

# PETROLOGIA DE LA FORMACION TRAPA-TRAPA Y CONSIDERACIONES ACERCA DEL VOLCANISMO MIOCENO ENTRE LOS 36° Y 39° LAT. S (CORDILLERA PRINCIPAL)

JORGE MUÑOZ B.

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

HANS NIEMEYER R.

Universidad del Norte, Departamento de Geociencias, Casilla 1280, Antofagasta, Chile

## RESUMEN

La Formación Trapa-Trapa está constituida por rocas volcánicas y volcanoclásticas del Mioceno, que afloran entre los 36° y 39° Lat. S, en la Cordillera Principal de los Andes de Chile. Esta unidad está formada por andesitas, andesitas basálticas y escasos basaltos y dacitas, junto a rocas epi y piroclásticas, e intrusivos subvolcánicos asociados. Mineralógicamente, estas rocas se componen de plagioclasa (andesina-labradorita), clinopiroxeno, ortopiroxeno y menor cantidad de hornblenda (dacitas) y olivino (basaltos). Las rocas volcánicas de la Formación Trapa-Trapa son calcoalcalinas, con cantidades normales de potasio y razón  $K_2O/Na_2O$  menor que uno. Tienen contenidos menores de  $K_2O$  que las rocas de la Formación Farellones (32°-35° Lat. S) y  $K_2O$ , Ba, Rb y Sr menores que la Formación Cerro de Las Tórtolas (29°-31° Lat. S). Su composición química es similar a la de las rocas volcánicas del Plio-Cuaternario de este sector de los Andes, y son más pobres en Nb, Ni, Cr y Ti, que los basaltos alcalinos de intraplaca de la Patagonia Extrandina. La composición química de las rocas de la Formación Trapa-Trapa es comparable a la de rocas de arcos volcánicos relacionados con la convergencia de placas y su origen podría estar asociado con procesos de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, que inducirían fusión parcial subcortical y el desarrollo, en superficie, de un arco volcánico construido sobre corteza continental.

## ABSTRACT

Calc-alkaline Miocene volcanic and volcanoclastic rocks (Trapa-Trapa Formation) have been recognized between 36° and 39° south of the Main Chilean Andean Range. The volcanic products also occupied areas to the west and east side of the Main Range. Andesites, basaltic andesites and minor basalts and dacites, with subordinate volcanoclastic and subvolcanic rocks compose the lithologic association. Mineralogically the rocks consist mainly of plagioclase (andesine-labradorite), clinopyroxene and orthopyroxene. Dacite end members are rich in hornblende while olivine phenocrysts are abundant in basalts. The rocks are folded and the principal alteration minerals are chlorite, epidote, zeolites, calcite and, occasionally, albite, prehnite, bowlingite, iddingsite, serpentine, montmorillonite, chalcidony and limonite. Major elements composition shows calc-alkaline affinities, with normal potassium contents and  $K_2O/Na_2O$  ratio less than one. The rocks of the Trapa-Trapa Formation have lower  $K_2O$  contents than those of Farellones Formation (32°-35° S) and also lower  $K_2O$ , Ba, Rb and Sr than the Cerro de Las Tórtolas Formation (29°-31° S). Trace elements composition is similar to Plio-Quaternary volcanic rocks of the same latitude of the Andes, Japan and New Zealand, but are enriched in K, Rb, Ba and Sr in relation to oceanic basalts of the North Atlantic Ridge and depleted in Nb, Ni, Cr and Ti compared with alkaline intraplate basalts of the Extra-andean Patagonia. The chemical trace elements composition resembles volcanic rocks related to plate convergence. The volcanic Miocene rocks between 36° and 39° south of the Main Chilean Andean Range were directly associated to subduction processes of the Nazca plate beneath the Southamerican plate, which induced subcrustal partial melting and the development, on surface, of a volcanic arc built on continental crust during the Miocene.

## INTRODUCCION

Recientes trabajos de mapeo regional, junto a nueva información radiométrica K-Ar, han permitido detectar la presencia de importantes volúmenes de rocas volcánicas y subvolcánicas del Mioceno entre los 36° y 39° Lat. S, en la Cordillera Principal de los Andes de Chile (Drake, 1976; Niemeyer y Muñoz, 1983; Muñoz y Niemeyer, en prensa). Dichas rocas fueron inicialmente asimiladas a las formaciones Abanico y Cura-Mallín e interpretadas como de edad mesozoica (González y Vergara, 1962). Posteriormente, entre los 36° y 38° Lat. S, estas rocas se describieron y agruparon con el nombre de Formación Trapa-Trapa (Niemeyer y Muñoz, 1983; Muñoz y Niemeyer, en

prensa, quedando bien definida su edad miocena, además de su distribución (Fig. 1), litología y relaciones estratigráficas.

En este trabajo se presentan los datos estratigráficos, cronológicos, petrográficos y químicos, relativos a rocas volcánicas de la Formación Trapa-Trapa, expuesta entre los 36° y 39° S (Fig. 1). Del análisis de esos datos y de su integración y comparación con otros obtenidos en rocas volcánicas miocenas de sectores adyacentes, tanto en el Valle Central como en la Cordillera Principal, se deducen algunas particularidades petrológicas, que permiten discutir su petrogénesis y elaborar un posible modelo paleogeográfico para el Mioceno.

## ESTRATIGRAFIA

Las rocas de la Formación Trapa-Trapa sobreyacen, con transición, concordancia o discordancia de bajo ángulo, a la Formación Cura-Mallín (González y Vergara, 1962), que contiene fauna y flora fósil de origen continental, que señalaría, para ella, una edad mínima miocena inferior (Serrano, 1975; Osorio, 1982) y máxima paleocena-cretácica superior (Troncoso, *in* Muñoz y Niemeyer, en prensa). En ese sector de los Andes, ambas formaciones se encuentran estructurando amplios sinclinales y anticlinales, de ejes de orientación norte-sur, e infra-yacen, con discordancia angular, a estratos subhorizontales de la Formación Cola de Zorro (González y Vergara, 1962; Vergara y Muñoz, 1982) y, en los alrededores de Laguna del Maule, a la Formación Campanario (Drake, 1976; Muñoz y Niemeyer, en prensa), del Plioceno Superior-Pleistoceno y Mioceno Superior-Plioceno Inferior, respectivamente. El conjunto anterior está parcialmente cubierto, mediante discordancia angular, por los productos volcánicos asociados a los estratovolcanes del Pleistoceno Superior-Holoceno.

Extensos afloramientos de la Formación Trapa-Trapa se encuentran a lo largo del río Guaiquivilo-Melado (Esteros de Las Catalinas y Farías), en el estero Rodríguez (Vega El Sol), en las nacientes del río Cato, en la cordillera de La Polcura, en el cordón limítrofe entre los pasos Pichachén y Copahue (Cerro Malalcahuello), entre el cerro Trilile y la cordillera de Malla-Malla y en las cercanías de los volcanes Tolhuaca y Lonquimay (Fig. 1). Las

columnas estratigráficas estudiadas por Muñoz y Niemeyer (en prensa) y Niemeyer y Muñoz (1983) en los esteros de Las Catalinas y Farías y en el cerro Malalcahuello (Fig. 1), representadas esquemáticamente en la figura 2, han permitido obtener una visión general de las características estratigráficas y litológicas de la Formación Trapa-Trapa. En la columna del estero de Las Catalinas (Fig. 2), predominan las brechas volcánicas por sobre las coladas de lava y, desde arriba hacia abajo, se observan las siguientes variaciones litológicas:

- Techo: indeterminado, actual superficie de erosión.
- Brechas volcánicas de color gris a pardo-rojizo y grano grueso. En algunos niveles se intercalan tobas de lapilli bien estratificadas. 200 m
  - Brechas volcánicas, monogénicas, con intercalaciones de coladas de lava porfíricas, amigdaloidales. 85 m
  - Coladas de lava de color gris y textura porfírica, que localmente engranan con brechas de color verde. 30 m
  - Brechas volcánicas de color verde, que alternan y engranan con coladas de lava de color gris y textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa y piroxeno. 190 m
  - Brechas volcánicas, monogénicas, de color gris-violáceo, con intercalaciones de coladas de lava lenticulares. 170 m

Base: Formación Cura-Mallín.

En el cerro Malalcahuello, la Formación Trapa-Trapa presenta, desde arriba hacia abajo, la siguiente sucesión estratigráfica (Fig. 2):

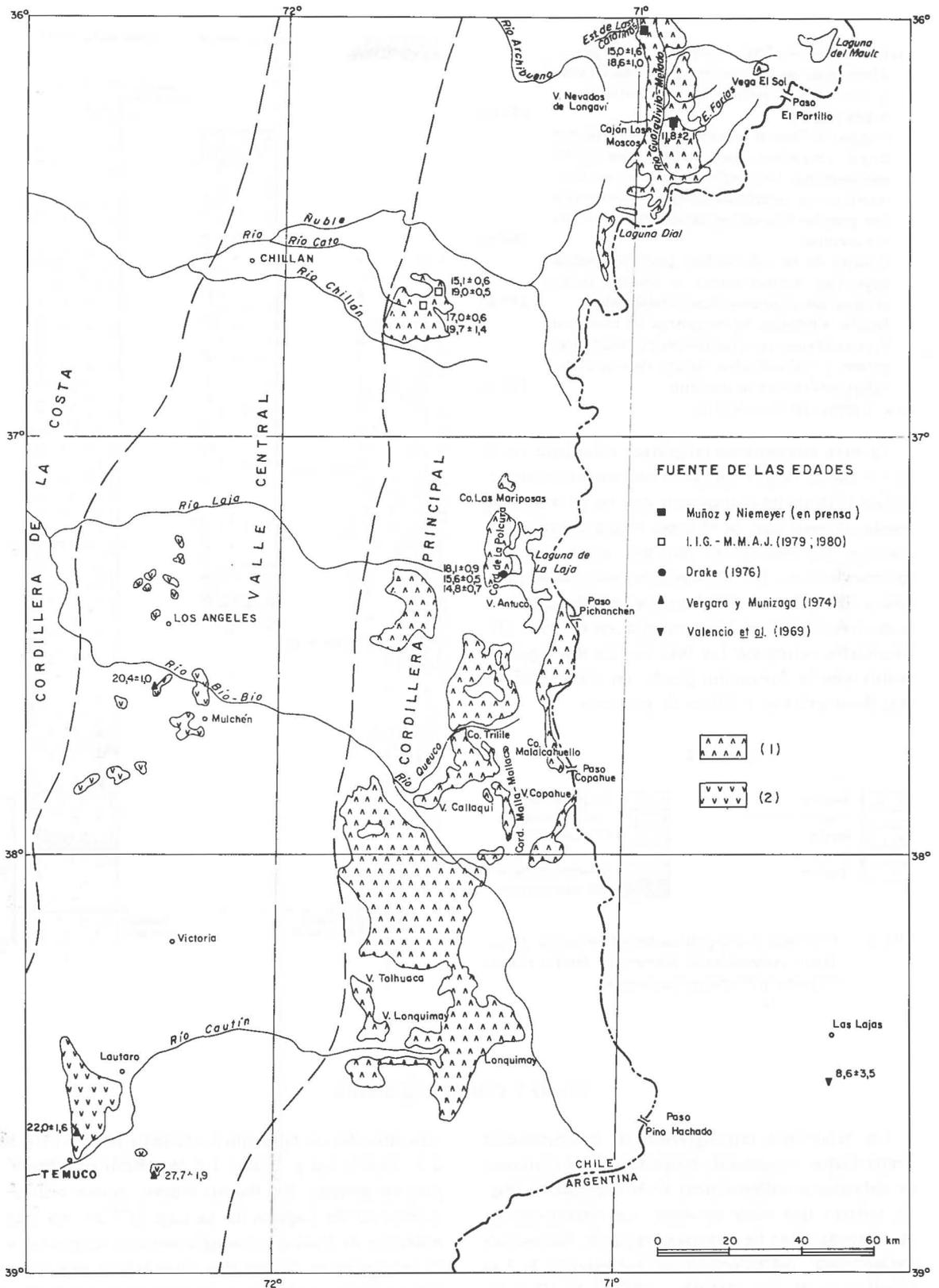


FIG. 1. Distribución y edades radiométricas K-Ar de rocas volcánicas de la Formación Trapa-Trapa en los 36° y 39° S: 1) la Cordillera Principal; 2) del Valle Central, Cerdón Oligo-Mioceno. Adaptado del Mapa Geológico de Chile (Serv. Nac. Geol. Miner., 1982) y de Muñoz y Niemeyer (en prensa).

Techo: Formación Cola de Zorro.

- Alternancia de brechas monogénicas, de color pardo-rojizo, y coladas de lava porfíricas, amigdaloidales. 173 m
- Coladas de lava de color pardo y texturas porfíricas vesiculares, que alternan con brechas monogénicas. En niveles superiores, medios e inferiores, se intercalan brechas heteorgéneas, con grandes bloques volcánicos en escasa matriz arenosa. 380 m
- Coladas de lava de textura porfírica, vesiculares, con intercalaciones de brechas monogénicas, autoclásticas, bien estratificadas. 230 m
- Brecha volcánica, heterogéneas, de color pardo-amarillento, con fragmentos volcánicos, angulares y redondeados, dentro de una matriz volcanosedimentaria abundante. 132 m

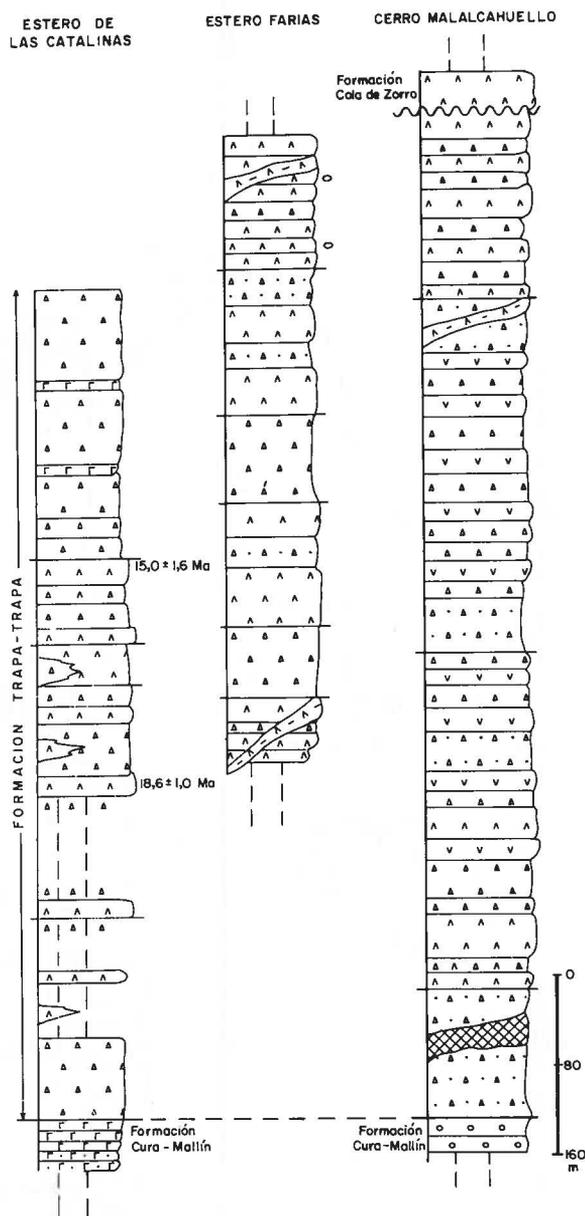
Base: Formación Cura-Mallín.

La otra columna estratigráfica estudiada en el estero Farías (Fig. 2) presenta una sucesión estratigráfica y litológica comparable con las ya descritas, donde, al igual que en el cerro Malalcahuello, predominan las coladas de lava por sobre las rocas volcanoclásticas, que incluyen, además, niveles arenosos. El espesor medido en el estero de Las Catalinas alcanza 675 m, mientras que en el cerro Malalcahuello sobrepasa los 900 m. Sin embargo, se estima que la formación puede, en otras localidades, alcanzar hasta 1.500 m de potencia.

SIMBOLOGIA

A A A	Andesita	o o o	Conglomerado
v v v	Andesita basáltica	r r r	Toba/Toba arenosa
A A A	Brecha	A - A - A	Filón andesítico
A . A . A	Brecha arenosa	o	Vesículas y amigdalas
. . .	Arenisca	~ ~ ~	Discordancia angular
		x x x	Alteración hidrotermal

FIG. 2. Columnas estratigráficas en la Formación Trapa-Trapa. Adaptadas de Niemeyer y Muñoz (1983) y Muñoz y Niemeyer (en prensa).



### EDAD Y CORRELACIONES

Las relaciones estratigráficas de la Formación Trapa-Trapa, en general, apoyadas por el conjunto de dataciones radiométricas K-Ar disponibles (Fig. 1), señalan una edad miocena. Las dataciones radiométricas K-Ar de tres muestras de la Formación Trapa-Trapa, coleccionadas en los esteros de Las Catalinas y Farías ( $36^{\circ}05' - 36^{\circ}15' S$ ) (Fig. 1),

afluentes del río Guaiquivilo-Melado, dieron  $11,8 \pm 2,1$ ,  $15,0 \pm 1,6$  y  $18,6 \pm 1,0$  Ma (Muñoz y Niemeyer, en prensa). En Puerto Nuevo, ribera centro-occidental de Laguna de La Laja ( $37^{\circ}22' S$ ), tres muestras de clastos en conglomerados, asignados a la infrayacente Formación Cura-Mallín por González y Vergara (1962) y a la base de la Formación

Trapa-Trapa por Niemeyer y Muñoz (1983), dieron edades entre  $14,8 \pm 0,7$  y  $18,1 \pm 0,9$  Ma (Drake, 1976). Las edades K-Ar de cuatro muestras de andesitas provenientes de las nacientes del río Cato ( $36^{\circ}40'S$ ) (Fig. 1), varían entre  $15,1 \pm 0,6$  y  $19,7 \pm 1,4$  Ma (I.I.G.-M.M.A.J., 1979; 1980). El conjunto de antecedentes expuestos permite asignar a la Formación Trapa-Trapa una edad miocena media a miocena superior.

En territorio argentino, entre los  $36^{\circ}$ - $39^{\circ}$  S, afloran rocas correlacionables con la Formación Trapa-Trapa. En efecto, en rocas recolectadas en el área de Llancanelo se han obtenido edades K-Ar de  $14,4 \pm 0,7$  y  $17,3 \pm 0,8$  Ma, mientras que en el área de Los Volcanes ( $36^{\circ}30'S$ ) tienen edades de  $13,3 \pm 4,0$  y  $19,4 \pm 0,7$  Ma y en el área de Zapala ( $38^{\circ}30'S$ ) de  $8,6 \pm 3,5$  Ma (Valencio y Creer, 1968; Valencio *et al.*, 1969) (Fig. 1). En territorio chileno, al norte de los  $36^{\circ}$  S, la Formación Trapa-Trapa se puede correlacionar con la Formación Farellones (Klohn, 1960; Aguirre, 1960), en la cual se han obtenido edades K-Ar también miocenas (Munizaga y Vicente, 1982; Drake *et al.*, 1982). Todavía más al norte, se la puede correlacionar con la Formación Cerro de Las Tórtolas,

de la Alta Cordillera de Elqui ( $29^{\circ}$ - $31^{\circ}$  S), la cual posee edades K-Ar comprendidas entre  $16,6 \pm 0,7$  y  $11,0 \pm 0,5$  Ma (Maksaev *et al.*, 1984).

Además de lo anterior, en el Valle Central de Chile, entre los  $36^{\circ}$  y  $39^{\circ}$  S, aflora una serie de lavas, brechas, "stocks", diques y cuellos volcánicos integrantes de la Formación Chol-Chol (García, 1968) o Lavas de Huelehueico (Ferraris, 1981; Gajardo, 1981), constituyentes del llamado "Cordón Volcánico Oligo-Miocénico" de la Depresión Central (Vergara, 1972; Vergara y López, 1982). Dataciones K-Ar efectuadas en coladas de lavas, "stock" y filón, andesíticos de dicho cordón, señalan edades de  $20,4 \pm 1,0$ ,  $27,7 \pm 1,9$  y  $22,0 \pm 1,6$  Ma, más antigua que las obtenidas en rocas de la Formación Trapa-Trapa, expuesta en la Cordillera Andina de esa misma región (Fig. 1). Del mismo modo, en el borde occidental de la Cordillera Andina, en los alrededores de las centrales hidroeléctricas Colbún y Machicura ( $35^{\circ}40'S$ ), las dataciones K-Ar de seis muestras de filones y cuellos volcánicos andesíticos dieron edades entre  $14,5 \pm 1,8$  y  $17,0 \pm 2,9$  Ma, mientras que otras siete muestras indicaron edades entre  $22,2 \pm 1,9$  y  $36,3 \pm 7,3$  Ma (Karzulovic *et al.*, 1979).

## PETROGRAFIA

Las rocas que integran la Formación Trapa-Trapa corresponden a andesitas, andesitas basálticas, tobas, brechas y, en menor proporción, dacitas, basaltos, areniscas y conglomerados, además de filones, filones-manto, cuellos volcánicos y pequeños "stocks", andesítico-basálticos. Las coladas de lava son de color gris, pardo-rojizo y verde, con textura porfírica, fina a gruesa, y abundantes amígdalas y vesículas. Las rocas volcanoclásticas, epiclásticas y piroclásticas, son líticas, compuestas fundamentalmente por fragmentos de rocas de litología similar a la de las coladas.

En las andesitas son abundantes los fenocristales de plagioclasa (andesina-labradorita sódica) y piroxenos, pudiendo estar presentes ortopiroxeno y/o clinopiroxeno. El olivino es escaso o está ausente, y en algunas coladas, aparecen cristales de hornblenda. La textura predominante, en las andesitas, es porfírica, intersertal a intergranular, siendo menos frecuente la pilotaxítica, hialopilítica y traquítica. Mineralógicamente, se reconocen andesitas de clinopiroxeno, andesitas de dos piroxenos,

andesitas de clinopiroxeno con hornblenda y andesitas de dos piroxenos con olivino. Las andesitas basálticas tienen fenocristales de plagioclasa (andesina cálcica-labradorita sódica), clinopiroxeno y, en algunos casos, ortopiroxeno y olivino. La masa fundamental es muy variable, presentándose textura intersertal, intergranular, hialopilítica, traquítica y subofítica. Los tipos principales de andesitas basálticas corresponden a andesitas basálticas de dos piroxenos con olivino y andesitas basálticas de clinopiroxeno. En las dacitas, los fenocristales de plagioclasa (oligoclasa cálcica-andesina sódica), clinopiroxeno y hornblenda yacen en una masa fundamental felsítica a intergranular. Los basaltos tienen cristales de plagioclasa (labradorita cálcica), olivino, clinopiroxeno y escaso (o ausente) ortopiroxeno, en una masa fundamental intersertal a intergranular.

Los minerales de alteración, en las rocas de la Formación Trapa-Trapa, en general abundantes, se localizan en cristales, fragmentos volcánicos, masa fundamental, matriz, venillas y amígdalas. Estos

TABLA 1. COMPOSICION QUIMICA Y NORMATIVA DE ROCAS VOLCANICAS DE LA FORMACION TRAPA-TRAPA, COLECCIONADAS ENTRE LOS 36° Y 38° LAT. S, DE LA CORDILLERA PRINCIPAL DE LOS ANDES DE CHILE

Número de Muestra	2316	2330	2468	2469	2470	2473	2432	2435	2436	9	11	283	540
SiO <sub>2</sub>	64,82	59,21	55,58	60,51	60,44	54,37	50,37	60,45	56,84	54,67	61,00	53,35	59,93
TiO <sub>2</sub>	0,70	0,93	0,95	0,73	0,98	0,88	0,98	0,77	0,97	0,78	0,92	1,10	1,27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,55	16,76	17,38	16,47	16,26	19,29	17,64	16,96	17,17	18,23	18,34	20,12	14,98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,10	4,23	4,38	5,01	5,82	5,19	4,33	6,32	7,78	4,49	3,01	4,10	2,55
FeO	1,97	2,12	4,40	2,91	1,79	4,25	4,72	0,27	0,27	3,39	2,17	3,50	7,01
MnO	0,12	0,13	0,17	0,12	0,12	0,17	0,15	0,15	0,14	0,14	0,17	0,17	0,18
MgO	0,99	1,53	3,37	1,44	0,80	1,76	6,23	1,71	2,59	2,79	0,85	1,64	1,59
CaO	3,28	5,53	7,27	5,79	5,93	7,65	8,83	4,06	5,83	7,12	5,41	7,65	4,95
Na <sub>2</sub> O	4,94	3,54	3,61	3,91	3,34	4,06	3,38	5,13	4,46	4,34	4,99	4,04	3,80
K <sub>2</sub> O	1,77	1,70	1,14	1,16	0,64	1,07	0,92	2,08	1,66	0,82	1,29	1,51	1,83
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17	0,24	0,18	0,21	0,35	0,33	0,20	0,27	0,22	0,28	0,30	0,26	0,24
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1,08	2,98	1,38	1,59	2,58	1,03	1,16	0,87	1,34	1,78	1,38	1,11	1,23
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,19	0,37	0,22	0,37	0,93	0,21	0,66	0,73	0,62	0,53	0,61	0,70	0,60
CO <sub>2</sub>	< 0,01	0,32	0,19	0,13	0,43	0,09	0,11	< 0,01	< 0,01	0,13	< 0,01	0,29	0,25
S	< 0,01	< 0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
C	0,14	0,13	0,05	0,07	0,04	0,10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,09	0,06	0,05
Total	99,82	99,72	100,28	100,43	100,46	100,46	99,68	99,77	99,89	100,09	99,51	99,60	100,46
Ba	340	170	280	310	160	190	780	710	680	160	290	200	360
Cr	75	49	124	129	66	159	170	48	38	36	33	21	100
Ni	3	34	32	25	25	25	65	7	12	10	6	< 5	< 5
Rb	16	13	19	10	4	15	20	54	45	< 5	24	31	31
Sr	201	210	400	430	490	550	500	440	480	540	470	450	450
Co	—	—	30	19	17	20	35	7	15	—	—	—	—
FeO*/MgO	5,72	3,87	2,48	5,15	8,78	5,07	1,38	3,48	2,81	2,66	5,74	4,38	5,85
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0,36	0,48	0,32	0,30	0,19	0,26	0,27	0,41	0,37	0,19	0,26	0,37	0,48
Rb/Sr	0,080	0,062	0,048	0,023	0,008	0,027	0,040	0,123	0,094	0,009	0,051	0,069	0,069
Qz	18,5	16,7	7,6	16,2	22,9	5,0	0,0	9,9	7,0	5,5	13,6	4,2	14,8
Co	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Or	10,7	10,6	6,9	7,1	4,0	6,5	5,5	12,5	10,1	5,0	7,7	9,2	11,2
Ab	45,3	33,6	33,1	36,3	31,7	37,2	31,1	47,0	41,0	40,2	45,6	37,4	35,4
An	15,4	26,3	28,6	24,8	28,9	31,9	30,8	17,5	22,5	28,8	24,2	33,3	19,1
Mt	2,4	2,6	2,6	2,4	2,8	2,5	2,6	2,4	2,7	2,5	2,6	2,8	2,8
Il	1,0	1,2	1,4	1,0	1,5	1,3	1,4	1,1	1,4	1,1	1,3	1,6	1,8
Ap	0,4	0,5	0,4	0,5	0,8	0,7	0,4	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5
Di	0,1	0,9	5,8	2,8	0,0	3,7	10,0	1,0	4,6	4,7	0,8	3,3	3,8
Hy	6,2	7,6	13,6	8,9	7,2	11,2	13,7	8,0	10,2	11,7	3,5	7,6	10,5
Ol	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

corresponden a clorita, calcita, ceolitas (estilbita sódica y heulandita), cuarzo, epidota y, ocasionalmente, albita, prehnita, bowlingita, iddingsita, serpentina, montmorillonita, calcedonia y limonita. La intensa a mediana alteración de las coladas de la Formación Trapa-Trapa permite diferenciarlas de las coladas menos alteradas pertenecientes a la suprayacente Formación Cola de Zorro, con las cuales es posible confundirlas (Niemeyer y Muñoz, 1983), pero es comparable a la alteración de la infrayacente Formación Cura-Mallín. El olivino, cuando está presente, se encuentra parcialmente alterado a iddingsita, bowlingita, calcita y serpentina. Los cristales de plagioclasa y piroxenos están alterados a clorita y calcita; éstos últimos son frecuentes también en amígdalas y venillas. Sin embargo, a pesar de la alteración de las rocas, se han obtenido algunas muestras, relativamente frescas, que permitieron efectuar análisis químicos.

La asociación mineralógica principal, plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno, con menores

proporciones de olivino y/u hornblenda, indica una afinidad calcoalcalina para las rocas de la Formación Trapa-Trapa. Los grandes cristales idiomórficos de plagioclasa y, probablemente también, los de piroxenos y el olivino, habrían cristalizado en condiciones subvolcánicas, antes de la erupción en superficie del líquido magmático. La hornblenda, única fase mineral hidratada reconocida, es poco abundante, inclusive en las dacitas. Evidencias de desequilibrio entre las fases cristalizadas y el líquido residual, se manifiestan en el borde de reacción de clinopiroxeno en algunos cristales de olivino, aunque éste está poco desarrollado, y en el borde opacítico de oxidación de los cristales de hornblenda. La diferenciación desde basalto hasta dacita incluiría cristalización fraccionada inicial de olivino y piroxenos, gradando a piroxenos y hornblenda, en las facies más diferenciadas, junto con una continua cristalización de plagioclasa.

## PETROQUIMICA

### ELEMENTOS MAYORES

Las rocas volcánicas de la Formación Trapa-Trapa, coleccionadas en diferentes localidades de la Cordillera Principal (Esteros Farías y de Las Catalinas, Cerro Malalcahuello y Cordillera de Malla-Malla; Tabla 1, Fig. 1), son químicamente subalcalinas (diagrama  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ ; Fig. 3).

En el diagrama AFM (Fig. 4) se proyectan en el campo calcoalcalino de Irvine y Baragar (1971), con excepción de cinco muestras (2469, 2470, 2473, 540 y 283; Tabla 1) que, por su mayor contenido relativo de hierro, tienden a ubicarse en las cercanías de la curva divisoria y en el campo toleítico. En ese mismo diagrama (Fig. 4), aumenta el contenido de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) disminuyendo

2316	Dacita de clinopiroxeno con hornblenda, porfírica, felsítica, Estero Farías.
2330	Andesita de clinopiroxeno con hornblenda, porfírica, intersertal a hialopilitica, Cajón Los Moscos (Puesto Piedras Bayas).
2468	Andesita de clinopiroxeno, porfírica, hialopilitica fina, Estero de Las Catalinas.
2469	Andesita de clinopiroxeno, porfírica, felsítica, Estero de Las Catalinas.
2470	Andesita de clinopiroxeno, porfírica, hialopilitica, Estero de Las Catalinas.
2473	Andesita basáltica de clinopiroxeno y ortopiroxeno, porfírica, intersertal a intergranular gruesa, Estero de Las Catalinas.
2432	Basalto de olivino, porfírico, intersertal grueso, Vega El Sol.
2435	Andesita de clinopiroxeno y ortopiroxeno, porfírica, intergranular, Vega El Sol.
2436	Andesita de clinopiroxeno y ortopiroxeno, porfírica, intersertal a pilotaxítica, Vega El Sol.
9	Andesita basáltica de clinopiroxeno y ortopiroxeno, porfírica, intergranular seriada, Cerro Malalcahuello.
11	Clasto de andesita de ortopiroxeno, porfírica, intergranular seriada, Cerro Malalcahuello.
283	Andesita basáltica de clinopiroxeno, porfírica, intergranular seriada, Cordillera de Malla-Malla.
540	Andesita de clinopiroxeno, porfírica, traquítica a hialopilitica, Cerro Las Mariposas.

$\text{FeO}^* = \text{FeO} + 0,8998 \text{Fe}_2\text{O}_3$ .

2316-2436 Hoja Laguna del Maule ( $36^\circ$ - $37^\circ$  Lat. S; Muñoz y Niemeyer, en prensa); 9-540 Hoja Laguna de La Laja ( $37^\circ$ - $38^\circ$  Lat. S; Niemeyer y Muñoz, 1983).

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio Químico del Servicio Nacional de Geología y Minería, por gravimetría y absorción atómica.

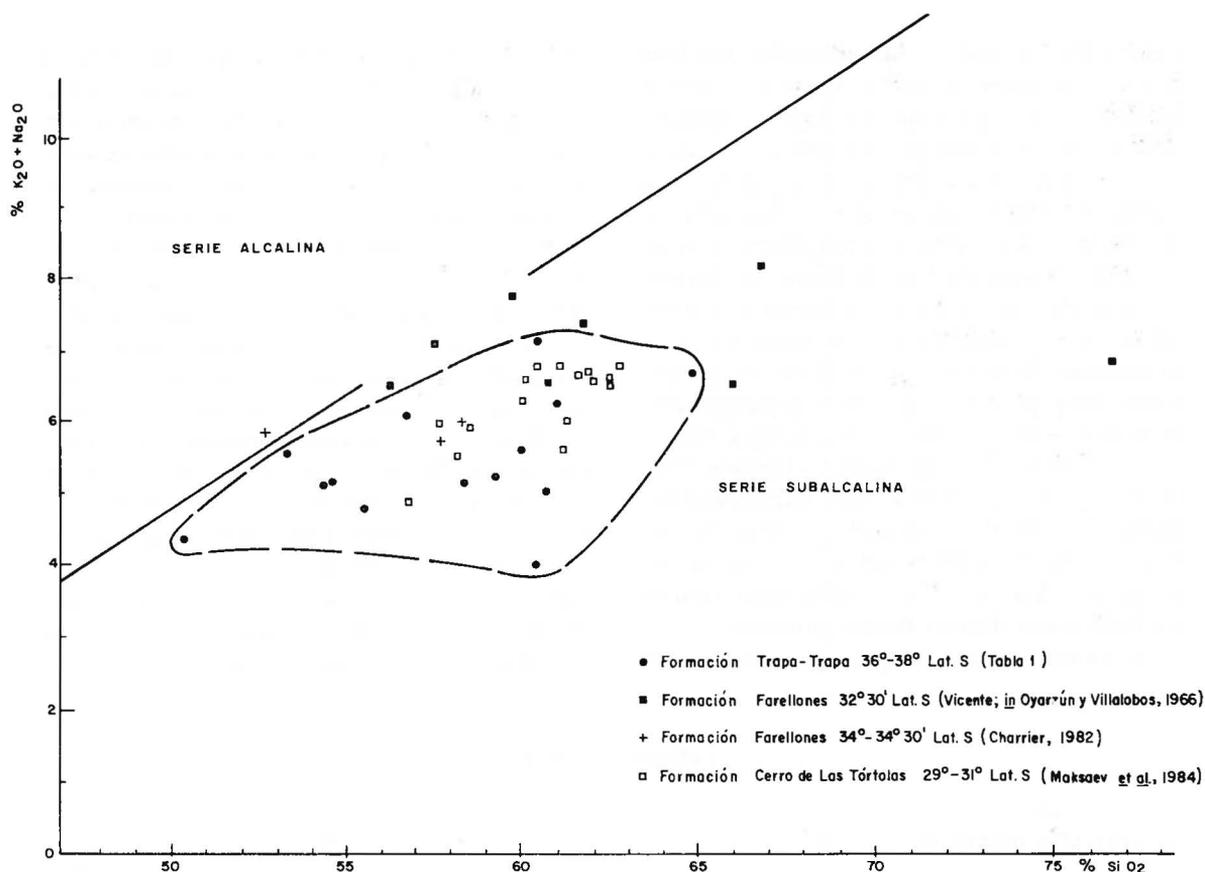


FIG. 3. Diagrama  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2$  para rocas volcánicas de la Formación Trapa-Trapa. División de campos según Irvine y Baragar (1971). Análisis químicos de rocas entre los  $36^\circ$  y  $38^\circ$  S en Tabla 1.

el de  $\text{MgO}$ , tal como ocurre en rocas de la serie calcoalcalina (Miyashiro, 1974; Miyashiro y Shido, 1975).

La relación entre los contenidos de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{K}_2\text{O}$  de las rocas de la Formación Trapa-Trapa permite clasificarlas, químicamente, de acuerdo con el esquema propuesto por Peccerillo y Taylor (1976), como andesitas, andesitas basálticas, dacitas y basaltos, con contenidos normales de potasio, correspondiendo una muestra (2470; Tabla 1) a andesita de la serie toleítica (Fig. 5). En todas las rocas, las razón  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  es menor que 0,5. Los contenidos de  $\text{CaO}$  varían desde 3,28 en una dacita hasta 8,83 en un basalto (Tabla 1), mientras que el  $\text{MgO}$  se mantiene bajo y lo hace desde 0,80 y 3,37 en dacitas, andesitas y andesitas basálticas, hasta 6,23 en un basalto. El carácter sobresaturado en  $\text{SiO}_2$  y subsaturado en álcalis, se refleja en la presencia de  $\text{Qz} + \text{Hy}$  normativo, en la mayoría de las rocas, apareciendo  $\text{Ol} + \text{Hy}$  normativo sólo en el basalto. Al tomar el conjunto de análisis químicos

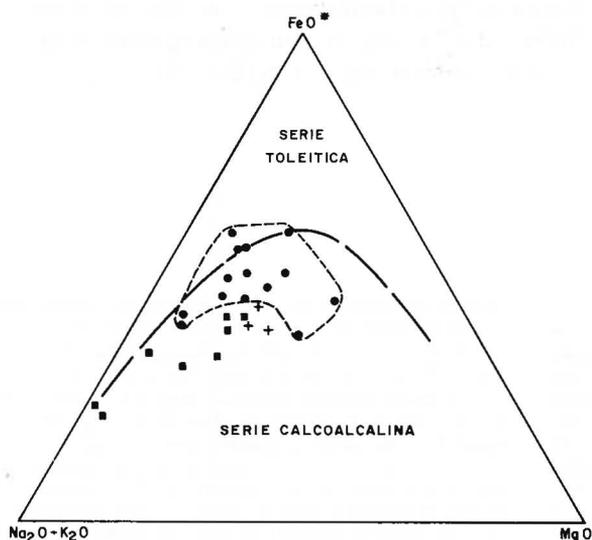


FIG. 4. Diagrama AFM para rocas volcánicas de la Formación Trapa-Trapa. Simbología como en figura 3. División de campos según Irvine y Baragar (1971).

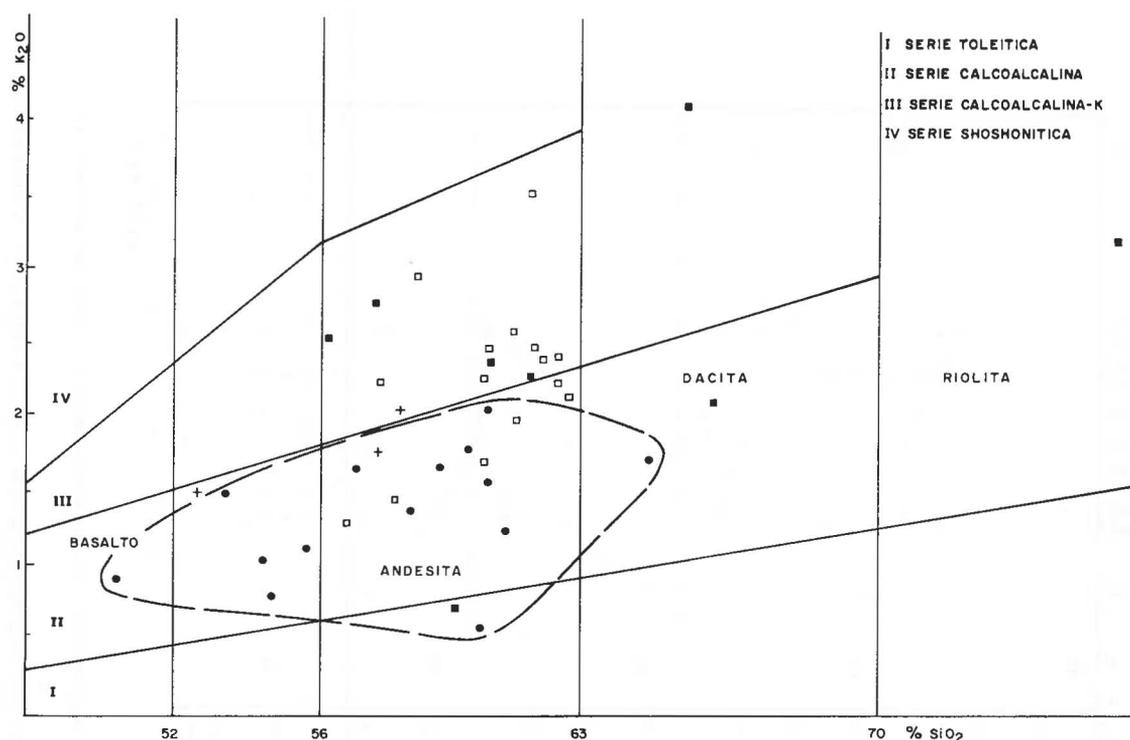


FIG. 5. Diagrama  $K_2O-SiO_2$  para rocas volcánicas de la Formación Trapa-Trapa. Simbología como en figura 3. Clasificación según Peccerillo y Taylor (1976).

(Tabla 1) los contenidos de  $SiO_2$  no disminuyen sistemáticamente al aumentar la razón  $FeO^*/MgO$ , inclusive al considerar muestras de localidades cercanas.

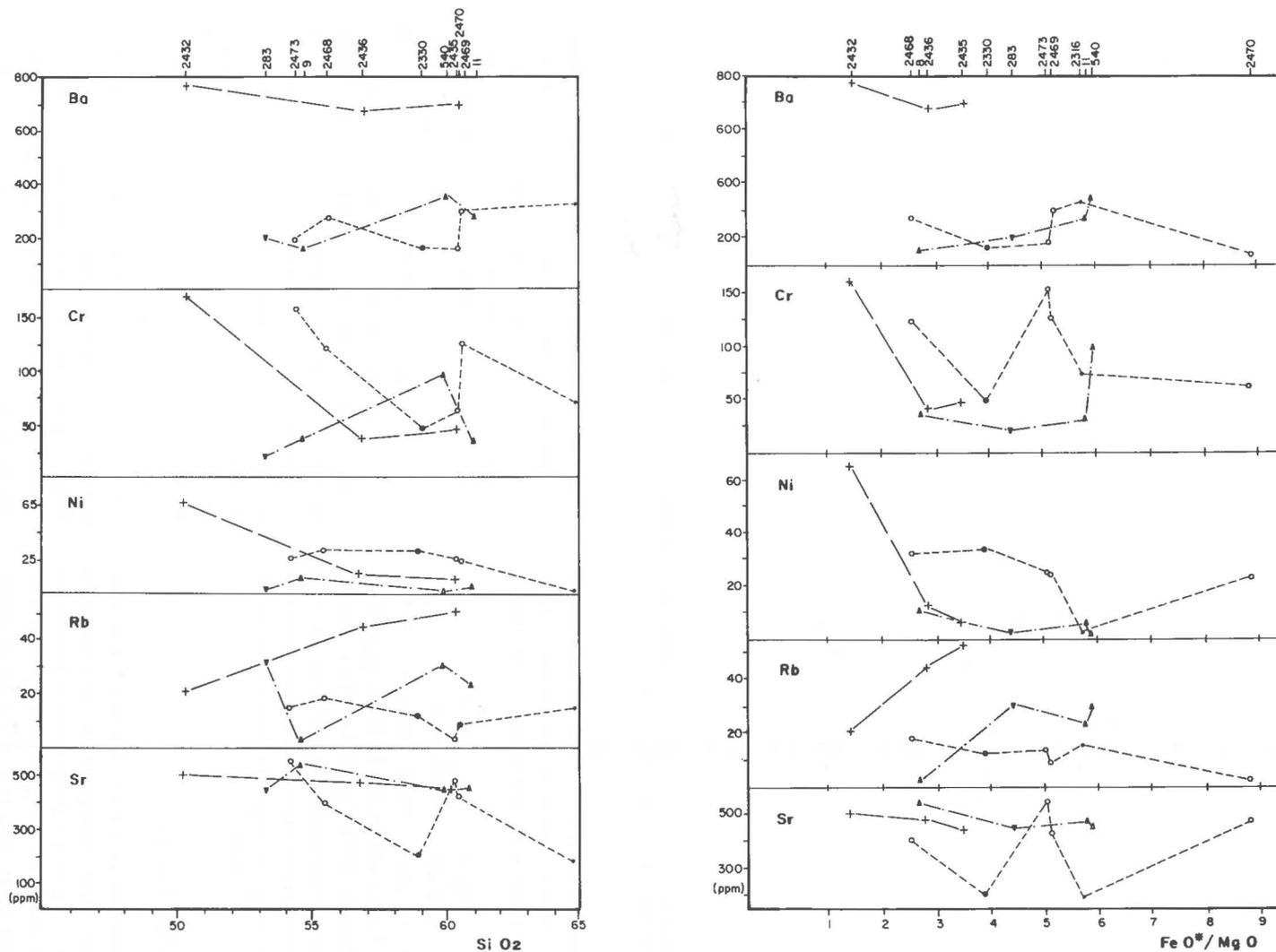
Las rocas volcánicas de la Formación Trapa-Trapa tiene menores contenidos de álcalis, especialmente  $K_2O$ , que las rocas asignadas a la Formación Farellones, a la latitud de Aconcagua (Oyarzún y Villalobos, 1969) (Fig. 5). Del mismo modo, poseen menores cantidades de  $K_2O$  que las rocas volcánicas miocénicas de la Formación Cerro de Las Tórtolas (Fig. 5), expuesta entre los  $29^\circ$  y  $31^\circ$  S (Maksaev *et al.*, 1984).

#### ELEMENTOS TRAZAS

Los contenidos de Ba, Cr, Rb, Sr y Co de trece muestras de rocas volcánicas de la Formación Trapa-Trapa (Tabla 1) no presentan variaciones sistemáticas respecto de los contenidos de  $SiO_2$  y de la razón  $FeO^*/MgO$  (Fig. 6 A y B), observándose importantes fluctuaciones en los contenidos de Ba (160-780 ppm), Cr (21-170), Rb (4-54) y Ni (3-65). En distintas localidades aparecen distribu-

ciones particulares de esos elementos y, a similares contenidos de  $SiO_2$  y valores de la razón  $FeO^*/MgO$ , las muestras tienen diferentes contenidos de Cr, Rb, Sr y Ba. Al aumentar el grado de diferenciación, la tendencia general del Ni es a disminuir (Fig. 6, A y B). Los contenidos de Cr, con excepción de tres muestras (2432, 2473, 283; Tabla 1) son, en general, más altos que los detectados en rocas de afinidad toleítica con similares contenidos de  $SiO_2$  (Miyashiro y Shido, 1975) (Fig. 7). Los contenidos de  $TiO_2$ , aunque variables, tienden a ser constantes al aumentar la diferenciación. Por último, y consecuentemente con el amplio rango de variación de Rb y Sr, la razón Rb/Sr varía entre 0,008 y 0,123 (2470 y 2435; Tabla 1).

En el diagrama Ti-Zr-Y (Fig. 8) de Pearce y Cann (1973), se han ubicado los análisis de una muestra de andesita basáltica de la Formación Trapa-Trapa, tres muestras plio-pleistocenas de la Formación Cola de Zorro y un basalto representativo del volcanismo moderno. Los análisis se proyectan en los campos de arcos volcánicos orogénicos, asociados a bordes convergentes de



Vega El Sol (+) Estero de Las Catalinas (o) Cajón Los Moscos (\*) Estero Farías (-) Cerro Malacahuello (▲) Cordillera Malla-Malla (▼) Cerro Las Mariposas (▲)

FIG. 6. Diagramas de variación de elementos trazas respecto de SiO<sub>2</sub> (A) y FeO\*/MgO (B), para rocas volcánicas de la Formación Trapa-Trapa. Análisis en Tabla 1.

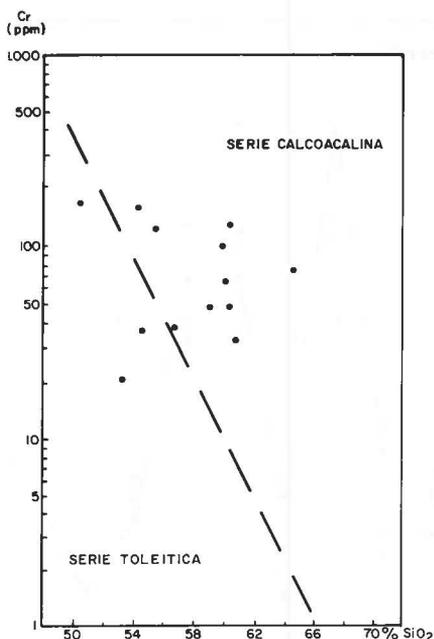


FIG. 7. Diagrama Cr-SiO<sub>2</sub> para rocas volcánicas de la Formación Trapa-Trapa. Análisis en Tabla 1. División según Miyashiro y Shido (1975).

placas. De acuerdo con lo anterior, las rocas volcánicas de la Formación Trapa-Trapa tienen similares contenidos de Ti, Zr e Y que las rocas volcánicas más jóvenes (Plio-Cuaternario) y se habrían generado en similares condiciones geotectónicas. La distribución de estas rocas en el diagrama Ti-Zr-Y (Fig. 8) se diferencia de aquella de los basaltos alcalinos de la Patagonia que, por su menor contenido de Y, se ubican en el campo de las rocas de intraplaca (Campo D, de Pearce y Cann, 1973) (Fig. 8), con excepción de algunas muestras provenientes de Morro Negro y Senguerr, que tienen afinidad toleítica (Baker *et al.*, 1981).

Los contenidos de elementos trazas (Ba, Nb, K, P, Sr, Zr, Ti, e Y; Tablas 1, 2), normalizados de acuerdo con los contenidos en condrito utilizados por Wood *et al.* (1979) y ordenados según el aumento de la razón promedio del manto/coeficiente de partición del líquido basáltico, para una andesita basáltica de la Formación Trapa-Trapa (2473; Tablas 1, 2), dos andesitas basálticas de la Formación Cola de Zorro (2134 y 2421; Tabla 2) y un basalto del volcanismo reciente (2279; Tabla 2) aparecen en la figura 9. La curva normalizada de la andesita basáltica de la Formación Trapa-Trapa, es similar a la de las rocas volcánicas más jóvenes

de la misma latitud (Fig. 9). Todas esas muestras tienen similares contenidos de Ba, Nb, Sr y Zr, levemente mayores de Ti e Y y mayores de K y P, que las andesitas calcoalcalinas de Japón y que las andesitas y andesitas basálticas calcoalcalinas de Nueva Zelandia (Fig. 9). Del mismo modo, tienen mayores contenidos de K y Sr que los basaltos toleíticos de la Dorsal del Atlántico Norte (36°N) y menores de Nb, Ni, Cr y Ti en relación a los basaltos alcalinos oligo-miocénicos de la Patagonia (Baker *et al.*, 1981).

Cabe agregar, que los contenidos de Ba, Rb y Sr de las rocas de la Formación Trapa-Trapa son más bajos que los encontrados en rocas de la Formación Cerro de Las Tórtolas, entre los 29° y 31° S (Maksaev *et al.*, 1984), manifestándose, por lo tanto, una cierta polaridad geoquímica norte-sur de dichos elementos, en las rocas miocénicas de los Andes chilenos.

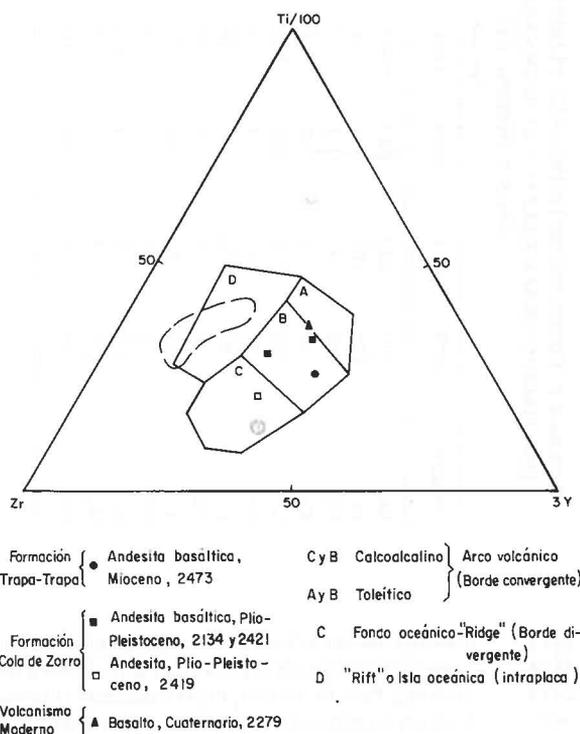


FIG. 8. Diagrama Ti-Zr-Y para rocas de las Formaciones Trapa-Trapa (Mioceno), Cola de Zorro (Plio-Pleistoceno) y volcanismo reciente (Holoceno). Análisis químicos en Tabla 2. División según Pearce y Cann (1973). El área demarcada corresponde a rocas alcalinas de la Patagonia Extrandina (Baker *et al.*, 1981).

TABLA 2. COMPOSICION QUIMICA DE ELEMENTOS TRAZAS DE ROCAS VOLCANICAS DEL MIOCENO (FORMACION TRAPA-TRAPA) - CUATERNARIO DE LOS ANDES (36°-37° LAT. S), NUEVA ZELANDIA, JAPON Y DORSAL DEL ATLANTICO NORTE (36° LAT. N)

Número	2473	2134	2419	2421	2312	2279	A	B	411-1	413-1
Ba	190	230	680	540	630	150	214	244	37	124
Cr	159	109	42	23	105	87	210	103	553	—
Ni	25	42	5	< 2	7	36	49	48	265	248
Rb	15	5	95	18	52	5	26	21	0,7	7,3
Sr	550	500	396	546	332	500	353	347	81	238
Co	20	—	11	16	—	—	37	30	54	708
Zr	80	116	192	88	392	57	98	104	44	114
Nb	3	6	10	6	11	< 3	4	3,6	4,9	32
Y	33	29	46	37	31	22	17	23	18,7	27
Th	6	9	< 3	7	14	< 3	3	1,5	0,4	1,5
U	< 5	< 5	5	< 5	< 5	< 5	0,8	0,5	—	0,2
Mo	< 3	< 3	< 3	< 3	3	< 3	0,6	1,0	—	—
Pb	29	19	29	18	18	19	6,9	7,6	—	—

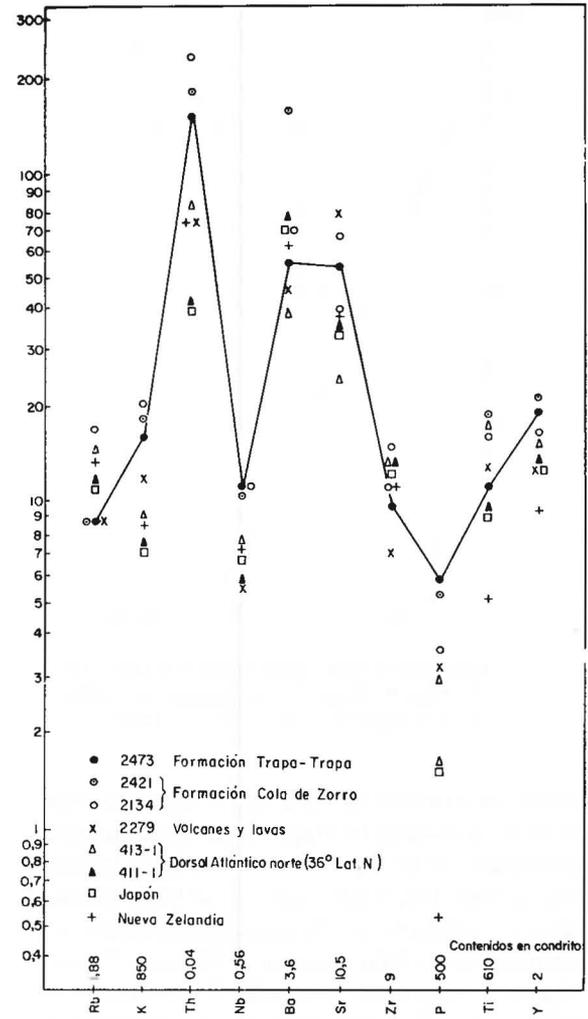


FIG. 9. Variación de contenidos de elementos traza, normalizados respecto a contenidos en condrito in Wood *et al.* (1979), para rocas volcánicas del Mioceno (Formación Trapa-Trapa)-Cuaternario de los Andes de Chile (36°-37° Lat. S), Japón, Nueva Zelandia y Dorsal del Atlántico Norte (36° Lat. N). Análisis químicos en Tabla 2.

- 2473 Andesita basáltica, Estero de Las Catalinas, Mioceno (Formación Trapa-Trapa).  
 2134 Andesita basáltica, Cajón Cola de Zorro, Plio-Pleistoceno (Formación Cola de Zorro).  
 2419 Andesita, Paso El Portillo, Plio-Pleistoceno (Formación Cola de Zorro).  
 2421 Andesita basáltica, Paso El Portillo, Plio-Pleistoceno (Formación Cola de Zorro).  
 2312 Andesita, Estero Rodríguez, Volcán Saso, Cuaternario (Volcanismo Moderno).  
 2279 Basalto, Laguna del Maule, Volcán Negro, Cuaternario (Volcanismo Moderno).  
 A Promedio de dos andesitas y cuatro andesitas basálticas de Nueva Zelandia (Taylor y White, 1966).  
 B Promedio de siete andesitas de Japón (Taylor y White, 1966).  
 411-1 Basalto de la Dorsal del Atlántico Norte (36° N; Wood *et al.*, 1979).  
 413-1 Basalto de la Dorsal del Atlántico Norte (36° N; Wood *et al.*, 1979).

El Ba, Cr, Ni, Rb, Sr y Co de las muestras 1-6 fueron obtenidos por absorción atómica (Servicio Nacional de Geología y Minería) y el Zr, Nb, Y, Th, U, Mo y Pb, de esas mismas muestras, por Espectrometría de Rayos X (CESMEC). Las muestras A, B, 411-1 y 413-1 fueron compiladas para comparación de los trabajos citados.

## CONCLUSIONES

La Formación Trapa-Trapa está compuesta por coladas de lava, rocas piroclásticas, diques, cuellos volcánicos y filones-manto, de composición intermedia a básica, con relaciones estratigráficas y datos radiométricos K-Ar que indican una edad principalmente miocena. Esta constituye una importante unidad geológica entre los 36° y 39° S y en la Cordillera Principal de los Andes de Chile. Los tipos litológicos que integran la Formación Trapa-Trapa corresponden a andesitas, andesitas basálticas y menor cantidad de basaltos y dacitas, además de rocas volcanoclásticas, epi y piroclásticas, de composiciones similares. Los fenocristales de hornblenda son frecuentes en las andesitas y dacitas, los de olivino, en los basaltos y andesitas basálticas y los de plagioclasa, clinopiroxeno y/u ortopiroxeno están presentes en todas las rocas. La regular a intensa y particular alteración de las rocas permite distinguirlas de las pertenecientes a unidades más jóvenes y se localiza en amígdalas, venillas y cristales. Los cristales de olivino pueden tener borde de reacción de clinopiroxeno, por desequilibrio con el líquido residual, y los de hornblenda tienen borde opacético por oxidación. La diferenciación desde basalto a dacita se habría producido por cristalización fraccionada de olivino primero, y hornblenda al final, con relativamente continua cristalización de plagioclasa (desde labradorita a andesina sódica), clinopiroxeno y ortopiroxeno.

La composición química de elementos mayores de las rocas de la Formación Trapa-Trapa indica un carácter calcoalcalino, donde al avanzar el grado de diferenciación sin enriquecimiento manifiesto en hierro, aumenta el contenido de álcalis. Normati-

vamente, las rocas tienen Qz + Hy y, con menor frecuencia, Ol + Hy. Al compararlas con rocas de la misma edad, aflorantes más al norte (Formación Farellones), ellas tienen menores contenidos de álcalis, menor grado de diferenciación y más bajo contenido de MgO. En los escasos análisis químicos de elementos trazas disponibles, no se detecta, al aumentar la diferenciación, una variación sistemática de Ba, Cr, Ni, Rb, Sr y Ni, manteniéndose los valores de Ti relativamente constantes. Los contenidos de Ti, Zr, Ba, Nb, Sr, Zr e Y de las rocas de la Formación Trapa-Trapa son similares a los de rocas plio-cuaternarias de la misma latitud, estando enriquecidas en Y y empobrecidas en Nb, Ni, Cr y Ti, respecto de los basaltos alcalinos de intraplaca de la Patagonia. Por otro lado, tienen mayores contenidos de Ti, Y y P que las andesitas de Japón y andesitas y andesitas basálticas de Nueva Zelanda, a la vez que mayores cantidades de K, Rb, Ba y Sr que basaltos toleíticos oceánicos de la Dorsal del Atlántico Norte. La composición química de Ti, Zr e Y de las rocas miocenas y las plio-cuaternarias de la misma latitud, es similar y comparable con las obtenidas en rocas provenientes de regiones orogénicas, relacionadas con convergencia de placas. De dichas características químicas, junto a su petrografía y edad, se deduce que la Formación Trapa-Trapa formaría parte de un extenso y elongado arco volcánico calcoalcalino, construido sobre corteza continental, que habría comenzado su actividad, en forma esencialmente piroclástica, ya en el Oligoceno o con anterioridad, y cuyo origen estaría ligado a los procesos de subducción de la placa de Nazca bajo el continente Sudamericano, en el Terciario superior.

## AGRADECIMIENTOS

La información geológica utilizada en este trabajo se obtuvo al realizar el levantamiento geológico, a escala 1:250.000, de las Hojas Laguna del Maule y Laguna de La Laja, financiado por el Servicio Nacional de Geología y Minería (Proyecto 113). Se agradece al Dr. José Ward y al Centro de

Estudios, Medición y Certificación de Calidad (CESMEC), por los análisis químicos de elementos trazas utilizando Espectrometría de Rayos X. Los geólogos Sres. M. Vergara y C. Mpodozis aportaron importantes ideas y sugerencias al manuscrito original.

## REFERENCIAS

- AGUIRRE, L. 1960. Geología de los Andes de Chile Central, provincia de Aconcagua. Inst. Invest. Geol. (Chile), Bol., No. 9, 70 p.
- BAKER, P. E.; REA, W. J.; SKARMETA, J.; *et al.* 1981. Igneous history of the Andean Cordillera and Patagonian Plateau around latitude 46° S. Roy. Soc. London, Phil. Trans., A. Math. Phys. Sci., Vol. 303, No. 1474, p. 105-149.
- DRAKE, R. E. 1976. The chronology of Cenozoic igneous and tectonic events in the central Chilean Andes. *In* Int. Assoc. Volcanol. and Chem. Earth's Interior, Symp. Andean Antarctic Probl., Proc. (González-Ferrán, O.; ed.), p. 670-697. Santiago, Chile, 1974.
- DRAKE, R.; CHARRIER, R. THIELE, R.; *et al.* 1982. Distribución y edades K-Ar de volcanitas postneocomianas en la Cordillera Principal entre los 32° y 36° Lat. S. Implicaciones estratigráficas y tectónicas para el Meso-Cenozoico de Chile Central. *In* Congr. Geol. Chileno, No. 3, Actas, Vol. 2, p. D41-D78. Concepción.
- FERRARIS, F. 1981. Hoja Los Angeles-Angol, Región del Bío Bío. Inst. Invest. Geol., Mapas Geol. Prelim. Chile, No. 5, 26 p.
- GAJARDO, A. 1981. Hoja Concepción-Chillán, Región del Bío Bío. Inst. Invest. Geol., Mapas Geol. Prelim. Chile, No. 4, 32 p.
- GARCIA, F. 1968. Estratigrafía del Terciario de Chile Central. *In* El Terciario de Chile. Zona Central. (Cecioni, G.; ed.). Edit. Andrés Bello, p. 25-57. Santiago.
- GONZALEZ-FERRAN, O.; VERGARA, M. 1962. Reconocimiento geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 35° y 38° latitud sur. Univ. Chile, Inst. Geol., Publ., No. 24, 119 p.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS; METAL MINING AGENCY OF JAPAN. 1979. Informe de reconocimiento geológico de la región andina situada al este de la ciudad de Concepción. Fase 1. (Inédito), 281 p. Santiago.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLOGICAS; METAL MINING AGENCY OF JAPAN. 1980. Informe de reconocimiento geológico de la región andina situada al este de la ciudad de Concepción. Fase 2. (Inédito), 388 p. Santiago.
- IRVINE, T. N.; BARAGAR, W. R. A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci., Vol. 8, No. 5, p. 523-548.
- KARZULOVIC, J.; HAUSER, A.; VERGARA, M. 1979. Edades K-Ar en rocas volcánicas e intrusivas del área de los proyectos hidroeléctricos Colbún-Machicura-Melado, VII Región, Chile. *In* Congr. Geol. Chileno, No. 2, Actas, Vol. 4, p. J127-J135. Arica.
- KLOHN, C. 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, provincias de Santiago, O' Higgins, Colchagua y Curicó. Inst. Invest. Geol. (Chile), Bol., No. 8, 95 p.
- MAKSAEV, V.; MOSCOSO, R.; MPODOZIS, C.; *et al.* 1984. Las unidades volcánicas y plutónicas del Cenozoico superior de la Alta Cordillera del Norte Chico (29°-31° S): Geología, alteración hidrotermal y mineralización. Rev. Geol. Chile, No. 21, p. 11-51.
- MIYASHIRO, A. 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. Am. J. Sci., Vol. 274, No. 4, p. 321-355.
- MIYASHIRO, A.; SHIDO, F. 1975. Tholeiitic and calc-alkalic series in relation to the behaviors of titanium, vanadium, chromium and nickel. Am. J. Sci., Vol. 275, No. 3, p. 265-277.
- MUNIZAGA, F.; VICENTE, J. C. 1982. Acerca de la zonación plutónica y del volcanismo miocénico en los Andes de Aconcagua (Lat. 32°-33° S): Datos radiométricos K-Ar. Rev. Geol. Chile, No. 16, p. 3-21.
- MUÑOZ, J.; NIEMEYER, H. (en prensa). Hoja Laguna del Maule. Serv. Nac. Geol. Miner., Carta Geol. Chile, No. 64.
- NIEMEYER, H.; MUÑOZ, J. 1983. Hoja Laguna de La Laja, Región del Bío Bío. Serv. Nac. Geol. Miner., Carta Geol. Chile, No. 57. 52 p.
- OSORIO, R. 1982. Determinación de una fauna de ostrácodos procedente de la Formación Cura-Mallín, Alta Cordillera de la Octava Región. Univ. Chile, Depto. Geol. (inédito), 2 p. Santiago.
- OYARZUN, J.; VILLALOBOS, J. 1969. Recopilación de análisis químicos de rocas chilenas. Univ. Chile, Depto. Geol., Ser. Publ., No. 33, 50 p.
- PEARCE, J. A.; CANN, J. R. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analyses. Earth Planet. Sci. Lett., Vol. 19, No. 2, p. 290-300.
- PECERILLO, A.; TAYLOR, S. R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. Contrib. Mineral. Petrol., Vol. 58, No. 1, p. 63-81.
- SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA, 1982. Mapa geológico de Chile, escala 1:1.000.000 (Escobar, F.; ed.). 6 hojas. Inst. Geogr. Militar. Santiago.
- SERRANO, L. 1975. Prospección minera de la región cordillerana de la provincia de Bío Bío. Inst. Invest. Geol. (inédito), 49 p. Santiago.
- TAYLOR, S. R.; WHITE, A. J. 1966. Trace element abundance in andesites. Bull. Volcanol., Vol. 29, p. 177-194.
- VALENCIO, D.; CREER, K. 1968. El paleomagnetismo de algunas lavas cenozoicas de la República Argentina. Asoc. Geol. Argent., Rev., Vol. 23, No. 4, p. 255-278.
- VALENCIO, D.; LINARES, E.; CREER, K. 1969. Paleomagnetismo y edades geológicas de algunos basaltos terciarios y cuaternarios de Mendoza y Neuquén. *In* Jornadas Geol. Argent., No. 4, Actas, Vol. 2, p. 397-415. Buenos Aires.

- VERGARA, M. 1972. Note on the zonation of the Upper Cenozoic volcanism in the Andean area of central-south Chile and Argentina. *In* Symp. on Results of Upper Mantle Investigations with Emphasis on Latin America, Int. Upper Mantle Proj., Proc., Sec. 2, p. 381-397. Buenos Aires.
- VERGARA, M.; LOPEZ, L. 1982. El volcanismo miocénico y pliocénico entre los 35° y 40° Lat. S. de los Andes chilenos: Comentario y revisión. *In* Congr. Latinoam. Geol., No. 5, Actas, Vol. 3, p. 513-521. Buenos Aires.
- VERGARA, M.; MUÑOZ, J. 1982. La Formación Cola de Zorro en la Alta Cordillera Andina chilena (36°-39° Lat. S), sus características petrográficas y petrológicas: una revisión. *Rev. Geol. Chile*, No. 17, p. 31-46.
- WOOD, D. A.; TARNEY, J.; VARET, J.; *et al.* 1979. Geochemistry of basalt drilled in the north Atlantic by IPOD Leg 49: Implications for mantle heterogeneity. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 42, No. 1, p. 77-97.