. y Benedini L. 2013. The Cordon del Portillo Permian magmatism, Mendoza, Argentina, plutonic and volcanic sequences at the western margin of Gondwana. *Journal of South American Earth Sciences* 42: 61-73.
- Gregori, D.A., Fernández-Turiel, J.L., López-Soler, A. y Petford, N. 1996. Geochemistry of Upper Palaeozoic-Lower Triassic granitoids of the Central Frontal Cordillera (33°10'-33°49', Argentina). *Journal of South American Earth Sciences* 9 (1-2): 141-151.
- Gregori, D.A., Grecco, L.E. y Llambías E.J. 2003. El intrusivo López Le-cube: evidencias de magmatismo alcalino Gondwánico en el sector sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58: 1167-1175.
- Gustafson, L.B. y Hunt, J.P. 1975. The Porphyry Copper Deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology* 70: 857-912.
- Gustafson, L.B., y Quiroga, J. 1995. Patterns of mineralization and alteration below the porphyry copper orebody at El Salvador, Chile. *Economic Geology* 90: 2-16.
- Hälbich, I.W., Fitch, F.J. y Miller, J.A. 1983. Dating the Cape Orogeny. En: Söhnge, A.P.G., Hälbich (eds.) *Geodynamics of the Cape Fold Belt*. Special Publications of the Geological Society of South Africa 12: 149-164.
- Hansma, J., Tohver, E., Schrank, C., Jourdan, F. y Adams, D. 2016. The timing of the Cape Orogeny: New ⁴⁰Ar/³⁹Ar age constraints on de-

- formation and cooling of the Cape Fold Belt, South Africa. *Gondwana Research* 32: 122-137.
- Harrington, H. y Leanza, A. 1957. Ordovician trilobites of Argentina. Departamento de Geología, Universidad de Kansas, Publicación 1: 259.
- Heredia, N., Rodríguez Fernández, L.R., Gallastegui, G., Busquets, P. y Colombo, F. 2002. Geological setting of the Argentina Frontal Cordillera in the flat-slab segment (30°00'–31°30' S latitude). *Journal of South American Earth Sciences* 15: 79-99.
- Hervé, F., Fanning, C.M., Calderón, M. y Mpodozis, C. 2014. Early Permian to Late Triassic batholiths of the Chilean Frontal Cordillera (288–318S): SHRIMP U–Pb zircon ages and Lu – Hf and O isotope systematics. *Lithos* 184-187: 436-446.
- 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.
- Japas, M.S. y Kleiman, L.E. 2004. El ciclo Choiyoi en el Bloque de San Rafael: de la orogénesis tardía a la relajación mecánica. Asociación Geológica Argentina, Serie D: Publicación Especial N° 7 (Avances en Microtectónica y Geología Estructural): 89-100.
- Kay, S.M., Ramos, V.A., Mpodozis, C. y Sruoga P. 1989. Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwanaland margin: analogy to the Middle Proterozoic in North América? *Geology* 17: 324-328.
- Kleiman, L.E. 1999. Mineralogía y petrología del volcanismo permo-triásico y triásico del bloque de San Rafael en el área de Sierra Pintada, provincia de Mendoza y su relación con las mineralizaciones de uranio. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédita), 286 p., Buenos Aires.
- Kleiman, L.E. y Japas, M.S. 2009. The Choiyoi volcanic province at 34° - 36°S (San Rafael, Mendoza, Argentina): implications for the late Paleozoic evolution of the southwestern margin of Gondwana. *Tectonophysics* 473: 283-299.
- Le Bas, M.J. y Streckeisen, A.L. 1991. The IUGS systematics of igneous rocks. *Journal of the Geological Society* 148: 825-833.
- Llambías, E.J. 1999. Las rocas ígneas gondwánicas. El magmatismo gondwánico durante el Paleozoico Superior-Triásico. En: Caminos, R.N. (ed.), *Geología Argentina. Anales del Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino* 29: 349-363.
- Llambías, E.J. y Caminos, R. 1987. El magmatismo Neopaleozoico de Argentina. En: Archangelsky, S. (ed.), *El Sistema Carbonífero en la República Argentina. Academia Nacional de Ciencias*: 253-279, Córdoba.
- Llambías, E.J. y Rapela, C.W. 1984. Geología de los complejos eruptivos de La Esperanza, provincia de Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 39 (3-4): 220-243.
- Llambías, E.J. y Sato, A.M. 1990. El batolito de Colangüil (29°–31°S), Cordillera Frontal de Argentina: estructura y marco tectónico. *Revista Geológica de Chile* 17: 89–108.
- Llambías, E.J. y Sato, A.M. 1995. El batolito de Colangüil: transición entre orogénesis y anorogénesis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 50: 111-131.
- Llambías, E.J., Kleiman, L.E. y Salvarredi, J.A. 1993. Magmatismo gondwánico de Mendoza. En: Ramos, V.A. (ed.) *Geología y Recursos Naturales de Mendoza. Relatorio XII Congreso Geológico Argentino*, 53-64. Mendoza.
- Llambías, E.J., Quenardelle, S. y Montenegro, T. 2003. The Choiyoi Group from central Argentina: a subalkaline transitional to alkaline association in the craton adjacent to the active margin of the Gondwana continent. *Journal of South American Earth Sciences* 16: 243-257.
- Maksaev, V., Munizaga, F. y Tassinari, C. 2014. Timing of the magmatism of the paleo-Pacific border of Gondwana: U-Pb geochronology of Late Paleozoic to Early Mesozoic igneous rocks of the north Chilean Andes between 20° and 31°S. *Andean Geology* 41 (3): 447-506.
- Martínez Dopico, C.I., López de Luchi, M.G., Rapalini, A.E., Wemmer, K., Fanning, M. y Basei, M. 2017. Emplacement and temporal constraints of the gondwanan intrusive complexes of Northern Patagonia: La Esperanza plutono-volcanic case. *Tectonophysics* 712-713: 249-269.
- Martínez Dopico, C.I., López de Luchi M.G., Rapalini, A.E., Fanning, C.M. y Antonio, P.Y.J. 2019. Geochemistry and geochronology of the shallow-level La Esperanza magmatic system (Permian-Triassic), Northern Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences* 96: 102347.
- Martínez, A. y Giambiagi, L. 2010. Evolución petrológica y geoquímica del magmatismo bimodal Permo-Triásico del Grupo Choiyoi en el cordón del Portillo, Mendoza, Argentina. *Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo* 30: 432-451.
- Melchor, R.N. 1999. Redefinición estratigráfica de la Formación Carapacha (Pérmico), provincia de La Pampa. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54 (2): 99-108.
- Mésigos, M. 1953. El Paleozoico superior de Barreal y su continuación austral, Sierra de Barreal (prov. de San Juan). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 8(2): 65-109.
- Mirré, J.C. 1966. Geología del Valle del río de los Patos (entre Barreal y las Hornillas). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 21 (4): 211-232.
- Moreno, J.A., Dahlquist, J.A., Morales Cámara, M.M., Alasino, P.H., Larrovere, M.A., Basei, M.A.S., Galindo, C., Zandomeni, P.S. y Rocher S. 2020. Geochronology and geochemistry of the Tabaquito batholith (Frontal Cordillera, Argentina): geodynamic implications and temporal correlations in the SW Gondwana margin. *Journal of the Geological Society* 177: 455-474.
- Mpodozis, C. y Kay, S.M. 1992. Late Paleozoic to Triassic evolution of the Gondwana margin: Evidence from Chilean Frontal Cordilleran batholiths (28° to 31°S). *Geological Society of America Bulletin* 104: 999-1014.
- Mugas Lobos, M.C., Márquez-Zavalía, M.F., Gallisky, M.A., y Wälle, M. 2018. The Permian-Triassic low sulfidation epithermal Au deposit of Don Sixto, Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 75 (3): 441-456.
- Munizaga, F., Maksaev, V., Fanning, C.M., Giglio, S., Yaxley, G. y Tassi-

- nari, C.C.G. 2008. Late Paleozoic–Early Triassic magmatism on the western margin of Gondwana: Collahuasi area, Northern Chile. *Gondwana Research* 13: 407-427.
- Oliveros, V., Vásquez, P., Creixell, C., Lucassen, F., Ducea M.N., Ciocca, I., González, J., Espinoza, M., Salazar E., Coloma, F., Kasemann, S.A. 2020. Lithospheric evolution of the Pre- and Early Andean convergent margin, Chile. *Gondwana Research* 80: 202-227.
- Orme, H.M., Petford, N., Atherton, M.P., Gregori, D.A., Ruvifios, M.A. y Pugliese, S.G. 1996. Petrology and emplacement of Frontal Cordillera granitoids, Mendoza Province, western Argentina (33-34). 3° Symposium of Andean Geodynamics, 613-616, Paris.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C.W., Caminos, R., Llambías, E.J. y Párica, C.A. 1992. A revised age for the granites of the central Somuncura batholith, North Patagonian Massif. *Journal of South American Earth Sciences* 5: 321-325.
- 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 (3-4): 235-257.
- Polanski, J. 1958. El bloque Variscico de la Cordillera Frontal de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 12: 165-193.
- Poma, S. y Ramos, V.A. 1994. Las secuencias básicas iniciales del Grupo Choiyoi, Cordón del Portillo, Mendoza: Sus implicancias tectónicas. 7° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 1162-1166, Santiago de Chile.
- Poma, S., Zappettini, E.O., Quenardelle, S., Santos, J.O., Koukharsky, M., Belousova, E. y McNaughton, N. 2014. Geochemistry, U-Pb SHRIMP zircon dating and Hf isotopes of the Gondwanan magmatism in NW Argentina: petrogenesis and geodynamic implications. *Andean Geology* 41 (2): 267-292.
- Poole, G.H., Kemp, A.I.S., Hagemann, S.G., Fiorentini, M.L., Jeon, H., Williams, I.S., Zappettini, E.O., Rubinstein, N.A. 2020. The petrogenesis of back-arc magmas, constrained by zircon O and Hf isotopes, in the Frontal Cordillera and Precordillera, Argentina. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 175 (9): 89.
- Quartino, B.J., Zardini, R.A. y Amos, A.J. 1971. Estudio y exploración geológica de la región Barreal - Calingasta, provincia de San Juan, República Argentina. Monografía N°1 de la Asociación Geológica Argentina, 184 p., Buenos Aires.
- Quenardelle, S.M. y Llambías, E.J. 1997. Las riolitas de Sierra Chica (37°48'S, 65°26'O): un centro eruptivo gondwánico en el bloque del Chadileuvú, provincia de La Pampa, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 52 (4): 549-558.
- Rapalini, A.E. 1989. Estudio paleomagnético del vulcanismo permo-triásico de la región andina de la República Argentina. Consecuencias tectónicas y geodinámicas. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires (inédita), 283 p., Buenos Aires.
- Rapela, C.W. y Llambías, E.J. 1985. Evolución magmática y relaciones regionales de los complejos eruptivos de La Esperanza, provincia de Rio Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 40: 4-25.
- Rocha-Campos, A.C., Basei, M.A., Nutman, A.P., Kleiman, L.E., Varela, R., Llambías, E., Canile, F.M. y da Rosa, O. de C.R. 2011. 30 million years of Permian volcanism recorded in the Choiyoi igneous province (W Argentina) and their source for younger ash fall deposits in the Paraná Basin: SHRIMP U–Pb zircon geochronology evidence. *Gondwana Research* 19: 509-523.
- Rocher, S., Vallecillo, G., Castro de Machuca, B. y Alasino, P. 2015. El Grupo Choiyoi (Pérmico temprano-medio) en la Cordillera Frontal de Calingasta, San Juan, Argentina: volcanismo de arco asociado a extensión. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 32 (3): 415-432.
- Rollinson, H.R. 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman Scientific & Technical, London, 352 p.
- Rubinstein, N., Osters, H., Mallimacci, H. y Carpio, F. 2004. Lead isotopes from gondwanic ore polymetallic vein deposits, San Rafael Massif, Argentina. *Journal of South American Earth Science* 16: 595-602.
- Sato, A.M. y Llambías, E.J. 1993. El Grupo Choiyoi, provincia de San Juan: equivalente efusivo del Batolito de Colangüil. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 4: 156-165, Mendoza.
- Sato, A.M., Llambías, E.J., Basei, M.A.S y Castro, C.E. 2015. Three stages in the Late Paleozoic to Triassic magmatism of southwestern Gondwana, and the relationships with the volcanogenic events in coeval basins. *Journal of South American Earth Sciences* 63: 48-69.
- Sessarego, H. 1988. Estratigrafía de las secuencias epiclásticas devónicas a triásicas aflorantes al norte del río San Juan y al oeste de las Sierras del Tigre, provincia de San Juan. Tesis doctoral Universidad de Buenos Aires (Inédita), 330 p.
- Shand, S.J., 1943. *Eruptive Rocks. Their genesis, composition, classification, and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorite*. John Wiley & Sons, 444 pp. New York
- Sillitoe, R. 1977. Permo-Carboniferous, Upper Cretaceous, and Miocene Porphyry Copper-type mineralization in the Argentinian Andes. *Scientific Communications, Economic Geology* 72: 99-109.
- Stipanovic, P.N. 1979. El Triásico del valle del Río de Los Patos (provincia de San Juan). En: Turner, J.C.M. (ed.), *Geología Regional Argentina: Academia Nacional de Ciencias* 1: 695-744, Córdoba.
- Strazzere, L. y Gregori, D.A. 2005. Interpretación de la sucesión volcánicla del Grupo Choiyoi en la Quebrada de Santa Elena, Precordillera de Mendoza, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60 (3): 486-494.
- Strazzere, L. y Gregori, D. 2007. Stratigraphy and evolution of the Choiyoi Group at Precordillera and Cordillera Frontal Mendoza, Argentina. *GSA Denver Annual Meeting, Paper No. 143-39*.
- Strazzere, L., Gregori, D.A. y Benedini, L. 2016. Early Permian arc-related volcanism and sedimentation at the western margin of Gondwana: Insight from the Choiyoi Group lower section. *Geoscience Frontiers* 7: 715-731.
- Sun, S.S. y McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematic of

- oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. En: Saunders, A.D. and Norry, N.J. (eds.), *Magmatism in the ocean basins*. Special Publications 42: 313-345, Geological Society, London.
- Tický, H., Tomezzoli, R., Chemale Jr., F. y Rapalini, A. 2010. Litología y edad de las volcanitas del cerro Centinela, provincia de Pampa. 10° Congreso de Mineralogía y Metalogénesis, Universidad Nacional de Río Cuarto, Comunicación: 375-376.
- Tomezzoli, R.N., Saint Pierre, T. y Valenzuela, C. 2009. New palaeomagnetic results from Late Paleozoic volcanic units along the western Gondwana margin in La Pampa, Argentina. *Earth Planets Space* 61: 183-189.
- Torres, M.G., Rubinstein, N., Poole, G. y Hagemann, S. 2020. Adakitic signal linked to Gondwanan porphyry type deposits from the Andean Frontal Cordillera of Argentina. *Geochemistry* 80: 125634
- Wilson, M. 1989. *Igneous Petrogenesis*. Unwin Hyman, 466 p. London
- 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.