

## EDADES Rb-Sr ROCA TOTAL DEL BATOLITO COMPUESTO DE LOS RÍOS ELQUI-LIMARI A LA LATITUD 30° S.

MIGUEL A. PARADA R.  
FRANCISCO MUNIZAGA V.  
KOJI KAWASHITA

Univ. Chile, Depto. Geol. y Geofís., Casilla 13518, Correo 21, Santiago, Chile.  
Instituto de Geociencias, Universidad de Sao Paulo.

### RESUMEN

Las edades Rb-Sr en roca total (isócronas de referencias) de  $328 \pm 21$  m.a., para las tonalitas granodioritas, y de  $197 \pm 5$  m.a., para los leucogranitos del batolito compuesto de los ríos Elqui-Limari, son concordantes con las relaciones estratigráficas y similares a aquellas de los ciclos plutónicos del Silúrico-Carbonífero Inferior y Pérmico Superior-Triásico Inferior, definidos en la Cordillera Frontal y Precordillera de Mendoza.

Las razones iniciales  $Sr^{87}/Sr^{86}$  para los granitoides del Carbonífero Inferior (0,7058) y Triásico Inferior (0,7073) son compatibles con magmas generados a partir del manto superior, que han sufrido contaminación cortical. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de un origen cortical del magma leucogranítico.

### ABSTRACT

Whole rock Rb-Sr ages (reference isochron) of tonalite-granodiorite ( $328 \pm 21$ ) and leucogranite ( $197 \pm 5$ ) bodies of Ríos Elqui-Limari composite batholith are consistent with stratigraphic relationships. These ages are similar to the Siluric-lower Carboniferous and upper Permian-lower Triassic plutonic cycles defined in the Frontal Range and the Precordillera of Mendoza (Argentina).

Initial  $Sr^{87}/Sr^{86}$  ratios of both granitoids (0.7058 and 0.7073) support an origin of the magmas from upper mantle sources with later crustal contamination. Nevertheless, petrographic data and initial ratios are also consistent with a crustal origin for leucogranitic magma.

### INTRODUCCION

El batolito compuesto de los ríos Elqui-Limari se ubica en la alta Cordillera de los Andes, en el tramo comprendido aproximadamente entre el río Elqui-Turbio, por el norte, y Limari por el sur. Constituye una franja norte-sur entre las latitudes  $30^{\circ}30'$  y  $31^{\circ}$ , en la cual, la sección entre Rivadavia y la junta del río Toro con el río La Laguna (Lat.  $30^{\circ}S$ ) es la más ancha (45 km) y de mejor exposición (Fig. 1).

Este batolito forma parte de una extensa franja plutónica continua que, hacia el sur, ocupa gran

parte de la Cordillera Frontal argentina y que Polansky (1970) denominó Batolito compuesto de la Cordillera Frontal. Dicha franja ha sido atribuida a importantes eventos magmáticos, acaecidos, principalmente, en el Permotriásico (Vicente, 1975; Mpodozis *et al.*, 1976), aunque también se han reconocido episodios plutónicos del Terciario superior (Mpodozis, 1974; Rivano, 1975).

Los eventos plutónicos pre-andinos principales, reconocidos en el batolito de los ríos Elqui-Limari, en los valles de los ríos Turbio y Claro (latitud

30°S) son, al parecer, debidos a aquél que dio origen al gran volumen de rocas de composición granodiorítico-tonalítica.

Intruyendo a éstas se disponen cuerpos del segundo evento, de dimensiones menores, de pórfidos riolíticos, leucogranitos de biotita y anfíbola y granitos hololeucocráticos de feldespato alcalino. Desafortunadamente, no se han observado relaciones de contacto claras entre estos cuerpos menores. No obstante, existe entre ellos una sugerente vinculación espacial, reflejada localmente en una transición de los distintos tipos petrográficos,

que ha permitido asimilarlos al mismo ciclo plutónico. Mpodozis *et al.* (1976) identificaron otro episodio representado por granodioritas con muscovita, sin embargo, observaciones hechas por uno de los autores (M.A.P.) sugieren, a menudo, una cristalización tardimagnética de la muscovita, que afecta parcial e indistintamente a las rocas plutónicas del área de estudio.

En el presente trabajo, las determinaciones de edades Rb-Sr se hicieron en muestras de tonalitas y granodioritas, del primer ciclo, y de leucogranito de biotita y anfíbola, del segundo.

### ANTECEDENTES CRONOLÓGICOS DEL BATOLITO DE LOS RÍOS ELQUI-LIMARI

La edad pre-liásica para estos granitoides fue evidenciada en el siglo pasado por Domeyko (1845), quien señaló, por primera vez, que el Liásico representado por la Formación Tres Cruces se apoya, discordantemente, sobre un granito rosado de ortoclasa. Posteriormente, Willis (1929) extendió esas observaciones al comprobar que dichos gra-

nitos pre-liásicos continuaban aguas arriba del río Claro, entre Rivadavia y Monte Grande. Esta edad se contraponen con la sugerida por Thiele (1964), para los granitoides que se exponen en el tramo superior del valle del río Turbio, al considerarlos como parte del Batolito Andino. En el borde occidental del batolito, a la latitud 30°S, existen

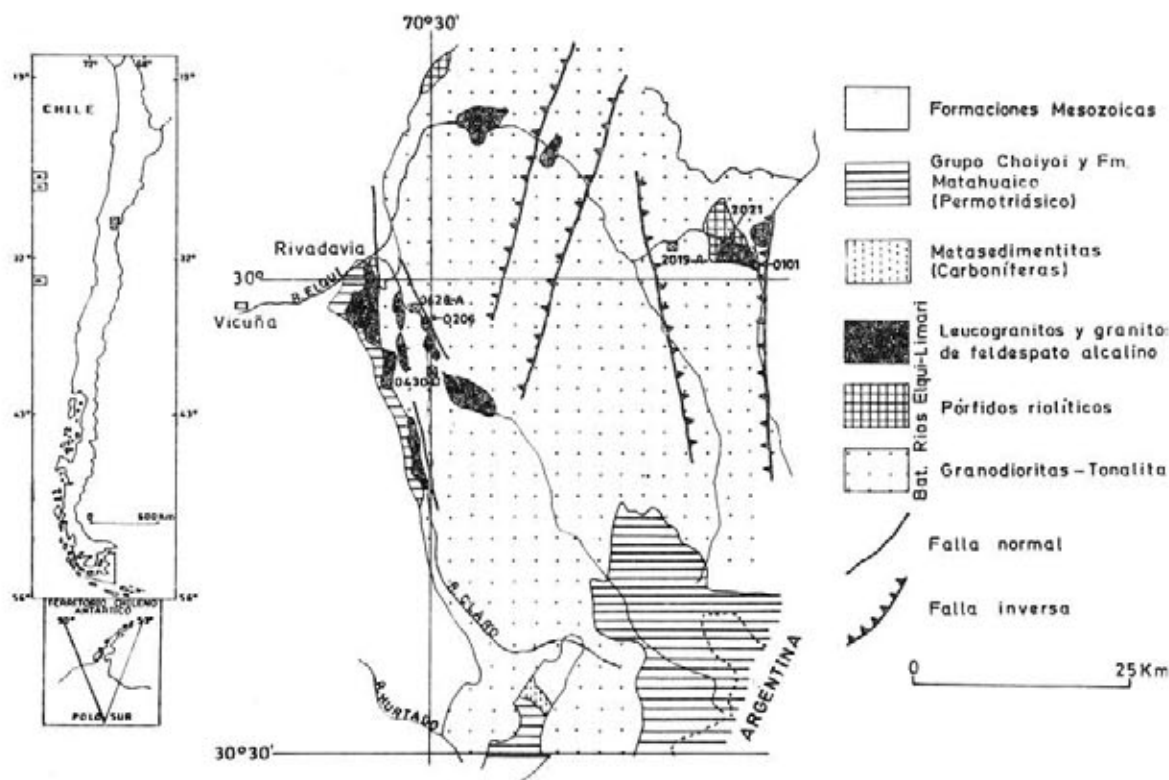


FIG. 1. Bosquejo geológico de la Alta Cordillera de los Andes a latitud 30° S. Extraído de Cornejo y Mpodozis (1979) y Parada (1981), modificado.

algunos antecedentes de terreno para sostener una edad pre-triásica superior. En efecto, se ha observado que el cuerpo, esencialmente tonalítico, tiene una relación de contacto discordante bajo las volcánicas de la Formación Matahuaco, de supuesta edad pérmica (Letelier, 1977). No obstante, los granitos hololeucocráticos de feldespato alcalino y, en parte, los pórfidos riolíticos, intruyen a la Formación Matahuaco y no afectan a las sedimentitas de la Formación Las Breas (Triásico Superior). Desafortunadamente, no se ha observado a los leucogranitos de biotita y anfíbola en contacto con las rocas estratificadas del área.

Fue Dediós (1967) quien presentó las primeras dataciones absolutas ( $Pb-\alpha$ ), para cuatro de las facies petrográficas por él definidas y cartografiadas, en el borde occidental del batolito, a la latitud de  $30^{\circ}S$ . Ellas son  $373 \pm 40$  m.a. (Ptp)\*,  $335 \pm 35$  m.a. (Pt)\*,  $306 \pm 30$  m.a. (Pgd)\* y  $200 \pm 20$  m.a. (PTrg)\*. Estos datos radiométricos, junto con sus observaciones en el terreno, le permitieron denominar Complejo Intrusivo Paleozoico a estos

granitoides.

Posteriormente, Mpodozis (1974) y Rivano (1975) establecieron una cronología relativa de eventos plutónicos que conformaron este batolito compuesto, a la latitud del río Limarí-Los Molles y del río Grande, respectivamente. Consideraron a las tonalitas y granodioritas como el producto del episodio plutónico más antiguo, en cuyas rocas se alojan los granitos leucocráticos del último episodio. Ambos autores documentaron una edad pre-triásica para dichos granitoides y, en algunos lugares, como en el río Divisadero, observaron granodioritas intruyendo a la Formación Chojoyi.

En el alto valle del río Hurtado ( $30^{\circ}30' S$ ), Cornejo y Mpodozis (1979) observaron que granitoides de este batolito están cortando a una secuencia de sedimentitas, supuestamente carbonífera y, a su vez, están cubiertos por rocas sedimentarias, marinas, del Lías. Los autores mencionados concuerdan con la edad permo-triásica que otros autores han asignado al batolito compuesto, varísico, de la Cordillera Frontal.

## MÉTODOS ANALÍTICOS Y RESULTADOS

Se recolectaron alrededor de 20 muestras de los diferentes cuerpos que forman parte del batolito de los ríos Elqui-Limarí. Doce de ellas fueron seleccionadas de acuerdo al estudio petrográfico de sus secciones delgadas, a las que posteriormente se les determinaron los contenidos de Rb y Sr. La isócrona de referencia de la Fig. 2 se construyó en base a muestras recolectadas en diferentes sectores del batolito, los cuales, sin embargo, están en continuidad de afloramientos.

El análisis isotópico se realizó en el laboratorio del Centro de Pesquisas Geocronológicas del Instituto de Geociencias de la Universidad de Sao Paulo. Los análisis de Rb y Sr se hicieron por fluorescencia de Rayos-X en un equipo Philips de 2 KV. Los análisis isotópicos de Sr se efectuaron en un espectrómetro de masas Varian MAT, modelo TH-5.

La razón  $Sr^{87}/Sr^{86}$ , para el  $(SrCO_3)$  standard de Eimer y Amend, tiene un valor promedio de

$0,7083 \pm 0,0008$  ( $1\sigma$ ). Este valor se obtuvo con un promedio de 27 medidas en los últimos tres años. Los resultados fueron obtenidos midiendo, directamente, la altura de los "peaks" en los gráficos del inscriptor del instrumento.

Los valores isotópicos que se proyectaron en la Fig. 2, conforman alineaciones de puntos que pueden ser considerados isócronas de referencia, para las muestras de los leucogranitos y tonalitas-granodioritas. Sin embargo, los valores obtenidos para las muestras de granitos de feldespatos alcalinos, no presentaron una distribución que permita interpretarlos por el método isocrónico.

Es interesante observar la concordancia entre las edades  $Pb-\alpha$  de Dediós (1967) y Rb-Sr (roca total) de este trabajo, lo que confirma una tendencia ya observada en otros estudios, en los cuales las edades  $Pb-\alpha$  antiguas (mayores que 160 m.a.) tienen una buena correspondencia con otros métodos geocronológicos.

\* Designación de las facies petrográficas en el mapa de Dediós (1967).

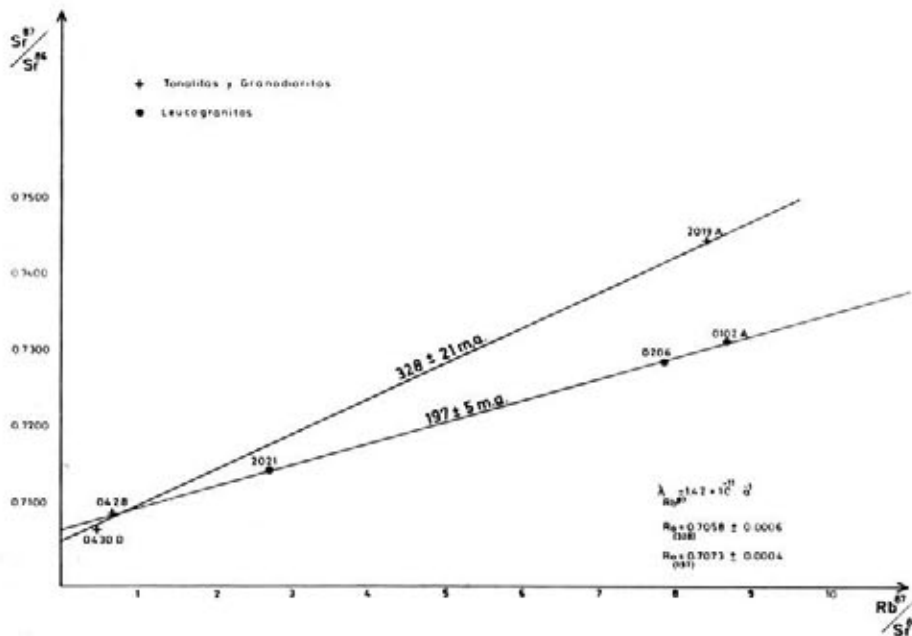


FIG. 2. Isócronas de referencia de granodioritas-tonalitas y leucogranitos del Batolito Compuesto Ríos Elqui-Limarí.

## PETROGRAFIA

Las muestras de granodioritas y tonalitas, del principal episodio plutónico, utilizadas para la construcción del diagrama isocrónico de la Fig. 2, son macroscópicamente de color gris-blanquecino, de grano grueso, con un índice de color cercano a 10; al microscopio, presentan una textura hipidiomorfa granular y, en alguna de ellas, muestran rasgos de cataclasis. La mineralogía esencial está caracterizada por plagioclasa, tipo andesina-oligoclasa, cuarzo, feldespato potásico, levemente peritítico, biotita y, a veces, anfíbola subordinada.

Como efectos de alteración, es posible distinguir una cloritización de algunos cristales de biotita en la muestra 0428. La sericita y los minerales de arcilla, que alteran a los feldespatos y a la

muscovita tardimagmática, son importantes en la muestra 2019<sub>A</sub>.

Las muestras de leucogranitos de biotita y anfíbola, de la Fig. 2, provienen de cuerpos composicionalmente homogéneos y de dimensiones reducidas. Se componen de fenocristales cuhbrales a subhbrales de plagioclasa, de tamaño superior a 1 mm y un relleno de textura intersticial de cuarzo y feldespato potásico, peritítico, de color rosado (microclina). Los escasos cristales de biotita y anfíbola se presentan subhbrales y cuhbrales, respectivamente. Los rasgos de alteración de estas muestras son incipientes, tales como sericitización y epidotización (2021) de feldespato y cloritización parcial de biotita (0102<sub>A</sub>).

## CONCLUSIONES

Las edades radiométricas obtenidas no se contraponen con las relaciones estratigráficas del batolito de los ríos Elqui-Limarí. La posición discordante de las granodioritas y tonalitas de hornblenda y biotita, bajo las riolitas de la Formación Matahuai-co, aseguran para ella una edad post-mississippiana y no desmienten la edad pérmica que Letelier (1977) sostiene, en base a flora fósil recolectada y a relaciones estratigráficas. Por otra parte, la edad

triásica inferior de los granitos de biotita y anfíbola determina una edad máxima para la Formación Las Breas, que posee, en sus niveles inferiores, conglomerados con bolones de composición similar a dichos granitos, entre otros.

Los 197 ± 5 m.a. obtenidos para el evento de granitos leucocráticos indican, además, que serían equivalentes con la facies "PTrg" de Dediós (1967) y de similar edad a la atribuida por Parada (1981)

a los granitos hololeucocráticos de feldespato alcalino, al comprobar que estos últimos intruyen a la Formación Matahuaico y no afectan a la Formación Las Breas (Dediós, 1967; Letelier, 1977).

En algunos perfiles realizados en la prolongación hacia el sur de este batolito, en la Cordillera Frontal argentina, Mpodozis *et al.* (1976) han atribuido una edad neopérmica a plutones tonalíticos y granodioríticos indiferenciados, que intruyen a los niveles basales de la Formación Choyoi, y una edad eotriásica a los granitos hololeucocráticos que "sólo respetan los niveles superiores de esta formación" (*op. cit.*). Caminos (1979), en su revisión de la geología de la Cordillera Frontal, resumió los datos radiométricos a la fecha y las relaciones estratigráficas de las volcanitas y plutonitas de lo que él denominó el "ciclo eruptivo varísico" y concluyó que ellas son enteramente post-carboníferas y anteriores a la depositación de los estratos basales de la cuenca de Cacheuta, de edad triásica media.

Sin embargo, si se considera la edad de los tres ciclos plutónicos (Silúrico-Carbonífero Inferior; Pérmico Inferior; Pérmico Superior-Triásico Inferior), definidos por Caminos *et al.* (1979) en la Cordillera Frontal y Precordillera de Mendoza, las edades de las tonalitas y granodioritas, y de los leucogranitos de biotita y anfíbola del batolito de los ríos Elqui-Limarí, tienen una correspondencia cronológica y petrográfica con el ciclo Silúrico-Carbonífero Inferior (400-330 m.a.) y con el ciclo Pérmico Superior-Triásico Inferior (225 ± 20 m.a.), respectivamente.

Al norte de la latitud 30°S, se han efectuado dataciones K-Ar en la prolongación del batolito compuesto de los ríos Elqui-Limarí. En el sector cordillerano de Copiapó (28° Lat. S.), se obtuvieron edades entre los 224 y 262 m.a. (Caminos, 1972; Mc Bride *et al.*, 1976). Estas edades han permitido a diversos autores (Jensen, 1976; Cisterna *et al.* 1978; Muzzio 1980; Pino, en prep.) ubicar, cronológicamente, a cuerpos graníticos que se disponen en la Precordillera de Atacama y Cordillera Claudio Gay.

Entre Sierra de Moreno y el río Loa, aparecen las manifestaciones más septentrionales del magmatismo del Carbonífero. En efecto, Huete *et al.* (1977) han obtenido, dentro de cuerpos cronológicamente indiferenciados, edades K-Ar carboníferas además de ordovícico-silúricas y pérmicas; las edades carboníferas fluctúan, aproximadamente, entre los 320 y 290 m.a. Cabe destacar que, a la luz de los datos radiométricos de los plutones preliásicos de la Cordillera de los Andes, surge la posibilidad de considerar que, algunas de las edades K-Ar más jóvenes que las aportadas en este trabajo, reflejen pérdida de argón durante procesos posteriores.

Los antecedentes cronológicos disponibles a la fecha sugieren que el extenso cinturón magmático, que ocupa principalmente la Cordillera Frontal, fue el resultado de un magmatismo episódico recurrente, fundamentalmente preandino, que confirma y extiende la ocurrencia de los tres ciclos magmáticos definidos por Caminos *et al.* (1979), en la Cordillera Frontal y Precordillera de Mendoza.

TABLA 1. DATOS ANALITICOS

Nº SPR	Nº Muestra	Sr p.p.m.	Rb p.p.m.	Sr <sup>87</sup> /Sr <sup>86</sup> *	Rb <sup>87</sup> /Sr <sup>86</sup>
3176	0428 <sub>A</sub>	371	84	0,7093	0,66
3177	2019 <sub>A</sub>	66	193	0,7451	8,4
4418	0430 <sub>D</sub>	304	49	0,7072	0,46
3182	2021	147	136	0,7149	2,68
3179	0102 <sub>A</sub>	72	212	0,7316	8,62
4419	0206	56	151	0,7291	7,85

\* Los valores de Sr<sup>87</sup>/Sr<sup>86</sup> fueron normalizados de acuerdo al valor 0,1196, para la razón Sr<sup>86</sup>/Sr<sup>88</sup>.

Las razones  $Sr^{87}/Sr^{86}$  iniciales de los granitoides datados arrojan valores que no son compatibles con un origen del magma primario a partir de un proceso único, en este caso, de fusión del manto. En efecto, los granitoides a los que se supone dicho origen, tienen razones  $Sr^{87}/Sr^{86}$  iniciales levemente superiores a los valores promedios  $Sr^{87}/Sr^{86}$  iniciales en las rocas volcánicas de arcos de islas (0,7038-0,7043). Los valores de las razones iniciales encontradas en el batolito compuesto Elqui-Limarí (0,7058 y 0,7073) son interpretados, generalmente, como indicadores de un magma originado en el manto superior, que ha sufrido una contaminación cortical. Sin embargo, la homogénea composición petrográfica de los leucogranitos y la razón inicial intermedia, son compatibles con un origen del magma a partir de material cortical de composición adecuada.

La diferencia obtenida entre las razones  $Sr^{87}/Sr^{86}$  iniciales de la plutonitas carboníferas y las triásicas, necesita mayores antecedentes para una interpretación más precisa, no obstante, se puede sugerir que los magmas iniciales de ambas plutonitas son diferentes y formados en procesos independientes, si se considera que la razón  $Sr^{87}/Sr^{86}$  actual de una muestra de tonalita carbonífera (Tabla 1) es menor que la razón inicial de los granitos triásicos inferiores.

En los granitoides triásicos estudiados por Caminos *et al.* (1979), se observa que la razón inicial (0,707) es semejante a la de las rocas del Triásico Inferior de este estudio. Esto permitiría suponer que los magmas parentales tuvieron un origen similar y han sufrido una evolución isotópica semejante.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al personal del Centro de Pesquisas Geocronológicas de la Universidad de Sao Paulo, y en especial al Sr. Kei Sato, por la colaboración prestada durante el proceso de análisis de las muestras.

Este trabajo es una contribución al Proyecto 120 "Evolución Magmática de los Andes", perteneciente al Programa Internacional de Correlación Geológica.

El Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de Chile y los Grants Nos. E083-815 y E1300-811 del Servicio de Desarrollo Científico, Creación Artística y Cooperación Internacional de la Universidad de Chile, hicieron posible, en gran parte, la elaboración de este trabajo.

Agradecemos también a los profesores C. Mpozois y F. Hervé, por la revisión del manuscrito.

#### REFERENCIAS

- CAMINOS, R. 1972. Perfil geológico de la cordillera entre los 28°00' y 28°30' de latitud sur, provincia de La Rioja, República Argentina. *Asoc. Geol. Argent., Rev.*, Vol. 27, No. 1, p. 71-83.
- CAMINOS, R. 1979. Cordillera Frontal. *In Simp. Geol. Regional Argent.*, No. 2, Acad. Nac. Cienc., Córdoba, Vol. 1, p. 397-453.
- CAMINOS, R.; CORDANI, U.; LINARES, E. 1979. Geología y Geocronología de las rocas metamórficas y eruptivas de la Precordillera y Cordillera Frontal de Mendoza, República Argentina. *In Congr. Geol. Chileno*, No. 2, Actas, Vol. 1, p. F43-F60. Arica.
- CISTERNAS, M.E.; VICENTE, J.C.; DAVIDSON, J. 1978. Estratigrafía y estructura del flanco occidental de la Cordillera Claudio Gay, al sur del Salar de Pedernales, Atacama, Chile. *In Congr. Geol. Argent.*, No. 7, Actas, Vol. 1, p. 617-628.
- CORNEJO, P.; MPOZOIS, C. 1979. Las sedimentitas del Paleozoico superior del Alto Valle del río Hurtado, Coquimbo, IV Región. *In Congr. Geol. Chileno*, No. 2, Actas, Vol. 1, p. A87-A101. Arica.
- DEDIOS, P. 1967. Cuadrángulo Vicuña, provincia de Coquimbo. *Inst. Invest. Geol., Carta Geol. Chile*, No. 16, 65 p.
- DOMEYKO, I. 1846. Memoria sobre la constitución geológica de Chile. *Constitución geológica del sistema andino i de los terrenos que atraviesan en la latitud de Coquimbo. Mineralojía (Jcología)*. Vol. 5, p. 173-294, Edit. Cervantes, Santiago.
- HUETE, C.; MAKSAEV, V.; MOSCOSO, R.; *et al.* 1977. Antecedentes geocronológicos de rocas intrusivas de la Cordillera de los Andes comprendida entre la Sierra Moreno y el río Loa y los 21° y 22° latitud sur, II Región. *Inst. Invest. Geol., Rev. Geol. Chile*, No. 4, p. 35-41.
- JENSEN, O. 1976. Geología de las nacientes del río Copiapó, entre los 27°53' y 28°30' de latitud sur, provincia de Atacama, Chile. *Memoria de Título, Univ. Chile, Depto. Geol.*, 249 p. Santiago.

- LETELIER, M. 1977. Petrología, ambiente de deposición y estructura de las formaciones Matahuaico, Las Breas, Tres Cruces *sensu lato* e intrusivos hipabisales permotriásicos, en el área de Rivadavia-Alcohuas, valle del Elqui, IV Región, Chile. Memoria de Título, Univ. Chile, Depto. Geol., 131 p. Santiago.
- MCBRIDE, S.L.; CAELLES, J.C.; CLARK, A.H.; *et al.* 1976. Palozoic radiometric age provinces in the Andean basement latitude 25°-30°S. Earth Planet. Sci. Lett., Vol. 29, No. 2, p. 373-383.
- MPODOZIS, C. 1974. Geología de la Cordillera de Ovalle, provincia de Coquimbo, entre 30°20' y 30°55' Lat. sur, Memoria de Título, Univ. Chile, Depto. Geol., 191 p. Santiago.
- MPODOZIS, C.; PARADA, M.A.; RIVANO, S.; *et al.* 1976. Acerca del plutonismo tardi-Hercínico de la Cordillera Frontal entre los 30° y 33° sur (provincias de Mendoza y San Juan, Argentina; Coquimbo, Chile). In Congr. Geol. Argent., No. 6, Actas, Vol. 1, p. 143-166. Bahía Blanca. 1975.
- MUZZIO, G. 1980. Geología de la región comprendida entre el cordón de Varillar y Sierra Las Vizcachas, Precordillera de Atacama, Chile. Memoria de Título, Univ. Chile, Depto. Geol., 176 p. Santiago.
- PARADA, M.A. 1981. Lower Triassic alkaline granites of Central Chile (30°S) in the high Andean Cordillera. Geol. Rundsch., Vol. 70, No. 3 (in press).
- POLANSKI, J. 1970. Carbónico y Pérmico de la Argentina. Eudeba Edit. Univ., 216 p. Buenos Aires.
- RIVANO, S. 1975. Reconocimiento geológico de las nacientes del río Grande (Alta Cordillera de Ovalle, entre los 30°50' y 31°20' Lat. sur, provincia de Coquimbo). Memoria de Título, Univ. Chile, Depto. Geol., 214 p. Santiago.
- THIELE, R. 1964. Reconocimiento geológico de la Alta Cordillera de Elqui. Univ. Chile, Depto. Geol., Publ., No. 27, 73 p.
- VICENTE, J.C. 1975. Essai d'organisation paléogéographique et structurale du Paléozoïque des Andes Méridionales. Geol. Rundsch., Vol. 64, No. 2, p. 343-394.
- WILLIS, B. 1929. Earthquake conditions in Chile. Carnegie Inst. Wash., Publ., No. 382, 178 p.