

Santiago, 8 - 12 Agosto de 1988

Departamento de Geología y Geofísica  
Universidad de ChileVOLCANISMO MIOCENO SUPERIOR (TORTONIANO) EN LA REGION DEL ALTO  
BIOBIO.Jorge Muñoz Bravo\*  
Servicio Nacional de Geología y Minería, Casilla 10465,  
Santiago.

## RESUMEN

En el sector oriental de la región del alto Biobío se encuentran bien expuestas las rocas piroclásticas y coladas de lavas de los Estratos de Mitrauquén, de edad miocena superior ( $8,0 \pm 0,3$  a  $8,3 \pm 0,9$  Ma; Tortoniano). Excelentes afloramientos existen en los ríos Pehuenco, Mitrauquén y Liucura. En Liucura las rocas piroclásticas y las lavas se observan interdigitadas con depósitos de conglomerados fluviales. Las lavas son andesitas basálticas y andesitas, calcoalcalinas, formadas esencialmente por cristales de andesina cálcica a labradorita, crisolita, augita e hiperstena. Las rocas piroclásticas incluyen brechas volcánicas intermedias a básicas y tobas dacítico-riolíticas, todas ellas también de composiciones calcoalcalinas. Las tobas son de lapilli y de ceniza, estando compuestas por proporciones variables de cristales de cuarzo, andesina-labradorita sódica, hiperstena rica en magnesio, biotita, anfíbola y fragmentos de pómez riolíticos y líticos volcánicos, los cuales pueden estar parcialmente soldados a la matriz.

La composición mineralógica y química de las lavas es similar a las observadas en las rocas eruptadas por los volcanes de los arcos volcánicos del Plioceno y Cuaternario en la misma región. Las tobas dacíticas estarían relacionadas a la generación de calderas y resultarían de la cristalización fraccionada, en la corteza superior, de los mismos magmas máficos parentales de las andesitas basálticas.

## INTRODUCCION

A lo largo de los Andes del Sur han sido reconocidas rocas piroclásticas y lavas del Mioceno Superior más alto en varias localidades, las cuales han sido asignadas a diferentes unidades geológicas. Estas unidades incluyen la Formación Campanario, en los alrededores de la Laguna del Maule (Drake, 1976; Muñoz y Niemeyer, 1984), y los Estratos de Mitrauquén, en el sector oriental de las cabeceras del río Biobío (Sandoval, 1977). En cada una de estas localidades su distribución está localmente restringida a pequeños, pero excelentes, afloramientos. Tanto en los alrededores de la Laguna del Maule como en las cabeceras del río Biobío, las secuencias volcánicas incluyen rocas piroclásticas silícicas y lavas, brechas y aglomerados andesítico basálticos. Las rocas piroclásticas, silícicas, corresponden a flujos piroclásticos y lluvias de cenizas relacionadas a estructuras de calderas. Previamente han sido reconocidos eventos formadores de calderas, fundamentalmente, de edad pleistocena en los Andes del Sur, que incluyen la caldera Diamante (Stern et al., 1984), la caldera Calabozos (Hildreth et al., 1984; Grunder, 1986) y las calderas Copahue, Pino Hachado y Queli Mahuida (Muñoz and Stern, 1985; 1988). Cada una de estas calderas fueron formadas por colapso gravitacional relacionado con la efusión de materiales piroclásticos silícicos. Aunque todavía no totalmente individualizadas las fuentes, erupciones de materiales piroclásticos silícicos, asociados a las generaciones

de estructuras de calderas, también han ocurrido durante el Mioceno Superior en los Andes del Sur.

En esta contribución se presentan y discuten datos radiométricos, petrográficos, mineralógicos y geoquímicos de las tobas silíceas y lavas, de composiciones intermedias y edad miocena superior (Tortoniano), expuestas en la región oriental de las cabeceras del río Biobío (Figura 1). Ellas representan a una importante unidad geológica, de distribución local, previamente no estudiada en detalle, que permite documentar la importancia del volcanismo calco-alcalino bimodal durante el Mioceno Superior.

#### DISTRIBUCION, LITOLOGIA Y RELACIONES ESTRATIGRAFICAS

La distribución, litología y relaciones de contacto son las mismas que las discutidas originalmente por Sandoval (1977), razones por las cuales, en esta contribución, se mantiene la nomenclatura informal de Estratos de Mitrauquén, propuesta por dicho autor.

Los afloramientos más importantes y extensos ocurren en las partes basales de las laderas de los valles de los ríos Mitrauquén, Pehuenco, Tralilhue, Pino Solo y Liucura, (Figura 1). Un importante afloramiento de tobas de color blanco dió el nombre a la localidad denominada Piedras Blancas, en el camino internacional que va desde Liucura al paso fronterizo de Pino Hachado (Figura 1).

Las secuencias volcánicas pueden alcanzar hasta más de 300 m de potencia, como ocurre en el río Mitrauquén, y

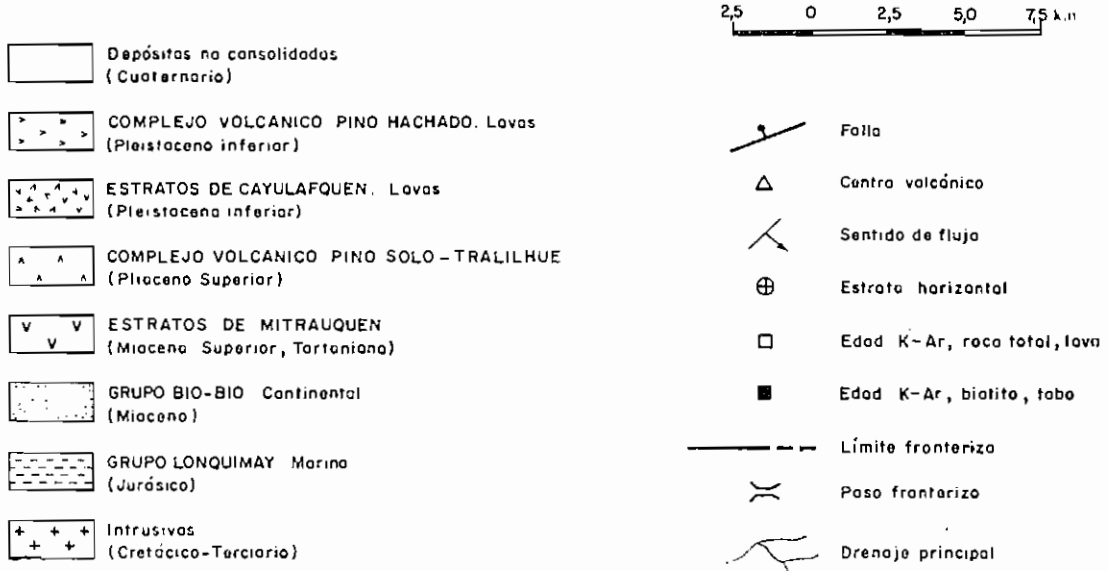
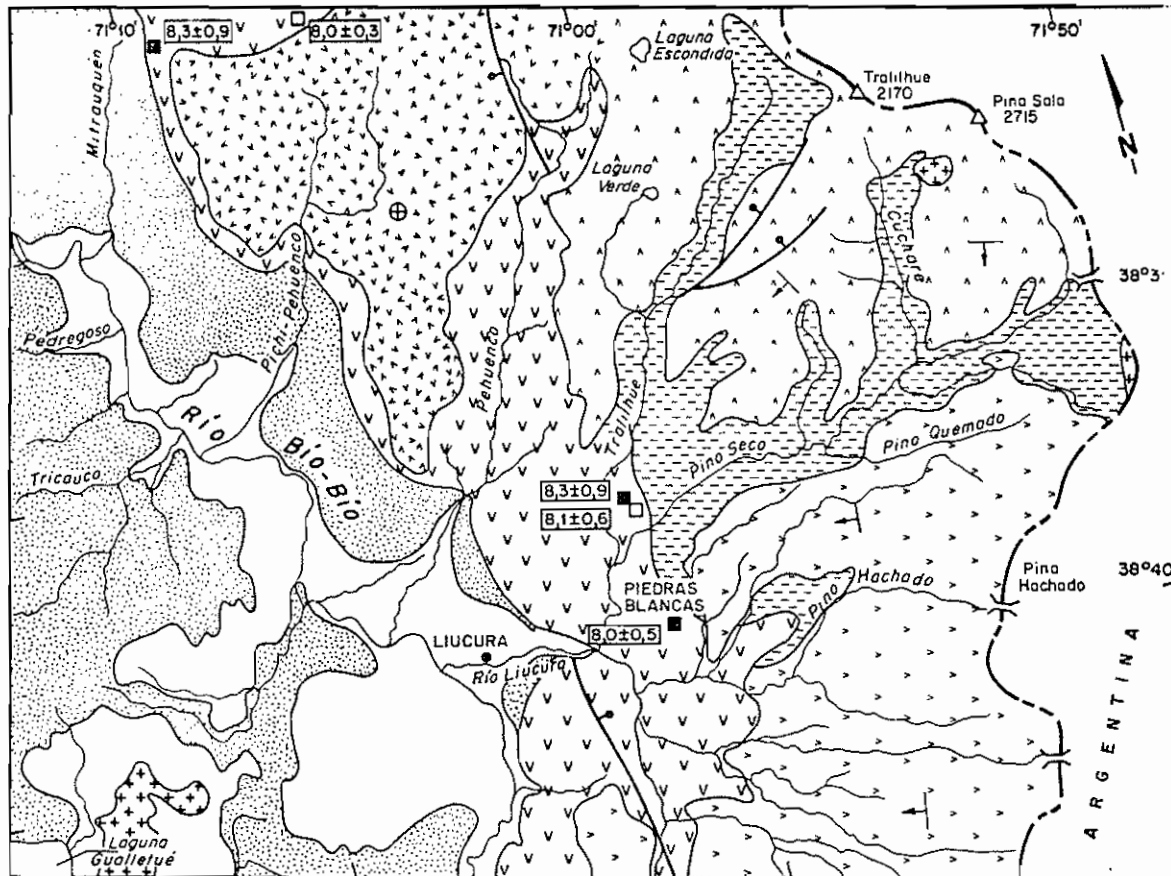


Figura 1. Mapa geológico esquemático de la región del alto Biobío, Chile.

están formadas por lavas, brechas y aglomerados volcánicos, andesíticos y andesítico basálticos, que intercalan niveles de tobas dacítico-riolíticas, principalmente líticas, de colores amarillo y rosado claro, lo cual permite reconocerlas desde la distancia. En el río Liucura, niveles poco potentes (menos que 5 m de potencia) de tobas se intercalan en potentes bancos de conglomerados, imbricados, y areniscas de origen fluvial. Estratigráficamente más alto, los niveles de tobas son cubiertos y/o están interdigitados con depósitos de aglomerados volcánicos, andesíticos y andesítico basálticos. En el río Tralilhue, varios niveles de tobas se encuentran intercalados con tobas arenosas, conglomerados y aglomerados volcánicos, brechosos. En el río Mitrauquén, en los sectores denominados Mitrauquén Bajo y Mitrauquén Ancho, dos niveles de tobas se encuentran intercalados entre brechas andesítico basálticas, predominando las coladas de lavas hacia los sectores basales de la secuencia.

Las diferentes secuencias que forman los Estratos de Mitrauquén tienen una actitud primaria de depositación y cubren con discordancia angular, indistintamente, a sedimentitas marinas jurásicas y a sedimentitas continentales del Mioceno Inferior (Sandoval, 1977). En la mayoría de los afloramientos, las rocas se encuentran cubiertas con discordancia de erosión por lavas pleistocenas y pliocenas (Muñoz y Stern, 1988). En el río Pino Solo, tobas brechas, areniscas

volcánicas y conglomerados fluviales se observan en contacto con sedimentitas marinas del Jurásico (Figura 1).

#### EDAD Y CORRELACIONES

Las determinaciones radiométricas K-Ar efectuadas en tres tobas (biotita) y en dos lavas (roca total) confirman una edad miocena superior, tortoniana, para los Estratos de Mitrauquén (Tabla 1). En efecto, las dataciones de dos muestras del mismo nivel de toba, colectadas en los valles de los ríos Tralilhue y Mitrauquén, dieron ambas una misma edad de  $8,3 \pm 0,9$  Ma, mientras que una andesita basáltica, colectada abajo, y un clasto en un aglomerado volcánico, colectado arriba de este nivel de toba, en los mismos valles, dieron, respectivamente,  $8,0 \pm 0,3$  y  $8,1 \pm 0,6$  Ma (Tabla 1, Figura 1). Similarmente, la datación de una muestra de la

TABLA 1. Edades K-Ar de tobas y lavas de los Estratos de Mitrauquén

| Localidad       | Número | Material Datado | % K   | Vol <sup>140</sup> Ar Rad (nl/gr) | % <sup>40</sup> Ar Atn | Litología               | Edad y Error (Ma) |
|-----------------|--------|-----------------|-------|-----------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|
| Mitrauquén      | TC-91  | Biotita         | 5,202 | 1,684                             | 83                     | Toba dacítica           | $8,3 \pm 0,9$     |
| Tralilhue       | TC-111 | Biotita         | 5,624 | 1,824                             | 82                     | Toba dacítica           | $8,3 \pm 0,9$     |
| Piedras Blancas | TC-127 | Biotita         | 6,784 | 2,107                             | 62                     | Toba dacítica           | $8,0 \pm 0,5$     |
| Mitrauquén      | TC-98  | Roca Total      | 2,216 | 0,690                             | 41                     | Andesita                | $8,0 \pm 0,3$     |
| Tralilhue       | TC-110 | Roca Total      | 1,816 | 0,572                             | 67                     | And. basáltica (clasto) | $8,1 \pm 0,6$     |

Edades determinadas en el Laboratorio de Geocronología del Servicio Nacional de Geología y Minería. Los volúmenes de Ar radiogénicos fueron determinados usando dilución isotópica y un espectrómetro de masas MS-10-S. El K se determinó por absorción atómica. Los valores de las constantes de decaimiento son los recomendados por Steiger y Jager (1977).

toba de la localidad Piedras Blancas dio  $8,0 \pm 0,5$  Ma. De estos datos, resulta evidente que tanto las tobas como las lavas, brechas y aglomerados relacionados tienen, aproximadamente, la misma edad y que ellos fueron erupcionados en un período de tiempo geológico relativamente corto. Considerando los valores y errores analíticos de las cinco determinaciones K-Ar se obtiene un rango de 7,5-9,1 Ma y un promedio de  $8,1 \pm 0,6$  Ma, que corresponde al Tortoniano.

Las tobas fueron reconocidas por Burckhard (1900), quien las denominó "tufus blancs". Posteriormente, en Argentina, las tobas fueron asignadas al Mioceno Superior por Galli (1969), quien las correlacionó con el Colloncurensis de Groeber (1929), bien expuesto al sur de la región del alto Biobío. Indudablemente, Los Estratos de Mitrauquén se correlacionan litológica, estratigráfica y cronológicamente con la Formación Campanario (Muñoz y Niemeyer, 1984), expuesta a aproximadamente los 36 S en los alrededores de la Laguna del Maule.

#### PETROGRAFIA Y MINERALOGIA

Los Estratos de Mitrauquén incluyen lavas, tobas, brechas, aglomerados volcánicos, conglomerados y areniscas volcánicas, de las cuales aquí se describen en detalle sólo las dos primeras litologías.

Las tobas son esencialmente de lapilli y están compuestas por fragmentos de cristales de plagioclasa, biotita y menor proporción de ortopiroxeno y clinopiroxeno, además de

abundantes fragmentos, angulosos a subredondeados, de pómez riolíticos y de volcanitas porfíricas, de tamaño lapilli. Como fases accesorias ocurren cristales de cuarzo, corroídos y engolfados, hornblenda, apatito, zircón y esfeno, Los clastos porfíricos, con tamaños variables entre lapilli fino y grueso, están formados por cristales de plagioclasa y, en algunos clastos, clinopiroxeno. Los fragmentos de pómez varían entre 0,5 y 2,0 cm en tamaño y corresponden a vidrio fibroso, con escasos cristales de biotita y plagioclasa. La matriz de las tobas es cinerítica, vitroclástica, con abundantes fragmentos de vidrio incoloro (shards) que, en el mayor de los casos, evidencian ausencia de soldamiento con los fragmentos minerales y líticos volcánicos. En algunos niveles de tobas es característica una estratificación fina, estratificación cruzada y/o estratificación gradada, indicando, junto con la falta de soldamiento, que corresponden, a depósitos piroclásticos formados por caída de cenizas. Sin embargo, en algunas tobas el soldamiento y orientación de los clastos sugiere, más bien, flujo piroclástico como mecanismo de depositación.

Las lavas son porfíricas, finas a gruesas, de colores negros a gris claro, con fenocristales de clinopiroxeno, olivino y plagioclasa en las andesitas basálticas, apareciendo ortopiroxeno sólo en las andesitas. La presencia de ortopiroxeno junto con la ausencia de borde de reacción en los olivinos, permite asignarle un carácter calco-alcalino a las



lavas. El único mineral opaco presente en las lavas es óxido de hierro. La masa fundamental de las lavas es intersertal a hialopilitica, con microlitos de plagioclasa, gránulos de clinopiroxeno, óxido de hierro y vidrio pardo. Los clastos de las brechas y aglomerados volcánicos mantienen las mismas características petrográficas y mineralógicas de las coladas de lava.

La composición de los cristales de plagioclasa en las tobas varía entre An=53 y An=47% (labradorita sódica a andesina), desde el centro hacia el borde (Figura 2). Esta zonación química normal está representada por una disminución de los contenidos de CaO y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, junto con un aumento en los contenidos de Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O y SiO<sub>2</sub> hacia el borde de los cristales (Tabla 2). La composición de la plagioclasa en los líticos porfíricos corresponde a AN=93% (labradorita cálcica-anortita), composición que es más básica que la de los cristales de plagioclasa en las tobas y en las lavas (Figura 2). El ortopiroxeno es poco frecuente en las tobas y corresponde a hiperstena magnésica-bronzita férrica (En=70%), con menores contenidos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO y CaO y ausencia de TiO<sub>2</sub> (Tabla 2). La biotita predomina por sobre la hornblenda y ambos minerales evidencian relativamente altos contenidos de TiO<sub>2</sub> (Tabla 2). Pequeños porcentajes de MnO y K<sub>2</sub>O se presentan, respectivamente, en la biotita y la hornblenda de las tobas.

Una clara zonación química y óptica caracteriza los cristales de plagioclasa en las andesitas. En efecto, una

Tabla 2. Composición Química de los Minerales presentes en las tobas y lavas de los Estratos de Mitrauquén

Muestra C2-31, Toba

| Mineral | Opx   | Pl-centro | Pl-borde | Pl-litico | Biotita | Anfibola |
|---------|-------|-----------|----------|-----------|---------|----------|
| SiO2    | 54,81 | 53,10     | 58,79    | 43,14     | 36,96   | 42,52    |
| TiO2    |       |           |          |           | 5,80    | 3,48     |
| Al2O3   | 0,73  | 26,62     | 24,15    | 32,36     | 13,19   | 18,77    |
| FeO     | 16,67 |           |          |           | 15,64   | 12,69    |
| MnO     | 1,17  |           |          |           | 0,13    |          |
| MgO     | 21,87 |           |          |           | 13,95   | 14,25    |
| CaO     | 0,99  | 10,54     | 6,49     | 18,31     |         | 11,33    |
| Na2O    |       | 5,18      | 6,14     | 0,91      |         | 2,34     |
| K2O     |       | 0,58      | 0,79     | 0,28      | 8,54    | 0,44     |
| Total   | 96,26 | 96,01     | 96,37    | 95,56     | 94,19   | 97,81    |

Número de Cationes

|    |      |      |       |      |      |      |
|----|------|------|-------|------|------|------|
| Si | 2,06 | 9,97 | 10,83 | 8,39 | 5,59 | 6,00 |
| Ti |      |      |       |      | 0,66 | 0,37 |
| Al | 0,03 | 5,91 | 5,24  | 7,41 | 2,35 | 1,79 |
| Fe | 0,52 |      |       | 0,09 | 1,98 | 1,50 |
| Mn | 0,04 |      |       |      | 0,01 |      |
| Mg | 1,22 |      |       |      | 3,14 | 3,00 |
| Ca | 0,04 | 2,13 | 1,28  | 3,81 |      | 1,71 |
| Na |      | 1,89 | 2,19  | 0,34 |      | 0,64 |
| K  |      | 0,14 | 0,18  | 0,07 | 1,65 | 0,08 |

TC-95, K-Andesita

| Mineral | Opx   | Cpx   | O1-centro | O1-borde | Pl-centro | Pl-borde | Pl-microlito | Fe-Ti-óxido |
|---------|-------|-------|-----------|----------|-----------|----------|--------------|-------------|
| SiO2    | 34,34 | 47,18 | 35,61     | 35,25    | 48,20     | 51,51    | 53,50        |             |
| TiO2    |       | 1,03  |           |          |           |          |              | 18,89       |
| Al2O3   | 5,34  | 5,80  |           |          | 33,97     | 28,24    | 29,71        | 2,65        |
| FeO     | 28,54 | 9,42  | 30,60     | 35,25    | 0,79      | 0,87     | 0,79         | 72,82       |
| MnO     | 0,65  | 0,38  | 0,66      | 0,84     |           |          |              | 1,01        |
| MgO     | 30,76 | 13,48 | 26,52     | 24,93    |           |          |              | 2,26        |
| CaO     | 0,29  | 19,59 | 0,31      | 0,40     | 15,76     | 11,04    | 12,64        |             |
| Na2O    |       |       |           |          | 1,85      | 3,81     | 3,41         |             |
| K2O     |       |       |           |          | 0,29      | 0,53     | 0,43         |             |
| Total   | 99,90 | 96,88 | 95,70     | 96,68    | 100,87    | 100,01   | 100,46       | 97,63       |

Número de Cationes

|    |      |      |      |      |      |      |      |       |
|----|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Si | 1,38 | 1,82 | 1,01 | 1,02 | 2,19 | 2,50 | 2,41 |       |
| Ti |      | 0,03 |      |      |      |      |      | 4,72  |
| Al | 0,25 | 0,26 |      |      | 1,81 | 1,50 | 1,58 | 1,07  |
| Fe | 0,96 | 0,30 | 0,73 | 0,85 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 19,80 |
| Mn | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,02 |      |      |      | 0,28  |
| Mg | 1,05 | 0,78 | 1,21 | 1,08 |      |      |      | 1,10  |
| Ca | 0,01 | 0,81 | 0,01 | 0,01 | 0,77 | 0,53 | 0,61 |       |
| Na |      |      |      |      | 0,16 | 0,33 | 0,30 |       |
| K  |      |      |      |      | 0,02 | 0,03 | 0,02 |       |

## TC-98, K-Andesita

| Mineral                        | Opx   | Cpx   | Ol-centro | Ol-borde | Pl-centro | Pl-borde | Fe-Ti-Oxido |
|--------------------------------|-------|-------|-----------|----------|-----------|----------|-------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 51,64 | 50,69 | 37,13     | 36,89    | 56,15     | 53,93    | 0,84        |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,51  | 0,80  |           |          |           |          | 17,47       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,81  | 1,50  |           |          | 27,16     | 29,40    | 10,56       |
| FeO                            | 20,95 | 11,74 | 34,41     | 33,75    | 0,82      | 0,79     | 66,45       |
| MnO                            | 0,71  | 0,52  | 0,93      | 0,80     |           |          |             |
| MgO                            | 22,13 | 14,02 | 27,80     | 28,13    |           |          | 0,91        |
| CaO                            | 1,95  | 19,50 |           |          | 9,52      | 9,49     |             |
| Na <sub>2</sub> O              |       |       |           |          | 4,50      | 4,31     |             |
| K <sub>2</sub> O               |       |       |           |          | 0,99      | 0,88     |             |
| Total                          | 98,70 | 98,77 | 98,18     | 97,57    | 97,76     | 98,88    | 96,23       |

## Número de Cationes

|    |      |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|------|
| Si | 1,94 | 1,91 | 1,02 | 1,02 | 2,55 | 2,46 | 0,05 |
| Ti | 0,01 | 0,02 |      |      |      |      | 0,76 |
| Al | 0,02 | 0,07 |      |      | 1,45 | 1,50 | 0,72 |
| Fe | 0,66 | 0,36 | 0,79 | 0,78 | 0,03 | 0,03 | 3,22 |
| Mn | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |      |      |      |
| Mg | 1,24 | 0,79 | 1,14 | 1,15 |      |      | 0,08 |
| Ca | 0,08 | 0,00 |      |      | 0,47 | 0,46 |      |
| Na |      |      |      |      | 0,39 | 0,38 |      |
| K  |      |      |      |      | 0,06 | 0,05 |      |

## TC-110, Andesita basáltica

| Mineral                        | Cpx   | Ol     | Pl    |
|--------------------------------|-------|--------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 50,93 | 38,98  | 55,20 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,83  |        |       |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,61  |        | 26,46 |
| FeO                            | 9,98  | 21,07  | 0,60  |
| MnO                            | 0,42  | 0,46   |       |
| MgO                            | 14,35 | 39,26  |       |
| CaO                            | 20,40 | 0,26   | 9,17  |
| Na <sub>2</sub> O              |       |        | 4,34  |
| K <sub>2</sub> O               |       |        | 0,56  |
| Total                          | 99,52 | 100,03 | 96,33 |

## Número de Cationes

|    |      |      |      |
|----|------|------|------|
| Si | 1,91 | 1,01 | 2,56 |
| Ti |      |      |      |
| Al | 0,11 |      | 1,45 |
| Fe | 0,31 | 0,46 | 0,02 |
| Mn | 0,01 | 0,01 |      |
| Mg | 0,80 | 1,51 |      |
| Ca | 0,82 | 0,01 | 0,46 |
| Na |      |      | 0,39 |
| K  |      |      | 0,03 |

Análisis efectuados con microsonda electrónica, utilizando un detector de energía Kevet y sistema de reducción de datos, en la Universidad de Colorado, Boulder, Colorado, USA.

Opx: ortopiroxeno, ol= olivino, cpx: clinopiroxeno, Pl= plagioclasa, Bt= biotita, Af= anfibola.

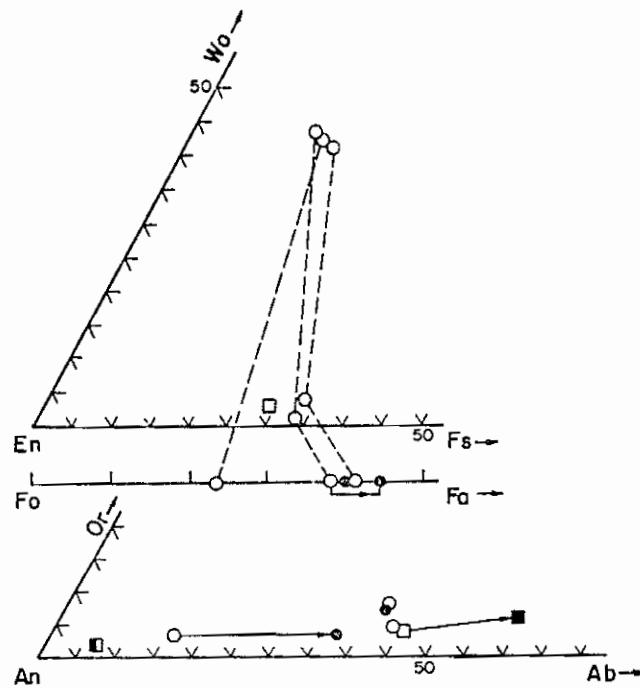


Figura 2. Composición de piroxenos, olivinos y plagioclasas presentes en las tobas y lavas de los Estratos de Mitrauquén. Cuadrados=tobas, círculos=lavas; símbolo abierto=centro de cristal, símbolo parcialmente abierto=cristal en fragmento lítico.

zonación química normal desde An=84% (bitownita cálcica) hasta An=63 (labradorita cálcica-bitownita sódica, Figura 2), asociada a un aumento de los contenidos de K<sub>2</sub>O, FeO y SiO<sub>2</sub> y disminución de los contenidos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ocurre en la muestra TC-95 (Tabla 2). De otro modo, en la muestra TC-98 se detecta una débil zonación inversa, desde An=52% en el centro hasta An=55% en el borde, la cual se asocia con una disminución de los contenidos de K<sub>2</sub>O y aumento de FeO.

Los cristales de olivino en las lavas también manifiestan una zonación química normal, pero esta zonación no es detectada ópticamente. En las andesitas, los cristales de olivino varían desde hialosiderita magnésica (Fo=63%), en los centros, hasta hialosiderita férrica (Fo=55%), en los bordes.

En las andesitas basálticas los olivinos corresponden a crisolita ( $Fo=75\%$ , Figura 2). En algunas lavas los cristales de olivino presentan ciertos contenidos de  $MnO$  y  $CaO$  ( $< 1,0\%$ ), los cuales aumentan hacia los bordes de los cristales (por ejemplo, muestra TC-95, Tabla 2). De otro modo, en los olivinos de la muestra TC-98 solo se detectó  $MnO$ , el cual decrece su porcentaje hacia los bordes (Tabla 2). Los cristales de clinopiroxeno corresponden a augita cálcica, con contenidos de  $TiO_2$  generalmente menores que  $1,0\%$ . La composición química de los clinopiroxenos en las andesitas no difiere mayormente de la composición de los clinopiroxenos en las andesitas basálticas, aunque, como es lógico, los contenidos de  $Al_2O_3$ ,  $CaO$  y  $MgO$  tienden a ser un poco más altos en los clinopiroxenos de las andesitas basálticas. En ninguna de las andesitas y andesitas basálticas estudiadas con el microscopio y con microsonda electrónica se observó la presencia de clinopiroxeno subcálcico, del tipo pigeonita, lo cual permite descartar una afinidad toleítica para este volcanismo. Los cristales de ortopiroxeno en las andesitas no evidencian zonación química y corresponden a hyperstena ( $En=65\%$ ), en general, un poco más férrica que la hiperstena en las tobas (Tabla 2, Figura 2). El óxido de hierro en las lavas contiene aproximadamente  $17-19\%$  de  $TiO_2$  y  $66-73\%$  de  $FeO$ , con menores contenidos de  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $MnO$  y  $SiO_2$ , lo cual indica que corresponden a titanomagnetita.

## GEOQUIMICA

Los análisis químicos en roca total de elementos mayores, trazas, composiciones normativas, para tres tobas y tres lavas pertenecientes a los Estratos de Mitrauguén, se presentan en Tabla 3, donde se incluye, además, la composición isotópica de Sr de la toba que aflora en la localidad de Piedras Blancas (Figura 1). Químicamente las tobas son dacíticas y las lavas son andesitas basálticas, andesitas y andesitas potásicas, de composición subalcalina.

Las lavas tienen entre 52-58% de SiO<sub>2</sub> y evidencian altos contenidos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (17,02-21,36%, Tabla 3), lo cual permite asignarlas a la serie de rocas aluminosas, encontradas en arcos volcánicos. Las andesitas potásicas tienen relativamente bajos contenidos de MgO y CaO y razones FeO\*/MgO mayores que dos, lo que demuestra su carácter diferenciado. Lo anterior es también demostrado por los relativamente bajos índices de solidificación y altos de diferenciación (Tabla 3). Las andesitas potásicas tienen Qz+Hy, aunque el porcentaje de cuarzo es muy bajo (< 1,0%), o Hy+Di en la norma, con más de 16% de hiperstena y 5-6% de diópsido normativos. Las andesitas basálticas tienen Ol+Hy y aproximadamente 4% de diópsido en la norma.

Las tobas tienen contenidos de SiO<sub>2</sub> variables entre 65 y 70 % y menores contenidos de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, FeO\*, MgO, CaO, Sr, Cr, Ni, V, pero mayores K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, Ba, Rb, FeO\*/MgO y K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O que las lavas, lo cual no es sorprendente dado el

Tabla 3. Composición Química y Normativa de las tobas y lavas de los Estratos de Mitrauquén

| Localidad<br>Número            | Tobas               |                      |                    | Lavas               |          |                     |
|--------------------------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|----------|---------------------|
|                                | P. Blancas<br>CZ-31 | Mitrauquen<br>TC-111 | Tralilhue<br>TC-99 | Mitrauquen<br>TC-92 | TC-98    | Tralilhue<br>TC-110 |
| SiO <sub>2</sub>               | 65,10               | 68,14                | 70,07              | 52,55               | 56,23    | 57,18               |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,45                | 0,50                 | 0,27               | 1,02                | 1,07     | 0,85                |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 15,40               | 15,89                | 15,77              | 21,36               | 17,02    | 17,59               |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,10                | 3,27                 | 2,01               | 4,41                | 4,55     | 2,57                |
| FeO                            | 0,21                | 0,18                 | 0,58               | 3,15                | 3,62     | 4,24                |
| MnO                            |                     | 0,10                 | 0,08               | 0,14                | 0,15     | 0,13                |
| MgO                            | 1,40                | 0,60                 | 0,45               | 2,74                | 3,38     | 3,60                |
| CaO                            | 2,40                | 2,21                 | 2,36               | 9,00                | 6,35     | 6,83                |
| Na <sub>2</sub> O              | 2,20                | 4,68                 | 4,83               | 3,79                | 3,91     | 3,61                |
| K <sub>2</sub> O               | 4,80                | 3,69                 | 2,61               | 0,90                | 2,35     | 2,10                |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,06                | 0,12                 | 0,06               | 0,22                | 0,29     | 0,21                |
| H <sub>2</sub> O+              | 5,10                | 0,66                 | 0,82               | 0,66                | 0,56     | 0,82                |
| H <sub>2</sub> O-              |                     |                      |                    |                     |          |                     |
| CO <sub>2</sub>                |                     |                      | 0,05               | 0,04                | 0,10     |                     |
| S                              |                     |                      |                    |                     | 0,01     |                     |
| C                              |                     | 0,03                 | 0,02               | 0,04                | 0,01     |                     |
| Total                          | 101,22              | 100,07               | 99,98              | 100,02              | 99,60    | 99,75               |
| Ba                             |                     | 680                  | 570                | 310                 | 510      | 440                 |
| Rb                             |                     | 121(130)             | 70(75)             | 11(13)              | 102(112) | 62(63)              |
| Sr                             |                     | 259(240)             | 307(290)           | 667(650)            | 474(460) | 530(510)            |
| Y                              |                     | 28                   | 14                 | 18                  | 33       | 20                  |
| Zr                             |                     | 249                  | 133                | 94                  | 282      | 158                 |
| Nb                             |                     | 13                   | 8                  | 4                   | 15       | 8                   |
| Cr                             |                     | 12                   | 6                  | 24                  | 30       | 35                  |
| Ni                             |                     | 4                    | 2                  | 11                  | 10       | 17                  |
| V                              |                     | 46                   | 24                 | 159                 | 187      | 174                 |
| La                             |                     | 29,8                 |                    |                     | 31,0     | 26,9                |
| Ce                             |                     | 66,4                 |                    |                     | 73,6     | 50,4                |
| Nd                             |                     | 26,5                 |                    |                     | 33,8     | 23,6                |
| Sm                             |                     | 4,8                  |                    |                     | 7,0      | 5,4                 |
| Eu                             |                     | 1,24                 |                    |                     | 1,67     | 1,48                |
| Gd                             |                     | 5,1                  |                    |                     | 7,6      | 5,6                 |
| Dy                             |                     | 5,6                  |                    |                     | 6,4      | 5,8                 |
| Er                             |                     | 2,9                  |                    |                     | 3,6      | 2,5                 |
| Yb                             |                     | 3,0                  |                    |                     | 2,6      | 1,8                 |
| Ap                             | 0,13                | 0,25                 | 0,13               | 0,46                | 0,61     | 0,44                |
| Il                             | 0,65                | 0,70                 | 0,38               | 1,43                | 1,51     | 1,19                |
| Or                             | 29,66               | 21,96                | 15,58              | 5,36                | 14,08    | 12,56               |
| Ab                             | 29,98               | 42,23                | 43,71              | 34,23               | 35,52    | 32,73               |
| An                             | 12,05               | 10,24                | 11,42              | 30,83               | 22,19    | 25,82               |
| Co                             | 0,79                | 0,50                 | 0,92               |                     |          |                     |
| Mt                             | 0,72                | 0,72                 | 0,54               | 1,59                | 1,73     | 1,44                |
| En                             | 4,07                | 1,68                 | 1,26               | 3,28                | 0,11     | 0,68                |

|           |        |        |        |       |        |       |
|-----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|
| Fe        | 4,71   | 4,98   | 3,93   | 4,58  | 9,97   | 8,44  |
| Di        |        |        |        | 3,75  | 6,26   | 5,66  |
| Fo        |        |        |        | 2,70  |        |       |
| Fa        |        |        |        | 3,78  |        |       |
| Qz        | 17,25  | 16,82  | 22,23  |       | 0,83   |       |
| Total     | 100,01 | 100,00 | 100,00 | 97,99 | 100,01 | 99,99 |
| ICN       | 10,93  | 8,50   | 7,03   | 21,12 | 27,57  | 25,42 |
| IS        | 11,29  | 4,96   | 4,38   | 18,83 | 19,48  | 22,70 |
| ID        | 76,89  | 81,01  | 81,42  | 39,59 | 49,63  | 48,32 |
| CPN       | 28,67  | 19,52  | 20,71  | 53,15 | 30,45  | 44,10 |
| FeO/MgO   | 0,15   | 0,38   | 1,29   | 1,15  | 1,07   | 1,18  |
| FeO*/MgO  | 2,14   | 5,20   | 5,31   | 2,60  | 2,20   | 1,82  |
| Na2O/K2O  | 0,67   | 1,27   | 1,85   | 4,21  | 1,66   | 1,72  |
| K2O/Na2O  | 1,50   | 0,79   | 0,54   | 0,24  | 0,60   | 0,58  |
| Rb/Sr     |        | 0,467  | 0,028  | 0,017 | 0,215  | 0,117 |
| Ba/La     |        | 22,8   |        |       | 16,4   | 21,0  |
| La/Yb     |        | 9,93   |        |       | 11,9   | 11,6  |
| 87Sr/86Sr | 0,7039 |        |        |       |        |       |

Los elementos mayores y Ba, Rb, Sr, Cr, Ni, Co y V se determinaron por absorción atómica en el Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, Chile. Y, Zr, Nb, (Rb) y (Sr) se obtuvieron por Fluorescencia de Rayos X, Servicio Geológico de Estados Unidos, Denver. Los elementos de las tierras raras fueron analizados en la Universidad de Illinois, Dekalb, Estados Unidos. El cálculo normativo se basa en Fe2O3= 20% del hierro total.



carácter más ácido de las tobas. Un decrecimiento de  $K_2O$  con mayor  $SiO_2$  es notable en las tobas. Las tobas tienen cuarzo (16-22%) e hiperstena (5-9%) en la norma.

Los contenidos de Ba y Rb son relativamente altos y los de Nb son relativamente bajos en las tobas y andesitas. Las tobas y las andesitas tienen valores altos de Ba/La, La/Nb y La/Yb (Tabla 1, Figura 3), más altos que los encontrados en basaltos del frente volcánico Cuaternario de la Cordillera Principal a la misma latitud (Hickey et al., 1986). Los valores para Ba/La, La/Nb, La/Yb de las tobas y andesitas son similares a los obtenidos en andesitas y basaltos del Plioceno y Cuaternario eruptados al este del frente volcánico Cuaternario, al oriente de las nacientes del río Biobío (Muñoz y Stern, 1985, 1988). Altos contenidos de elementos alcalinos incompatibles, empobrecimiento en Ta, Nb y Hf y altos contenidos de tierras raras livianas, relativo a tierras raras pesadas (por ejemplo: alto La/Yb), son características comunes a arcos volcánicos localizados en bordes convergentes de placas continentales y, particularmente, de los Andes del Sur, al menos, durante el Cenozoico. De otro modo, los basaltos de la Patagonia, eruptados en una posición de tras-arco, manifiestan menores Ba/La y mayores La/Nb y La/Yb (Figura 3).

La composición isotópica de Sr obtenida en roca total de la toba de la localidad Piedras Blancas (0,7039, Tabla 1), es similar a las de basaltos del frente volcánico Cuaternario

(Hickey et al., 1986), a las de las traquitas del Pleistoceno Inferior de Pino Hachado (Muñoz y Stern, 1985), que cubren con discordancia de erosión a las tobas, y está en el rango obtenido en los basaltos alcalinos del Cuaternario que ocupan el valle del río Agrio, en Argentina (Muñoz y Stern, 1988).

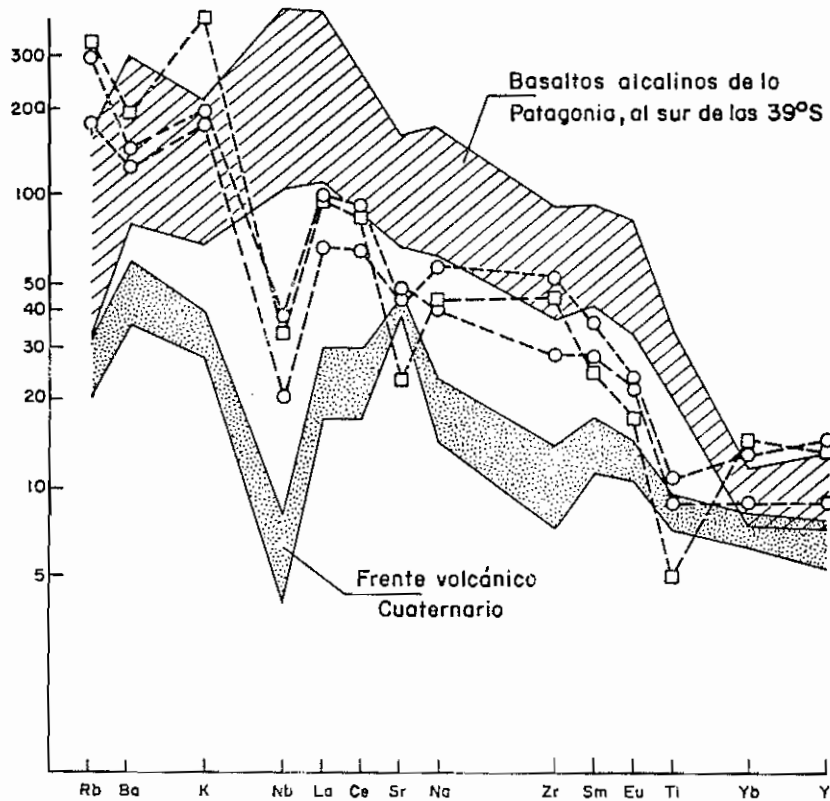


Figura 3. Curvas normalizadas de elementos trazas en las tobas (cuadrados) y lavas (círculos) de los Estratos de Mitrauquén. El campo de los basaltos alcalinos de la Patagonia al sur de los 39°S es de Stern et al. (1986 y no publicado). Los valores de normalización y el campo para el frente volcánico Cuaternario son de Hickey et al. (1986).

## CONCLUSIONES

Los depósitos piroclásticos, silícicos, y las lavas, brechas y aglomerados volcánicos, andesíticos y andesíticos basálticos, de los Estratos de Mitrauquén, demuestran la existencia de volcanismo bimodal durante el Mioceno Superior (aproximadamente 8.0 Ma) en la región oriental del alto río Biobío. Las tobas silícicas se depositaron en formas de lluvias de cenizas y flujos de materiales piroclásticos, relacionados con erupciones silícicas asociadas a la formación de estructura (s) de caldera (s), aunque, hasta la fecha, esas estructuras volcánicas no han sido claramente individualizadas.

Mineralógica y químicamente las tobas silícicas y las lavas andesíticas y andesítica basálticas de los Estratos de Mitrauquén son calco-alcalinas. Las composiciones más básicas son similares a las encontradas en arcos volcánicos de bordes de placas continentales convergentes. Las composiciones silícicas resultarían de la cristalización fraccionada de los mismos magmas parentales de las andesitas y andesitas basálticas, en cámaras magmáticas composicionalmente zonadas. Las composiciones químicas de elementos mayores y en trazas, junto con lo relativamente bajo del valor de la razón isotópica de Sr de una de las tobas silícicas, evidencian que los magmas parentales se generaron en el manto superior y que los procesos de contaminación cortical en la corteza superior no fueron importantes durante la evolución de los magmas. Tanto las tobas

silícicas como las andesitas tienen altos contenidos de elementos alcalinos incompatibles (Ba, Rb) y bajos de Nb, relativo a los elementos alcalinos de las tierras raras livianas (La, Ce), características químicas propias de los arcos volcánicos del Plioceno y Cuaternario en la misma región. Los mayores contenidos de elementos alcalinos y los valores elevados de la razón La/Yb, relativo a los observados en el frente volcánico Cuaternario a la misma latitud, podrían relacionarse, en parte, a un menor porcentaje de fusión parcial en el manto superior y a la posición más oriental del volcanismo Tortoniano.

#### AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a C.R. Stern y J. Drexler, de la U. de Colorado, por su cooperación con la microsonda y a Z. Peterman, del Servicio Geológico de Estados Unidos, por las facilidades para efectuar los análisis isotópicos y de Fluorescencia de Rayos X. Gracias a J. Walker, por la colaboración en la obtención de los datos de tierras raras. Mi reconocimiento a C. Espejo, A. Puig, C. Pérez de Arce, O. González y E. Miranda, del SERNAGEOMIN, por la ayuda prestada durante la obtención de algunos datos y la preparación del texto. Esta contribución forma parte de la Hoja Curacautín, que elabora el SERNAGEOMIN, y es una contribución al Proyecto IGC-249.

## REFERENCIAS

- BURCKHARD, C., 1900. Profils géologiques transversaux de la Cordillere Argentino-Chilienne: Stratigraphic et tectonique. Anales Museo Plata, 2, 136pp.
- DRAKE, R.E., 1976. The chronology of Cenozoic igneous and tectonic events in the central Chilean Andes. In: Proceedings of the IAVCEI International Symposium on Andean and Antarctic Volcanology Problems (edited by O. González F.), Santiago Chile, 670-697.
- GALLI, C.A. 1969. Descripción Geológica de la Hoja 35a: Lago Aluminé. Carta Geológica y Económica de la República Argentina. Escala 1:200.000, 40pp.
- GROEBER, P., 1929. Líneas Fundamentales de la geología del Neuquén, sur de Mendoza y regiones adyacentes. Dir.Gen. Minas, Geol. e Hidrol., 58, 109pp.
- GRUNDER, A., 1986. Silicic rocks at the Calabozos caldera complex, Southern Andes: Evidences for upper crustal contamination. *Contribution Mineralogy Petrology*, 95, 71-81.
- HICKEY, R.L., FREY, F.A., GERLACK, D.C. and LOPEZ, L., 1986. Multiple sources for basaltic arc rocks from the southern volcanic zone of the Andes (34° - 41° S): Trace element and isotopic evidence for the contributions from subducted oceanic crust, mantle and continental crust. *Journal Geophysical Research*, 91, 5963-5987.
- HILDRETH, W., GRUNDER, A. and DRAKE, R.E., 1984. The Loma Seca tuff and the Calabozos caldera: A major ash-flow and caldera complex in the southern Andes of Central Chile. *Bulletin Geological Society America*, 95, 45-54.
- IRVINE, T.N. and BARAGAR, W.R.A. 1981. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal Earth Sciences*, 8, 523-548.
- MUÑOZ, J. y NIEMEYER, H., 1984. Geología de la Hoja Laguna del Maule, SERNAGEOMIN, Serie Carta Geológica de Chile, N° 64, 98pp.
- MUÑOZ, J. y STERN, C.R., 1985. El complejo volcánico Pino Hachado en el sector nor-occidental de la Patagonia (38° - 39° S): volcanismo Plio-Cuaternario tras-arco en Sudamérica. IV Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile, Actas 3, 380-412.
- MUÑOZ, J. and STERN, C.R. 1988. Alkaline Magmatism within the segment 38°-39°S of the Plio-Quaternary volcanic belt of the Southern South American Continental Margin. *Journal Geophysical Research*, in press,

- PECCERILLO, A. and TAYLOR, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Katsamanu area, Northern Turkey. *Contribution Mineralogy Petrology*, 58, 63-81.
- SANDOVAL, R., 1977. Estudio Geológico de la región del Alto Bío-Bío, comuna de Lonquimay, Departamento de Curacautín, IX Región, Chile. Thesis, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 187pp.
- STEIGER, R.H. and JAGER, E., 1977. Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constant in geo- and cosmochronology. *Earth Planetary Science Letters*, 36, 359-362.
- STERN, C.R., AMINI, H., CHARRIER, R., GODOY, E., HERVE, F. and VARELA, J., 1984. Petrochemistry and age of rhyolitic flows which occur along the drainage valleys of the Río Maipo and Río Cachapoal (Chile) and the Río Yaucha and Río Papagayo (Argentina). *Rev. Geol. Chile*, 23, 3-20.
- STERN, C.R., FUTA, K., SAUL, S. and SKEWES, M.A., 1986. Nature and evolution of the subcontinental mantle lithosphere below South America and implications for Andean magmagenesis. *Rev. Geol. Chile*, 27, 41-43.