

MAGMATISMO BIMODAL DEL TRIASICO SUPERIOR-JURASICO INFERIOR, EN LA CORDILLERA DE LA COSTA, PROVINCIAS DE ELQUI Y LIMARI, CHILE

PAULINA GANA F.

Servicio Nacional de Geología y Minería, Casilla 10465, Santiago, Chile

RESUMEN

En la Cordillera de la Costa de Norte Chico, entre los 30°15'-31°00' S, aflora una asociación plutónica bimodal del Triásico Superior- Jurásico Inferior, formada por leucogranitos (Unidad Tranquilla-Millahue) y monzodioritas a gabros (Unidad Talinay) con edades Rb-Sr de 220-200 Ma y K-Ar 213-143 Ma, estas últimas rejuvenecidas en parte por el efecto térmico producido por intrusivos del Jurásico superior- Cretácico. Las monzodioritas y gabros de la Unidad Talinay, son rocas calcoalcalinas (48-56% SiO₂), ricas en CaO, Al₂O₃, Fe y Sr; pobres en K₂O y Rb. Poseen bajas razones iniciales Sr⁸⁷/Sr⁸⁶, consistentes con una derivación del manto. Su evolución estuvo controlada, en parte, por fraccionamiento de anfíbola y plagioclasa. Los leucogranitos de la Unidad Tranquilla-Millahue se caracterizan por poseer un contenido de SiO₂ superior a 73%, siendo ricos en K₂O y Rb, pobres en CaO, Fe, Al₂O₃ y Sr. Son rocas marginalmente peraluminosas, afines con granitos calcoalcalinos altamente fraccionados. Poseen razones iniciales Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ que sugieren una cierta participación de material cortical en su génesis. Sus marcadas anomalías de Europio y Estroncio y las razones Sr/Ba y Rb/Sr, evidencian el fraccionamiento de feldespato, durante la evolución magmática. Los granitos de esta unidad se interpretan como resultado de fusión de la corteza continental, favorecida por la acumulación de magmas basálticos en su base, de los cuales derivaría la Unidad Talinay. El proceso habría ocurrido, probablemente, durante un lapso de interrupción del sistema de subducción andino, el cual se habría reactivado a partir del Jurásico Medio.

Palabras clave: Magmatismo bimodal, Triásico Superior-Jurásico Inferior, Cordillera de la Costa, Norte Chico, Chile.

ABSTRACT

An Upper Triassic-Lower Jurassic bimodal plutonic suite occurs along the Cordillera de la Costa of northern Chile, between 30°15'-31°00'S. It is composed by leucogranites (Tranquilla-Millahue Unit) and monzodiorites to gabbros (Talinay Unit) dated 220-200 Ma Rb/Sr and 213-143 Ma K/Ar. Some of the K/Ar ages have been reset by the intrusion of Upper Jurassic and Cretaceous granitoids. The monzodiorites and gabbros of the Talinay Unit are calcalkaline rocks ranging 48-56% in SiO₂, being characteristically rich in CaO, Al₂O₃, total Fe and Sr; and K₂O, Rb poor. Low Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ initial ratios are consistent with a mantle derivation. Its evolution was controlled, in part, by amphibole and plagioclase fractionation. The leucogranites of the Tranquilla-Millahue Unit are characterized by high SiO₂ (>73%), K₂O and Rb rich and by low CaO, total Fe, Al₂O₃ and Sr. They are marginally peraluminous rocks, with affinity to highly fractionated calcalkaline granites. Their high Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ initial ratios suggest a crustal participation in the magmagenesis. Negative Europium and Strontium anomalies and Sr/Ba and R/Sr ratios, suggest a feldspar fractionation in the magmatic evolution. The granites of this unit are interpreted to represent melting of continental crust, due to accumulation of basaltic magmas at its bottom. The process, probably took place during a period of interruption of the Andean subduction system which was reactivated in Mid-Jurassic times.

Key words: Bimodal magmatism, Upper Triassic-Lower Jurassic, Cordillera de la Costa, Chile.

INTRODUCCION

Los intrusivos más antiguos de la Cordillera de la Costa, entre los 30°15'-31°00' S (Fig.1), corresponden a plutones del Mesozoico inferior, que poseen características propias de una asociación bimodal ácido-básica, diferente de las típicas rocas calcoalcalinas de arco magmático de borde continental, formadas a partir del Jurásico Medio en ese sector de los Andes.

El objetivo del presente trabajo es describir las unidades intrusivas que forman la asociación bimodal, con el propósito de dar a conocer su distribución, características petrográficas, químicas y geocronológicas y, basado en ellas, discutir su significado tectónico.

La primera mención a estas rocas corresponde a Thomas (1967), quien indicó la presencia, en la zona costera de la Hoja Ovalle, de granitos y dioritas néisicas a los que atribuyó una edad paleozoica, sobre la base de análisis Pb/. Los intrusivos se emplazarían en rocas metamórficas paleozoicas, encontrándose en contacto por falla, hacia el este, con tonalitas y granodioritas del Jurásico y rocas estratificadas del Mesozoico inferior. Godoy (1976) reconoció, también, la presencia de granodioritas, microdioritas y gabros, en parte agmatíticos, cortando esquistos anfibólicos y neises, en el área de Punta Lengua de Vaca, aunque, a diferencia de Thomas (1967), los consideró de edad jurásica. Irwin *et al.* (1988) describieron la asociación de gabros y monzogranitos en el sector de Punta Talca, indicando para ellos edades Rb-Sr en el intervalo de 220-200 Ma, concordantes con edades Rb-Sr de 203 Ma y 191 Ma K-Ar en biotita, de intrusivos equivalentes, existentes al sur de los 31°00' (Rivano *et al.*, 1985; Parada *et al.*, 1988a). Por último, Parada (1990) consideró que estos intrusivos del Triásico-Jurásico Inferior, corresponden a una asociación bimodal (leucogranitos, cuarzodioritas y gabros), que inter-

pretó como intrusivos 'anorogénicos', generados en un ambiente tensional, y los comparó con asociaciones semejantes en la Alta Cordillera de Elqui-Limarí.

Las dioritas, gabros y granitos que constituyen la asociación bimodal del Triásico Superior-Jurásico Inferior, se emplazan en rocas metamórficas, polideformadas, en parte pertenecientes al Complejo Metamórfico del Choapa (Rivano y Sepúlveda, en prensa; Fig.1). Consisten en metabasitas, esquistos cuarzomicaáceos, metacherts, metaconglomerados y metapelitas. Sus edades Rb/Sr de 311 y 201 Ma y K-Ar entre 220 y 188 Ma (Irwin *et al.*, 1988), indicarían eventos termales asociados a los intrusivos que los cortan. Este complejo ha sido interpretado como una asociación de prismas de acreción del Paleozoico (Sepúlveda, 1984; Thiele y Hervé, 1984; Irwin *et al.*, 1988). Al oriente de los afloramientos del Complejo Metamórfico del Choapa se observa un complejo de ortoneises graníticos y paraneises (Neises Talquilla; Gana, en prep.), asociados con filones dioríticos a gábricos y metasedimentitas, de probable edad paleozoica (Fig.1). Constituyen, además, roca de caja de los intrusivos del Mesozoico inferior, lutitas negras y areniscas atribuibles a la Formación Huentelauquén del Carbonífero Superior-Pérmico Inferior (Muñoz Cristi, 1973, Rivano y Sepúlveda, en prensa).

Granitoides del Jurásico Medio a Superior y Cretácico Inferior, ubicados al oriente de la zona estudiada, consistentes en monzodioritas cuarcíferas de dos piroxenos de la Unidad Puerto Oscuro, y un conjunto de plutones de amplio espectro composicional, variable entre monzodiorita y monzogranito con inclusiones básicas, correlacionables con la Superunidad Illapel (Rivano y Sepúlveda, en prensa), representan el magmatismo de arco calcoalcalino, desarrollado posteriormente a la asociación bimodal del Triásico-Jurásico Inferior.

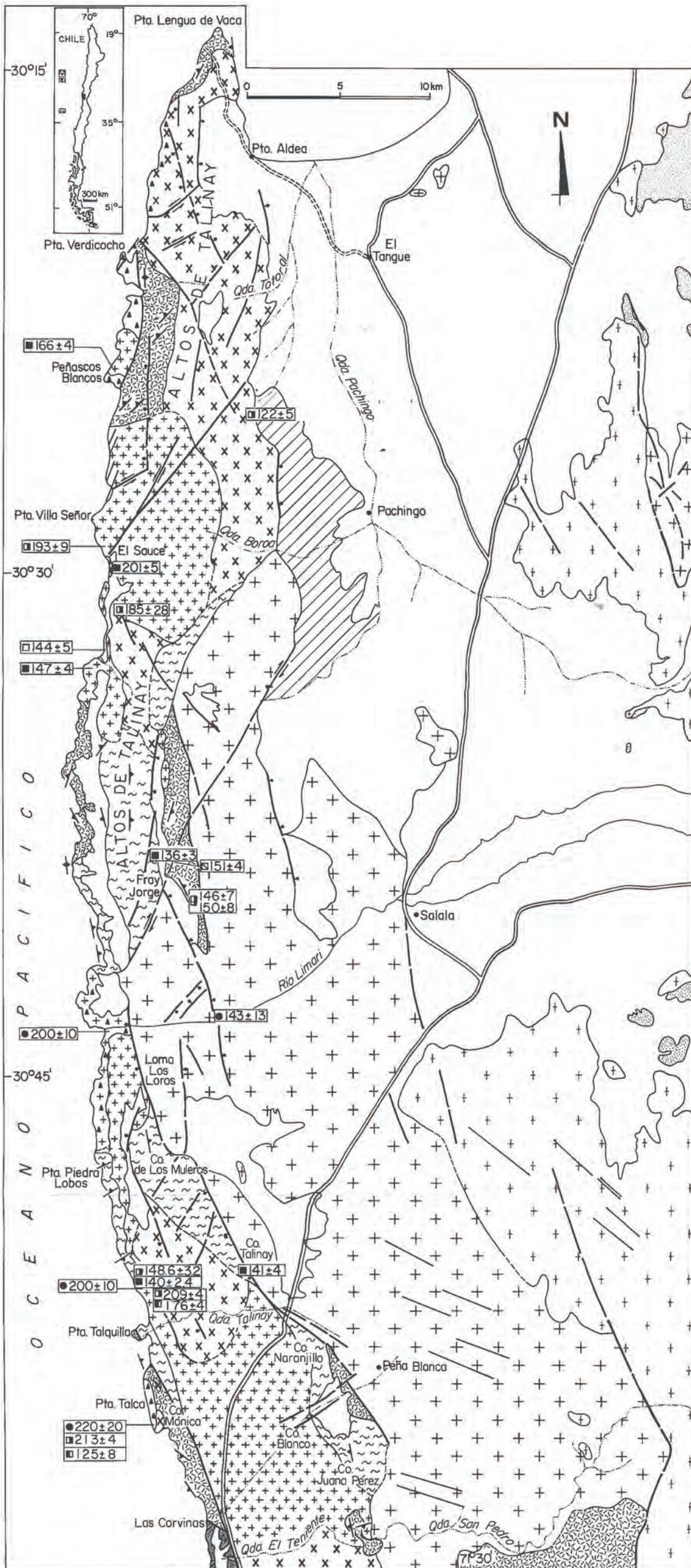
LA ASOCIACION BIMODAL DEL TRIASICO SUPERIOR-JURASICO INFERIOR

Las rocas intrusivas que forman la asociación bimodal del Triásico Superior-Jurásico Inferior, han sido agrupadas en dos unidades: 1. rocas básicas (gabros a dioritas y monzodioritas) que aquí se denominan **Unidad Talinay**; y 2. un conjunto de granitos leucocráticos ya descritos por Rivano *et al.* (1985), bajo los nombres de unidades Tranquilla y

Millahue. Considerando que éstos últimos sólo se separarían según su tamaño de grano relativo, por lo demás variable, se ha preferido agruparlos en un solo conjunto que aquí se denominará **Unidad Tranquilla-Millahue**.

La **Unidad Talinay** está constituida por un grupo de plutones alineados en dirección norte-sur, en

L E Y E N D A



- Complejo Metamórfico del Choapa (Paleozoico Inferior)
- Neises Talquilla (Paleozoico)
- Formación Huentelauquén (Carbonífero Superior-Pérmico inferior)
- Unidad Talinay, 4a agmatitas brechosas (Triásico Superior-Jurásico Inferior)
- Unidad Tranquilla-Millahue (Triásico Superior-Jurásico Inferior)
- Unidad Puerto Oscuro (Jurásico Medio)
- Granitoides del Cretácico Inferior
- Rocas volcánicas y sedimentarias del Mesozoico
- Cenozoico indiferenciado
- Regolito
- Datación radiométrica
- Edades radiométricas K-Ar. a. roca total; b. biotita; c. anfíbola; d. plagioclasa
- Edades radiométricas Rb-Sr
- Contacto geológico; línea segmentada, contacto inferido
- Falla normal mostrando bloque hundido
- Falla probable y/o lineamiento fotográfico
- Falla de rumbo
- Foliación
- Foliación vertical
- Diques

FIG. 1. Mapa geológico simplificado de la Cordillera de la Costa, entre los 30°15' y 31°00'S.



FIG. 2. Agmatitas brechosas de composición ácido-básica, que intruyen a esquistos del Complejo Metamórfico del Choapa, en Isla Lobos.

la vertiente occidental de las serranías costaneras, entre Quebrada El Teniente y Puerto Aldea (Fig. 1).

Los principales corresponden a los plutones Quebrada Talinay (55 km²) y Puerto Aldea (132 km²) y varios plutones pequeños, de área inferior a 4 km², entre los que se destaca el Plutón Cerro Mónica, en Punta Talca (Fig.1).

Los plutones de la Unidad Talinay intruyen al Complejo Metamórfico del Choapa y a los Neises Talquilla, parte de los cuales se encuentran como 'roof pendants' en los intrusivos (Quebrada El Teniente). La Unidad Talinay está intruida por la Unidad Tranquilla-Millahue, observándose agmatitas en las zonas de contacto, formadas por un melanosoma monzodiorítico a gábrico y leucosoma granodiorítico a granítico (Fig. 2). Diques y pequeños cuerpos básicos asociados a esta unidad, intruyen a granitos en Punta Farallones y Quebrada Palo Cortado. Plutones de la Unidad Talinay están intruidos y/o en contacto tectónico con monzodioritas cuarcíferas de la Unidad Puerto Oscuro (Jurásico Medio).

La Unidad Talinay está formada por rocas mesocráticas a melanocráticas (IC prom. 35-60), dioritas de hornblenda, dioritas cuarcíferas, gabros de hornblenda, monzodioritas y monzodioritas cuarcíferas y en forma subordinada, granodioritas (Fig.3).

En general, son rocas de color gris oscuro-verdoso, de grano fino a medio (0,4-3mm), equigranulares e inequigranulares, con andesina-labradorita (An₃₄₋₆₆), poikilítica y ocasionalmente zonada, escasa ortoclasa y cuarzo intercumulados, clinopiroxeno, hornblenda, actinolita, biotita y clorita.

Los términos más básicos exhiben clinopiroxenos

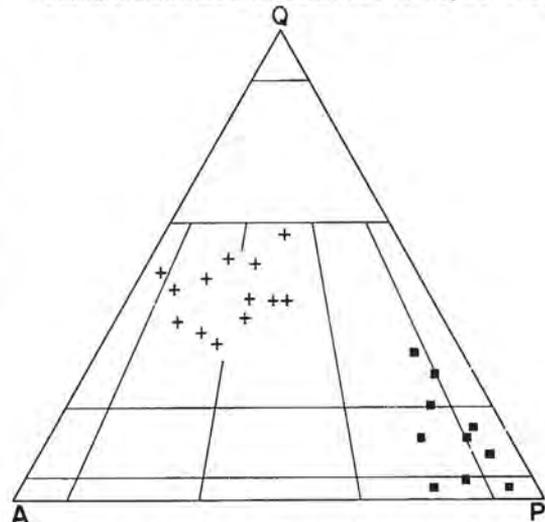


FIG. 3. Triángulo QAP, que muestra la distribución modal de las unidades Talinay (*) y Tranquilla-Millahue (+). Límites de campos según Streckeisen (1976).



FIG. 4. Leucogranito perteneciente a la Unidad Tranquilla-Millahue, en la localidad de Villa Señor.

con textura 'schiller' y bordes kelifíticos de hornblenda, actinolita y biotita. Como minerales accesorios aparecen, esfeno, epidota, ilmenita, circón, hematita y magnetita. Las rocas presentan cierto grado de deformación, especialmente fracturamiento y recristalización mineral.

La Unidad Tranquilla-Millahue intruye a la Unidad Talinay y constituye la parte occidental de las serranías costaneras. Aflora en forma continua entre Quebrada El Teniente y la ribera sur del río Limarí. Hacia el norte, hasta 3 km al sur de Ensenada Tatare, aparece en forma discontinua, intruyendo metamorfitas paleozoicas (Fig.1). Incluye un conjunto de plutones de decenas de kilómetros de largo (Plutones Talca, El Maray, Villa Señor y Las Vegas, Fig. 4).

Hacia su borde oriental, está en contacto por falla con monzodioritas cuarcíferas de la Unidad Puerto Oscuro.

La Unidad Tranquilla-Millahue está formada por leucogranitos de biotita, sieníticos y monzoníticos (Fig. 3), de color rosado (IC 1,8-8), de grano medio a grueso, con un aumento paulatino del tamaño de los cristales hacia el borde occidental de los afloramientos (Morros Bayos y Villa Señor). Estos leucogranitos de biotita son rocas hipidiomórficas, con variedades equigranulares a porfídicas, compuestos por albita-

oligoclasa (An_{6-30}), ortoclasa, microclina, cuarzo y biotita. Las plagioclasas se encuentran zonadas, con bordes mirmekíticos, rodeadas por un manto de cristalización secundaria y, en parte, deformadas. Son comunes las texturas perfiticas lamelares en el feldespato potásico y textura de embahiamiento en cuarzo, aunque también se observan texturas granofíticas y micrográficas. Apatita, esfeno, circón y opacos (magnetita) son los accesorios más abundantes.

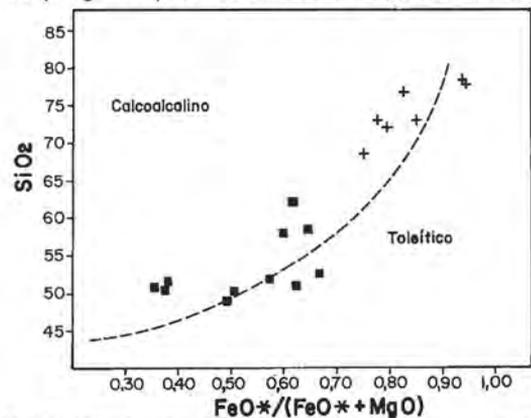


FIG. 5. Distribución de los granitoides de las unidades Talinay y Tranquilla-Millahue, en el diagrama SiO_2 versus $FeO^*/(FeO^*+MgO)$. Campos toleítico y calcoalcálico según Miyashiro (1974). Simbología en la figura 3.

GEOCROLOGIA

Durante el presente estudio se realizaron algunos análisis radiométricos por el método K-Ar, cuyos valores y datos analíticos se muestran en la tabla 2.

Parte de los datos geocronológicos disponibles, provienen de trabajos anteriores (Irwin *et al.*, 1988;

TABLA 1. EDADES RADIOMETRICAS Rb/Sr DE LAS UNIDADES TRANQUILLA-MILLAHUE Y TALINAY

Muestra No	Litología	Unidad	Edad y error	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	Referencias
TEN-21 a TEN-26 TEN-43a TEN-49	Monzogranito	Tranquilla-Millahue	200±10	0,7063	Irwin <i>et al.</i> , 1988
	Gabro	Talinay	220±20	0,7036	Irwin <i>et al.</i> , 1988
	Granito	Millahue	200±10	0,70632	Parada <i>et al.</i> , 1988a
	Diorita	Puerto Oscuro	143±13	0,70338	Parada <i>et al.</i> , 1988a

TABLA 2. EDADES RADIOMETRICAS K-Ar

Muestra No	Coorden. Geográf.	Litología	Unidad	Material	%K	Ar40rad n/g	%Ar Atm.	Edad ± error (2σ Ma)	Referencias
C-97		Gabro	Talinay	Hornbl. Plagiocl.				208,8±4 176±4	Irwin <i>et al.</i> , 1988
C-151b	30°57'05" 71°78'38"	Diorita	Dique	Plagiocl.				121,6±6	Irwin <i>et al.</i> , 1988
C-171	30°55'23" 71°40'49"	Gabro	Talinay	Hornbl. Plagiocl.				231,4±4 124,6±8	Irwin <i>et al.</i> , 1988
PG-21	30°29'13" 71°41'19"	Diorita	Talinay	Anfibola	0,379	3,009	51,0	193,4±9	Este trabajo
2382-R	30°32'16" 71°41'26"	Diorita	Talinay	Roca total	0,254	1,484	39,0	144±5	Este trabajo
C-168Z		Granito	Tranquilla-Millahue	Hornbl. Biotita			85,6	148,6±3,2 140,1±2,4	Irwin <i>et al.</i> , 1988
2377-R	30°30'50" 71°40'49"	Granito	Tranquilla-Millahue	Anfibola	0,173	1,313	54,0	185±28	Este trabajo
2379-R	30°30'23" 71°40'48"	Granito	Tranquilla-Millahue	Biotita	7,109	58,682	23,0	201±5	Este trabajo
2380-R	30°32'51" 71°41'58"	Granito	Tranquilla-Millahue	Biotita	7,599	45,137	17,0	147±4	Este trabajo
PG-243	30°23'46" 71°40'58"	Granito	Tranquilla-Millahue	Biotita	7,561	51,150	7,0	166±4	Este trabajo
2387-R	30°39'09" 71°38'28"	Neis	Falla Fray Jorge	Anfibola	1,080	6,379	38,0	146±7	Este trabajo
2388-R	30°39'18" 71°39'45"	Milonita		Anfibola Muscovita	1,080 5,832	6,549 35,659	57,0 13,0	150±8 151±4	Este trabajo
PG-255	30°24'41" 71°36'25"	Diorita	Falla norte-sur	Biotita	7,890	43,266	15,0	136±3 122±5	Este trabajo
PG-91	30°50'40" 71°37'23"	Tonalita	Falla Talinay	Anfibola	7,00	39,822	12,0	(prom.) 141±4	Este trabajo

Constantes de calibración utilizadas: $\lambda = 0,581 \times 10^{-10} \text{ años}^{-1}$; $\lambda = 4,962 \times 10^{-10} \text{ años}^{-1}$; $^{40}\text{K}/\text{K}_{(\text{total})} = 0,01167$

Parada *et al.*, 1988a; Tablas 1, 2).

Antecedentes de terreno permiten suponer que ambas unidades plutónicas son más jóvenes que la Formación Huentelauquén (Carbonífero Superior-Pérmico Inferior).

La Unidad Talinay está intruida por leucogranitos de la Unidad Tranquilla-Millahue, aunque en algunos lugares, diques de similar composición y edad que la unidad básica, cortan a los leucogranitos. Ambas unidades están intruidas por monzodioritas de dos piroxenos de la Unidad Puerto Oscuro (Jurásico Medio).

Unidad Talinay: En el área de Punta Talca (Irwin *et al.*, 1988) obtuvieron una edad Rb-Sr de 220 Ma, concordante con una edad K/Ar en anfíbola (213 Ma) del Plutón Cerro Mónica. Una edad K-Ar en plagioclasa alterada del mismo plutón indicó un valor de 125 Ma. Edades K-Ar de 209 y 176 Ma, en anfíbola y plagioclasa del Plutón Quebrada Talinay fueron también obtenidas por Irwin *et al.* (1988). En diques dioríticos relacionados con esta unidad, que cortan granitos de la Unidad Tranquilla-Millahue, se obtuvieron edades K/Ar de 144 Ma, en roca total, y de 193 Ma en anfíbola.

Unidad Tranquilla-Millahue: Los leucogranitos de

esta unidad poseen edades cercanas a los intrusivos de la Unidad Talinay, dentro del intervalo Jurásico Inferior (Tablas 1, 2). Análisis por el método Rb-Sr indicaron valores de 200 Ma para granitos ubicados en la desembocadura del río Limarí (Parada *et al.*, 1988a) y en el Plutón Talca (Irwin *et al.*, 1988). Las edades K-Ar varían entre los 201 y 140 Ma (Tabla 2). Valores de 201 y 185 Ma, se obtuvieron para el Plutón Villa Señor, 147 Ma en el Plutón Quebrada El Maray y 166 Ma para el Plutón Las Vegas. Irwin *et al.* (1988) señalaron edades K-Ar de 149 y 140 Ma para un par anfíbola-biotita en granitos del Plutón Talca, al norte de Isla Talquilla.

Estos datos permiten indicar que la edad de cristalización de las unidades Talinay y Tranquilla-Millahue se sitúa alrededor de los 220-200 Ma (Triásico Superior-Jurásico Inferior, según la escala de Cowie *et al.*, 1989).

Los valores radiométricos K-Ar concentrados cerca de los 140-120 Ma (Jurásico Superior-Cretácico Inferior) corresponderían a edades mínimas, rejuvenecidas por eventos térmicos relacionados con el emplazamiento al este, de intrusivos del Jurásico Superior y del Cretácico.

GEOQUIMICA

El comportamiento geoquímico de las unidades plutónicas ha sido estudiado sobre la base de aná-

lisis por elementos mayores y algunos elementos traza (Tablas 3).

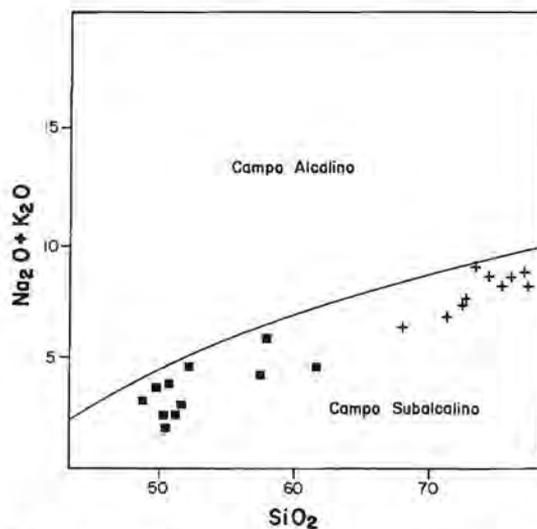


FIG. 6. Diagrama alcalis versus SiO_2 (Irvine y Baragar, 1971), correspondientes a las unidades Tranquilla-Millahue y Talinay. Simbología en la figura 3.

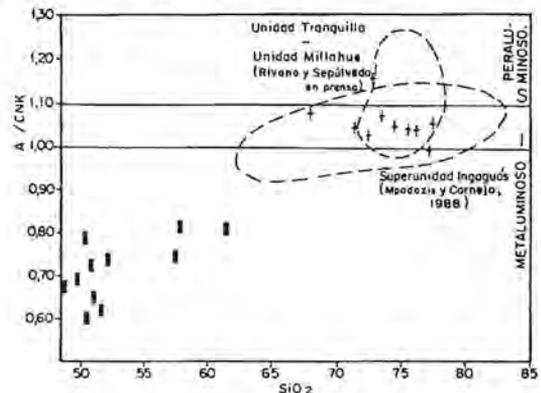


FIG. 7. Diagrama A/CNK versus SiO_2 de las unidades Talinay y Tranquilla-Millahue, mostrando la distribución de las unidades Millahue y Tranquilla de Rivano *et al.* (en prensa), de la Superunidad Ingaguás de Mpodozis *et al.* (1988). A/CNK: $Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ en razones moleculares. Límite S-I, según Chappell y White (1974). Límite de campos metaluminoso y peraluminoso, según Shand (1951). Simbología en la figura 3.

TABLA 3. ANALISIS QUIMICOS DE ELEMENTOS MAYORES Y TRAZAS DE LAS UNIDADES DE TALINAY Y TRANQUILLA-MILLAHUE

	UNIDAD TALINAY											UNIDAD TRANQUILLA - MILLAHUE					
	PG-17	PG-230	PG-234	PG-237	PG-282	PG-284	PG-296	PG-6	PG-18	2382-R	PG-214	PG-20	PG-22	2365-R	2379-R	2380-R	PG-233
SiO ₂	48,91	51,06	49,80	48,81	48,97	51,13	60,90	56,77	49,59	47,85	56,60	66,94	74,78	76,66	77,05	70,67	71,65
TiO ₂	0,53	2,32	2,49	1,40	0,57	2,27	1,57	1,43	0,48	1,22	1,35	0,85	0,20	0,12	0,07	0,67	0,45
Al ₂ O ₃	16,42	15,32	15,98	16,96	19,08	14,58	14,00	15,72	16,83	17,02	15,04	14,92	12,96	12,01	12,60	13,64	13,92
Fe ₂ O ₃	3,60	3,33	2,88	2,90	1,53	2,83	1,64	5,20	3,77	5,52	2,30	3,00	1,41	1,24	0,55	2,41	1,61
FeO	2,18	7,84	7,68	5,59	4,10	7,30	5,62	2,89	2,27	3,41	5,74	1,74	0,35	0,05	0,26	1,55	1,09
MnO	0,10	0,18	0,17	0,12	0,09	0,17	0,08	0,17	0,10	0,18	0,11	0,06	0,04	0,03	0,03	0,06	0,03
MgO	9,87	5,41	6,11	8,04	9,14	7,31	4,38	4,13	9,20	8,57	5,22	1,46	0,27	0,07	0,05	0,96	0,73
CaO	13,64	7,74	9,14	10,60	11,51	10,46	6,09	5,88	12,37	11,47	7,78	3,11	0,77	0,45	0,62	2,22	2,00
Na ₂ O	1,42	3,69	2,97	2,71	2,00	2,62	2,76	4,57	2,01	2,55	2,97	3,05	4,26	3,83	3,71	3,29	3,76
K ₂ O	0,25	0,80	0,66	0,84	0,27	0,23	1,78	1,21	0,33	0,37	1,19	3,16	3,92	4,83	4,53	3,54	3,65
H ₂ O*	2,79	1,98	1,60	1,49	2,13	1,09	0,93	1,40	2,66	1,46	1,44	1,25	0,67	0,52	0,44	0,60	0,72
H ₂ O	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
P ₂ O ₅	0,09	0,27	0,19	0,14	0,05	0,20	0,15	0,17	0,08	0,11	0,14	0,18	0,09	0,04	0,06	0,13	0,10
Total	99,80	99,94	99,67	99,60	99,44	100,18	99,90	99,53	99,68	99,73	99,88	99,70	99,72	99,85	99,97	99,74	99,70
S (ppm)	0,01	0,01	0,25	0,04	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
C	0,08	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,07	0,08	0,02	0,01	0,01	0,40	0,08	0,02	0,02	0,05
Cu	112	nd	nd	nd	nd	nd	nd	49	26	47	29	13	8	6	4	9	nd
Cr	381	nd	nd	nd	nd	nd	nd	131	614	302	180	28	12	8	5	16	nd
Ni	137	nd	nd	nd	nd	nd	nd	39	143	132	45	5	5	5	5	5	nd
Ba	44	170	140	70	40	30	220	219	29	41	190	486	252	137	135	342	340
Rb	10	25	22	39	14	5	101	41	12	16	54	142	133	179	212	179	174
Sr	196	220	230	230	290	170	202	258	148	148	170	181	65	30	27	117	120
V	138	230	210	200	120	300	180	161	129	199	210	82	8	9	5	62	30
ID	15,96	41,45	33,54	nd	nd	29,29	55,49	55,85	21,91	nd	46,06	73,25	2,05	95,98	94,53	81,05	84,31
Rb/Sr	0,05	0,11	0,1	0,17	0,05	0,03	0,59	2,	0,05	0,11	0,32	0,78	92,14	5,97	7,85	1,53	1,45
Sm	nd	nd	3,77	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9,63	6,15	nd	nd	nd	nd
La	nd	nd	10,85	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	37,10	27,13	nd	nd	nd	nd
Eu	nd	nd	1,68	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,74	0,97	nd	nd	nd	nd
Sr/Ba	4,45	1,29	1,64	3,29	7,25	5,67	0,77	0,92	8,90	3,61	0,89	0,37	0,26	0,22	0,20	0,34	0,35
Zr	nd	190	190	120	50	210	180	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

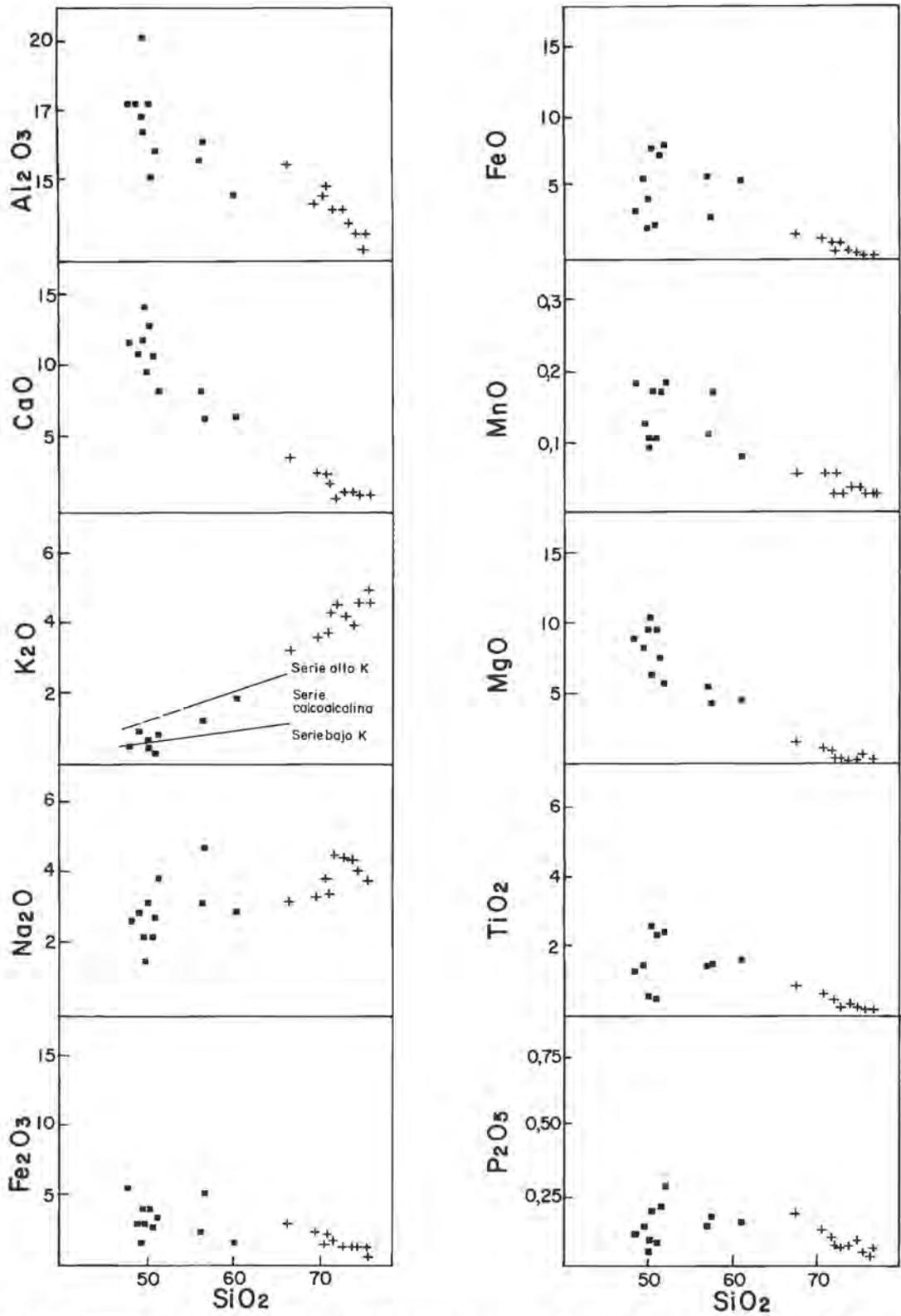


FIG. 8. Diagramas de Harker de elementos mayores, correspondientes a las unidades Talinay y Tranquilla-Millahue. Simbología en la figura 3.

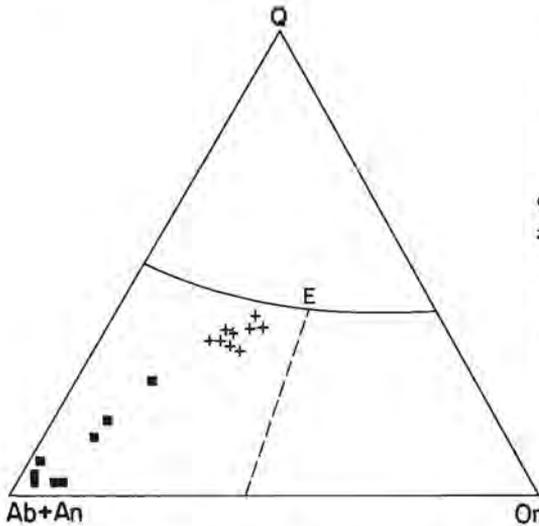


FIG. 9. Triángulo Q-(Ab+An)-Or, de las unidades Talinay y Tranquilla-Millahue. E: punto eutéctico. Simbología en figura 3.

La **Unidad Talinay** comprende rocas calcoalcalinas (48-57% SiO₂), con un moderado enriquecimiento en FeO* (Figs. 3, 5, 7). Son rocas metaluminosas, con valores entre 0,6 y 0,85 de la razón Al₂O₃/Na₂O+K₂O+CaO (Fig. 7). La sílice (Tabla 3, Fig. 8), se correlaciona positivamente con K₂O y negativamente con Al₂O₃, CaO, MgO, MnO, Fe₂O₃ y FeO, mientras que P₂O₅ y TiO₂ muestran un aumento hasta un 51% de SiO₂ y posterior disminución. La unidad posee contenidos de Ni entre 40-150 ppm, 30-200 Ba ppm, 130- 650 ppm Cr, valores de la razón Rb/Sr inferiores a 0,3 y Sr/Ba en el intervalo 0,9-9.

Los leucogranitos de la **Unidad Tranquilla-Millahue** tienen contenidos de SiO₂ sobre 73% (Tabla 3). Su cristalización tuvo lugar muy cercana del mínimo eutéctico, tal como se observa en el diagrama Qz-(Ab+An)-Or (Fig. 9). Se ubican en el campo de los granitos calcoalcalinos de alto K (Fig. 7, K₂O versus SiO₂), así como en el campo de las

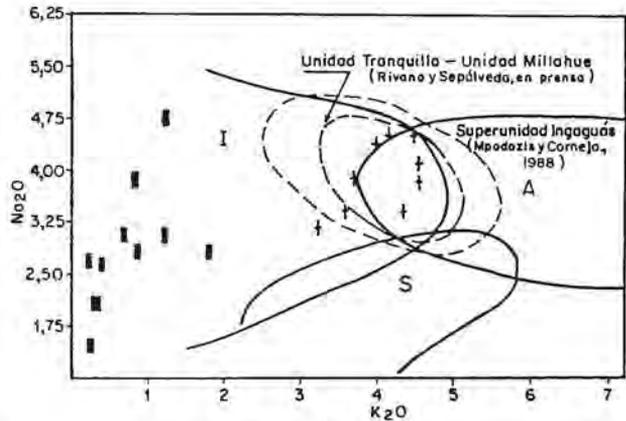
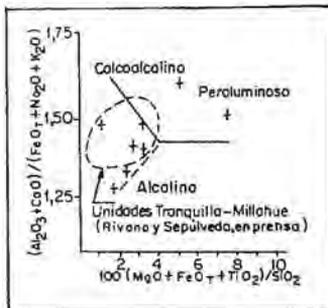


FIG.10. Diagrama Na₂O versus K₂O, correspondientes a las unidades Talinay y Tranquilla-Millahue. Distribución comparativa de granitos de las unidades Tranquilla y Millahue de Rivano y Sepúlveda (en prensa) y de la Superunidad Ingaguás de Mpodozis *et al.*, 1988). Límite de los campos I-S-A según Chappell y White (1974). Simbología en la figura 3.

rocas removilizadas de Lameyre y Bowden (1982; Fig. 3).

Son marginalmente peraluminosas, presentando valores de 1-1,1 de la razón Al₂O₃/Na₂O+K₂O+CaO (Fig. 7). Se proyectan en el campo de los granitos I (Fig. 7), pero mostrando cierta afinidad con granitos anorogénicos, según el diagrama de White y Chappell (1983; Fig. 10) y con los granitos calcoalcalinos altamente fraccionados de Sylvester (1989; Fig. 11). Los diagramas de Harker para elementos mayores (Tabla 3, Fig. 8) presentan, dentro de su limitado intervalo de SiO₂, tendencias similares a los intrusivos calcoalcalinos (Rogers y Greenberg, 1981). Son rocas ricas en K₂O (3,2-4,8%), con contenidos de Na₂O de 3,05%-4,5% y CaO relativamente bajos (0,45-3,0%), así como también bajos niveles de Fe₂O₃ (0,6-3%), FeO (0,05-1,74%) y Al₂O₃ (12-14,9%). Poseen altos contenidos de Rb (130-200 ppm), bajos valores de Sr (<200 ppm) y de la razón Sr/Ba.

FIG.11. Diagrama Al₂O₃+CaO/(FeO+Na₂O+K₂O) versus 100(MgO+FeO+TiO₂)/SiO₂ para leucogranitos de la Unidad Tranquilla-Millahue, indicando distribución de su equivalentes al sur de los 31°00'S, según Rivano *et al.* (en prensa). Límites entre campos alcalino, calcoalcalino y fuertemente peraluminoso, según Sylvester (1989). Simbología en la figura 3.

Petrogénesis

Los datos disponibles para la **Unidad Talinay**, son compatibles con los de rocas derivadas de magmas producidos por fusión parcial del manto superior, sin una componente cortical importante. Razones iniciales de 0,7036 (Irwin *et al.*, 1988) determinadas para gabros pertenecientes a la Unidad Talinay, son consistentes con un origen a partir del manto. El proceso de diferenciación contempló la cristalización fraccionada de plagioclasa, como se evidencia en las razones Rb/Sr y Sr/Ba. La petrografía de estas rocas indica que provienen de magmas pobres en agua, que favoreció la formación de fase piroxenos y plagioclasa. Los límites de saturación se habrían alcanzado a temperatura gradualmente decreciente, permitiendo, la interacción de los cristales con el líquido, la formación de anfíbola en torno a cristales de piroxeno y, posteriormente, de biotita (Naney, 1983).

El reemplazo posterior de hornblenda por actinolita, implica que el sistema permitió la introducción de fluidos, tal vez provenientes de otro magma, durante las etapas finales o posteriores al proceso de cristalización.

Los leucogranitos de la **Unidad Tranquilla-Millahue** derivan, posiblemente, de magmas producidos por fusión de corteza, lo que es consistente con sus razones iniciales Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ (0,7063 - 0,7050, Irwin *et al.*, 1988; Parada *et al.*, 1988a). Las razones Rb/Sr y Sr/Ba indican participación de feldespato en el proceso de fraccionamiento, como lo señalan sus patrones de Tierras Raras con marcada anomalía negativa de Europio (Parada, 1990, 1988b).

Los granitos de la unidad Tranquilla-Millahue son similares química e isotópicamente a los granitos del Permo-Triásico de la Superunidad Ingaguás en la Alta Cordillera de Elqui-Limarí (Mpodozis *et al.*, 1988; Nasi *et al.*, 1985)

DISCUSION

Los granitos de la Unidad Tranquilla-Millahue, son de tipo calcoalcalino de alto K, altamente fraccionados. Son rocas de tipo I, con ciertas características de alcalinidad transicionales a granitos anorogénicos (tipo A) y derivados de rocas corticales. Los datos petroquímicos son consistentes con los de intrusivos generados en ambientes postorogénicos (tardi y postorogénicos de Rogers y Greenberg, 1990) y postcolisionales (Harris *et al.*, 1986; Sylvester, 1989).

Los leucogranitos de la Unidad Tranquilla-Millahue muestran una notable similitud geoquímica con los granitos leucocráticos de la Superunidad Ingaguás de la Cordillera de Elqui (Nasi *et al.*, 1985). Mpodozis y Kay (1990) indicaron que aquéllos, se habrían generado, probablemente, por la fusión parcial de la corteza media-inferior, engrosada tectónicamente después de un evento colisional, ocurrido en el Pé-

mico Inferior a medio.

La presencia de orto y paraneises de origen granítico (Neises Talquilla) formando parte de la roca de caja de la Unidad Tranquilla-Millahue, indica que existió una corteza siálica fuertemente deformada, que pudo ser fuente de los granitos.

La fuente calórica necesaria para producir la fusión y la consiguiente producción de magmas félsicos, se podría atribuir a la acumulación de magmas basálticos bajo la corteza (Huppert *et al.*, 1988), provenientes de la fusión descompresional en el manto superior, causada por el colapso de la placa oceánica, después del cese del sistema de subducción paleozoico.

El producto directo de la cristalización de estos magmas correspondería a dioritas y gabros de la Unidad Talinay.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio ha sido realizado como parte del proyecto Hoja La Serena, financiado por el SERNAGEOMIN. La autora agradece a C. Mpodozis, V. MaksaeV, E. Godoy y a S. Rivano por sus valiosas

sugerencias al manuscrito, así como a los Laboratorios de Química y Geocronología del Servicio Nacional de Geología y Minería, la realización de los análisis utilizados en este trabajo.

REFERENCIAS

- Cowie, J.W.; Bassett, M.G. 1989 Global stratigraphic chart. *International Union of Geological Science. Supplement to Episodes*, Vol. 12, No. 2 p. 79.
- Chappell, B.W.; White, A.J.R. 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, Vol. 8, p. 173-174.
- Godoy, E. 1976. Geología del basamento cristalino de Punta Lengua de Vaca. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 6, Actas, Vol. 1, p. 89-99. Bahía Blanca.
- Harris, N.B.W.; Pearce, J.A.; Tindle, A.G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In *Collision tectonics* (Coward, M.; Ries, A.; editors). *Geological Society of London, Special Publication*, No. 19, p. 67-81.
- Huppert, H.E.; Sparks, R.S.J. 1988. The generation of granitic magmas by intrusion of basalt into continental crust. *Journal of Petrology*, Vol. 29, Part 3, p. 599-624.
- Irvine, T.N.; Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, Vol. 8, No. 5, p. 523-548.
- Irwin, J.J.; García, C.; Hervé, F.; Brook, M. 1988. Geology of part of a long-lived dynamic plate margin: the Coastal Cordillera of north-central Chile, latitude 30°51'-31°S. *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol. 25, p. 603-624.
- Lameyre, J.; Bowden, P. 1982. Plutonic rocks type series: discrimination of various granitoid series and related rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 14, p. 169-186.
- Miyashiro, A. 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, No. 274, p. 321-355.
- Mpodozis, C.; Kay, S.M. 1990. Provincias magmáticas ácidas y evolución tectónica de Gondwana: Andes chilenos (28-31°S). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 17, No. 2, p. 153-180.
- Mpodozis, C.; Cornejo, P. 1988. Hoja Pisco Elqui, IV Región de Coquimbo. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile*, No. 68, 164 p.
- Muñoz Cristi, J. 1973. Geología de Chile. *Editorial Andrés Bello*, 209 p. Santiago.
- Naney, M.T. 1983. Phase equilibria of rocks forming ferromagnesian silicates in granitic systems. *American Journal of Science*, Vol. 283, p. 993-1033.
- Nasi, C.; Mpodozis, C.; Cornejo, P.; Moscoso, R.; Maksae, V. 1985. El Batolito Elqui-Limarí (Paleozoico Superior-Triásico). Características petrográficas, geoquímicas y significado tectónico. *Revista Geológica de Chile*, Nos. 25-26, p. 77-111.
- Parada, M.A. 1990. Granitoid plutonism in Central Chile and its geodynamic implications; A review. *Geological Society of America, Special Paper*, No. 241, p. 51-65.
- Parada, M.A.; Rivano, S.; Sepúlveda, P.; Hervé, M.; Hervé, F.; Puig, A.; Munizaga, F.; Brook, M.; Pankhurst, R.; Snelling, N. 1988. Mesozoic and Cenozoic plutonic development in the Andes of central Chile (30°30'-32°30'S). *Journal of South American Earth Science*, Vol. 1, No. 3, p. 249-260.
- Parada, M.A.; Levi, B.; Nystrom, J. 1988b. The Jurassic plutonism of Central Chile; geochemical characteristics and tectonic implications. In *Lithospheric Processes and Andean Tectonics Symposium*, p.328. Belem, Brazil.
- Rivano, S.; Sepúlveda, P. (En prensa). Hoja Illapel. *Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile*.
- Rivano, S.; Sepúlveda, P.; Hervé, M.; Puig, A. 1985. Geocronología de las rocas intrusivas entre lcs 31-32° L.S., Chile. *Revista Geológica de Chile*, No. 24, p.63-74.
- Rogers, J.J.W.; Greenberg, J.K. 1990. Late-orogenic, post-orogenic, and anorogenic granites: distinction by major-element and trace-element chemistry and possible origins. *Journal of Geology*, Vol. 98, p. 291-309.
- Rogers, J.J.W.; Greenberg, J.K. 1981. Trace elements in continental margin magmatism. Part 3. Alkali granites and their relationship to orogenization: Summary. *Geological Society of America, Bulletin*, Part 1. Vol. 92, p. 6-9.
- Sepúlveda, P. 1984. Geología del Paleozoico en la zona de la costa del Norte Chico. In *Seminario de Actualización de la Geología de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Miscelánea*, No. 4, p. J1-J7.
- Shand, A.J. 1951. The study of rocks. 3rd. Edition. *Thomas Murkayand Company*, 236 p. London.
- Streckeisen, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Review*, Vol. 12, No. 1, p. 1-33.
- Sylvester, P.J. 1989. Post-collisional alkaline granites. *Journal of Geology*, Vol. 97, p. 261-280.
- Thiele, R.; Hervé, F. 1984. Sedimentación y tectónica de antearco en los terrenos preandinos del Norte Chico, Chile. *Revista Geológica de Chile*, No. 22, p. 61-75.
- Thomas, H. 1967. Geología de la Hoja Ovalle, Provincia de Coquimbo. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín*, No. 23, 58 p.
- White, A.J.R.; Chappell, B.W. 1983. Granitoid types and their distribution in the Lachlan Fold Belt, southeastern Australia. In *Circum-Pacific plutonic terrane* (Roddick, J.; editor), *Geological Society of America, Memoir*, No. 159, p. 21-34.