

Evolución petrológica y geoquímica del magmatismo bimodal Permo-Triásico del Grupo Choiyoi en el cordón del Portillo, Mendoza, Argentina

A. MARTINEZ^{1*} Y L. GIAMBIAGI²

¹*Cátedra de Mineralogía, Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad Nacional de San Luis, Chacabuco 917, CP: 5700, San Luis, Argentina.*

²*IANIGLA-CCT Mendoza-CONICET, Parque San Martín s/n, CP: 5500. Mendoza, Argentina.*

**e-mail: amartinez@unsl.edu.com*

Resumen: Las rocas ígneas del Grupo Choiyoi desarrollado durante el Pérmico Medio hasta el Triásico Tardío que afloran en la Cordillera Frontal de Argentina y Chile, muestran cambios en su petrografía y geoquímica a través del tiempo. Las unidades ígneas reconocidas en la ladera oriental del cordón del Portillo, están compuestas por basaltos y andesitas, ignimbritas y lavas riolíticas junto a intrusivos graníticos y pórfidos graníticos hipabisales que conforman el magmatismo Permo-Triásico desarrollado en el margen occidental de Gondwana. Estas rocas ígneas fueron emplazadas con posterioridad a la fase orogénica San Rafael, la cual tuvo lugar durante el Pérmico Temprano. Los granitoides tardíos asociados con las riolitas y con los basaltos calcoalcalinos son los representantes de un magmatismo bimodal en un ambiente extensional. El gran desarrollo de este volcanismo en la Cordillera Frontal, se debió a un episodio de extensión regional con fusión cortical vinculado a un subplacado basáltico.

Palabras claves: Gondwana, Cordillera Frontal, Permo-Triásico, Grupo Choiyoi, ambiente extensional.

Abstract: Petrological and geochemical characteristics of igneous rocks of the Permian-Triassic Group Choiyoi event, cropping out in the Cordillera Frontal of Argentina and Chile, show changes in their petrology and geochemistry through time. Igneous units recognized in the eastern side of the cordón del Portillo are composed of basalts and andesites, ignimbrites and rhyolitic lavas and intrusive granite and porphyritic granitic bodies members of the Permian-Triassic magmatism developed in the western margin of Gondwana. These igneous rocks were emplaced after the San Rafael orogenic phase, which took place during the Early Permian. Granitoids associated with rhyolite and calc-alkaline basalts are representative of a typical bimodal magmatism in a extensional environment. The large number of intrusive and volcanic rocks, which are generated in the region of the Cordillera Frontal, was due to a regional extensive episode with crustal melting by underplating basaltic.

Keywords: Gondwana, Cordillera Frontal, Permian-Triassic, Choiyoi Group, extensional environment.

La evolución durante el Permo-Triásico del sudoeste de Sudamérica entre los 26° y 38° latitud sur, estuvo caracterizada por el desarrollo de un extenso arco magmático que cubrió una superficie superior a los 200.000 km², aunque en subsuelo alcanza cerca de los 500.000 km², convirtiéndolo en un LIP (*large igneous province*) según Coffin y Eldholm (1992). Los pro-

ductos de este magmatismo fueron agrupados bajo el nombre de Grupo Pastos Blancos (Martin *et al.*, 1999) en el norte Chile y Grupo Choiyoi (Stipanovic *et al.*, 1968) en la Cordillera Frontal de Argentina que abarca las provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza, extendiéndose también por la Cordillera del Viento en Neuquén, Bloque de Chadileuvú en La

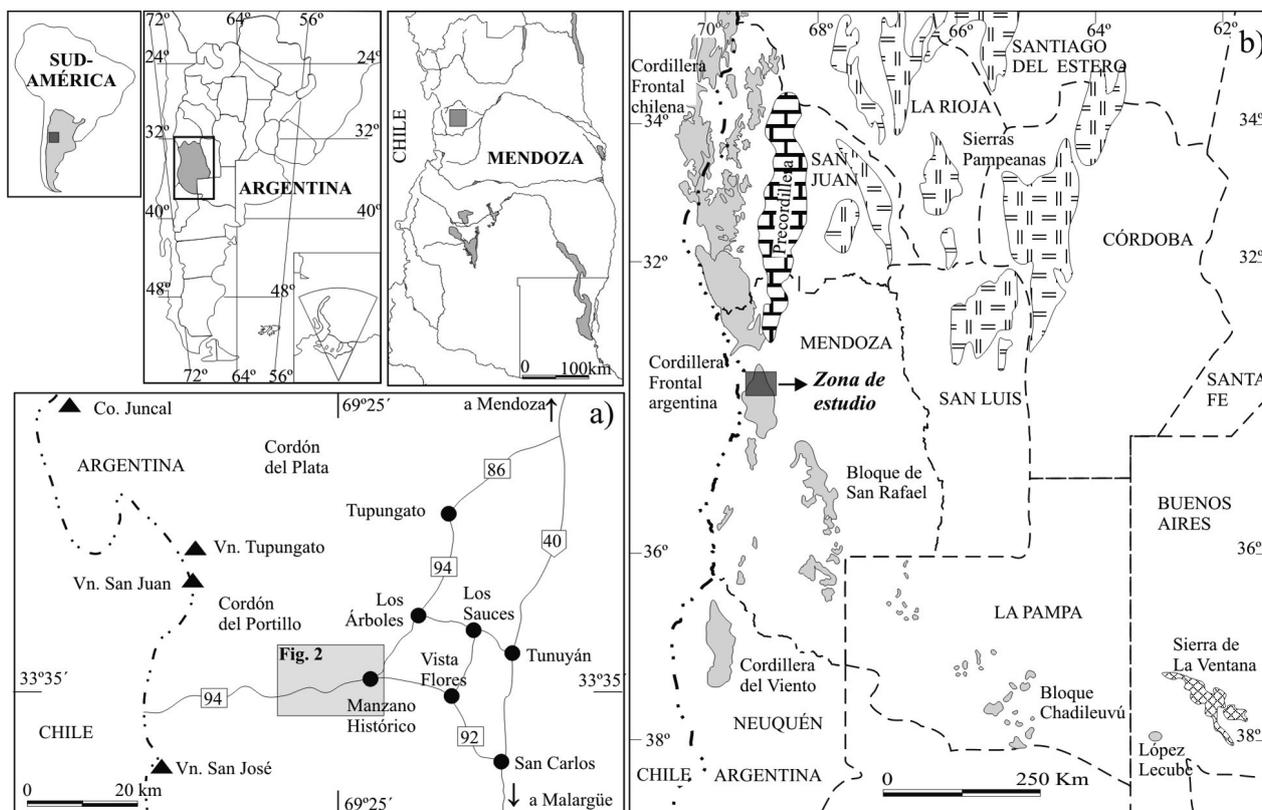


Figura 1. a) Mapa general de ubicación de la zona de estudio. b) Mapa geológico regional de la zona de trabajo. En gris se representan los afloramientos correspondientes al Grupo Choiyoi, con rastros de calizas las unidades sedimentarias que corresponden a la Precordillera y en líneas cortadas el basamento metamórfico de las Sierras Pampeanas.

Pampa y en pequeños asomos en las provincias de Buenos Aires (Fig. 1).

El Grupo Choiyoi es una extensa sucesión volcánica bimodal que tiene un espesor que varía entre 2 y 4 km y está formado por coladas basálticas, brechas y andesitas en su parte inferior y por lavas e ignimbritas riolíticas en su parte superior. Su equivalente plutónico lo forman cuerpos graníticos en su gran mayoría. Este evento magmático constituye un momento clave en la evolución del margen occidental del Gondwana, por su amplia duración temporal superior a los 70 Ma y por su gran desarrollo areal durante un periodo extensional de rift. El magmatismo bimodal del Grupo Choiyoi se habría formado como consecuencia de un subplacado basáltico formado en la base de la corteza (Hildreth, 1981). Este evento regional y el magmatismo generado pueden interpretarse como los primeros ensayos de ruptura del Gondwana para los tiempos permo-triásicos.

El objetivo del presente trabajo fue caracterizar a las unidades del Grupo Choiyoi situadas en los alrededores de la localidad del Manzano Histórico (33°35'

latitud sur y 69°25' longitud oeste), cordón del Portillo (Fig. 1a), cordillera Frontal de Mendoza, en función de sus relaciones de campo, características mineralógicas, petrográficas y variaciones geoquímicas, para definir su génesis y relaciones temporales entre ellas. La elección de este sector se debió a que allí aflora una de las secuencias ígneas más completas del Grupo Choiyoi en la Cordillera Frontal desde el punto de vista composicional y donde se observan buenas exposiciones de su base, ya que se encuentra cubierta. También fueron analizados otros basaltos análogos del Grupo Choiyoi ubicados a 16 km más al Norte del área de trabajo en cercanías a la localidad de Los Árboles (Fig. 1a) por presentar similitudes composicionales y temporales.

Antecedentes de la denominación Grupo Choiyoi

El nombre Grupo Choiyoi fue originalmente asignado por Stipanovic *et al.* (1968) a un complejo volcano-plutónico que aflora en el macizo Nordpatagónico, norte de la provincia de Río Negro, localizado a unos 1000 km al sur del área de estudio. Este nombre se utiliza en la actualidad pese a que antes fue denominado de otras

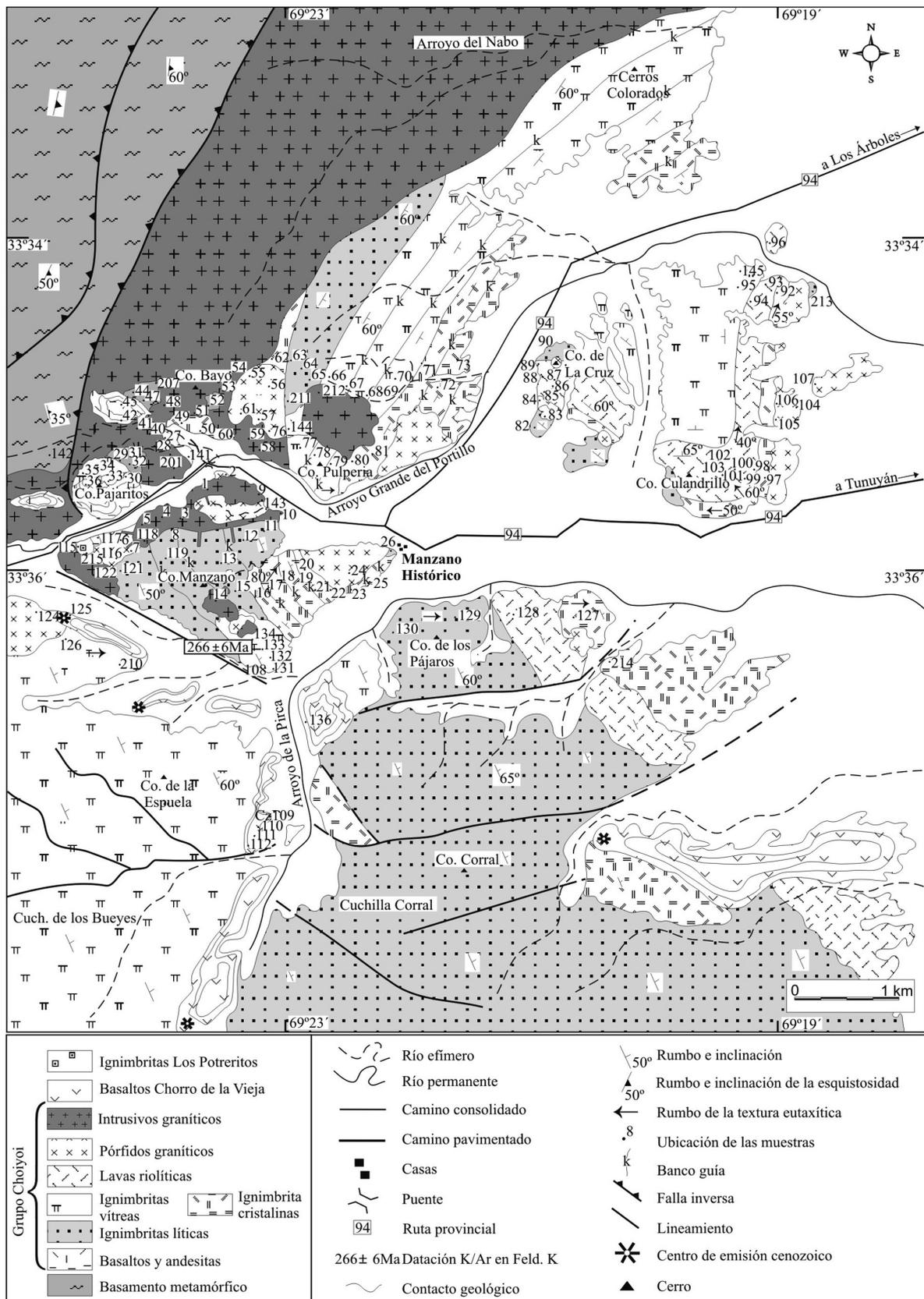


Figura 2. Mapa geológico de los alrededores del Manzano Histórico, cordón del Portillo.

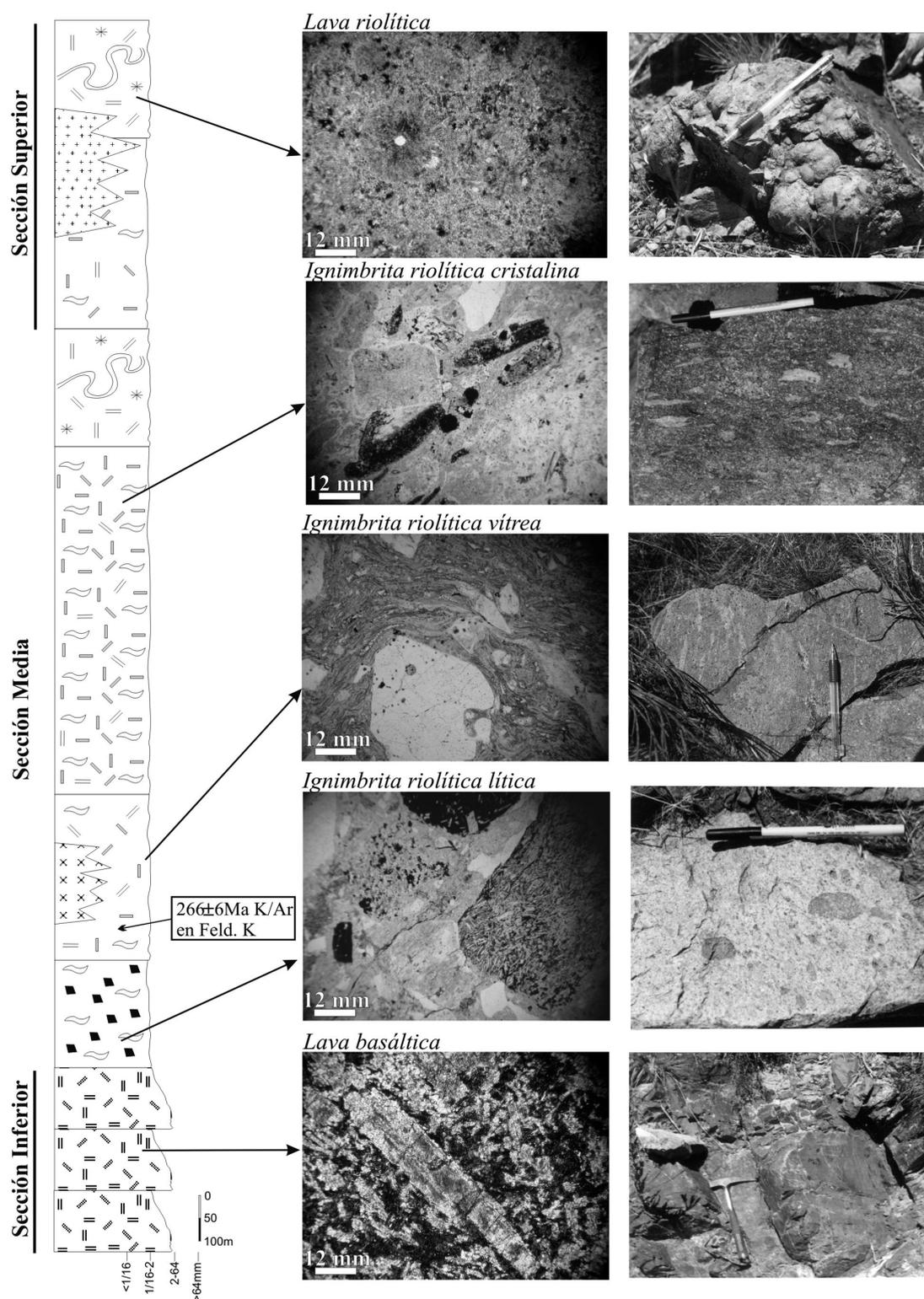


Figura 3. Columna estratigráfica esquemática de las unidades gondwánicas del Grupo Choyoi, con fotos de afloramientos y microfotografías de láminas delgadas. De abajo hacia arriba: *Lava basáltica* afanítica en afloramiento y en corte delgado un fenocristal de plagioclasa. *Ignimbrita riolítica lítica* con abundantes litoclastos que se distinguen en el corte su origen basáltico. *Ignimbrita riolítica vítrea* con textura eutaxítica tanto en afloramiento como en corte, la cual se acomoda a los cristaloclastos de cuarzo. *Ignimbrita riolítica cristalina* con abundantes vitroclastos y cristaloclastos de cuarzo, feldespato y biotitas. *Lava riolítica* con texturas esferulítica de desvitrificación tanto en muestra de mano como en corte delgado.

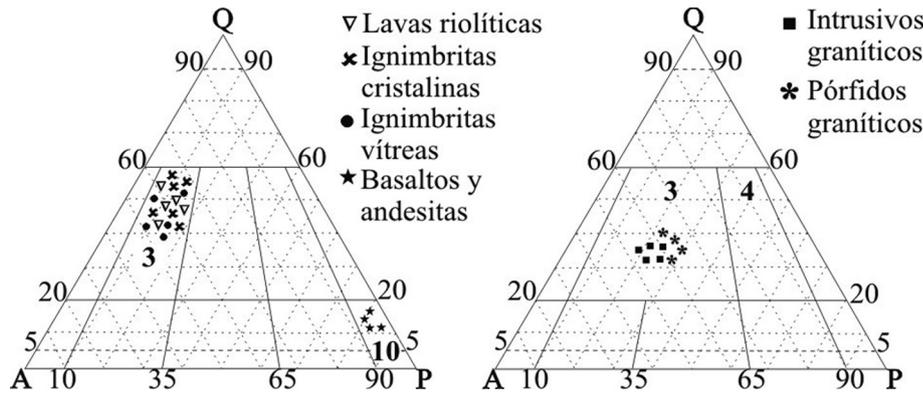


Figura 4. Triángulo QAP de Streckeisen (1973) para las rocas gondwánicas del Grupo Choiyoi. Obsérvese la distribución bimodal del magmatismo estudiado.

maneras: serie porfirítica (Groeber, 1918), Choiyoi Mahuida (Groeber, 1946), serie porfirítica supratriásica o choiyoilitense (Groeber *et al.*, 1953), serie volcánica post-carbónica (González Díaz, 1958), asociación volcánica meso y tardío variscica (Polanski, 1958, 1964), asociación volcánica variscica (Caminos, 1965), vulcanitas eopérmicas (Dessanti y Caminos, 1967) y Formación Choiyoi (Rolleri y Criado Roque, 1969).

Materiales y métodos

Se procedió al estudio mineralógico y petrográfico de las muestras obtenidas a través de 70 láminas delgadas; realizándose una descripción detallada de las unidades aflorantes y una selección de aquellas que tuvieran características óptimas para su análisis geoquímico posterior. La composición de las plagioclasas se efectuó mediante el método de Michel-Lévy. Las muestras seleccionadas para el estudio de elementos mayoritarios, minoritarios, de tierras raras y trazas, fueron enviadas a los laboratorios ACTLABS (Activation Laboratories LTD), Canadá, para sus determinaciones por fluorescencia de rayos X e ICP/MS (*inductively coupled plasma-mass spectrometry*) y a la Universidad de Cornell, Estados Unidos.

Se eligió una muestra representativa de la secuencia volcánica estudiada correspondiente a una ignimbrita riolítica que fue enviada al Laboratorio de Geocronología del SERNAGEOMIN de Chile para su análisis mediante el método K/Ar sobre sanidina.

Marco geológico regional

El nombre de Cordillera Frontal fue definido por Groeber (1938) para caracterizar a la cadena montañosa situada entre la Precordillera y la Cordillera Principal (Fig. 1). Esta cadena abarca las provincias de La Rioja, San Juan y Mendoza, entre los 28°00' y 34°35' de latitud sur y los 69°00' y 70°00' de longitud oeste y está integrada por varios cordones, como el del Portillo aquí analizado. En dicha cordillera se encuentran representantes de distintas edades, correspondiendo la más antigua a las rocas metamórficas del Proterozoico Medio que constituyen el basamento pre-volcánico del cordón del Portillo. Estas rocas forman parte del complejo metamórfico definido por Polanski (1964), representado en la zona de estudio por esquistos biotíticos plegados, con motas de biotita hacia el contacto con los granitos e intercalados con bancos de cuarcitas. Ramos y Basei (1997) dataron

Tabla I. Composición modal para las rocas ígneas del Grupo Choiyoi. Las cruces corresponden a minerales accesorios o de origen secundario.

Secciones del Grupo Choiyoi	Componentes	M. principales		M. característ.			M. accesorios					M. secundarios				Proclastos		Xenolitos								
		plagioclasa	feldespato potásico	cuarzo	olivina	piroxeno	biotita	apatito	alcalinita	granate	zircón	turmalina	minerales opacos	muscovita	biotita	anfíbol	titanita	epidoto	cloritas	carbonatos	Matriz	líticos	pómez	xenol. ígneos	xenol. met.	
Superior	Intrusivos graníticos	25	35	30			5	x	x			x	x													
	Pórfidos graníticos	20	20	20			5	x	x			x	x	x				x	x	x	30			si	si	
	Lavas riolíticas	5	15	15			5	x				x						x	x	x	55					
Media	Ignimbritas cristalinas	5	20	25			5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	30		10			
	Ignimbritas vítreas	5	15	20			5	x				x	x	x				x	x	x	40		10			
	Ignimbritas líficas	10	20	25			5	x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	20	15		si		
Inferior	Lavas basálticas		30		10	5		x					x					x	x	x	50				si	

mediante U/Pb sobre circones los gneisses ubicados en las Yaretas, a unos 20 km al oeste de la zona de estudio, obteniendo una edad de 1069 ± 36 Ma (Proterozoico), la cual permite relacionar a estas rocas metamórficas con la orogenia Grenvilleana.

Las unidades plutónicas y volcánicas que constituyen los mayores afloramientos corresponden a varios pul-

sos magmáticos que pueden dividirse en función de su edad en dos episodios ígneos: el grupo denominado de manera informal como Grupo pre-Choiyoi que abarca desde el Carbonífero Temprano al Pérmico Temprano (Mpodozis y Kay, 1990, 1992) y el Grupo Choiyoi correspondiente al Pérmico Medio-Triásico Tardío (Rapela y Llambías, 1999), ambos separados por la fase orogénica San Rafael (FOSR) ocurrida

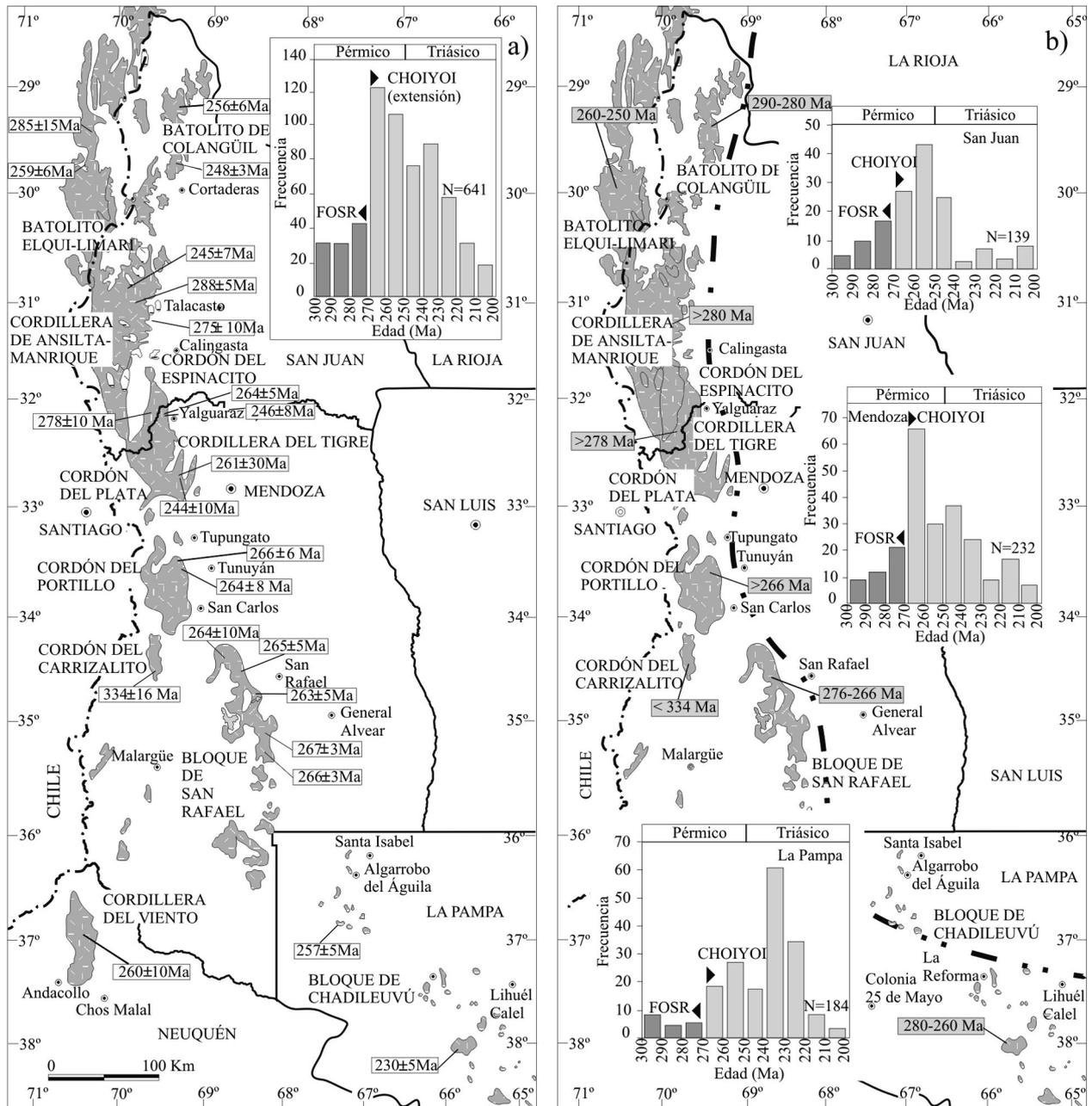


Figura 5. a) Distribución regional de algunas edades correspondientes al Grupo Choiyoi e histograma frecuencia vs. edades (Ma) efectuado sobre 642 valores compilados. Obsérvese los picos de máxima frecuencia entre los 270 y 230 Ma. b) Edades aproximadas para la fase orogénica San Rafael (FOSR) e histogramas frecuencia vs. edad para el magmatismo del Grupo Choiyoi en las provincias de San Juan, Mendoza y La Pampa. Nótese como las edades del magmatismo gondwánico se hacen más jóvenes hacia el Sur.

Tabla II. Valores analíticos obtenidos por el método K/Ar sobre feldespato potásico correspondiente a la muestra 133 (33° 35' latitud sur y 69°25' longitud oeste).

Muestra	Material	K (%)	Ar rad (nl/g)	Ar atm (%)	Edad (Ma)	Error (2 σ)	Latitud	Longitud
133	sanidina	7,057	78,709	5	266	6	33° 30'	69° 25'

durante el Pérmico Temprano. Las rocas del Grupo Choiyoi, por apoyarse en discordancia angular sobre unidades deformadas por la FOSR y estar cubiertas por depósitos sedimentarios triásicos tardíos, permiten acotar el evento ígneo entre el Pérmico Medio y el Triásico Tardío (Martínez, 2004).

El volcanismo cenozoico se encuentra representado por basaltos y rocas piroclásticas (Basaltos Chorro de la Vieja e Ignimbritas Los Potreros) del Terciario Inferior a Medio (Fig. 2). La edad de estas rocas fue definida por Stern *et al.* (1984) quienes obtuvieron una edad de 0,45 Ma correspondiente al Pleistoceno Medio (ISC, 2009).

Estratigrafía y petrografía del Grupo Choiyoi

En la zona de estudio, el Grupo Choiyoi fue dividido en tres secciones sobre la base de sus relaciones de campo, petrografía y geoquímica. La sección inferior está formada por lavas basálticas y andesíticas, la media por ignimbritas riolíticas líticas, cristalinas y vítreas, junto a lavas riolíticas y la sección superior la integran pórfidos graníticos e intrusivos graníticos. Las relaciones entre las tres secciones se ilustran en la figura 3, que corresponde a un perfil ideal que vincula las tres secciones tanto en sus observaciones de campo como en función de los resultados de la petrografía y la geoquímica. Las rocas ígneas fueron clasificadas de acuerdo al triángulo QAP de Streckeisen (1973) (Fig. 4) sobre la base de los valores modales presentados en la tabla I. A continuación se describen las distintas secciones comenzando por la sección inferior más antigua, cuyo espesor ronda los 200 m, para pasar luego a la media de 3000 m de potencia y por último a la superior constituida por un espesor de 900 m.

Sección Inferior

Lavas basálticas y andesíticas: las rocas basálticas y andesíticas se ubican en el cerro Pajaritos, donde se reconocieron hasta seis coladas bien definidas (Fig. 2), y también en cercanías de la localidad de Los Árboles (Fig. 1a). Son rocas de color negro con variaciones texturales desde afíricas hasta porfídicas con fenocristales de plagioclasa, de hasta 7 cm de largo orientados de manera subparalela. Dichas rocas presentan xeno-

litos y fragmentos de la caja metamórfica, junto a diques ácidos y venas leucocráticas de hasta 10 cm de ancho provenientes de los cuerpos ácidos. Los fenocristales de plagioclasas (An₅₅) son subhedrales a euhedrales dentro de una pasta afieltrada (Fig. 3). Por otro lado, los basaltos de Los Árboles presentan fenocristales de plagioclasa y olivinos en una pasta alterada a cloritas y minerales opacos, además de amígdalas rellenas con epidota, carbonatos, titanitas, minerales opacos y cloritas. Estas rocas constituyen coladas fluidas ricas en plagioclasas que pueden clasificarse como feno-basalto (Tabla I, Fig. 4). En cuanto a su geoquímica, estas rocas se clasifican como basalto y andesita. La intrusión de los cuerpos graníticos generó sobre dichas rocas un metamorfismo térmico transformándolas a corneanas biotíticas hornbléndicas, aunque los basaltos de Los Árboles se encuentran sin evidencias de metamorfismo. La relación espacial de los basaltos se determinó mediante métodos indirectos: xenolitos del basamento englobados en las coladas que indican un origen posterior a éste y fragmentos basálticos en el interior de las ignimbritas que denotan un origen anterior a ellas.

Sección Media

Ignimbritas riolíticas líticas, cristalinas y vítreas: las ignimbritas riolíticas cubren una amplia región de la zona de estudio (Fig. 2). Son rocas de color variado, gris, blanco, negro, celeste, rosa, morado y violeta. Sobre la base de estas diferenciaciones se pudieron reconocer y utilizar bancos guías para el mapeo. Este depósito presenta fragmentos cognatos basálticos, de ignimbritas previas y de calcedonia desde 0,1 cm hasta 15 cm. Los cristaloclastos corresponden a cuarzo, plagioclasa (An₂₃₋₂₅) y sanidina euhedrales dentro de una matriz de textura felsítica, eutaxítica, granofírica y esferulítica, junto a biotita, apatito, zircón, allanita, granate, turmalina y minerales opacos (Fig. 3). El grado de soldamiento es alto por encontrarse los vitroclastos deformados y plegados, siguiendo los contornos cristalinos. Los vitroclastos están desvitrificados a esferulitas radiales que muestran en su interior cristales euhedrales preservados. En función de sus fenoclastos estas rocas se clasifican como feno-riolita (Tabla I, Fig. 4), donde las diferentes proporciones de los componentes le transfieren el carácter a la ignimbrita, ya sea lítico, cristalino o vítreo. La génesis de los

Tabla III. Composición química de las rocas analizadas del Grupo Choiyoi. Los espacios en blancos corresponden a los elementos no determinados.

Grupo Choiyoi	Sección Inferior								Sección Media			
	Basaltos y andesitas								Ignimbríticas		Ign. cristalina	
	Coordenadas	pa 2	pa 1	pa 3	pa 5	pa 6	cm1	pa 4	B7	11	119	22
Latitud	33°34'	33°34'	33°34'	33°34'	33°34'	33°34'	33°34'	33°32'22"	33°35'57"	33°36'10"	33°36'26"	
Longitud	69°25'08"	69°25'08"	69°25'08"	69°25'08"	69°25'08"	69°25'08"	69°25'08"	69°19'35"	69°23'54"	69°24'50"	69°23'33"	
Mayor (%)												
SiO ₂	46,26	51,09	54,43	55,86	56,65	58,63	64,7		74,65	75,11	70,59	
Al ₂ O ₃	16,98	15,92	19,42	17,64	17,61	15,93	13,91		13,54	13,46	15,51	
TiO ₂	1,63	1,51	1,29	1,17	1,2	0,98	0,91		0,17	0,14	0,28	
Fe ₂ O ₃	12,14	11,43	8,63	10,15	7,75	7,39	7,28	11,7	1,92	1,77	2,61	
MnO	0,15	0,15	0,14	0,09	0,04	0,08	0,08		0,04	0,04	0,05	
MgO	5,48	5,52	2,03	0,79	1,09	2,22	0,53		0,42	0,22	0,2	
CaO	9,09	6,92	4,93	3,12	4,16	4,09	3,19		1,06	0,93	1,18	
Na ₂ O	2,69	3,39	4,55	5,15	5,63	2,89	5,2	2,62	3,36	3,98	4,03	
K ₂ O	1,9	2,34	3,91	4,24	3,57	4,24	1,96		4,79	4,31	5,46	
P ₂ O ₅	0,25	0,37	0,51	0,54	0,38	0,24	0,52		0,05	0,04	0,09	
LOI									1,31	0,85	1,03	
Total	96,57	98,64	99,84	98,75	98,08	96,69	98,28		101,31	100,85	101,03	
Trazas (ppm)												
Ba	508	708	1088	1119	591	642	533	969	306	312	1777	
Cs	6,8	5,1	3,7	4,5	3,1	4,3	0,9	4	7,48	8,16	3,01	
Rb	54	60	125	72	111	186	36		186	155	121	
Sr	498	466	374	402	368	297	371	451	85	73	136	
Ga									15	18	17	
Pb									44	18	27	
Zn	111	118	98	83	33	85	35		146	32	80	
V									16	14	5	
Cr	86	101	<0,5	0,6	0,9	11,7	<0,5	44	1	3	1	
Sc	21,6	19,1	12,3	9,4	4,1	14,5	8,3	18	6	6	9	
Ni	32	48	3	2	2	9	2	24	4	2	1	
Co	50,3	50,3	21,1	25,2	31,6	54,2	32,9	31				
Cu									4	5	5	
Br									0,51	0,5	0,5	
Be									3,03	2,02	2,01	
Se									0,51	0,5	0,5	
As									5,05	3,02	2,01	
Ag									0,3	0,3	0,3	
Au									6,1	4	11	
Hg									1	1	1	
Ir									1	1	1	
S									50,53	50,58	50,23	
Sb									0,3	0,5	0,2	
Mo									1,01	2,02	8,04	
W									644,78	1652,36	858,86	
Sn									5,05	5,04	5,05	
Cd									0,3	0,3	0,3	
Bi									0,51	0,5	0,5	
Nb	7	6,5	17,7	6,3	6,8	17,5	7,5		14,1	14,1	15,1	
Zr	176	298	363	281	375	340	256		133	124	374	
Y	25,5	30	35	35,7	43	45	36,5		41	36	36	
Ta	0,5	0,6	0,8	0,8	0,6	1,5	0,9	0,8	2,43	4,63	2,71	
U	0,4	0,5	1,6	0,9	0,7	3,5	1,4	1,4	2,43	2,72	2,31	
Th	2,5	3,2	5,7	3,7	4,3	13,8	3,2	4,8	12,23	13,7	13,46	
Hf	3,9	5,9	5,2	6,3	9,2	8,7	5,5	6,4	7,18	4,23	7,33	
REE (ppm)												
La	19,7	30,1	36,5	31,3	29,3	45,6	26,7	33,4	29,11	30,83	107,48	
Ce	44	66	85	68	72	96	57	33,4	61,65	59,44	203,92	
Nd	24	35	44	37	45	45	31	41,5	26,28	31,23	73,33	
Sm	5,11	6,92	9,23	7,22	9,28	8,85	6,14	9,08	7,37	7,59	11,75	
Eu	1,33	1,7	2,25	1,99	1,94	1,5	1,67	2,23	0,75	0,76	2,25	
Gd												
Tb	0,7	1	1,4	1,1	1,2	1,4	0,9	1,375	1,21	1,11	1,1	
Yb	2,47	3,19	4,46	3,19	3	4,28	2,79	3,69	4,21	4,11	4,12	
Lu	0,38	0,49	0,68	0,47	0,5	0,59	0,43	0,485	0,63	0,6	0,62	
Relaciones												
Ba/La	25,786802	23,5215947	29,8082192	35,7507987	20,1706485	14,0789474	19,9625468	29,011976	10,5118516	10,120013	16,53330852	
La/Sm	3,85518591	4,34971098	3,95449621	4,33518006	3,15732759	5,15254237	4,3485342	3,6784141	3,94979647	4,0619236	9,147234043	
La/Yb	7,9757085	9,43573668	8,1838565	9,81191223	9,76666667	10,6542056	9,56989247	9,05149051	6,91448931	7,5012165	26,08737864	
Sm/Yb	2,06882591	2,169279	2,06950673	2,26332288	3,09333333	2,06775701	2,20071685	2,46070461	1,75059382	1,8467153	2,851941748	
Ba/Ta	1016	1180	1360	1398,75	985	428	592,222222	1211,25	125,925926	67,386609	655,7195572	
La/Ta	39,4	50,1666667	45,625	39,125	48,8333333	30,4	29,6666667	41,75	11,9794239	6,687473	39,66051661	

Tabla III. Composición química de las rocas analizadas del Grupo Choiyoi. Los espacios en blancos corresponden a los elementos no determinados.

Grupo Choiyoi	Sección Media				Sección Superior						
	Ign. cristalina	Ign. vítreas			Lv. riolíticas		Granitoides		Pórfidos		
Coordenadas	20	71	70	133	85	86	116	122	2	83	24
Latitud	33°36'14"	33°35'07"	33°35'08"	33°30'10"	33°35'26"	33°35'22"	33°36'04"	33°36'06"	33°35'35"	33°35'26"	33°36'14"
Longitud	69°23'39"	69°22'36"	69°22'51"	69°24'08"	69°21'42"	69°21'42"	69°25'20"	69°25'20"	69°24'18"	69°21'42"	69°23'21"
Mayor (%)											
SiO ₂	76,75			76,93			73,34	76,77			70,36
Al ₂ O ₃	12,71			12,43			14,06	12,47			15,28
TiO ₂	0,12			0,1			0,15	0,13			0,22
Fe ₂ O ₃	1,95	4,5	2,07	1,32	1,22	1,92	1,88	1,6	3,55	2,97	2,68
MnO	0,01			0,04			0,04	0,03			0,07
MgO	0,06			0,06			0,19	0,1			0,08
CaO	0,5			0,58			1,05	0,62			0,9
Na ₂ O	3,13	3,36	4,42	3,77	3,82	5,76	4,17	3,37	4,12	4,5	4,59
K ₂ O	4,73			4,75			5,07	4,89			5,79
P ₂ O ₅	0,03			0,02			0,05	0,03			0,03
LOI	0,79			0,74			1,12	0,72			0,88
Total	100,78			100,74			101,12	100,73			100,88
Trazas (ppm)											
Ba	201	611	313	186	76	123	731	348	2531	368	486
Cs	7,49	4	4,1	2,21	1,1	2,3	1,51	4,95	3,6	1,3	2,72
Rb	189			137			128	185			109
Sr	25	221	30	20	8	27	72	35	247	44	41
Ga	16			16			15	17			19
Pb	29			56			8	22			23
Zn	29			66			42	54			63
V	5			5			5	5			5
Cr	1	9	1	1			1	1	1	1	1
Sc	8	10	9,5	5	3,3	5,5	8	6	11,5	13,8	12
Ni	1	8	1	1	1	0	1	1	7	1	1
Co		10	4						4		
Cu	2			4			2	2			3
Br	0,51			0,5			0,5	0,5			0,5
Be	3,08			3,02			2,02	2,02			3,02
Se	0,51			0,5			0,5	0,5			0,5
As	2,05			15,09			2,02	2,02			2,01
Ag	0,3			1,2			0,3	0,3			0,3
Au	4,1			7			42,4	19,2			10,1
Hg	1			1			1	1			1
Ir	1			1			1	1			1
S	51,33			50,31			50,42	50,48			50,36
Sb	0,21			0,2			0,2	0,2			0,2
Mo	1,03			2,01			1,01	2,02			2,01
W	360,35			1136,99			1018,52	969,13			560,97
Sn	5,13			5,03			5,04	5,05			5,04
Cd	0,31			0,3			0,3	0,3			0,3
Bi	0,51			0,5			0,5	0,5			0,5
Nb	16,4			15,1			16,1	18,2			19,1
Zr	200			171			204	207			484
Y	39			45			45	38			47
Ta	1,64	0,87	1,56	3,72	1,06	1,72	4,03	3,13	0,75	0,94	2,62
U	3,59	3,3	3,8	4,02	4	6,1	3,23	3,43	2,5	3	2,22
Th	18,48	13,1	20,6	13,78	13,9	21,9	15,23	17,06	16,8	20,5	18,33
Hf	7,19	7,2	7,9	7,75	6,4	10,2	9,08	5,32	10,4	12,5	12,59
REE (ppm)											
La	63,14	37,7	46,4	48,8	40	58,8	58,79	48,66	134,9	198,8	212,5
Ce	119,09	87,8	138,2	93,58	94,6	145,9	113,95	100,95	281,9	408,7	354,51
Nd	52,36	30,5	51,1	44,27	43,9	65	49,41	47,45	108,1	151,2	131,93
Sm	10,05	7,25	9,31	8,8	9,77	12,89	10,02	10,09	14,99	17,87	18,83
Eu	0,55	1,125	0,867	0,63	0,202	0,259	1,14	0,59	2,545	0,996	0,97
Gd											
Tb	1,13	0,974	1,581	1,31	0,493	1,707	1,31	1,11	1,299	3,415	1,51
Yb	4,65	2,66	4,35	4,11	4,82	7,12	4,41	4,25	3,34	4,11	4,5
Lu	0,7	0,423	0,564	0,63	0,635	0,939	0,67	0,65	0,46	0,572	0,68
Relaciones											
Ba/La	3,183401964	16,206897	6,74568966	3,81147541	1,9	2,0918367	12,4340874	7,15166461	18,762046	1,85110664	2,28705882
La/Sm	6,282587065	5,2	4,98388829	5,545454545	4,09416581	4,5616757	5,86726547	4,82259663	8,99933289	11,1247902	11,2851832
La/Yb	13,57849462	14,172932	10,66666667	11,87347932	8,29875519	8,238427	13,3310658	11,4494118	40,3892216	48,3698297	47,2222222
Sm/Yb	2,161290323	2,7255639	2,14022989	2,141119221	2,02697095	1,8103933	2,27210884	2,37411765	4,48802395	4,34793187	4,18444444
Ba/Ta	122,5609756	702,29885	200,641026	50	71,6981132	71,511628	181,389578	111,182109	3374,66667	391,489362	185,496183
La/Ta	38,5	43,333333	29,7435897	13,11827957	37,7358491	34,186047	14,5880893	15,5463259	179,866667	211,489362	81,1068702

sectores líticos estaría vinculada a la apertura del conducto volcánico marcando el comienzo de la erupción

explosiva, constituyendo la base de todo el depósito eruptado a posteriori. Los fragmentos cognatos de

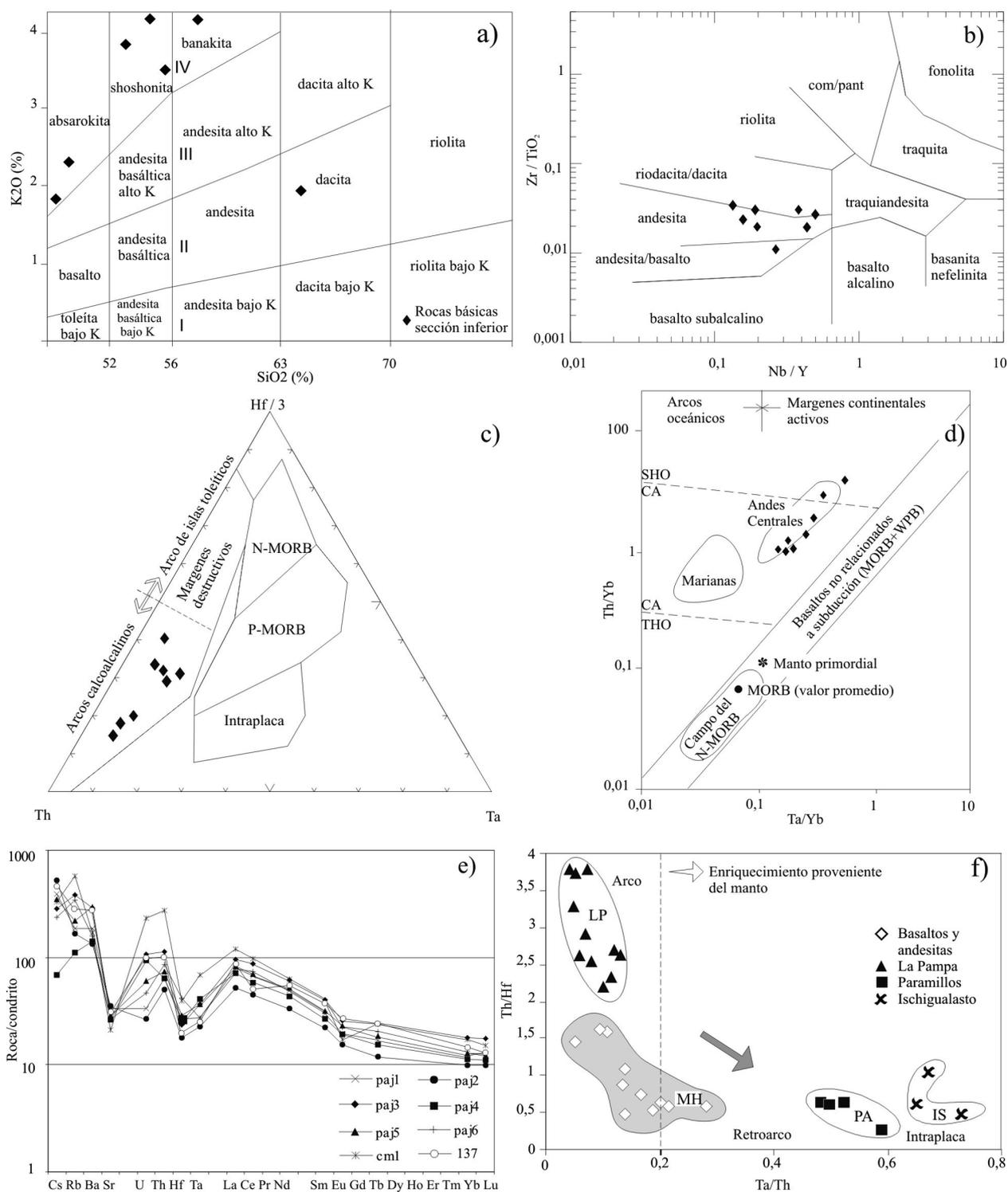


Figura 6. a) Diagrama K_2O vs. SiO_2 de Peccerillo y Taylor (1976), campos I: serie de arco toléfítico, II: serie calcoalcalina, III: serie calcoalcalina de alto K, IV: serie shoshonítica, b) Diagrama Zr/TiO_2 vs. Nb/Y de Winchester y Floyd (1977), c) Diagrama $Th-Hf/3-Ta$ de Wood (1980), d) Diagrama Th/Yb vs. Ta/Yb de Pearce (1983), e) Diagrama de Tierras Raras y de elementos traza para los basaltos y andesitas, f) Diagrama Th/Hf vs. Ta/Th . Clave: MH: Manzano Histórico, LP: La Pampa, PA: Paramillos, IS: Ischigualasto.

basaltos permiten interpretarlas como posteriores a las coladas básicas de la sección inferior. Los sectores cris-

talinos y vítreos se encuentran por encima de los líticos, donde las diferentes proporciones de cristales

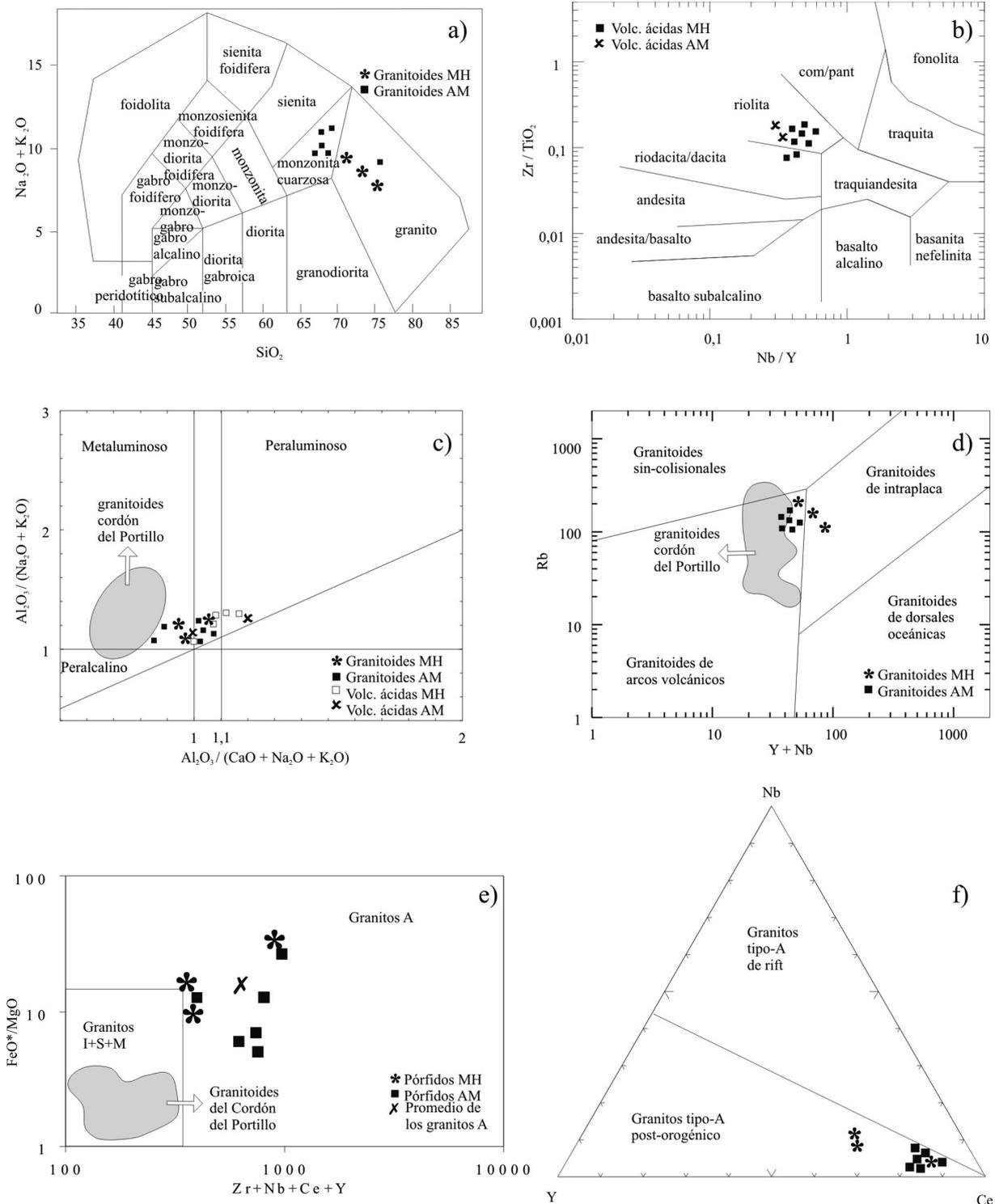


Figura 7. a) Diagrama Na₂O+K₂O vs. SiO₂ de Middlemost (1994) para los granitoides, b) Diagrama de Winchester y Floyd (1977) para las rocas volcánicas ácidas, c) Índices de Shand (1927), d) Diagrama Rb vs. Y+Nb de Pearce *et al.* (1984), e) Diagrama FeO*/MgO vs. Zr+Nb+Ce+Y de Whalen *et al.* (1987) para los pórfidos, f) Diagrama Y-Nb-Ga*3 de Eby (1992) para los pórfidos graníticos. Clave: MH: Manzano Histórico.

podrían explicarse mediante el fenómeno de elutriación de finos, que consiste en la pérdida de los componentes finos durante el avance del flujo piroclástico. Los movimientos vigorosos del gas durante el avance del flujo producen que el depósito piroclástico se empobrezca en cenizas y resulta una ignimbrita rica en cristales (Carey y Bursik, 2000). Otra explicación para los abundantes cristales podría deberse a que el magma los tuviera de manera primaria o a que algún proceso de diferenciación fuera el responsable de dicha acumulación cristalina. También el avance de la pluma eruptiva puede llevarse consigo las cenizas y que, tras su colapso, haya una importante cantidad de cristales concentrados en el flujo piroclástico (Walker, 1972; Cas y Wright, 1987).

Lavas riolíticas: las lavas riolíticas afloran en los cerros de La Cruz y Culandrillo y al este del cerro de los Pájaros (Fig. 2). Son rocas de colores rojos, celestes, rosados y blancos, donde la devitrificación del vidrio se manifiesta en esferulitas desde 0,5 hasta 20 cm de diámetro. Las texturas corresponden a glomeroporfídica y porfídica con fenocristales de cuarzo, plagioclasa y sanidina dentro de una pasta esferulítica a felsítica (Fig. 3). Por los fenocristales presentes, esta roca se clasifica como feno-riolita (Tabla I, Fig. 4), constituyendo flujos lávicos riolíticos con foliación por flujo, reconocida por un bandeado diferencial. La relación temporal con las ignimbritas es incierta debido a que los afloramientos se encuentran desconectados, aunque se reconocen por encima de las ignimbritas líticas. Los flujos lávicos denotan la finalización del pulso volcánico por desgasificación del sistema, por lo que es coherente un origen posterior a las ignimbritas.

Sección Superior

Pórfidos graníticos: son cuerpos dispersos de color gris verdoso a rojizas (Fig. 2), con textura porfídica y con fenocristales de cuarzo, microclina y plagioclasa (An_{16}) dentro de una pasta granofídica. La biotita rojiza se encuentra asociada a los minerales accesorios tales como agujas de apatitos prismáticos, zircones, allanita euhedral castaño oscuro y minerales opacos dispersos. Poseen xenolitos del basamento metamórfico e intruyen a las rocas volcánicas. Son anteriores a los intrusivos graníticos, ya que estos últimos los atraviesan con sus diques y venas graníticas. Esta roca se clasifica como granito (Tabla I, Fig. 4), aunque correspondería a un pórfido granítico por presentar textura subvolcánica. Presentan gran cantidad de biotitas y anfíboles secundarios dispersos sin orientación, vinculados con un metamorfismo térmico generado por la intrusión de los granitos tardíos.

Intrusivos graníticos: los mayores afloramientos de los intrusivos graníticos se ubican en el sector norte de la zona de estudio (Fig. 2). Son rocas de color rosado y blanco, de tamaño de grano medio y textura granuda equigranular, hipidiomórfica a alotriomórfica. Están compuestos por microclina, plagioclasa (An_{16}), cuarzo, muscovita, biotita y minerales accesorios, tales como apatito, zircones y minerales opacos. También se encuentra allanita euhedral parda, con pleocroismo y zonación. Poseen xenolitos de ignimbritas, basaltos, pórfidos graníticos y esquistos cuyos tamaños varían entre 2 y 20 cm de largo. Esta roca se clasifica como granito (Tabla I, Fig. 4). Afectan con su fase tardía de venas y diques a las rocas metamórficas y a las unidades volcánicas más antiguas del Grupo Choiyoi.

Edad del Grupo Choiyoi y de la Fase Orogénica San Rafael

La sucesión volcánica del Grupo Choiyoi se dató mediante la determinación K/Ar en sanidina de una ignimbrita vítrea riolítica (muestra 133) de la sección media y ubicada en el sector sur del cerro Manzano (Figs. 2 y 3). Los valores analíticos (Tabla II) arrojaron una edad de 266 ± 6 Ma, que corresponde al Pérmico Medio (*Guadalupiano*), casi en el límite entre los pisos *Wordiano–Capitaniano* (ISC, 2009). Para poder vincular esta edad con otras previas y conocer a su vez la evolución en el tiempo del Grupo Choiyoi, se realizó una compilación de todas las edades presentes en la literatura, para llegar a confeccionar un histograma de frecuencia sobre un análisis estadístico de 642 edades (Linares y González, 1990; Mpodozis y Kay, 1990, 1992; Koukharsky, 1997; Costa *et al.*, 1998; Cortés *et al.*, 1999a, b; Orme y Atherton, 1999; Melchor, 2000; Koukharsky *et al.*, 2000; Linares, 2001; Llambías *et al.*, 2003; Schiuma y Llambías, 2008). Las edades se ubican geográficamente en Chile en el Batolito Elquí-Limaní de la Cordillera Frontal y en Argentina en la Cordillera Principal, Cordillera Frontal y Precordillera de las provincias de Mendoza y San Juan, Bloque de San Rafael de Mendoza, Cordillera del Viento de Neuquén, Bloque de Chadileuvú de La Pampa (Fig. 5a), donde se observa la extensa superficie afectada por dicho evento magmático, indicando la importancia que logró la actividad ígnea durante el intervalo de tiempo comprendido. Del análisis del histograma se desprende que el rango correspondiente a los 270 y 230 Ma muestra mayor frecuencia (Fig. 5a) abarcando desde el Pérmico Tardío hasta el Triásico Medio (ISC, 2009) y que podría relacionarse con un período de importante actividad ígnea para el margen occidental del Gondwana. La edad aquí obtenida coinci-

de con el pico de máxima frecuencia que reflejaría un clímax en la actividad volcánica. Pese a que en su mayoría son edades K/Ar que podrían tener un cierto error debido al método empleado, la considerable cantidad de datos compilados es un fuerte respaldo para poder desprestigiar ese error. En la figura 5b se presentan los histogramas correspondientes a las provincias argentinas de San Juan, Mendoza y La Pampa, donde se observa cómo el magmatismo gondwánico sufrió una migración de norte a sur, ya que en la provincia de La Pampa se encuentran las edades más jóvenes.

La ausencia de deformación compresiva en las unidades analizadas del Grupo Choiyoi permite deducir que el evento gondwánico estudiado fue posterior a la fase orogénica San Rafael definida de Caminos y Azcuy (1996), o superficie San Rafael de Llambías *et al.* (1993), que habría abarcado gran parte del Pérmico Temprano (282-278 Ma) (Azcuy y Caminos, 1987; Cortés y Kleiman, 1999). Esta fase de carácter compresivo generó un importante engrosamiento cortical y deformó tanto dúctil como frágilmente a los depósitos sedimentarios de edad carbonífera a pérmica temprana. Evidencias del mencionado engrosamiento cortical se preservan en las unidades previas al Grupo Choiyoi (pre-Choiyoi) aflorantes en la Cordillera Frontal chilena y argentina, en el batolito de Colanguil, en los cordones del Portillo y Carrizalito y el bloque de San Rafael (Mpodozis y Kay, 1990, 1992; Kleiman, 2002). En la figura 5b se ilustran algunas edades propuestas por algunos autores para esta fase orogénica San Rafael. Se observa que, en general, dicha fase orogénica coincide con un mínimo en la actividad volcánica. La finalización de

este evento compresivo Pérmico Temprano (282-278 Ma), habría dado paso a un importante magmatismo relacionado con el Grupo Choiyoi durante el Pérmico Tardío hasta el Triásico Medio (270-230 Ma). La gran actividad ígnea de los centros volcánicos se vería reflejada en los productos que integran el relleno de las cuencas de rift desarrolladas durante el Triásico.

Consideraciones geoquímicas

Se realizaron análisis químicos de las rocas volcánicas y plutónicas del Grupo Choiyoi los cuales se presentan en la Tabla III. Los datos de las rocas basálticas del cerro Pajaritos se obtuvieron del trabajo de Poma y Ramos (1994), salvo la muestra 137 que corresponde a la localidad de Los Árboles. Los valores obtenidos fueron comparados con los datos presentados por Gregori *et al.* (1996) para sectores similares y aledaños al área de trabajo.

Basaltos y andesitas

En el diagrama K_2O vs. SiO_2 de Peccerillo y Taylor (1976) las rocas básicas de la sección inferior se ubican en el campo de las rocas de la serie IV shoshonítica, demarcado por la alta cantidad de K que presentan las rocas (Fig. 6a). Mientras que en el diagrama Zr/TiO_2 vs. Nb/Y de Winchester y Floyd (1977) se ubican en su mayoría dentro del campo de las andesitas (Fig. 6b). Mediante el uso del diagrama de Wood (1980) las muestras se ubican dentro del campo de los basaltos de arcos calcoalcalinos desarrollados en márgenes destructivos (Fig. 6c). Para analizar el marco tectónico se usó el diagrama Th/Yb vs. Ta/Yb de Pearce (1983) (Fig. 6d); las rocas muestran afinidad

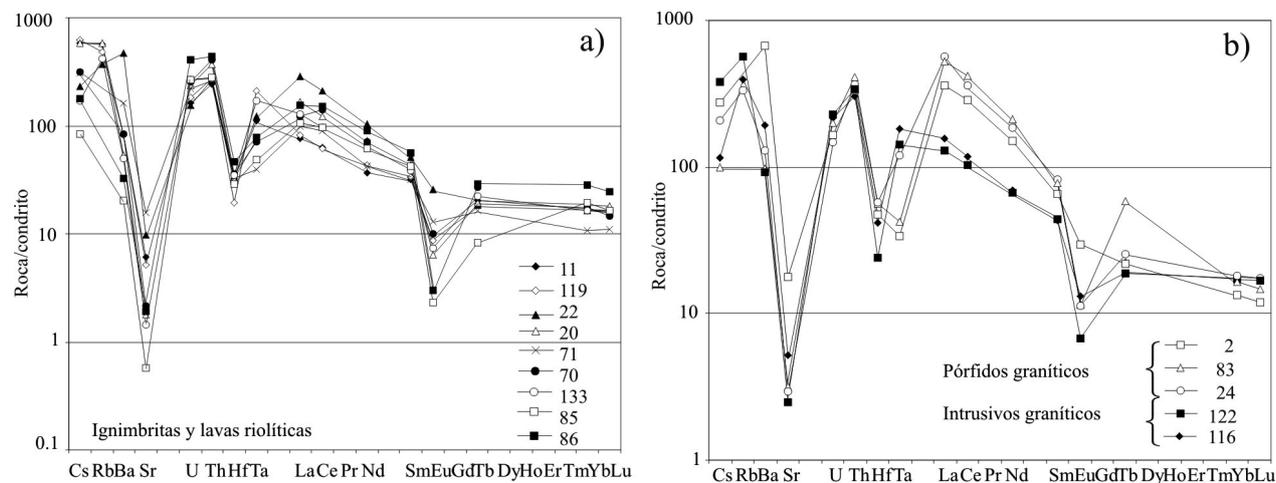


Figura 8. a) Diagrama de Tierras Raras y de elementos traza para las ignimbritas y lavas riolíticas, b) Diagrama de Tierras Raras y de elementos traza para los granitoides.

química con los Andes Centrales, resultando similar con una secuencia calcoalcalina de margen activo. Los elementos trazas y de Tierras Raras fueron normalizados con respecto al condrito Leedy de Masuda *et al.*

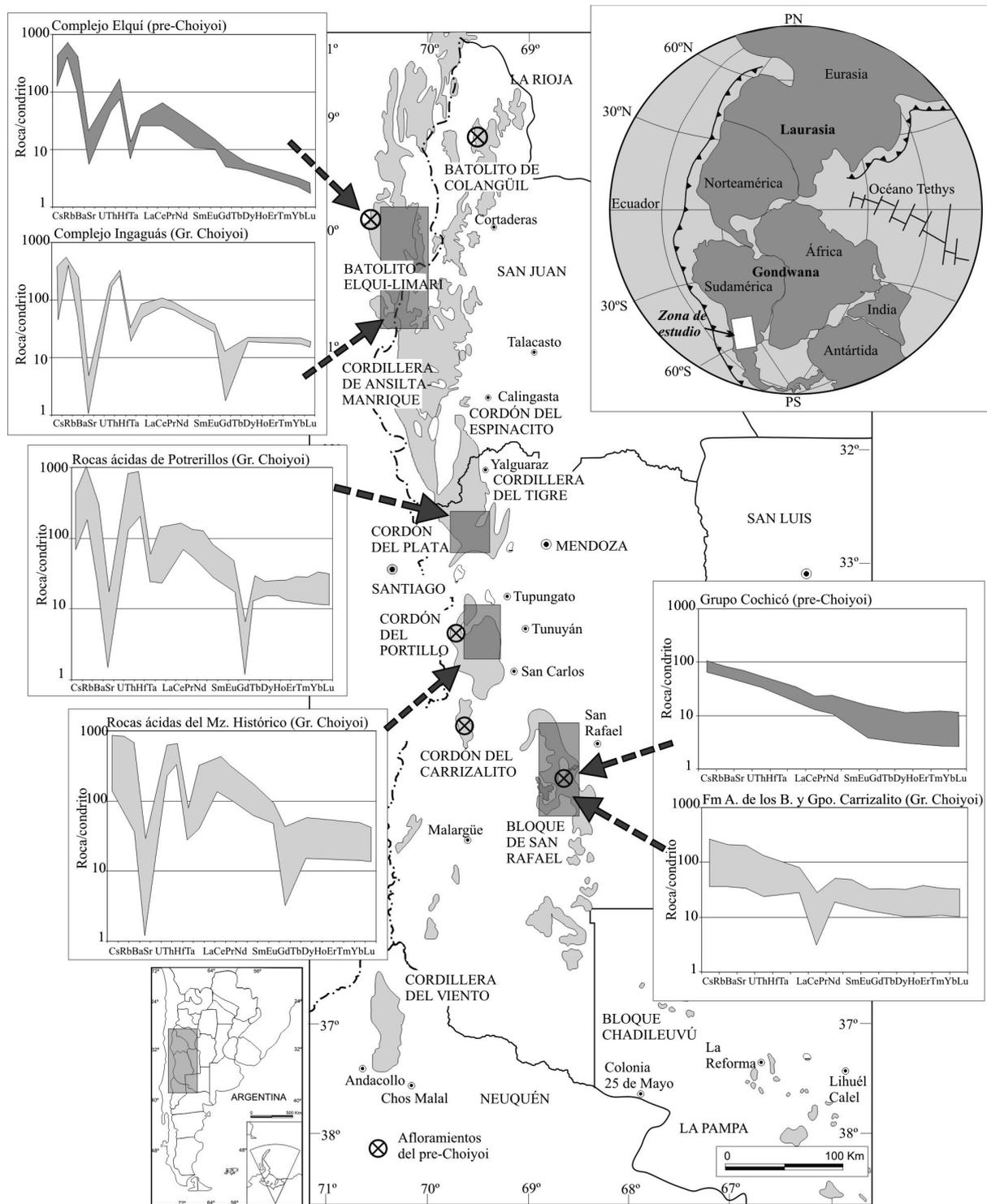


Figura 9. Distribución regional de los afloramientos del magmatismo correspondiente al pre-Choiyoi (cruces encerradas en círculos) con sus diagramas correspondientes para los elementos traza y de Tierras Raras normalizados y su comparación con las unidades del Grupo Choiyoi para la cordillera Frontal chilena, cordillera Frontal argentina y bloque de San Rafael. Se ilustra también la reconstrucción del Pangea para los tiempos triásicos con la ubicación de la zona de trabajo.

(1973) y sus espectros se presentan en la figura 6e. Las rocas muestran anomalías negativas en Sr, Hf, Ta, positivas en Ba y Rb junto a valores variables de U y Th. Se interpreta que el Sr, Hf y Ta provienen de la zona de subducción mientras que el Ba y Rb provienen de los fluidos generados por la deshidratación de la placa. En cuanto a las Tierras Raras, se observa un ligero enriquecimiento en las ligeras, una pendiente horizontal para las pesadas y una leve anomalía negativa en Eu. En el diagrama Th/Hf vs. Ta/Th (Fig. 6f) se representaron con fines comparativos valores de basaltos de la sección inferior del Grupo Choiyoi aflorantes en el Bloque de Chadileuvú de La Pampa (Llambías *et al.*, 2003), y de basaltos más jóvenes de la sección superior del Grupo Choiyoi alojados dentro de las cuencas de rift triásicas de la cuenca Ischigualasto-Villa Unión de la provincia de La Rioja (Page *et al.*, 1997) y los provenientes de la región de Paramillos de Uspallata de Mendoza (Ramos y Kay, 1991). En dicho diagrama, los basaltos del Manzano Histórico muestran una impronta de retroarco y una ubicación intermedia entre los basaltos de La Pampa con impronta de arco y los basaltos más jóvenes con mayores proporciones de Ta que Th coherente con una génesis de intraplaca. En resumen, se observa una tendencia progresiva de enriquecimiento en Ta a medida que un ambiente de arco volcánico varía a otro de intraplaca, pasando por uno de retroarco. Un ambiente tectónico que integre todas las características antes mencionadas podría ser el de una cuenca de retroarco desarrollada en un borde convergente de placas tipo marianas ya que había un ambiente extensional. En este ámbito las rocas presentarían características transicionales entre arco volcánico y MORB, originándose las mismas a partir de un manto enriquecido en elementos provenientes de la cuña astenosférica con el subplacado basáltico como principal mecanismo de generación (Hildreth, 1981). El eje del arco magmático principal coincidiría con los grandes cuerpos plutónicos ácidos ubicados más al oeste en el cordón del Portillo, fuera del área de estudio y que fueron comparados con las secciones media y superior del Grupo Choiyoi.

Ignimbritas y lavas riolíticas e intrusivos y pórfidos graníticos

Las ignimbritas líticas muestran similitud química con las lavas riolíticas y con las ignimbritas vítreas y cristalinas pese a la presencia de fragmentos juveniles y accesorios, razón por la cual se trataron en conjunto. Se incluyen con fines comparativos granitoides aflorantes más al oeste en el cordón del Portillo analizados por Gregori *et al.* (1996). En el diagrama $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ vs. SiO_2 de Middlemost (1994) las rocas plu-

tónicas del Manzano Histórico (MH) corresponden a granitos (Fig. 7a) y las volcánicas ácidas son en su mayoría riolitas según el diagrama Zr/TiO_2 vs. Nb/Y de Winchester y Floyd (1977) (Fig. 7b). Los índices de Shand (1927) indican que las rocas son en general metaluminosas aunque algunas se ubican en el campo peraluminoso. Por otro lado, los granitoides del cordón del Portillo presentan una clara tendencia metaluminosa (Fig. 7c). Para discriminar el ambiente tectónico se usó el diagrama propuesto por Pearce *et al.* (1984) (Fig. 7d), donde los granitoides del Manzano Histórico se ubican transicionales entre el campo de arco volcánico y el de intraplaca. Mientras que las rocas del cordón del Portillo corresponden a granitoides de arco magmático.

Para los pórfidos e intrusivos graníticos se utilizó el diagrama de Whalen *et al.* (1987) que discrimina entre granitos tipo-A y granitos tipo-M, -I y -S (Fig. 7e). Queda ilustrado así como los cuerpos intrusivos se ubican dentro del campo alcalino cercanos al promedio de los granitos tipo-A. En cambio, los cuerpos plutónicos del cordón del Portillo presentan afinidad con los granitos tipo-I típicos de un arco volcánico. Para saber qué condiciones tectónicas rigieron durante la formación de los intrusivos graníticos, se utilizó el triángulo Y-Nb-Ce propuesto por Eby (1992), donde queda ilustrado como las rocas estudiadas se corresponden con los granitoides post-orogénicos (Fig. 7f).

En cuanto a los elementos traza normalizados de acuerdo al condrito Leedy, las ignimbritas y lavas riolíticas muestran un espectro parejo entre ellas, con pronunciadas anomalías negativas en Sr y Hf y positivas en Rb y Ba (Fig. 8a). Se observan proporciones variables de La con respecto al Ta y un enriquecimiento en U, Th y elementos alcalinos, lo cual es concordante con una posible contaminación cortical importante en la fuente. Las Tierras Raras ligeras están enriquecidas, opuesto a lo que ocurre con las pesadas, que presentan un espectro chato y con una anomalía negativa de Eu de acentuada intensidad. Las anomalías de Eu y Sr están indicando la formación de plagioclasa en una fuente sometida a baja presión y alta temperatura ubicada dentro de una corteza de espesor normal.

Contrastan las anomalías para los pórfidos graníticos con respecto a los intrusivos graníticos, siendo en general en los mismos elementos, pero con una intensidad diferente. Los plutones graníticos presentan anomalías negativas en Sr y Hf y positivas en Ba, Rb, U y Th (Fig. 8b). Por otro lado, muestran similares proporciones de Ta y La, un leve enriquecimiento en Tierras Raras ligeras, una pronunciada anomalía nega-

Tabla IV. Resumen de los posibles eventos tectónicos asociados al desarrollo del pre-Choiyoi y del magmatismo gondwánico del Grupo Choiyoi para las tres secciones.

Grupo Choiyoi	Edad	Petrografía	Geoquímica	Estado tensional	Espesor cortical
Sección Superior	Triásico Temprano a Tardío	Rocas ácidas (riolitas y granitos)	Bajas relaciones La/Yb y La/Ta. Leve alcalinidad	Extensión generalizada	De normal a adelgazado
Sección Media	Pérmico Medio a Tardío	Rocas ácidas (riolitas, riolitas y granitos)	Relaciones La/Yb y La/Ta intermedias. Carácter metaluminoso	Mayor extensión	Normal
Sección Inferior	Pérmico Medio	Rocas básicas (basaltos y andesitas)	Altas relaciones La/Yb y La/Ta. Impronta de cuña astenosférica	Comienzo de la extensión	De engrosado a normal
Fase orogénica San Rafael	Pérmico Temprano	Deformación compresiva de rocas más antiguas		Compresión	Engrosado
Magmatismo previo al Grupo Choiyoi	Carbonífero Temprano a Pérmico Temprano		Altas relaciones La/Yb y La/Ta	Compresión	Engrosado

tiva de Eu y un espectro chato para las Tierras Raras pesadas. El escenario de formación para dichas rocas concuerda con un arco magmático instalado en una corteza de espesor normal (≈ 30 km) a partir de una fuente sometida a baja presión con fraccionamiento de plagioclasa y en un borde convergente de placas. Los intrusivos graníticos de tipo-I presentan afinidad con un arco volcánico similar al de los granitoides del cordón del Portillo.

Los pórfidos graníticos también presentan anomalías negativas en Sr y Hf y positivas en Ba, Rb, U y Th, pero muestran un importante enriquecimiento en elementos incompatibles (La-Sm) y más altos valores de La que Ta. Revelan también anomalías negativas en Eu y menores cantidades de Yb y Lu. Estas características permiten vincularlos con los granitos tipo-A generados en un ambiente post-orogénico y cuyos magmas ricos en volátiles podrían haber provenido de un manto metasomatizado.

Discusión

Con la finalidad de analizar las características geoquímicas en un contexto regional se plasmaron las anomalías de elementos traza y de Tierras Raras para ciertos sectores representativos en la evolución del magmatismo gondwánico (Fig. 9). Los escasos afloramientos de las unidades correspondientes al magma-

tismo previo al Grupo Choiyoi (pre-Choiyoi) presentan ciertas particularidades geoquímicas que resultan interesantes. Se comparó el Complejo Elquí de la alta cordillera chilena y el Grupo Cochicó del bloque de San Rafael, ambos del pre-Choiyoi, con el Complejo Ingaguás de Chile (Mpodozis y Kay, 1992), sectores de los cordones del Plata y Portillo (Martínez, 2004) y del bloque de San Rafael, se seleccionó para su análisis la Formación Agua de los Burros y Grupo Carrizalito (Kleiman, 2002), todos ellos correspondientes al Grupo Choiyoi. Con esta distribución regional de sitios claves en cuanto a sus características geoquímicas, puede observarse que el pre-Choiyoi presenta un espectro normalizado de anomalías de elementos traza y de Tierras Raras vinculable con el de un arco volcánico instalado en una corteza engrosada. Esto se observa tanto para el Complejo Elquí como para el Grupo Cochicó, donde las Tierras Raras pesadas presentan un espectro empinado responsable del fraccionamiento de granate en una fuente sometida a altas presiones en una corteza continental engrosada (>35 km) (Tabla IV). Este engrosamiento cortical sería consecuencia de la fase orogénica San Rafael, donde sus interpretaciones varían según los distintos autores. Mpodozis y Kay (1990, 1992) propusieron una colisión continental de un terreno aloctono denominado informalmente como terreno X, o bien Martínez (2004), Martínez *et al.* (2006) y Kleiman y Japas (2009) discuten sobre una disminución del

ángulo de subducción y un mayor acople, pudiéndose también deber a un incremento en la velocidad de subducción bajo el margen occidental del Gondwana.

Los espectros normalizados para los elementos traza y de Tierras Raras del Grupo Choiyoi son muy similares entre sí y muestran que el espesor cortical al momento de su formación fue normal (≈ 35 km) reflejado en el espectro horizontal de las Tierras Raras pesadas, indicando también el fraccionamiento de plagioclasa en una fuente sometida a bajas presiones (Tabla IV). El adelgazamiento cortical estaría asociado un cambio en el ambiente tectónico desde compresivo (pre-Choiyoi) a extensional durante la generación del Grupo Choiyoi. Este cambio en la tectónica regional podría responder a dos modelos contrastantes. Un modelo asociaría el período extensional del Grupo Choiyoi al colapso del orógeno Sanrafaélico formado por la acción de la fase orogénica San Rafael (Zeil, 1981; Kay *et al.*, 1989; Llambías y Sato, 1990). Llambías y Sato (1995) interpretan que el colapso extensional fue debido al cese de la subducción, asociada a un período cuasiestático del desplazamiento del Gondwana, tal como fuera propuesto por Rapallini y Vilas (1991). El otro modelo propondría que los procesos geodinámicos del comienzo de la fragmentación del supercontinente Pangea fueron los responsables del período extensional que abarcó desde el Pérmico Tardío hasta el Jurásico Temprano (Uliana *et al.*, 1989; Charrier *et al.*, 2007). La dirección de extensión NNE obtenida para el período Permo-Triásico en los afloramientos del Grupo Choiyoi (Giambiagi y Martínez, 2008), junto a direcciones de extensión NNE a NE para el período Triásico Temprano obtenidas en la cuenca Cuyana, provincia de Mendoza y las obtenidas para el Triásico Tardío a Jurásico Temprano en la cuenca Neuquina, provincia de Neuquén (Giambiagi y Martínez, 2009; Giambiagi *et al.*, 2009; Giambiagi *et al.*, 2010), sugieren que el segundo modelo podría ser más plausible por vincular un reordenamiento tensional a escala global como principal mecanismo.

Conclusiones

En el presente trabajo se reconocieron diferentes unidades ígneas pertenecientes al Grupo Choiyoi,

las cuales fueron generadas con posterioridad a la fase orogénica San Rafael del Pérmico Temprano. La base del Grupo Choiyoi está representada por basaltos y andesitas generados en un ambiente de retroarco con una impronta tanto de un manto enriquecido como de cuña astenosférica. Las ignimbritas y lavas riolíticas asociadas se formaron en un ambiente extensional y en una corteza de espesor normal, donde el calor necesario para producir la fusión fue debido al subplacado basáltico instalado en la base de la misma. Nuevas dataciones aquí presentadas ligan este episodio al Pérmico Medio (266 ± 6 Ma). El eje del arco magmático principal coincidiría con los granitoides aflorantes en el cordón del Portillo.

Se reconocieron granitos asociados a los términos volcánicos del Grupo Choiyoi, intrusivos graníticos con impronta de arco y pórfidos graníticos alcalinos y post-orogénicos. Estos intrusivos estarían reflejando los últimos estadios de la actividad magmática en la región y podrían vincularse con los procesos geodinámicos que finalizaron en la ruptura del supercontinente Pangea. La transición desde un ambiente orogénico a otro anorogénico de intraplaca, se manifestaría en una progresiva disminución de minerales hidratados para el Grupo Choiyoi, donde la insuficiente cantidad de agua presente en el sistema podría relacionarse con una cuña astenosférica cada vez más deshidratada.

Agradecimientos

Este trabajo fue posible gracias al subsidio concedido por Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, para el proyecto PICT99-6729 (2000-2002), “*Tectónica andina en el segmento de subducción normal, 33-38° Latitud Sur, provincias de Mendoza y Neuquén*”. Se agradece a la Dra. Susan Kay por los análisis químicos realizados en la Universidad de Cornell, USA. También se agradece la colaboración brindada durante las tareas de campo de Salvador Broens y Ezequiel García Morabito, de la Universidad de Buenos Aires, Argentina. También se agradecen a Dr. Víctor Ramos, Dra. Silvia Barredo y Dra. Maisa Tunik por los comentarios brindados. Se debe hacer mención de las correcciones efectuadas por los jurados y el editor que permitieron mejorar enormemente este trabajo.

Bibliografía

AZCUY, C. y CAMINOS, R. (1987): Diastrofismo. En: S. ARCHANGELSKY (ed): *El Sistema Carbonífero en la República Argentina*. Acad. Nac. Cienc. Córdoba, Argentina: 239-251.

CAMINOS, R. (1965): Geología de la vertiente oriental del Cordón del Plata, Cordillera Frontal de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 20: 351-392.

CAMINOS, R. y AZCUY, C. (1996): Fases diastóricas neopaleozoicas. En: S. ARCHANGELSKY (ed): *El Sistema Pérmico en la República*

- Argentina y en la República Oriental del Uruguay. Acad. Nac. Cienc. Córdoba, Argentina, XII Congreso Internacional de la Estratigrafía y Geología del Carbonífero y del Pérmico: 255-265.
- CAREY, S. N. y BURSİK, M. (2000): Volcanic plume. *En*: H. SIGURDSSON (ed): *Encyclopedia of volcanoes*. Academic Press, New York: 527-544.
- CAS R. A. F. y WRIGHT, J. V. (1987): *Volcanic successions modern and ancient*. Allen & Unwin, London, 528 pp.
- CHARRIER, R., PINTO, L. y RODRÍGUEZ, M. P. (2007): Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. *En*: T. MORENO y W. GIBBONS (eds): *The Geology of Chile*. The Geological Society, London: 21-114.
- COFFIN, M. F. y ELDHOLM, O. (1992): Volcanism and continental break-up: a global compilation of large igneous provinces. *En*: B. C. STOREY, T. ALABASTER y R. J. PANKHURST (eds): *Magmatism and the causes of Continental Break-up*. Geological Society London, Special Publications, 68: 17-30.
- CORTÉS, J. M. y KLEIMAN, L. E. (1999): *La orogenia Sanrafaélica en los Andes de Mendoza*. 14° Congreso Geológico Argentino, 1, 31.
- CORTÉS, J. M., GONZÁLEZ BONORINO, G., KOUKHARSKY, M., BRODTKORB, M. y PEREYRA, F. (1999a): *Memoria y mapa geológico a escala 1:100.000 de la Hoja Geológica 3369-03 "Yalguaráz", provincia de Mendoza*. Subsecretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Buenos Aires, Boletín 280, Reporte técnico, 120 pp.
- CORTÉS, J. M., GONZÁLEZ BONORINO, G., KOUKHARSKY, M., BRODKORB, M. y PEREYRA, F. (1999b): *Memoria y mapa geológico a escala 1:100.000 de la Hoja Geológica 3369-09 "Uspallata", provincia de Mendoza*. Subsecretaría de Minería de la Nación, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Buenos Aires, Boletín 281, 164 pp.
- COSTA C. H., GARDINI, C. E. y SCHMIDT, C. J. (1998): Dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y rasgos estructurales de la Formación Cerro Varela (Triásico), provincia de San Luis. Nota Breve. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 53 (2): 282-285.
- DESSANTI, R. N. y CAMINOS, R. (1967): Edades K/Ar y posición estratigráfica de algunas rocas ígneas y metamórficas de la Precordillera, Cordillera Frontal y Sierras de San Rafael, provincia de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 22 (2): 135-162.
- EBY, G. N. (1992): Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 20: 641-644.
- GIAMBIAGI, L. B. y MARTINEZ, A. (2008): Permo-Triassic oblique extension in the Uspallata-Potrerrillos area, western Argentina. *J. S. Am. Earth Sci.*, 26: 252-260. doi:10.1016/j.jsames.2008.08.008.
- GIAMBIAGI, L. y MARTINEZ, A. (2009): *Reworking of an ancient lithospheric anisotropy during the Permo-Triassic extension in southwestern Gondwana*. International Centre for Theoretical Physics, From Core to Crust: Towards an Integrated Vision of Earth's Interior. Trieste, Italy.
- GIAMBIAGI, L., TUNIK, M., BARREDO, S., BECHIS, F. y GHIGLIONE, M. (2009): Cinemática de apertura del sector mendocino de la cuenca Neuquina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 65 (2): 293-310.
- GIAMBIAGI, L., MESCUA, J., FOLGUERA, A. y MARTINEZ, A. (2010): Estructuras y cinemática de la deformación pre-andina del sector sur de la Precordillera, Mendoza, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 66 (1): 5-20.
- GONZÁLEZ DÍAZ, E. F. (1958): Estructuras del basamento y del neo-paleozoico en los contrafuertes nord-orientales del Cordón del Portillo, provincia de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 98-133.
- 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°45'), Argentina: *J. S. Am. Earth Sci.*, 9 (1/2): 141-151.
- GROEBER, P. (1918): Edad y extensión de las estructuras de la cordillera entre San Juan y Nahuel Huapi. *Physis*, 4: 208-240.
- GROEBER, P. (1938): *Mineralogía y Geología*. Espasa-Calpe Argentina, Buenos Aires. 492 pp.
- GROEBER, P. (1946): Observaciones Geológicas a lo largo del meridiano 70°. Hoja Chos Malal: Serie C. *Reimpresiones de la Asociación Geológica Argentina*, 1: 5-36.
- GROEBER, P., STIPANICIC, P. N. y MINGRAMM, A. R. G. (1953): Mesozoico. *En*: *Geografía de la República Argentina*. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos GAEA, 2 (1), 9-541. Buenos Aires.
- HILDRETH, W. (1981): Gradients in silicic magma chambers: implication for lithospheric magmatism: *J. Geophys. Res.*, 86, B10153-B10192.
- INTERNATIONAL STRATIGRAPHIC CHART (ISC) (2009): International Union of Geological Sciences and International Commission on Stratigraphy.
- KAY, S. M., RAMOS, V. A., MPODOZIS, C. y SRUOGA, P. (1989): Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gonwanaland margin: analogy to the Middle Proterozoic in North America?: *Geology*, 17: 324-328.
- KLEIMAN, L. E. (2002): *Magmatism and tectonic evolution of the Choiyoi Group and Puesto Viejo volcanics (Late Paleozoic-Early Mesozoic) at 34-35° S latitude, San Rafael, Mendoza, Argentina*. 15° Congreso Geológico Argentino, El Calafate, 15.
- KLEIMAN, L. E. y JAPAS M. S. (2009): The Choiyoi volcanic province at 34°S-36°S (San Rafael, Mendoza, Argentina): Implications for the Late Palaeozoic evolution of the southwestern margin of Gondwana. *Tectonophysics* 473: 283-299.
- KOUKHARSKY, M. (1997): *Informe petrológico*. Hoja 3369-09, Uspallata. Provincia de Mendoza: Servicio Geológico Minero Argentino, Reporte técnico, Buenos Aires.

- KOUKHARSKY, M., MUNIZAGA, F. y BRODTKORB, A. (2000): *Edades K/Ar del complejo ígneo mineralizado del cerro Yalguaráz, provincia de Mendoza, Argentina*. 9º Congreso Geológico Chileno, 2, 742-744.
- LINARES, E. (2001): *Catálogo de edades radiométricas de la República Argentina, 1988-2000*. Publicaciones especiales de la Asociación Geológica Argentina. Serie "F" Publicaciones en CD N° 1, Buenos Aires.
- LINARES, E. y GONZÁLEZ, R. R. (1990): *Catálogo de edades radiométricas de la República Argentina, 1957-1987*. Publicaciones especiales de la Asociación Geológica Argentina. Serie "B" (Didáctica y complementaria), Buenos Aires, 19, 630 pp.
- LLAMBÍAS, E. y SATO, A. (1990): El batolito de Colangüil (29°-31°S) Cordillera Frontal de Argentina: estructura y marco tectónico: *Revista Geológica de Chile*, 1, 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, 1-4, 111-131.
- LLAMBÍAS, E. J., KLEIMAN, L. E. y SALVARREDI, J. A. (1993): El magmatismo gondwánico. En: V. A. RAMOS (ed): *12º Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos. Geología y Recursos Naturales de Mendoza*. Relatorio 1 (6), 53-64. Mendoza, Argentina.
- 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: *J. S. Am. Earth Sci.*, 16 (4): 243-257.
- MARTIN, M. W., CLAVERO, J. y MPODOZIS, C. (1999): Late Paleozoic to Early Jurassic tectonic development of the high Andean Principal Cordillera, El Indio Region, Chile (29-30°S). *J. S. Am. Earth Sci.*, 12: 33-49.
- MARTINEZ, A. (2004): *Secuencias volcánicas permo-triásicas de los cordones del Portillo y del Plata, Cordillera Frontal, Mendoza: su interpretación tectónica*. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Tesis Doctoral, 274 pp.
- MARTINEZ, A., BARREDO, S. y GIAMBIAGI, L. (2006): *Modelo geodinámico para la evolución magmática permo-triásica entre los 32º y 34º LS, Cordillera Frontal de Mendoza, Argentina*. 13º Reunión de Tectónica. Resumen expandido en CD. San Luis, Argentina.
- MASUDA A., NAKAMURA N. y TANAKA T. (1973): Fine structures of mutually normalised rare-earth patterns of chondrites: *Geochim. Cosmochim. Ac.*, 37: 239-248.
- MELCHOR, R. N. (2000): Stratigraphic and biostratigraphic consequences of a new 40Ar/39Ar date for the base of the Cochicó Group (Permian), Eastern Permian Basin, San Rafael, Mendoza, Argentina: *Revista de la Asociación Paleontológica Argentina*, 37: 271-282.
- MIDDLEMOST, E. A. K. (1994): Naming materials in the magma/igneous rock system: *Earth-Sci. Rev.*, 37: 215-224.
- MPODOZIS, C. y KAY, S. M. (1990): Provincias magmáticas ácidas de los Andes Chilenos (28°S-31°S) y evolución tectónica de Gondwana: *Revista Geológica de Chile*, 17: 153-180.
- MPODOZIS, C. y KAY, S. M. (1992): Late Paleozoic to Triassic evolution of the Gondwana margin: evidence from Chilean Frontal Cordillera batholites (28°S to 31°S): *Geol. Soc. Am. Bull.*, 104: 999-1014.
- ORME, H. y ATHERTON, M. (1999): *New U/Pb ages and Sr-Nd data from the Frontal Cordillera composite batholith, Mendoza: implications for magma source and evolution*. Fourth International Symposium on Andean Geodynamics, Goettingen, Germany, 555-558.
- PAGE, S., LIMARINO, C. O. y CASELLI, A. (1997): Basaltos alcalinos en el Triásico de la Cuenca Ischigualasto-Villa Unión, provincias de La Rioja y San Juan: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 52: 202-208.
- PEARCE, J. A. (1983): Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. En: C. J. HAWKESWORTH y M. J. NORRY (eds): *Continental basalts and mantle xenoliths*. Shiva, Nantwich, 230-249.
- PEARCE, J. A., HARRIS, N. B. W. y TINDLE A. G. (1984): Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 25: 956-983.
- PECCERILLO, A. y TAYLOR S. R. (1976): Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petr.*, 58: 63-81.
- POLANSKI, J. (1958): El bloque variscico de la Cordillera Frontal de Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 12 (3): 165-196.
- POLANSKI, J. (1964): *Descripción geológica de la Hoja 25a, Volcán San José, provincia de Mendoza*. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 98, 1-94.
- POMA, S. y RAMOS V. A. (1994): *Las secuencias básicas iniciales del Grupo Choiyoi, Cordón del Portillo, Mendoza: sus implicaciones tectónicas*. 7º Congreso Geológico Chileno, 2, 1162-1166.
- RAMOS, V. A. y BASEI, M. (1997): The basement of Chilenia: an exotic continental terrane to Gondwana during the Early Paleozoic. En: J. D. BRADSHAW y S. D. WEAVER (eds): *Terrane Dynamics*. New Zealand. Conferences abstracts, 140-143.
- RAMOS, V. A. y KAY, S. M. (1991): Triassic rifting and associated basalts in the Cuyo basin, central Argentina. En: R. S. HARMON y C. W. RAPELA (eds): *Andean magmatism and its tectonic setting*. *Geol. Soc. Am.*, Special Paper, 265, 79-91. Boulder, Colorado.
- RAPALLINI, A. E. y VILAS, J. F. (1991): Tectonic rotations in the late Paleozoic continental margin of southern South América determined and dated by paleomagnetism: *Geophys. J. Int.*, 107: 333-351.

- RAPELA C. W. y LLAMBIÁS, E. J. (1999): El magmatismo gondwánico y los ciclos fanerozoicos. Instituto de Geología y Recursos Minerales, *En: Geología Argentina*. Anales 29 (15): 373-376. Buenos Aires.
- ROLLERI, E. O. y CRIADO ROQUE, P. (1969): *Geología de la provincia de Mendoza*, IX Jornadas Geológicas Argentinas, 2, 1-60.
- SHAND, S. J. (1927): *Eruptive Rocks*. John Wiley and Sons, New York, 482 pp.
- SCHIUMA, M. y LLAMBIÁS E. J. (2008): New ages and chemical analysis on lower jurassic volcanism close to the Dorsal de Huíncul, Neuquén: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63 (4): 644-652.
- STERN, C., AMINI, H., CHARRIER, R., GODOY, E., HERVÉ, F. y VARELA, J. (1984): Petrochemistry and age of rhyolitic pyroclastic flows which occur along the drainage valleys of the Rio Maipo and Rio Cachapoal (Chile) and the Rio Yaucha and Rio Papagayos (Argentina). *Revista Geológica de Chile*, 23: 39-52.
- STIPANICIC, P. N, RODRIGO, F, BAULIES, O. L. y MATINEZ, C. G. (1968): Las formaciones presenonianas en el denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes: *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 23: 76-98.
- STRECKEISEN, A. L. (1973): Classification and nomenclature of igneous rocks. Recommendation of the IUGS subcomission on the systematic of igneous rocks. *Geol. Rundsch.*, 6: 773-786.
- ULIANA, M. A., BIDDLE, K. T. y CERDÁN, J. (1989): Mesozoic extension and the formation of Argentine sedimentary basins. *En: A. TANKARD y H. R. BALKWILL (eds): Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic Margins*. AAPG, Memoir 46: 599-614.
- WALKER, G. P. L. (1972): Crystal concentration in ignimbrites. *Contrib. Mineral. Petr.*, 36: 135-146.
- WHALEN, J. B., CURRIE, K. L. y CHAPPELL, B. W. (1987): A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petr.*, 95: 407-419.
- WINCHESTER, W. y FLOYD, P. A. (1977): Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, 20: 325-343.
- WOOD, D. A. (1980): The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic clasification and to establishing the nature of crust contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth Planet. Sc. Lett.*, 50: 11-30.
- ZEIL, W. (1981): Volcanism and geodynamics at the turn of the Paleozoic to the Mesozoic in the central and southern Andes (Chile-Argentina). *Zentralblatt für Geologie und Palaontologie*, 1: 298-318.