

LA FORMACION COLA DE ZORRO EN LA ALTA CORDILLERA ANDINA CHILENA (36°-39° Lat. S), SUS CARACTERISTICAS PETROGRAFICAS Y PETROLOGICAS: UNA REVISION

MARIO VERGARA M.

Univ. Chile, Depto. Geol. y Geofís., Casilla 13518, Correo 21, Santiago, Chile.

JORGE MUÑOZ B.

Serv. Nac. Geol. y Minería, Casilla 10465, Santiago, Chile.

RESUMEN

La Formación Cola de Zorro es una importante unidad volcánica continental, de edad plio-pleistocena, que se distribuye, principalmente, en la región limítrofe chileno-argentina entre los 36°-39° Lat. S.

Sus rocas están asociadas a estrato-volcanes muy erodados y constituyen depósitos casi horizontales, con marcada discordancia sobre las rocas más antiguas. Los tipos petrográficos son andesitas de clino y ortopiroxeno, andesitas basálticas de olivino y escasos basaltos y dacitas, todos de naturaleza calcoalcalina. En las áreas de los pasos fronterizos Pichachén y Pino Hachado, existen, además, traquiandesitas y traquitas con características alcalinas. Se observan rasgos de polaridad geoquímica desde calcoalcalina a alcalina entre la localidad tipo (Quebrada Cola de Zorro), el área al este de la laguna de La Laja y Pino Hachado, planteándose la necesidad de mayores estudios para explicar este comportamiento.

ABSTRACT

The Cola de Zorro Formation is a plio-pleistocene volcanic unit of widespread distribution along the Chile-Argentina border between 36°-39° S Lat.

The rocks are related to eroded strato-volcanoes, which show sub-horizontal disposition and cover the older rocks with strong unconformity. Its lithology is characterized by two piroxene andesites, olivine basaltic andesites, and scarce calcalkaline basalts and dacites. In the Pichachén and Pino Hachado areas alkaline trachyandesites and trachytes are common. A geochemical polarity of calcalkaline rocks in the Cajón Cola de Zorro and Laguna de La Laja areas towards alkaline rocks in the Pino Hachado area is recognized.

INTRODUCCION

La Formación Cola de Zorro es una conocida unidad formacional del Cenozoico superior, en la Cordillera de Los Andes de Chile Central. Fue definida, en la quebrada Cola de Zorro (36° 30' Lat. S), como "una secuencia volcánica, carente de fósiles, de gran extensión areal y actitud tectónica horizontal a subhorizontal, modificada solamente por movimientos de bloques que parecen haberla afectado intensamente" (González y Vergara, 1962, p. 80). La Formación Cola de Zorro tiene amplia distribución en la alta cordillera entre los 36° y 39° Lat. S (Fig. 1), existiendo algunas loca-

lidades donde presenta una excelente exposición, similar o mejor que en su localidad tipo (i.e., la región limítrofe al este de la laguna de La Laja). Uno de sus rasgos morfológicos característicos es el de constituir extensas planicies (mesetas), originadas por la acumulación de estratos subhorizontales, que nivelan antiguas superficies de erosión con rasgos paleofisiográficos más accidentados. Sus afloramientos tienen bordes abruptos, que constituyen acantilados fácilmente reconocibles desde la distancia. Los estratos han sido truncados por una profunda erosión glacial y fluvial y, en

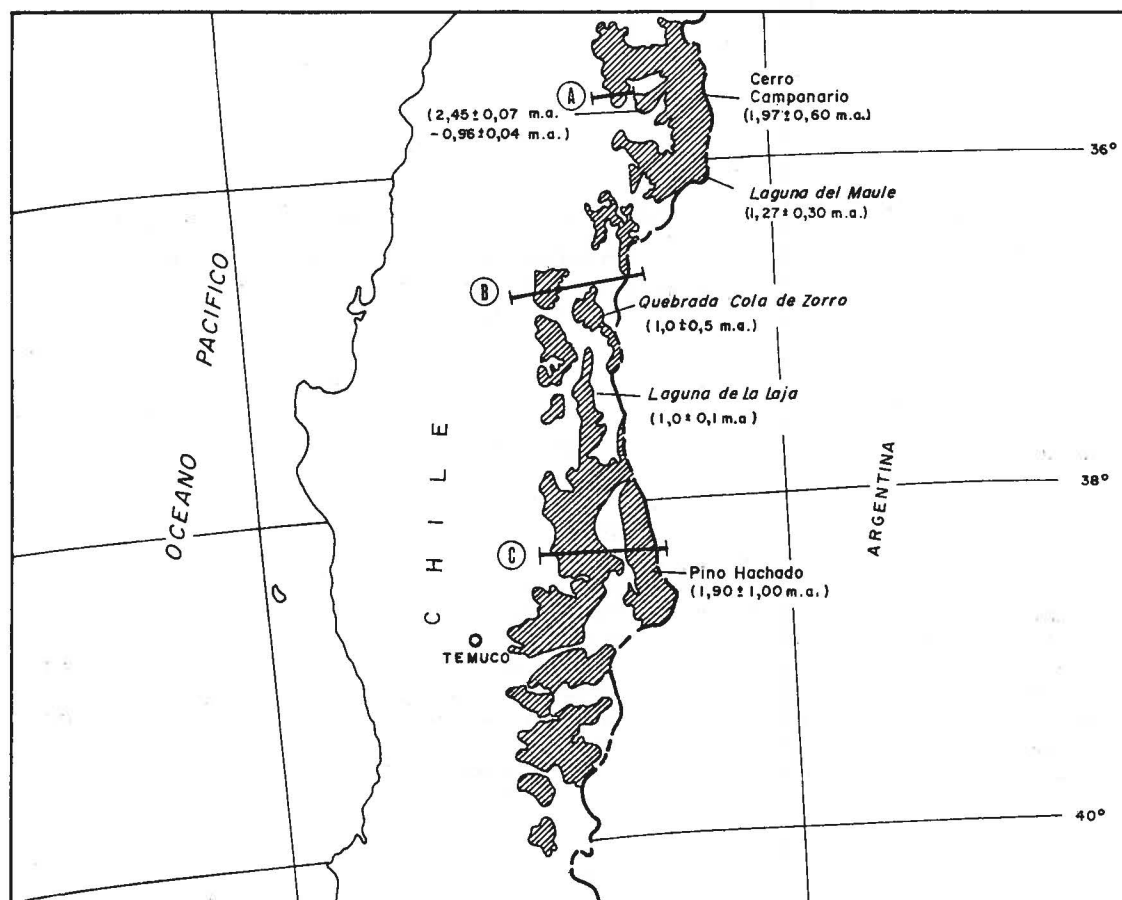


FIG. 1. Distribución y algunas edades radiométricas K-Ar de la Formación Cola de Zorro, entre 35° y 40° Lat. S.

muchos lugares, cubiertos con discordancia de erosión, por morrenas y coladas de lavas asociadas al volcanismo central reciente. La Formación Cola de Zorro ha sido reconocida y mapeada, por fotografías aéreas, en una gran extensión superficial y sólo en escasos lugares, muy puntuales, ha sido estudiada con detalle, en terreno y en laboratorio, como para inferir consideraciones petrogenéticas.

El objetivo de este trabajo es caracterizar a la Formación Cola de Zorro en la Cordillera de los Andes de Chile Central, entre los 36° y 39° Lat. S,

basado en los trabajos de detalle que se han realizado al este de la laguna de La Laja, al norte de la localidad típica y en el paso limítrofe de Pino Hachado (Fig. 1). Se espera contribuir al conocimiento del volcanismo plio-pleistocénico, estudiando sus características estratigráficas, estructurales, mineralógicas, petrográficas y químicas, para establecer, a través de comparaciones entre diferentes localidades, los rasgos estructurales y petrológicos generales de esta formación.

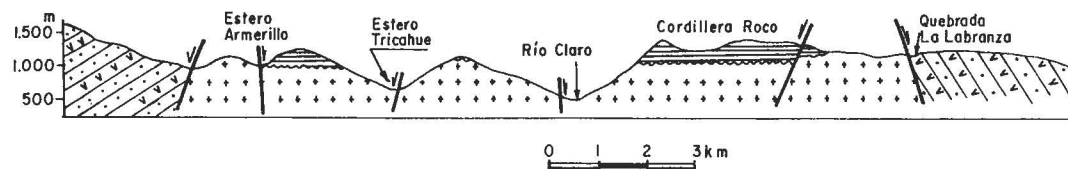
EDAD Y RELACIONES ESTRATIGRAFICAS

Los primeros antecedentes acerca de la edad de esta formación fueron expuestos por González y Vergara (1962), basados en que las rocas de la Formación Cola de Zorro engranan, localmente, con

centros volcánicos plio-pleistocénicos, erodados, tales como el cerro Campanario (35° 55' Lat. S), en las cercanías del paso cordillerano del mismo nombre, y Sierra Velluda, en las cercanías de la

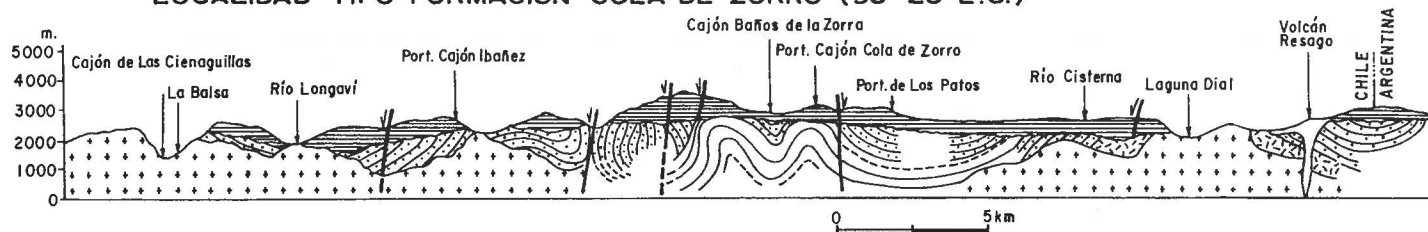
A

RIO MAULE – LAGUNA DEL MAULE (35° 40' L.S.)



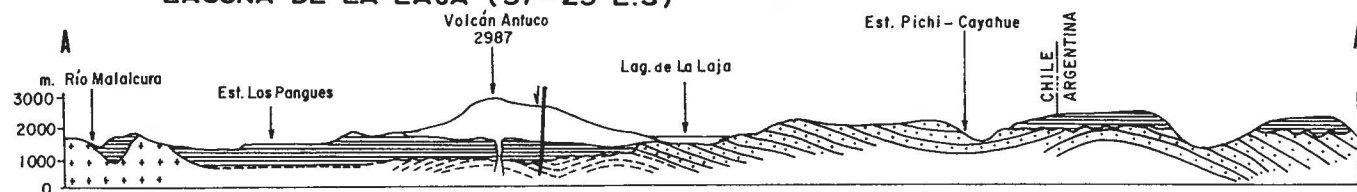
B

LOCALIDAD TIPO FORMACION COLA DE ZORRO (36° 25' L.S.)



C

LAGUNA DE LA LAJA (37° 25' L.S.)



HOLOCENO

VOLCAN RESAGO Y VOLCAN ANTUCO
(andesitas y basaltos)

Alteración hidrotermal

PLIO - PLEISTOCENO

FORMACION COLA DE ZORRO
(volcanitas andesíticas, basálticas, andesítico-basálticas, flujos de cenizas, aglomerados, tobas y areniscas volcánicas)

Rocas plutónicas

TERCIARIO



Volcanitas mesosilíceas, sedimentitas continentales, lutitas, brechas.



Falla normal observada o inferida



Discordancia angular y de erosión

0 5 km

FIG. 2. Perfiles estructurales mostrando la relación de la Formación Cola de Zorro con las unidades subyacentes y con los aparatos volcánicos modernos. Ubicación de los perfiles en la figura 1.

laguna de La Laja. Inicialmente, utilizando correlaciones litoestratigráficas a distancia y antecedentes tectónicos, se le consideró del Plioceno-Pleistoceno. Posteriormente, algunos autores (Thiele y Katsui, 1969, p. 12; Charrier y Vicente, 1972, p. 459), basados en que estratos correlacionables con la Formación Cola de Zorro en la Cordillera andina, a la latitud de Santiago, tenían rasgos de deformación tectónica similar, le asignaron una posible edad miocénica. Así, muchos geólogos chilenos interpretaron a esta formación como una unidad del Mioceno, que se extendería por la Alta Cordillera, desde Santiago hacia el sur, posiblemente hasta la latitud de Puerto Montt. La llamada "Serie Andesítica del Plateau" (Vergara y González, 1972; Vergara, 1972), nombre genérico muy amplio, acuñado para incluir a todas las unidades volcánicas más modernas, que cubre gran parte de los Andes entre los 35° y 40° Lat. S y, probablemente, del Mioceno-Plioceno en su definición original, es equivalente y corresponde, en parte, con la Formación Cola de Zorro.

En la actualidad, se dispone de determinaciones radiométricas K-Ar de muestras de varias localidades donde existen secuencias volcánicas que se han asignado y/o correlacionado con la Formación Cola de Zorro. Entre ellas merecen destacarse las del paso Pino Hachado, al interior de Temuco (Vergara y Munizaga, 1974), de Sierra Velluda, al sur del Volcán Antuco (Drake, 1976), de la quebrada Molinillos, al norte de la localidad tipo (Gardeweg, 1981), del cerro Campanario y del norte de la laguna del Maule (Drake, *op. cit.*; Munizaga, 1978) (Fig. 1). Todas ellas, en conjunto, han dado el rango Plioceno-Pleistoceno, de manera que, razonablemente, se puede pensar en una edad similar para la secuencia que aflora en la quebrada Cola de Zorro.

La Formación Cola de Zorro sobreyace, con discordancia angular y de erosión, a estratos sedimentarios y volcánicos, principalmente de origen continental, y a plutones, stocks y diques que los intruyen (Fig. 2). En el río Maule (Fig. 2-A), sobreyace, con discordancia de erosión, al

"Plutón El Melado" que, de acuerdo con datos radiométricos, ha sido considerado del Paleoceno* (Drake, 1976) y, la Formación Cola de Zorro sería Postmioceno-Preglaciación, según Duhalde y Rehnfeldt (1981). Drake (*op. cit.*) obtuvo edades K-Ar entre $2,45 \pm 0,07$ y $0,96 \pm 0,04$ m.a., en 17 rocas andesíticas de esta formación, de una localidad muy cercana a la estudiada por Duhalde y Rehnfeldt (*op. cit.*), lo que confirma una edad plioceno-pleistocena para esta unidad. En Paso Campanario, ubicado en el límite chileno-argentino (Fig. 1), Munizaga (1978) obtuvo edades K-Ar en roca total de $1,27 \pm 0,3$ y $1,97 \pm 0,6$ m.a. en rocas asignadas a la Formación Cola de Zorro.

Gardeweg (1981) dató una muestra de la Formación Cola de Zorro, mediante el método K-Ar en plagioclasa, en el área al norte de su localidad tipo (Fig. 2-B), obteniendo una edad de $1,0 \pm 0,5$ m.a., que corresponde al Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior. Más al sur, en la región de la laguna de La Laja (Fig. 2-C), las rocas que subyacen a la Formación Cola de Zorro han sido asignadas, en base a antecedentes radiométricos (Drake, 1976) y paleontológicos (Serrano, 1980; Niemeyer y Muñoz, en prensa), al Eoceno-Mioceno. En el paso Pino Hachado (Fig. 1), la secuencia cubre, con discordancia, a rocas sedimentarias continentales, también del Eoceno-Mioceno (Formación Lolco, Salinas, 1981). Vergara y Munizaga (1974) publicaron dos edades K-Ar en roca total, obtenidas en muestras de los flujos de lava del nivel superior de la Formación Cola de Zorro, recolectadas en las cercanías del paso cordillerano de Pino Hachado. Las edades ahí obtenidas fueron de 2,45 m.a. y 1,35 m.a., sin embargo, debido al gran error experimental, los autores consideraron adecuado un valor medio de $1,90 \pm 1,00$ m.a., es decir, Plioceno-Pleistoceno.

En las cercanías de los volcanes actuales, la Formación Cola de Zorro es cubierta, con discordancia de erosión, por flujos de lava de esos volcanes y, en muchos lugares, es intruida por diques y cuellos volcánicos de pequeñas dimensiones.

* Nuevas dataciones radiométricas indican una edad miocena (Muñoz y Niemeyer, en prep.; Drake, comun. escrita).

DISTRIBUCION Y LITOLOGIA

QUEBRADA COLA DE ZORRO

La Formación Cola de Zorro en el área de Quebrada Cola de Zorro (Fig. 2-B), localidad tipo, se presenta formada por rocas volcánicas, estratificadas, de composición andesítico-basáltica. Los niveles volcánicos constituyen mesetas irregulares, disecadas por erosión glacial y fluvial, en actitud subhorizontal, modificada sólo por basculamientos de bloques de poca envergadura. Sobreyace, con discordancia angular, a sedimentitas y volcanitas continentales del Cretácico Superior-Terciario y a plutones que las intruyen, cubriendo una morfología de planicie de erosión. En esta área la Formación Cola de Zorro está constituida por un miembro basal, de 300 m, de tobas y aglomerados andesíticos y un miembro superior, de hasta 900 m de potencia, formado por lavas y brechas de composición andesítica y basáltica. Las rocas volcánicas y volcanoclásticas parecen estar relacionadas con un antiguo y erodado aparato volcánico central, cuyo centro coincidiría con la cumbre del cerro Nacientes de Villalobos, emplazado en una falla regional N-S (Gardeweg, 1981) y ubicado al sur del volcán Nevado de Longaví.

LAGUNA DE LA LAJA

La Formación Cola de Zorro, al este de la laguna de La Laja, constituye una extensa planicie con suave inclinación hacia la vertiente argentina. En general, está formada por un miembro basal de tobas y aglomerados volcánicos, muchas veces de naturaleza lahárica, seguido de una secuencia muy bien estratificada de flujos de lava, principalmente andesíticas que, en los niveles superiores, cambian a tipos basálticos de olivino. Los resultados del estudio aquí expuesto están basados en observaciones recogidas en la áreas del paso Atacalco y Buta-Mallín, por el norte, y del paso Pichachén, por el sur (Fig. 3).

En el área del Paso Pichachén, las rocas de la Formación Cola de Zorro se apoyan, discordantemente, sobre rocas volcánicas y sedimentarias, continentales, del Terciario (Fig. 2-C). De acuerdo con las características estructurales, distribución y similitudes petrográficas y mineralógicas, la secuencia que aflora en el paso Pichachén es correla-

cionable con los flujos lávicos que descienden del centro volcánico de Sierra Velluda (Fig. 3). Sin embargo, la erosión glacial, detectable por su morfología, habría borrado la continuidad areal entre estas dos unidades, permitiendo exponer una ventana de rocas terciarias, estratificadas, entre ambos afloramientos. Las rocas de Sierra Velluda corresponden a andesitas de clino y ortopiroxeno, de composición petrográfica y química similar al promedio de los flujos lávicos del paso Pichachén. Una muestra de la Formación Cola de Zorro, relacionada con el centro volcánico de Sierra Velluda, ubicada en los afloramientos más orientales de este erodado centro volcánico (Fig. 3), fue datada por el método K-Ar, en roca total, obteniéndose una edad de $1,0 \pm 0,1$ (López *et al.*, 1981).

En el sector de Paso Atacalco (Fig. 3), la Formación Cola de Zorro, está representada por una secuencia volcánica, subhorizontal, de carácter andesítico y basáltico, que cubre, con discordancia angular y de erosión, a estratos de la Formación Cura-Mallín (Niemeyer y Muñoz, en prensa). Sus afloramientos se extienden ampliamente hacia el norte y hacia la vertiente argentina, formando extensas planicies disecadas por erosión glacial. A lo largo del cajón Colorado, que lleva al paso Atacalco (Fig. 3), el plano de contacto con las rocas infrayacentes se inclina $5-10^\circ$ hacia el este, sugiriendo, por lo menos en este sector, una paleopendiente hacia el este durante la depositación de la Formación Cola de Zorro.

Entre la laguna de La Laja y el río Polcura (Fig. 3), existe un cuello volcánico pequeño y erodado de basalto de olivino. Relacionados con este cuello volcánico se observan coladas de lava y diques de características petrográficas similares. Las observaciones de terreno indican que, en este sector, la Formación Cola de Zorro está relacionada, en gran parte, con este cuello volcánico y con un gran centro eruptivo localizado en el cerro Las Minas ($36^\circ 55'$ Lat. S- $71^\circ 16'$ Long. W), ubicado al sureste del Complejo Volcánico Nevados de Chillán, que presenta estrechas similitudes petrográficas y morfológicas con el centro de Sierra Velluda.

PASO PINO HACHADO

La Formación Cola de Zorro, al sur de la laguna

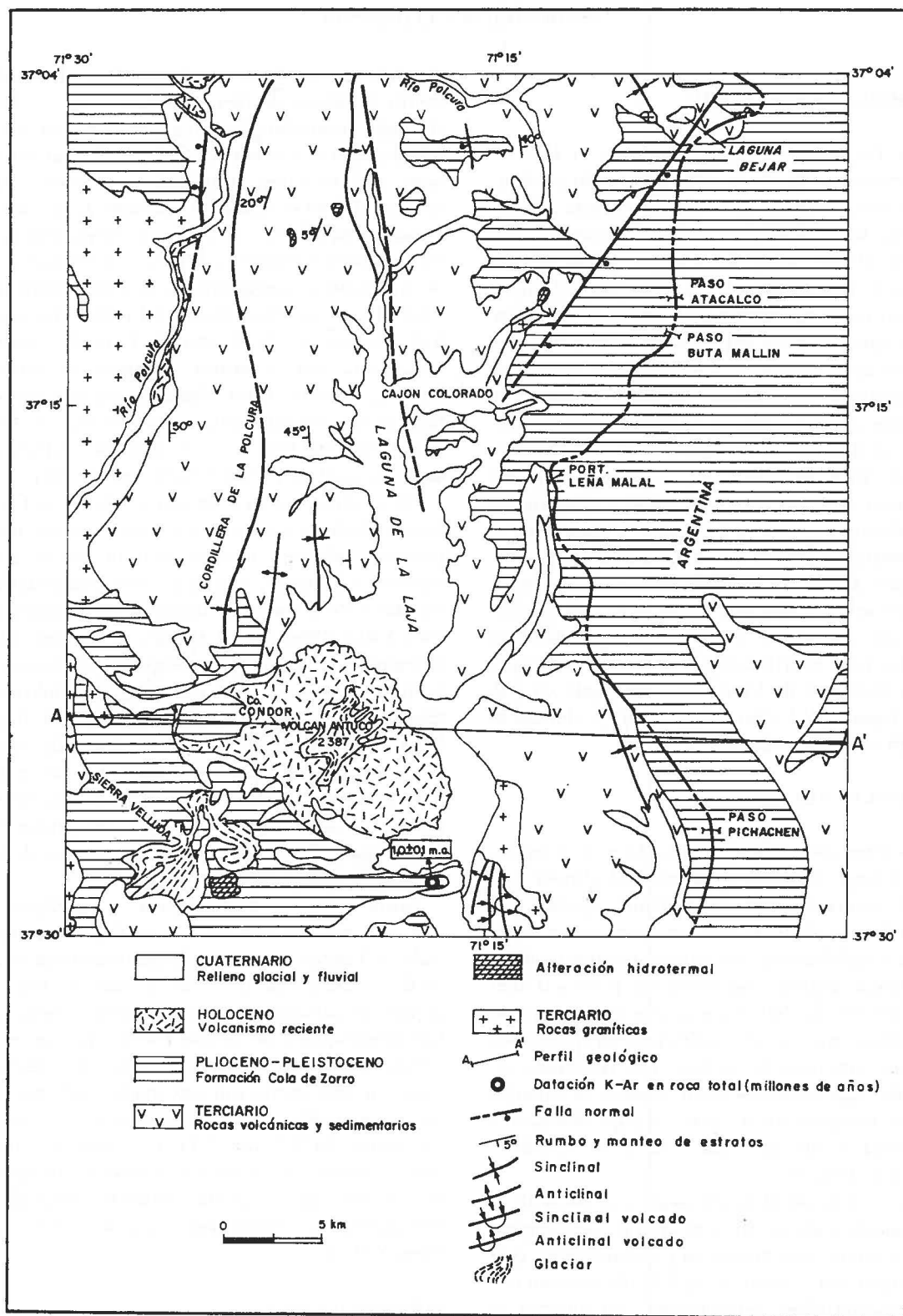


FIG. 3. Mapa geológico (1:250.000) de la región de la laguna de La Laja, basado en Niemeyer y Muñoz (en prensa) y Braccini (1964).

de La Laja, en el sector del paso Pino Hachado (al este de Temuco, Fig. 1), consiste en una secuencia, de 310 m de potencia, de rocas piroclásticas, en la base, y flujos de lavas, en la parte superior, con inclinación máxima de 5° hacia la vertiente argentina. Esta unidad forma una extensa planicie, que se puede seguir, hacia el norte del paso Pino Ha-

chado, por más de 10 km y que se extiende y cubre una gran superficie hacia territorio argentino. Se han observado algunos relictos volcánicos, fuertemente erodados, que sobresalen del paisaje y que podrían ser los centros emisores de la Formación Cola de Zorro en este lugar.

CORRELACIONES CON UNIDADES EN LA VERTIENTE ARGENTINA DE LA CORDILLERA DE LOS ANDES

La Formación Cola de Zorro se prolonga, con continuidad estructural, hacia la vertiente argentina de la Cordillera de los Andes, constituyendo una importante unidad de amplia extensión. Se correlaciona con el Complejo Volcánico Pichi-Neuquén del Plioceno Inferior (Pesce, 1981), que se distribuye en las nacientes de los ríos Neuquén y Nahueve. También se correlaciona con la For-

mación Huincán del Plioceno (Uliana, 1979, p. 81), que aflora en las cercanías del Complejo Volcánico Domuyo. Al este de la laguna de La Laja, en Argentina, aflora una secuencia lávica, denominada "Serie Andesítica", asignada tentativamente al Terciario (Bracaccini, 1964) que, por sus relaciones de continuidad estructural, es correlacionable con la Formación Cola de Zorro (Fig. 3).

MINERALOGIA Y PETROGRAFIA

La Formación Cola de Zorro está constituida, en general, por un miembro basal de tobas, brechas, aglomerados volcánicos, localmente de origen lahárico, areniscas y conglomerados de origen continental. En el miembro superior, predominan las coladas de lava, estando subordinados los niveles clásticos (Fig. 4). Las características mineralógicas y petrográficas de algunas muestras de roca de la Formación Cola de Zorro (que, en su mayoría, tienen análisis químicos) en la laguna de La Laja (pasos Atacalco y Pichachén) y en el paso Pino Hachado, se resumen en la Tabla 1.

En los pasos Atacalco y Pichachén, las tobas, en el miembro basal de la secuencia, tienen color amarillo, están poco compactadas y conforman niveles finos, bien estratificados (Fig. 4). Corresponden a tobas arenosas, con fragmentos de cristales de clinopiroxeno, plagioclasa y minerales opacos, siendo menor la proporción de fragmentos líticos, volcánicos, en una matriz vítrea, generalmente cinerítica. Los aglomerados volcánicos de este miembro son de colores grises y forman niveles potentes, relativamente bien compactados. Estos aglomerados están compuestos por clastos angulosos a subredondeados que, excepcionalmente, alcanzan hasta 1 m de eje mayor, entre los cuales predo-

minan andesitas porfíricas, con fenocristales de clinopiroxeno, ortopiroxeno y plagioclasa, de masa fundamental con textura hialoofítica a holohialina, en una matriz lítica, arenosa. Hacia la base de la secuencia, son frecuentes los niveles de areniscas líticas y conglomerados, que gradan y engranan con tobas arenosas y aglomerados volcánicos, arenosos.

En el paso Pino Hachado, el miembro basal (240 m; Fig. 4) está constituido por tobas traquíticas, con cristales de clinopiroxeno, oligoclasa y biotita, y texturas cineríticas no soldadas (Tabla 1), reconocibles por una tonalidad amarillenta clara, que lo hace fácilmente distinguible como nivel guía de carácter local.

En los tres pasos fronterizos, las coladas de lava presentan, en general, potencias menores que 20 m, son rocas macizas o vesiculares, con textura brechosa, autoclástica, hacia la base y techo de cada colada y de color desde gris a negro. La textura de estas rocas es porfírica, con fenocristales de clinopiroxeno, ortopiroxeno, plagioclasa y, ocasionalmente, olivino con borde de reacción de clinopiroxeno (Tabla 1). En Paso Pino Hachado, algunas coladas presentan, además, fenocristales de anortoclasa y titanohornblenda. Los fenocristales de

TABLA 1. MINERALOGIA Y PETROGRAFIA DE ROCAS DE LA FORMACION COLA DE ZORRO EN LAGUNA DE LA LAJA Y PINO HACHADO

LAGUNA DE LA LAJA					
No.	Nombre de la Roca	Textura	Fenocristales	Textura	Masa Fundamental Mineralogía
2027	Andesita	Porfírica	Plagioclasa, clinopiroxeno	Intersertal a hialopilitica	Microlitos, clinopiroxeno, vidrio, opacos
2036	Basalto de olivino	Porfírica	Olivino-plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno	Intergranular	Microlitos, clinopiroxeno, opacos y microfenocristales de olivino y ortopiroxeno
2041	Andesita	Casi afanítica	Plagioclasa	Pilotaxítica	Microlitos, vidrio, opacos
2046	Andesita basáltica	Porfírica a glomeroporfírica	Olivino, plagioclasa, clinopiroxeno	Intersertal	Microlitos, clinopiroxeno, vidrio, opacos
2050	Basalto de olivino	Porfírica gruesa	Olivino, plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno	Intersertal	Microlitos, clinopiroxeno, opacos, apatita, vidrio oscuro
2052	Andesita	Porfírica	Plagioclasa, clinopiroxeno	Hialopilitica	Microlitos, clinopiroxeno, vidrio
2053	Toba	Cinerítica	Clastos de clinopiroxeno, plagioclasa y opacos	Vítrea	Vidrio
2058	Andesita basáltica	Porfírica gruesa	Plagioclasa, olivino, clinopiroxeno, ortopiroxeno	Intersertal a pilotaxítica	Microlitos, clinopiroxeno, opacos, apatita, vidrio pardo
2059	Basalto	Porfírica	Olivino, plagioclasa, clinopiroxeno, ortopiroxeno	Hialofítica	Microlitos, clinopiroxeno, opacos y vidrio oscuro
PICH1	Andesita	Porfírica fina	Clinopiroxeno, ortopiroxeno, plagioclasa, olivino	Hialopilitica	Microlitos, vidrio, clinopiroxeno, opacos
PICH2	Andesita	Porfírica a glomeroporfírica	Clinopiroxeno, ortopiroxeno, olivino	Hialopilitica a pilotaxítica	Microlitos, vidrio, clinopiroxeno, opacos
PICH4	Andesita	Porfírica	Clinopiroxeno, ortopiroxeno, plagioclasa	Hialopilitica	
PICH5	Andesita	Porfírica gruesa	Clinopiroxeno, ortopiroxeno, plagioclasa (olivino)	Hialopilitica	
PICH6	Andesita	Porfírica a glomeroporfírica	Clinopiroxeno, ortopiroxeno, plagioclasa	Hialopilitica	
PICH6A	Andesita	Porfírica	Clinopiroxeno, ortopiroxeno, plagioclasa	Pilotaxítica	
PASO PINO HACHADO					
PH-31	Traquiandesita	Microporfírica	Clinopiroxeno, andesina, olivino	Traquítica	Oligoclasa
PH-32	Traquita	Porfírica	Andesina, labradorita, con borde de anortoclasa, clinopiroxeno, olivino	Microfanerítica	Plagioclasa intersticial, clinopiroxeno, olivino, anfíbola, feldespatos alcalinos, óxido de hierro
PH-33	Andesita de olivino	Porfírica	Labradorita, olivino iddingsitizado	Hialofítica	Andesita, clinopiroxeno, vidrio pardo oscuro
PH-34	Traquita	Casi afanítica	Escasa andesina, con borde de feldespatos alcalinos	Hialofítica	Ab-oligoclasa o sanidina, clinopiroxeno, anfíbola, óxido de hierro, apatita
PH-36	Traquiandesita	Porfírica	Labradorita, olivino iddingsitizado	Pilotaxítica	Oligoclasa, olivino, clinopiroxeno, óxido de hierro, poco vidrio
PH-41A	Andesita de titanohornblenda	Porfírica	Labradorita, titanohornblenda, ortopiroxeno, clinopiroxeno	Hialopilitica	Plagioclasa, vidrio, óxido de hierro, ortopiroxeno, clinopiroxeno, olivino (?)
PH-41B	Andesita de clinopiroxeno	Porfírica	Labradorita, clinopiroxeno, ortopiroxeno, anfíbola		Oligoclasa-andesina vidrio, feldespatos alcalinos, clinopiroxeno anfíbola
PH-40	Toba traquítica	Textura vitroclástica			Oligoclasa-andesina biotita, augita-dióxido, roca volcánica, masa fundamental vitroclástica, axiolítica
PH-38	Toba traquítica	Hialina, cinerítica, axiolítica			Plagioclasa sódica, clinopiroxeno, biotita
PH-39	Roca clásica	Fragmento dividido			Rocas volcánicas

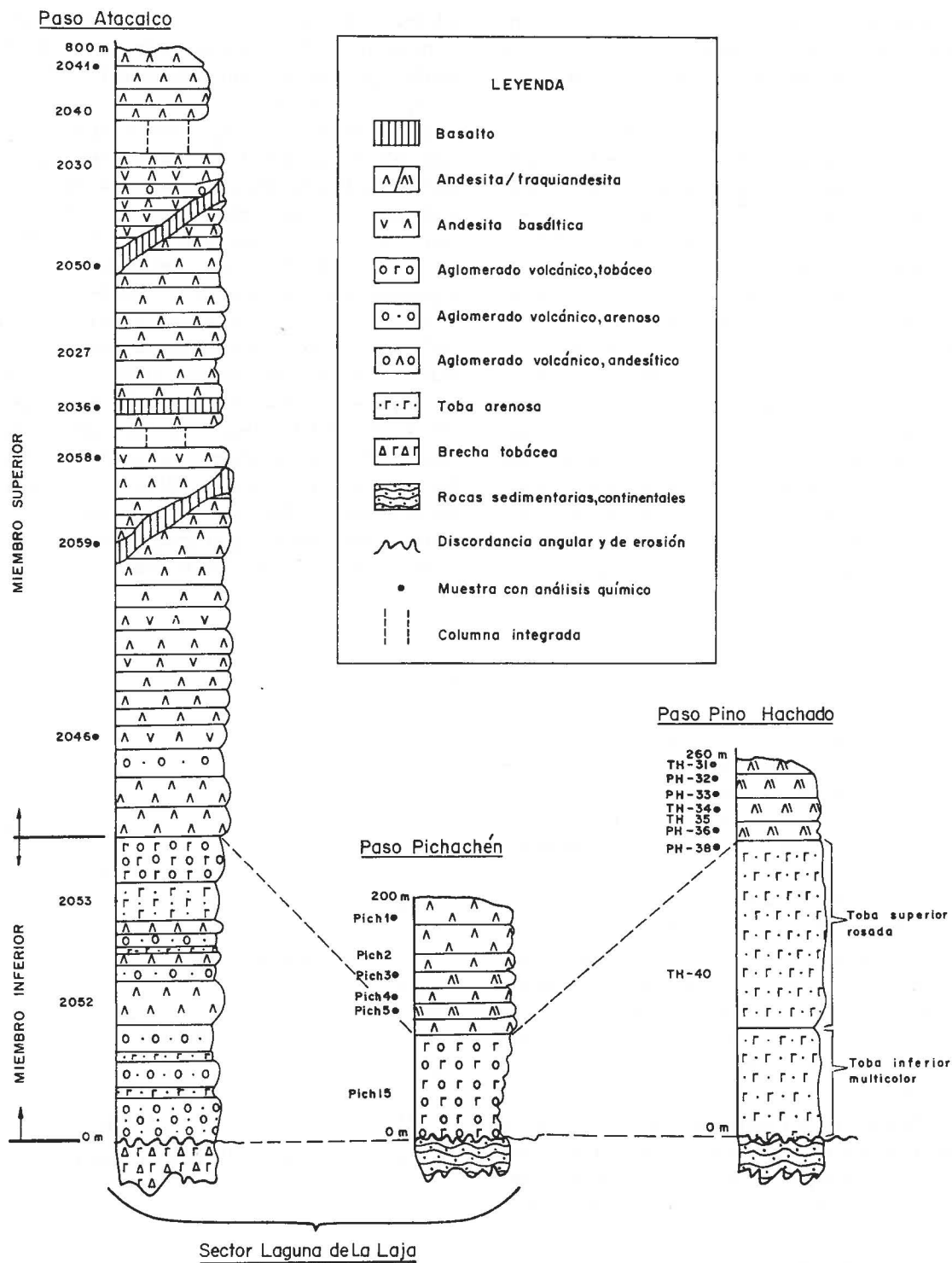


FIG. 4. Columnas estratigráficas de la Formación Cola de Zorro en los pasos fronterizos Atacalco, Pichachén y Pino Hachado.

plagioclasa tienen inclusiones de vidrio de la masa fundamental, tamaños entre 0,5 y 2,5 mm en sección, y forma idiomórfica tabular. Los fenocristales de clinopiroxeno (augita) alcanzan 0,5 mm, con forma subidiomorfa y, frecuentemente, presentan finas bandas de reacción, con la formación de microcristales indeterminados al microscopio. El ortopiroxeno, como fenocristal, es de color pardo claro, débilmente pleocroico, idiomórfico, con tamaños entre 0,5 y 1,5 mm, y contiene gránulos de magnetita como inclusiones. En la masa fundamental, son comunes las texturas hialopilitica y pilotaxítica, existiendo, además, las subofítica e intersertal. La textura traquítica se reconoció sólo en una muestra del paso Pino Hachado (Tabla 1). La masa fundamental está constituida por proporciones variables de vidrio de color pardo claro a negro, microlitos de plagioclasa, a veces muy apretados, formando bandas de flujo, gránulos de clinopiroxeno, ortopiroxeno, magnetita, apatita y, esporádicamente, sideromelano y microfenocristales de olivino, con borde de reacción. La

alteración del olivino es a iddingsita, bowlingita y antigorita, y de la plagioclasa es a minerales de arcilla, apareciendo, además, localmente, clorita en la masa fundamental.

En resumen, en la región de la laguna de La Laja (Pasos Atacalco y Pichachén; Tabla 1), los tipos petrográficos son andesitas de clinopiroxeno y ortopiroxeno y andesitas basálticas de olivino con menor cantidad de basaltos de olivino. En cambio, en Paso Pino Hachado, predominan las andesitas, traquiandesitas, traquitas de clinopiroxeno y andesitas de titanohornblenda. Las características mineralógicas y petrográficas descritas para la Formación Cola de Zorro, inmediatamente al norte de su localidad tipo (Gardeweg, 1981) y en la región del río Maule (Munizaga, 1978; Duhalde y Rehnfeldt, 1981), son similares a las reconocidas en la laguna de La Laja y no se describen en este trabajo. De este modo, la secuencia del paso Pino Hachado difiere mineralógica y petrográficamente del promedio de la Formación Cola de Zorro.

PETROQUIMICA

En la Tabla 2 se presentan los análisis químicos de 26 muestras de la Formación Cola de Zorro en la región fronteriza, al este de la laguna de La Laja (Paso Atacalco y Paso Pichachén; Fig. 3), en el paso Pino Hachado e inmediatamente al norte y muy cerca de su localidad tipo (Gardeweg, 1981) (Fig. 1). Estos análisis fueron realizados en el Laboratorio Químico del Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de Chile y en el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Los análisis de elementos en trazas de tres muestras del paso Pino Hachado fueron publicados por López *et al.* (1977).

Las rocas de la Formación Cola de Zorro, en la laguna de La Laja y al norte de su localidad tipo, tienen mayores contenidos de CaO y MgO y menores de K₂O y Na₂O que las rocas del paso Pino Hachado. En el diagrama (K₂O + Na₂O) - SiO₂ (Fig. 5), las primeras se ubican en el campo subalcalino, con excepción de dos muestras del paso Pichachén (Pich-3 y Pich-5) que, al igual que cuatro muestras del paso Pino Hachado, se sitúan en el campo alcalino. Se advierte, en dicha figura, una tendencia relativamente más alcalina de las rocas

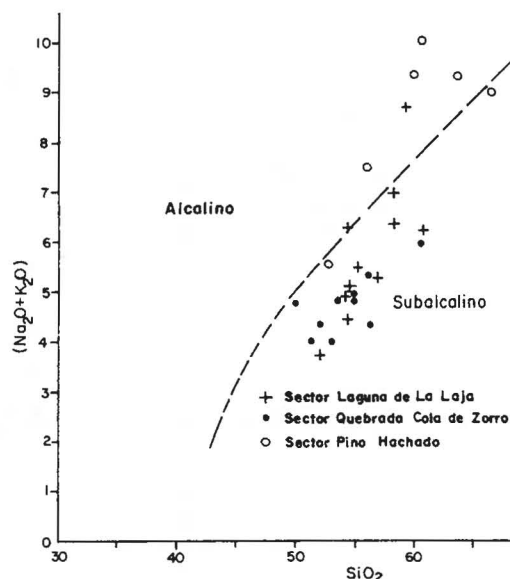


FIG. 5. Proyección en el diagrama (Na₂O + K₂O) - SiO₂ de rocas de la Formación Cola de Zorro. División de los campos alcalino y subalcalino según Irvine y Baragar (1971).

del área de la laguna de La Laja, en comparación con las del norte de la quebrada Cola de Zorro, evidenciando una probable polaridad petrológica hacia el sureste. Según la clasificación normativa, propuesta por Irvine y Baragar (1971), las rocas subalcalinas son dacitas (sólo en Pino Hachado) andesitas y basaltos calcoalcalinos (Fig. 6A), y las alcalinas corresponden a rocas alcalinas ricas en potasio (traquibasalto y tristanita) y, en menor cantidad, a rocas alcalinas ricas en sodio (hawaiita y mugearita) (Fig. 6B). Es indudable que la clasificación puramente química para las rocas alcalinas de Pino Hachado y Pichachén no satisface a la mayoría de los geólogos; su nomenclatura es inconsistente con el carácter netamente continental de esta serie, por lo que se deduce la necesidad de buscar una buena denominación petrográfico-química, adecuada para estas rocas. Esta bimodalidad entre tipos litológicos, ricos en potasio y en sodio, en la secuencia de ambos pasos fronterizos, que da origen a rocas que, de acuerdo a la sistematización química, se encontrarían predominantemente en ambientes oceánicos (hawaiita y mugearita), es un hecho que merece destacarse para incentivar la investigación orientada a su explicación.

La razón $Mg/Mg + \Sigma Fe$, de las muestras analizadas, varía entre 0,061 y 0,557 y la razón FeO^*/MgO , entre 1,42 y 5,41. Para ambas razones, los valores extremos se reconocen en el paso Pino Hachado (Tabla 2). La muestra PH-32 tiene un valor de la razón FeO^*/MgO extremadamente alto ($FeO^*/MgO = 26,98$). El amplio rango de variación de ambas razones indica que las rocas representan distintos estados de diferenciación. Ninguna de las muestras tiene valores de la razón $Mg/Mg + \Sigma Fe$ tan altos como 0,68, que representaría a un magma basáltico en relación de equilibrio con olivino del manto superior, es decir un magma basáltico primitivo (Green, 1971). El índice de solidificación (I.S.; Kuno, 1969), es más bajo en Pino Hachado (Tabla 2), en donde se reconocen los estados más avanzados de diferenciación. La diferenciación, tanto al norte de la localidad tipo como al este de la laguna de La Laja, habría estado controlada por la cristalización fraccionada de piroxenos, plagioclasa y olivino, que son las principales fases mineralógicas observadas en estas rocas. En el paso Pino Hachado se reconoce, además, hornblenda y biotita como fases primarias, minerales que, posiblemente, habrían controlado la última etapa de la diferenciación.

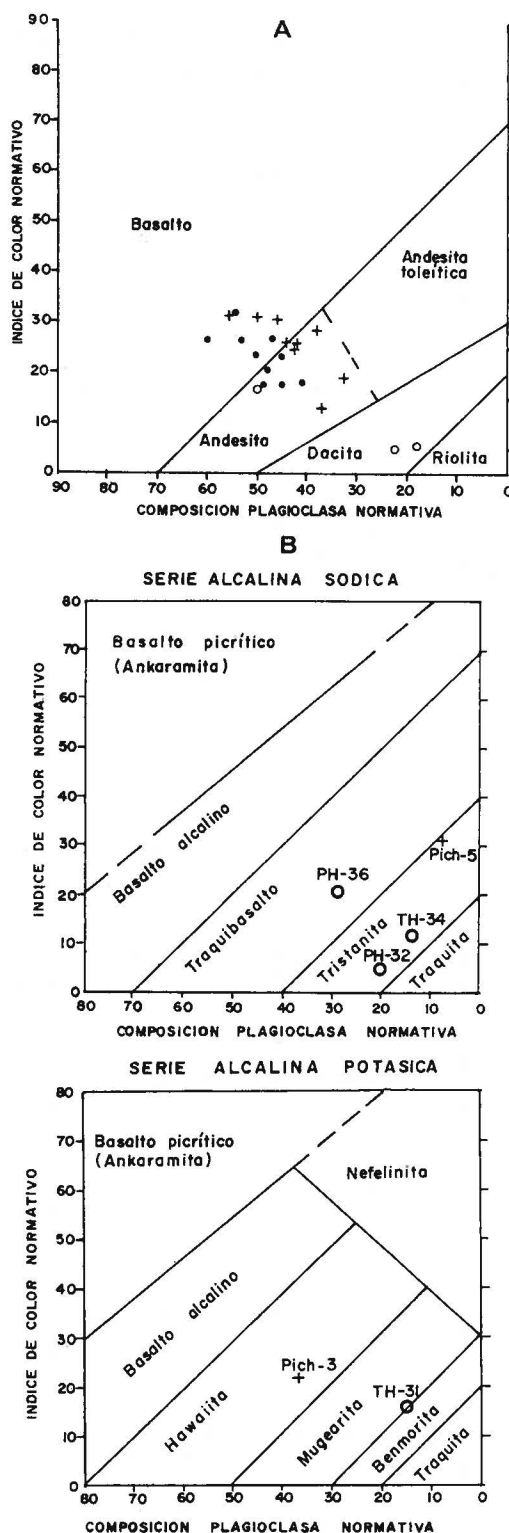


FIG. 6. Diagramas de clasificación normativa de rocas de la Formación Cola de Zorro (Irvine y Baragar, 1971). 6A. Rocas subalcalinas. 6B. Rocas alcalinas. Simbología como en figura 5.

TABLA 2. COMPOSICION QUIMICA Y NORMATIVA DE ROCAS DE LA FORMACION COLA DE ZORRO EN LOS PASOS FRONTERIZOS ATACALCO, PICHACHEN, PINO HACHADO Y AL NORTE DE LA LOCALIDAD TIPO (QUEBRADA COLA DE ZORRO);

42

PASO ATACALCO (+)							PASO PICHACHEN (++)						
Número	JM-2036	JM-2041	JM-2046	JM-2050	JM-2058	JM-2059	Número	PICH-1	PICH-3	PICH-4	PICH-5	PICH-6	PICH-6A
SiO ₂	54,08	60,58	54,08	51,40	56,46	53,81	SiO ₂	57,48	54,07	57,64	58,16	53,02	54,12
TiO ₂	1,05	0,85	1,27	0,75	1,15	1,23	TiO ₂	1,03	1,10	0,83	0,86	0,90	1,10
Al ₂ O ₃	16,68	17,59	18,04	18,70	16,93	17,19	Al ₂ O ₃	18,00	18,68	17,98	12,90	17,18	15,46
Fe ₂ O ₃	2,11	2,52	1,98	1,68	1,96	1,12	Fe ₂ O ₃	7,38	3,77	2,74	2,76	3,63	3,02
FeO	6,70	4,21	6,99	6,86	6,02	7,74	FeO	0,31	3,67	3,03	3,30	4,27	4,27
MnO	0,15	0,15	0,15	0,14	0,13	0,14	MnO	0,07	0,10	0,13	0,16	0,15	0,14
MgO	5,37	1,64	3,80	5,67	4,10	4,58	MgO	3,00	2,28	2,28	3,92	3,68	2,72
CaO	8,39	5,39	7,67	9,39	6,90	8,20	CaO	5,64	9,32	7,52	7,54	8,05	10,16
Na ₂ O	3,11	4,35	3,94	3,21	3,77	3,50	Na ₂ O	4,11	4,74	4,95	4,32	3,87	3,69
K ₂ O	1,28	1,86	1,13	0,52	1,47	1,40	K ₂ O	2,18	1,54	1,94	4,22	1,40	1,71
P ₂ O ₅	0,20	0,27	0,24	0,15	0,23	0,24	P ₂ O ₅	0,13	0,13	1,13	0,08	0,13	0,12
H ₂ O ⁺	0,41	0,64	0,47	0,55	0,59	0,60	P.P.C.	0,94	1,23	1,24	1,26	3,96	2,97
H ₂ O ⁻	0,22	0,24	0,20	0,25	0,34	0,23	Total	100,27	100,63	100,41	99,48	100,24	99,48
CO ₂	0,01	0,01	0,06	0,09	0,12	0,01							
C	0,17	0,14	0,09	0,15	0,03	0,06							
Total	99,92	100,43	100,11	99,51	100,20	100,04							
							NORMA CATIONICA						
Ba p.p.m.	150	330	200	140	230	220	Qz	6,51	—	3,27	0,09	0,80	3,14
Cr	142	25	45	71	106	113	Or	12,98	9,09	11,42	25,08	8,45	10,40
Cu	37	7	44	63	45	64	Ab	37,18	42,11	44,27	39,02	35,48	34,10
Ni	38	< 5	21	32	49	44	An	24,41	25,26	21,03	3,37	25,91	21,17
Rb	33	67	24	< 5	36	31	Nc	—	0,08	—	—	—	—
Sr	430	480	490	690	410	490	Ap	0,27	0,27	0,27	0,17	0,28	0,26
							Di	2,34	16,07	12,23	26,99	11,20	23,88
							Hy	11,36	—	2,83	0,49	10,53	—
							Ol	—	1,78	—	—	—	—
Qz	3,78	11,96	2,52	—	6,09	1,35	Mt	2,67	2,72	2,43	2,48	2,56	2,80
Or	7,64	11,08	6,73	3,10	8,76	8,34	Il	1,45	1,53	1,15	1,21	1,28	1,58
Ab	28,21	39,39	35,64	29,11	34,13	31,68	Mg/Mg + Fe ^{+ 2}	0,533	0,462	0,545	0,656	0,550	0,511
An	28,06	23,18	28,42	35,43	25,14	27,28	Mg/Mg + ΣFe	0,434	0,365	0,425	0,547	0,465	0,410
Ap	0,42	0,57	0,51	0,32	0,49	0,51	FeO*/MgO	2,31	3,09	2,41	1,48	2,05	2,57
Di	10,13	1,61	6,68	8,50	6,29	9,72	K ₂ O/Na ₂ O	0,53	0,33	0,39	0,98	0,36	0,46
Hy	17,67	7,97	15,21	20,06	14,89	17,68	I.C.N.	18,09	22,37	18,91	31,34	25,85	28,52
Ol	—	—	—	0,16	—	—	An N.	40	37	32	8	42	38
Mt	2,23	2,48	2,09	1,77	2,07	1,18	I.S.	18,2	14,4	15,3	21,2	22,0	17,7
Il	1,48	1,19	1,78	1,06	1,62	1,73							
							FeO* = FeO + 0,8998 Fe ₂ O ₃						
Mg/Mg + Fe ⁺²	0,588	0,401	0,492	0,595	0,549	0,513	(++) Análisis realizados en el Laboratorio Químico del Departamento de Geología de la Universidad de Chile.						
Mg/Mg + ΣFe	0,527	0,310	0,436	0,547	0,484	0,483	(+) Análisis realizados en el Laboratorio Químico del Servicio Nacional de Geología y Minería.						
FeO*/MgO	1,60	3,95	2,31	1,48	1,90	1,91							
K ₂ O/Na ₂ O	0,41	0,43	0,29	0,16	0,39	0,40							
I.C.N.	31,93	13,82	26,27	31,87	25,36	30,82							
An N.	50	37	44	55	42	46							
I. S.	28,9	11,3	21,3	31,6	23,7	24,9							

FORMACION COLA DE ZORRO: UNA REVISION

NORTE LOCALIDAD TIPO (+)								PASO PINO HACHADO (++)							
Número	MG-157	MG-156	MG-155	MG-130	MG-133	MG-132	MG-17	Número	PH-31	PH-34	PH-40	PH-32	PH-33	PH-36	PH-38
SiO ₂	55,92	53,88	50,78	49,51	52,48	55,32	48,18	SiO ₂	57,64	59,20	64,95	63,51	51,97	56,03	64,74
TiO ₂	1,06	0,89	1,03	1,27	1,29	1,25	0,89	TiO ₂	1,74	1,06	0,52	0,71	1,18	1,82	0,27
Al ₂ O ₃	17,43	19,10	19,10	22,24	18,98	19,92	19,78	Al ₂ O ₃	17,06	17,08	16,82	18,26	21,45	17,23	14,85
Fe ₂ O ₃	2,28	3,02	3,95	3,96	1,98	0,93	4,76	Fe ₂ O ₃	3,74	2,41	3,60	2,40	4,38	2,22	1,30
FeO	6,33	4,83	4,74	4,18	6,77	7,03	3,18	FeO	3,66	3,34	0,23	1,59	2,97	6,22	0,44
MnO	0,15	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,19	MnO	0,19	0,15	0,10	0,16	0,10	0,20	0,07
MgO	4,05	2,25	4,26	2,17	3,28	1,75	3,97	MgO	2,06	1,48	0,64	0,14	2,78	2,63	1,14
CaO	6,11	8,91	8,76	5,80	7,90	6,31	11,43	CaO	3,18	2,44	1,82	2,91	7,76	5,04	1,25
Na ₂ O	3,63	3,81	3,43	2,87	3,65	3,70	2,90	Na ₂ O	6,18	6,00	4,33	5,23	4,00	4,82	2,39
K ₂ O	1,64	1,01	0,82	0,92	1,04	1,58	0,72	K ₂ O	3,05	3,71	4,40	4,00	1,44	2,65	6,00
P ₂ O ₅	0,55	0,50	0,55	0,57	0,55	0,55	0,27	P ₂ O ₅	0,71	0,42	0,09	0,39	0,41	0,89	0,04
H ₂ O ⁺	0,50	0,53	0,82	3,35	1,37	0,71	2,66	P.P.C.	0,43	2,40	2,22	0,51	1,83	0,68	7,05
H ₂ O ⁻	0,25	1,08	1,40	2,22	0,39	0,66	0,91	Total	99,64	99,69	99,72	99,81	100,27	100,43	99,54
CO ₂	< 0,01	0,11	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,23	Ba p.p.m.	940	810	750				
C	0,06	0,20	0,12	1,22	0,22	0,35	—	Cr	4	6	9				
S	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01	—	Ni	20	10	5				
Total	99,96	100,24	99,91	100,43	100,05	100,22	100,00	Rb	60	100	120				
NORMA CATIONICA								Sr	350	470	285				
Qz	6,57	5,15	1,45	11,04	2,81	7,68	—	NORMA CATIONICA							
Or	9,79	6,09	4,96	5,78	6,26	9,52	4,38	Qz	1,07	1,53	15,97	11,07	0,70	2,32	19,96
Ab	32,94	34,93	31,55	27,42	33,39	33,90	26,84	Or	17,97	22,00	26,43	23,63	8,56	15,67	37,38
An	26,71	32,72	35,14	26,66	32,95	28,28	40,03	Ab	55,34	54,08	39,53	46,95	36,15	43,41	22,63
Ap	1,16	1,07	1,18	1,26	1,17	1,17	0,58	An	9,78	8,75	8,58	11,89	36,05	17,57	6,26
Di	0,24	7,28	4,56	—	2,66	—	13,29	Ap	1,48	0,88	0,19	0,82	0,86	1,86	0,09
Hy	18,23	8,47	16,25	11,33	15,58	13,84	3,24	Di	1,07	0,52	—	—	—	1,31	—
Ol	—	—	—	—	—	—	5,41	Hy	7,12	6,11	2,39	0,84	11,36	12,48	3,32
Mt	2,41	2,55	2,71	3,08	2,19	0,99	2,58	Mt	3,38	2,53	2,15	2,31	2,82	2,32	0,66
Il	1,49	1,27	1,47	1,88	1,83	1,78	1,28	Il	2,42	1,48	0,74	0,99	1,65	2,54	0,40
Co	—	—	—	8,53	—	2,19	—	Co	—	—	2,04	1,06	0,20	—	2,59
Mg/Mg + Fe ²⁺	0,533	0,426	0,558	0,424	0,463	0,308	0,571	Ilm	—	—	—	—	—	—	0,52
Mg/Mg + ΣFe	0,462	0,347	0,478	0,333	0,406	0,284	0,482	Mg/Mg + Fe ²⁺	0,473	0,441	0,409	0,123	0,524	0,430	0,822
FeO*/MgO	2,07	3,35	1,95	3,57	2,61	4,49	1,88	Mg/Mg + ΣFe	0,344	0,323	0,248	0,061	0,417	0,363	0,557
K ₂ O/Na ₂ O	0,45	0,27	0,24	0,32	0,28	0,43	0,25	FeO*/MgO	3,41	3,72	5,42	26,78	2,49	3,12	1,41
I.C.N.	23,53	20,64	26,17	17,55	23,43	17,78	26,38	K ₂ O/Na ₂ O	0,49	0,62	1,02	0,77	0,36	0,55	2,52
An N.	45	48	53	49	50	45	60	I.C.N.	15,46	11,52	5,46	4,95	16,70	20,52	4,98
I.S.	22,6	15,1	25,0	15,6	19,6	11,7	25,9	An N.	15	14	18	20	50	29	22
								I.S.	11,1	8,7	5,0	1,0	18,0	14,0	12,2

La razón K_2O/Na_2O varía entre 0,16 y 2,52 (Tabla 2), detectándose los valores más altos en muestras provenientes del paso Pichachén (Pich-5) y del paso Pino Hachado, donde esta razón alcanza valores tan altos como 2,52. En general, la Formación Cola de Zorro en el paso Pichachén está compuesta por coladas andesíticas, con mayores contenidos de K_2O y Na_2O que los detectados al norte de su localidad tipo y en el paso Atacalco. A su vez, los contenidos de K_2O y Na_2O en las rocas del paso Pino Hachado son, en general, mucho más elevados (Tabla 3), lo cual confirma la afinidad alcalina de la secuencia de Pino Hachado.

Los contenidos de algunos elementos compatibles (Cr y Ni) de seis muestras de la Formación Cola de Zorro, las cercanías del paso Atacalco (Tabla 2), tienden a disminuir al aumentar el grado de diferenciación (*i.e.*, al aumentar la razón Fe^*/MgO). Tres muestras de Pino Hachado, por sus características de tendencia alcalina y por los bajos números magnesianos ($Mg/Mg + \Sigma Fe$), tienen menor abundancia de elementos compatibles, especialmente de Cr, y mayor contenido de elementos incompatibles (Ba y Rb), con respecto a las muestras del paso Atacalco (Tabla 2). Los elementos Cr y Ni son incorporados, principalmente, en los minerales máficos durante la cristalización fraccionada, de ahí que sean más abundantes en rocas menos diferenciadas. En cambio, los elementos incompatibles Rb, Sr y Ba, que son incorporados

principalmente en los feldespatos, permiten una leve concentración en las andesitas en relación a los basaltos. A pesar de que la cantidad de datos no permite una evaluación estadística acertada, el Cr se mantiene dentro de los rangos normales para este tipo de rocas. Según López *et al.* (1977) las rocas de Pino Hachado se caracterizan por enriquecimiento en tierras raras, especialmente tierras raras livianas, y por ser similares a las traquiandesitas de la Isla Gough (Océano Atlántico Sur, 40° Lat. S-10° Long. W).

Por lo general, las rocas de la Formación Cola de Zorro son, predominantemente, andesitas con $Qz + Hy$ normativo, existiendo también escasos basaltos con $Ol + Hy$ normativo y traquiandesitas con $Ne + Ol$ normativo (Pich-3; Tabla 2). Las rocas de Pino Hachado, por tener $Qz + Hy$ normativos caen, casi en su totalidad, en el campo subalcalino del tetraedro $Ne-Ol-Px-Qz$ de Yoder y Tilley (1962). Una diferenciación inicial en condiciones anhidras y de baja presión (Green y Ringwood, 1967; O'Hara, 1968) habría permitido al magma residual evolucionar hacia una composición que produciría rocas sobresaturadas, muy ricas en sílice, como la muestra PH-38 de Pino Hachado. Este esquema de cristalización fraccionada para las rocas alcalinas de Pino Hachado es similar al descrito en Isla de Pascua y ha sido denominado por Miyashiro (1978) como el "trend de Coomb".

CONCLUSIONES

De los antecedentes expuestos se pueden inferir algunas conclusiones globales. La Formación Cola de Zorro es una unidad cartográfica, de enorme extensión superficial en la Cordillera de los Andes chilena y argentina, entre los 36° y 39° Lat. S. Los estudios actuales son aún insuficientes para determinar, con exactitud y detalle, las características de la formación en toda su extensión, por lo cual se deduce la necesidad de iniciar un estudio sistemático de ella.

Basado en el análisis de los datos recolectados en las áreas ubicadas al este de laguna de La Laja (pasos Atacalco y Pichachén), al norte de la quebrada Cola de Zorro (localidad tipo) y en Pino Hachado, se ha podido establecer algunas características que parecen ser generales y particulares para cada localidad. La Formación Cola de Zorro tiene

una edad entre 1 y 2 m.a. (Plioceno-Pleistoceno), según determinaciones K-Ar, y sus afloramientos están invariablemente asociados a estrato-volcanes muy erodados, que fueron los generadores del material constituyente de esta formación. La base de la secuencia está constituida por rocas clásticas y volcanoclásticas que, hacia arriba, gradan a flujos de lava. En general, los tipos petrográficos característicos son andesitas de piroxenos (clinopiroxeno y ortopiroxeno), andesitas basálticas de olivino y escasos basaltos y dacitas de naturaleza calcoalcalina, excepto en las áreas de Pichachén y de Pino Hachado, donde existen, además, traquiandesitas y traquitas con afinidades alcalinas.

Químicamente, las rocas de la Formación Cola de Zorro se clasifican en subalcalinas y alcalinas. Se observan rasgos de polaridad petrológica, hacia

el sureste, entre: las secuencias que afloran al norte de la quebrada Cola de Zorro y al noreste de la laguna de La Laja (paso Atacalco), ambas calcoalcalinas; la secuencia de Pichachén, tanto calcoalcalina como alcalina; y Pino Hachado, que presenta fuerte afinidad alcalina. Químicamente, según Irvine y Baragar (1971), las rocas alcalinas de Pichachén y de Pino Hachado se pueden clasificar como traquibasalto, tristanita, hawaiita y mugearita, nombres que necesitan una redefinición para ambientes netamente continentales, como los que aquí se estudian.

La Formación Cola de Zorro, al este de laguna

de La Laja y en Pino Hachado, se extiende por muchos kilómetros hacia territorio argentino. La secuencia de Pino Hachado podría corresponder a las estribaciones más occidentales de las mesetas volcánicas, extraandinas, de Argentina.

A pesar de las diferencias composicionales (mineralógicas, petrográficas y químicas), observadas en la distribución de esta formación, pensamos que mientras no se estudie con más detalle, debería conservar su calidad y denominación de unidad formacional debido a las indudables ventajas prácticas de mapeo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Moyra Gardeweg, Miguel Hervé, Constantino Mpodozis y Francisco Munizaga, la lectura crítica y sugerencias a los borradores del texto. Este trabajo forma parte del levantamiento geológico de las Hojas Laguna de La Laja y Laguna del Maule (Servicio Nacional de Geología y Mi-

nería), del Proyecto E-410-8422 del Servicio de Desarrollo Científico, Creación Artística y Cooperación Internacional de la Universidad de Chile, y del Proyecto 120 "Evolución Magmática de los Andes", del Programa Internacional de Correlación Geológica (I.G.C.P.).

REFERENCIAS

- BRACACCINI, I. O. 1964.** Geología estructural de la zona cordillerana de Mendoza y Neuquén, República Argentina. Dir. Gral. Fabric. Milit., Informe No. 14, Contrato No. 1103 (inédito). Buenos Aires.
- CHARRIER, R.; VICENTE, J. C. 1972.** Liminary and geosynclinal Andes: major orogenic phases and synchronical evolution of the Central and Magellan sectors of the Argentine-Chilean Andes. Solid Earth Probl. Conf., Upper Mantle Project, Vol. 2, p. 451-470. Buenos Aires, 1970.
- 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.
- DUHALDE, M. A.; REHNFIELD, J. 1981.** Geología del área del río Maule entre los 70° 30'-71° 15' Long. W y estudio geológico-geotécnico del Proyecto Hidroeléctrico Pehuenche de ENDESA. Memoria de Título. Univ. Chile, Depto. Geol., 262 p. Santiago.
- GARDEWEG, M. 1981.** El volcanismo cenozoico superior del área del Nevado de Longaví: una zona de transición en los Andes de Chile Central. In Congr. Geol. Argent., No. 8, Actas, Vol. 3, p. 221-240. San Luis, Argentina.
- 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.
- GREEN, D. 1971.** Composition of basaltic magmas as indicators of conditions of origin: application to oceanic volcanism. In A discussion on the petrology of igneous and metamorphic rocks from the ocean floor. R. Soc. Lond., Philos. Trans., Ser. A, Vol. 268, No. 1192, p. 707-725.
- GREEN, D. H.; RINGWOOD, A. E. 1967.** The genesis of basaltic magmas. Contrib. Mineral. Petrol., Vol. 15, p. 103-190.
- 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.
- KUNO, H. 1969.** Differentiation of basalt magmas. In Basalts (Hess, M.M.; Poldevart, A.; eds.). John Wiley & Sons, Vol. 2, p. 623-688. New York.
- LOPEZ-ESCOBAR, L.; FREY, F. A.; VERGARA, M. 1977.** Andesites and high-alumina basalts from the central-south Chile high Andes: geochemical evidence bearing on their petrogenesis. Contrib. Mineral. Petrol., Vol. 63, No. 3, p. 199-228.

- LOPEZ, L.; VERGARA, M.; FREY, F. A. 1981. Petrology and geochemistry of the Antuco volcano lavas: a basaltic volcano of the southern Andes (37° 25' S). *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, No. 11, p. 329-352.
- MIYASHIRO, A. 1978. Nature of alkalic volcanic rock series. *Contrib. Mineral. Petrol.*, Vol. 66, No. 1, p. 91-104.
- MUNIZAGA, F. 1978. Geología del complejo volcánico Laguna del Maule. Memoria de Título, Univ. Chile, Depto. Geol., 157 p. Santiago.
- NIEMEYER, H.; MUÑOZ, J. (en prensa) Hoja Laguna de La Laja, Región del Bío-Bío. Ser. Nac. Geo. Miner., Carta Geol. Chile.
- O'HARA, M. J. 1968. The bearing of phase-equilibrium studies in synthetic and natural systems on the origin and evolution of basic and ultrabasic rocks. *Earth Sci. Rev.*, Vol. 4, p. 69-133.
- PESCE, A. 1981. Estratigrafía de las nacientes del río Neuquén y Nahueve, provincia de Neuquén. *In* Congr. Geol. Argent., No. 8, Actas, Vol. 3, p. 439-455. San Luis, Argentina.
- SALINAS, P. 1981. El Terciario lacustre del valle del Lolco (Formación Lolco), IX Región, Chile. *In* Congr. Geol. Argent., No. 8, Actas, Vol. 3, p. 471-483. San Luis, Argentina.
- SERRANO, L. 1980. Prospección geoquímica de la región cordillerana de la provincia de Bío-Bío. Memoria de Título, Univ. Chile, Depto. Geol., 132 p. Santiago.
- ULIANA, M. A. 1978. Estratigrafía del Terciario. *In* Congr. Geol. Argent., No. 7, Relatorio, p. 67-83. Buenos Aires.
- VERGARA, M. 1972. 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.; GONZALEZ-FERRAN, O. 1972. Structural and petrological characteristics of the Late Cenozoic volcanism from the Chilean Cordillera region and west Antarctica. *Krystallinikum*, Vol. 9, p. 157-184.
- VERGARA, M.; MUNIZAGA, F. 1974. Age and evolution of the Upper Cenozoic andesitic volcanism in central-south Chile. *Geol. Soc. Am., Bull.*, Vol. 85, No. 4, p. 603-606.
- YODER, H. S.; TILLEY, C. E. 1962. Origin of basaltic magmas: An experimental study of natural and synthetic rock systems. *J. Petrol.*, Vol. 3, No. 3, p. 342-532.
- THIELE, R.; KATSUI, Y. 1969. Contribución al conocimiento del volcanismo post-miocénico de los Andes en la provincia de Santiago, Chile. Univ. Chile, Depto. Geol., Publ., No. 35, 23 p.