

Volcanismo explosivo reciente en la caldera del volcán Sollipulli, Andes del Sur (39° S)

José A. Naranjo

Hugo Moreno

Carlos Emparan

Michael Murphy

Servicio Nacional de Geología y Minería, Casilla 10465, Santiago

Departamento de Geología, Universidad de Chile

Dirección actual: Servicio Nacional de Geología y Minería, Casilla 10465,

Servicio Nacional de Geología y Minería, Casilla 10465, Santiago

Department of Geology, University of Bristol, Queens Road, Bristol, BS 81 1RJ, United Kingdom

RESUMEN

El volcán Sollipulli es un estratovolcán caldera que anida un glaciar de ca. 2 km³. Su última erupción ocurrió hace poco más de 700 años, a través de un cono parásito. Por otra parte, hace ca. 2.900 años, tuvo lugar una erupción paroxismal de tipo pliniana (erupción Alpehué) cuyo índice de explosividad (VEI) fue 5. Desarrolló una columna de unos 44 km de altura, eyectando 7,5 km³ de pómez y 0,4 km³ de flujos piroclásticos pumíceos. La violenta erupción se desarrolló en un cráter de 1 km de diámetro, localizado en el margen suroeste de la caldera de 4 km de diámetro promedio. La erupción Alpehué se habría desencadenado por el ascenso de un gran volumen de magma andesítico-basáltico (56% SiO₂) en la parte alta de una cámara zonada que contenía un volumen menor de magma diferenciado silíceo (67% SiO₂). El volcán Sollipulli es activo y, en consecuencia, podría tener una erupción catastrófica en cualquier momento. Constituye, por lo tanto, un centro volcánico de alto riesgo, capaz de generar lahares voluminosos, flujos piroclásticos y elevadas columnas densamente cargadas de pómez, cuya dispersión podría causar un desastre incommensurable, no sólo en territorio chileno, sino también en el cono sur sudamericano.

Palabras claves: Volcanología, Actividad explosiva pliniana, Depósitos piroclásticos, Edades C¹⁴, Holoceno, Caldera Sollipulli, Andes del Sur, Chile.

ABSTRACT

Recent explosive volcanism at Sollipulli volcano, southern Andes (39°S). The Sollipulli volcano is a caldera that nests a ca. 2 km³ glacier. Its last eruption occurred over 700 years ago, through a parasitic cone. On the other hand, a paroxysmal plinian eruption (Alpehué eruption) took place ca. 2,900 a B.P., whose explosivity index (VEI) reached 5. The eruption developed a 44 km high column, erupting 7.5 km³ of airfall pumice and 0.4 km³ of pyroclastic flows. The violent eruption occurred at a 1 km diameter crater, located on the southwest margin of its 4 km average diameter caldera. The Alpehué eruption could have been triggered by the ascent of a big volume of andesitic-basaltic magma (56% SiO₂) into the high part of a zoned magma chamber that contained a lesser volume of differentiated siliceous magma (67% SiO₂). The Sollipulli volcano is active and consequently it could cause a catastrophic eruption at any moment. Therefore, it is a highly risk volcanic center, able to generate voluminous lahars, pyroclastic flows and high and density laden columns, whose dispersion could cause an incommensurable disaster, not only in the Chilean territory but also, in the southern part of South America.

Key words: Volcanology, Plinian explosive activity, Pyroclastic deposits, ¹⁴C dating, Holocene, Sollipulli caldera, Southern Andes, Chile.

INTRODUCCION

El volcán Sollipulli está ubicado en la Cordillera de los Andes de la Región IX de la Araucanía (38°59'S-71°31'W; Fig. texto 1) y corresponde a una de las estructuras de caldera mejor preservadas de los Andes del sur de Chile (33°-46°S). Está situado entre los volcanes Llaima y Villarrica, dos de los más activos de Sudamérica. Abarca un área de unos 250 km² y tiene un volumen de ca. 85 km³.

Su caldera está anidada en una estructura similar más antigua y profundamente erosionada. Tiene un diámetro máximo de 4,4 km de orientación noreste, y de 3,6 km en dirección noroeste; en su interior, alberga un gran casquete glaciario (Lám. 1, Fig 1; Fig. texto 2). Su borde se eleva en alrededor de 2.200 m s.n.m., y su altura sobre el basamento rocoso local se estima en 1.000 m.

A lo largo de los valles distribuidos en forma radial, principalmente al norte y sur, y extensamente hacia el noreste del volcán Sollipulli, se reconoce una sucesión de depósitos piroclásticos, algunos de los cuales fueron generados durante una erupción particularmente violenta de este volcán, ocurrida hace casi 3 milenios, que corresponde a la más reciente de las mayores erupciones del edificio principal. Por otra parte, sobre sus flancos se distinguen conos escoriáceos de aspecto juvenil asociados a coladas de lava bien preservadas, el más reciente de los cuales se formó en el siglo XIII de la Era Cristiana. En consecuencia, aunque bastante desconocida hasta ahora, la caldera Sollipulli corresponde a un volcán activo.

El propósito principal de este trabajo es el estudio de los productos piroclásticos emitidos durante la erupción explosiva que tuvo lugar hace casi 3.000 años, ubicar su centro de emisión y formular un modelo eruptivo para inferir su etapa evolutiva actual.

El volcán Sollipulli (= Llallicupe, Questrodogún en la cartografía antigua), se sitúa a 96 km en línea recta al ESE de la ciudad de Temuco. Constituye el extremo

oriental de un macizo montañoso este-oeste, denominado Nevados de Sollipulli, limitado al norte por el amplio valle del río Allipén, cuya hoya superior está formada por los ríos Zahuelhue-Tracura. Al sur, está limitado por una cuenca que comprende varios drenajes de dirección general este-oeste, así como los ríos Blanco, Quilliche y Sollipulli, y que aloja los lagos Colico y Caburgua. El macizo montañoso aumenta paulatinamente en cota hacia el este, hasta alcanzar su máximo de 2.282 m en el borde sur de la caldera del volcán Sollipulli; este último está separado del cordón limítrofe norte-sur con Argentina, por el valle del río Reigolil o Curimeno (Fig. texto 1).

En sus laderas septentrionales se desarrolla una nutrida e importante red de drenaje que comprende los ríos Malalcahuello, Carilafquén, Carén, Queupude y Pichapinga, además de otros drenajes, que constituyen los anchos y poblados valles de los ríos Zahuelhue, Alpehué y Llaima. Estos confluyen hacia el amplio valle del río Allipén. En este último, además de la población rural, se sitúan los centros urbanos de Melipeuco, Villa García y Cunco, a distancias de 20, 38 y 44 km respectivamente, en línea recta desde el volcán.

Las laderas meridionales de los Nevados de Sollipulli, constituyen la pared de la cuenca de Caburgua, donde se asienta una abundante población rural, la cual se incrementa, notablemente, durante el verano. Estas laderas también son disecadas por una densa red de drenaje que comprende los ríos Los Potreros, Miraflores y Trafampulli.

La red de drenaje distribuida desde la caldera Sollipulli se encauza a lo largo de valles glaciares profundos, de paredes laterales abruptas y de morfología inmadura. Hacia las cabeceras, éstos presentan una disposición radial y aspecto juvenil. Algunos de ellos anidan morrenas recientes y lenguas glaciares.

GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA PRELIMINAR DEL AREA

GENERALIDADES

El edificio volcánico comprende a dos volcanes sobrepuestos, cuya morfología actual corresponde a

una caldera anidada en otra más antigua y erosionada. Adyacente al margen suroeste de ésta, se ubica, a su vez, el cráter de 1 km de diámetro de la erupción Alpehué (Fig. texto 1). El estratovolcán compuesto

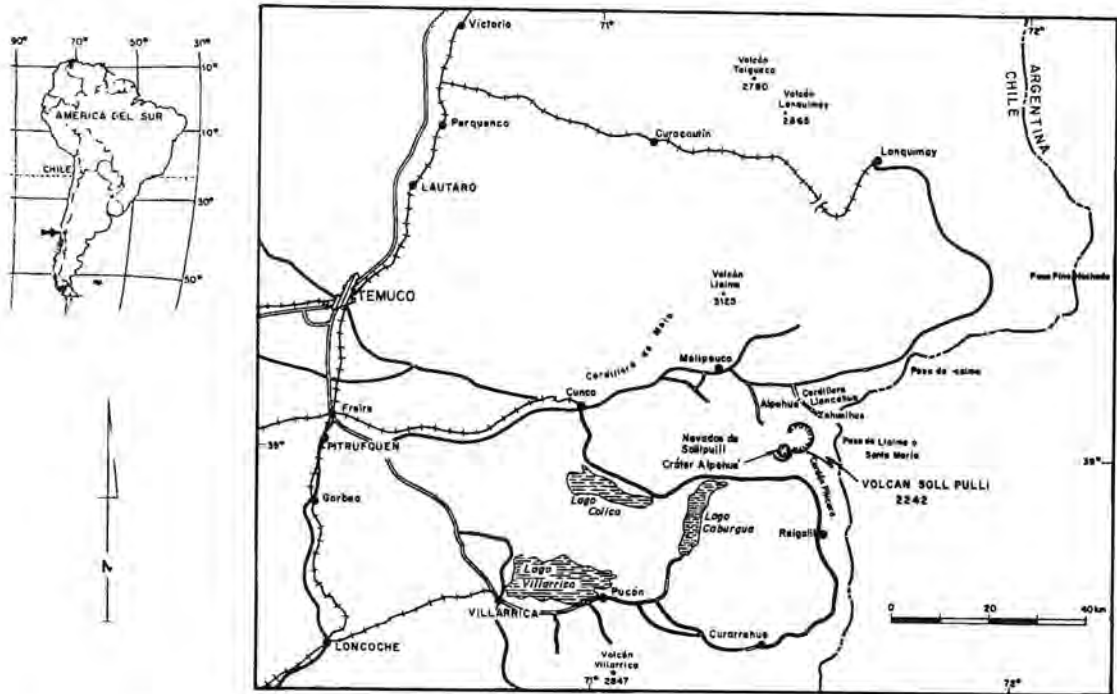


FIG. texto 1. Mapa de ubicación y accesos del volcán Sollipulli.

ubre un área de alrededor de 250 km² y el contorno de la caldera más reciente alcanza alturas entre 2.000 y 2.040 m s.n.m. La base del edificio volcánico tiene una forma elíptica, cuyo eje mayor de 20 km tiene dirección norte-sur, y su eje menor, este-oeste, alcanza 16 km.

Los restos de la caldera erosionada más antigua, ubicados al noroeste y sur, revelan una forma elíptica elongada en dirección noreste-suroeste, de ca. 5 km de diámetro mayor y ca. 4 km de diámetro menor. La caldera más reciente es casi circular, con un diámetro medio de 4 km (Lám.1, Fig. 2). El volcán está rodeado por una docena de cráteres y conos de piroclastos, algunos con lavas asociadas (Fig. texto 2).

La morfología del basamento del volcán es extremadamente irregular y su altura de exposición oscila entre 600 y 1.600 m s.n.m.; por consiguiente, su altura media se puede estimar en ca.1.000 m. La caldera principal y más reciente, está ocupada por un glaciar que se extiende hacia suroeste y que invade el cráter Alpehú, con un área total de 12,5 km².

La actividad del volcán Sollipulli se ha desarrollado durante el Pleistoceno superior y Holoceno. Los productos se disponen en discordancia sobre la secuencia volcánica de los Nevados de Sollipulli, de

edad plio-pleistocena, y sobre granitoides y rocas estratificadas de edades comprendidas entre el Jurásico Superior y el Terciario (Emparan *et al.*, 1992).

BASAMENTO DEL AREA VOLCANICA (JURASICO-TERCIARIO SUPERIOR)

Las unidades más antiguas de la zona consisten, esencialmente, en rocas sedimentarias pertenecientes a la Formación Nacientes del Biobío de edad jurásica inferior a media (Jnb) y granitoides del Jurásico Superior-Cretácico Inferior (JKg; 148,0±8,0 Ma; 140,0±5,0 Ma; esta última edad al este del volcán Huechulepún), según Emparan *et al.* (1992). Ambas unidades afloran en el extremo oriental del área (Mapa Geológico, Fig. texto 3).

En forma esporádica, se han reconocido, además, afloramientos de dos unidades de rocas volcano-sedimentarias. Las más antiguas fueron agrupadas bajo el nombre de Complejo Vizcacha-Cumilao, de edad cretácica superior-terciaria inferior (KTvc) y las de menor edad fueron asignadas a la Formación Curamallín, del Mioceno (Tc; Emparan *et al.*, 1992). Sin embargo, la unidad más extensa del basamento de las rocas volcánicas cuaternarias está constituida

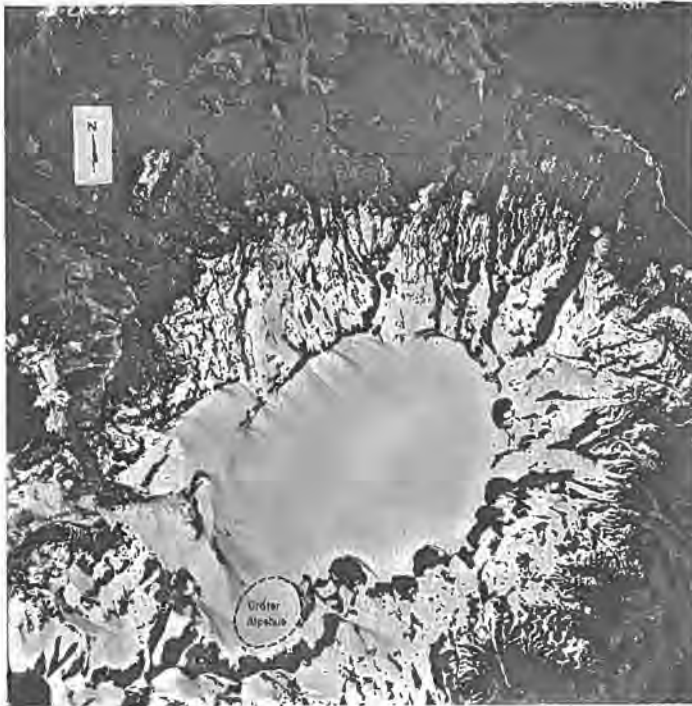


FIG. texto 2. Fotografía aérea de la caldera Sollipulli (Vuelo OEA, diciembre 1961). En el sector suroeste (abajo izquierda) se distingue el cráter Apehué.

por granitoides miocenos (Tg), cuyas edades oscilan entre 9,0 y 13,0 Ma en el área estudiada, e intruyen a todas las unidades mencionadas anteriormente (Emparan *et al.*, 1992).

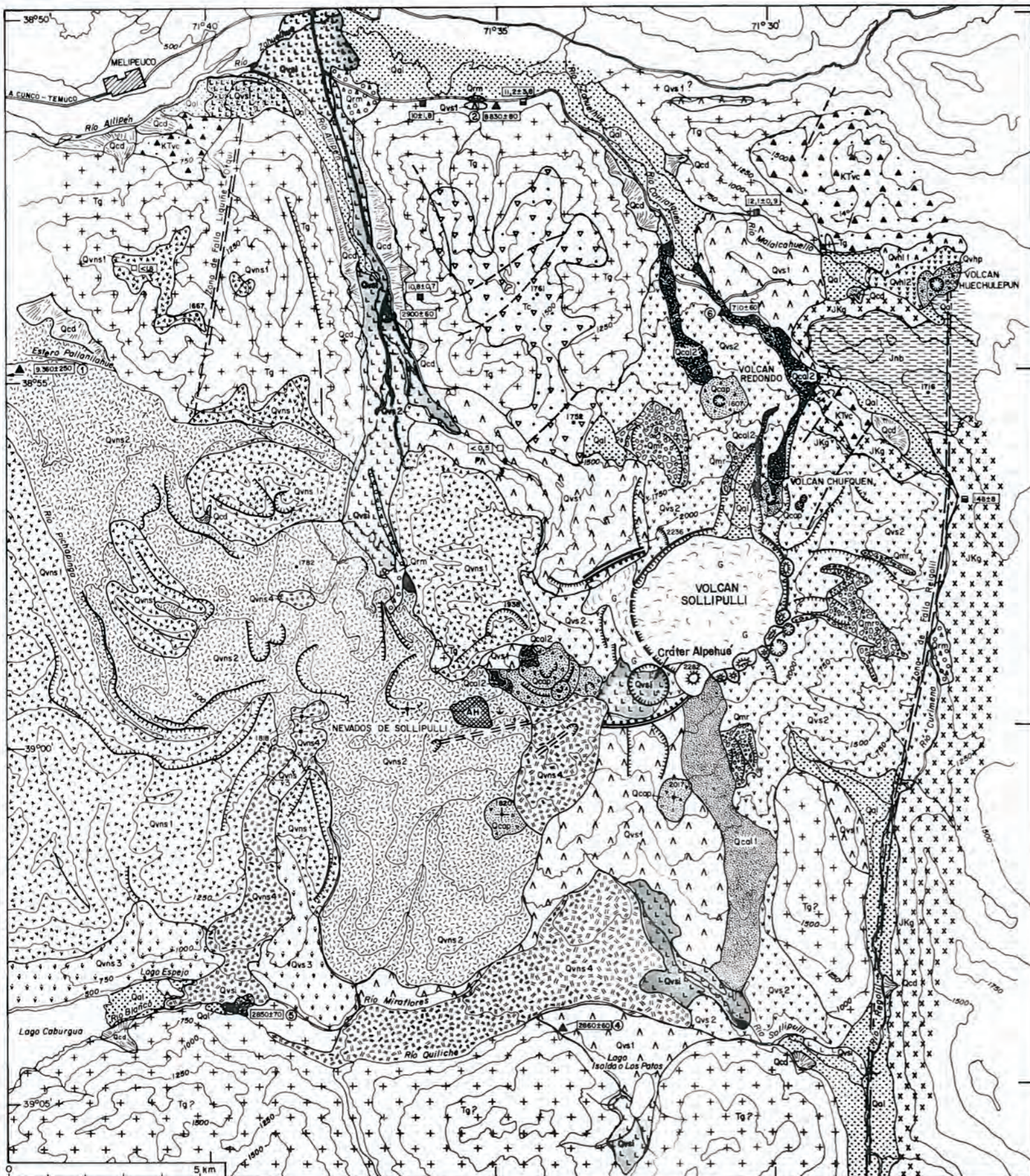
Estructuralmente, las rocas de las unidades descritas, están cortadas por dos zonas de falla de dirección NS-N10°E, paralelas. La más occidental, corresponde a la traza de la zona de falla Liquiñe-Ofqui; y la más oriental, ha sido denominada zona de falla Reigolil-Curarrehue. Entre ambas, se encuentra el volcán-caldera Sollipulli y un juego de fisuras que lo afecta, de dirección general N70°E.

Este basamento, fuertemente afectado por la erosión particularmente glaciaria del Cuaternario, forma el paleorrelieve abrupto, sobre el cual se edificó el cordón volcánico pleistoceno de los Nevados de Sollipulli.

CORDON VOLCANICO DE LOS NEVADOS DE SOLLIPULLI (QVNS)

Este complejo cordón volcánico, que se extiende desde el volcán Sollipulli hacia el oeste por unos 25 km, está compuesto por secuencias sobrepuestas

de estratos volcanogénicos que demuestran un avanzado estado de denudación, particularmente por la acción glaciaria cuaternaria (Fig. texto 3). El segmento más occidental es el más antiguo y consiste en una secuencia subhorizontal de brechas y lavas muy erosionada, con una suave pendiente hacia el oeste (Qvns1). Alcanza un espesor de 1.000 a 1.200 m y correspondería a los niveles inferiores y medios de la Formación Malleco, de edad principalmente pliocena (Emparan *et al.*, 1992). Los filos, sucesión de circos y hombreras de artesas glaciarias encajadas, muestran el avanzado estado de desgaste de esta secuencia. Probablemente, se trata de un cordón volcánico remanente de una cadena este-oeste de centros eruptivos, difíciles de identificar en la actualidad, cubierto en su extremo más oriental por emisiones más jóvenes. En efecto, hasta unos 15 km al oeste del volcán Sollipulli (Fig. texto 3), se extiende un cordón volcánico más moderno, con etapas sucesivas de evolución, representadas por flujos sobrepuestos emitidos desde diversos centros eruptivos y fisuras dispuestos en una dirección este-oeste (Qvns 2,3 y 4). La edad de estas secuencias es, esencialmente, pleistocena inferior (<1,8 Ma) y corresponderían a los niveles más altos de la



VOLCAN SOLLIPULLI

Qvsi Ignimbrita Alpehú (ca. 2.900 a.A.P.)
 i: Facies flujo pumiceo
 l: Facies flujo lahárico

Qvs2 Unidad 2 (Pleistoceno-Holoceno)
 Lavas e ignimbritas (basaltos a dacitas)

Qvs1 Unidad 1 (Pleistoceno superior)
 Lavas, brechas e ignimbritas (basaltos a dacitas)

CORDON VOLCANICO NEVADOS DE SOLLIPULLI

Qvns4 Unidad 4 (Pleistoceno superior)
 Lavas, lavas-domos

Qvns3 Unidad 3 (Pleistoceno superior)
 Lavas y brechas

Qvns2 Unidad 2 (Pleistoceno superior)
 Lavas y brechas subordinadas

Qvns1 Unidad 1 (Pleistoceno inferior)
 Lavas, brechas y tobas

VOLCAN HUECHULEPUN

Qvni2 l 2: lavas basálticas
 p: cono de piroclastos

Qvni1 Lavas basálticas

CENTROS ADVENTICIOS

Qcal2 l 2: lavas andestítico-basálticas
 Qcap p: conos de piroclásticos

Qcal1 Lavas andestíticas

Qcad Lava-domos dacíticos

DEPOSITOS SEDIMENTARIOS

Qcl Sedimentos aluviales y aluvionales

Qrm Depósitos de remoción en masa

Qcd Depósitos aluviales y conos de deyección

Qmr Depósitos morrénicos recientes

BASAMENTO DEL AREA VOLCANICA

Rocas estratificadas

Tc Mioceno
 Formación Curmallín: rocas volcánicas y sedimentarias.

KTvc Cretácico Superior-Terciario inferior
 Complejo Vizcacha-Cumileo: rocas volcánicas y sedimentarias.

JKg Jurásico Superior
 Cretácico Inferior Granitoides.

Jnb Jurásico Inferior a Medio.
 Formación Nacientes del Biobío: rocas sedimentarias.

Rocas plutónicas

Tg Mioceno Granitoides.

SIMBOLOGIA

- Cráteres
- Caldera más joven
- Caldera más antigua
- Fisuras volcánicas
- Cuellos volcánicos
- Centros eruptivos sin cráter
- Escarpes y circos glaciares
- Zonas de falla

- Rocas de falla
 - Rumbo y manto
 - Glaciares
 - Alteración hidrotermal
- Edades radiométricas**
- C¹⁴ 2.850±170
 - K-Ar in biolla
 - K-Ar in roca total
 - K-Ar in antílova

Base topográfica: Hojas Melipeuco, Nevados de Caburgua, Laguna de Icalma a escala 1: 50.000 del I.G.M. Proyección U.T.M.

FIG. texto 3. Mapa geológico del área del volcán Sollipulli.

Formación Malleco (Emparan *et al.*, 1992). La unidad más joven (Qvns 4) sería de edad intra y tardiglacial de la última glaciación (Würm), y sus respectivos flujos descienden y se alojan en el valle del río Blanco, aunque también muestran algo de erosión glaciaria. A esta unidad se ha asignado, además, un pequeño estratovolcán ubicado en el extremo suroeste de la caldera más antigua del volcán Sollipulli (Fig. texto 3).

VOLCAN SOLLIPULLI

Es una estructura compleja que consta, esencialmente, de dos unidades: a- una caldera de colapso más antigua, profundamente erosionada (<0,5 Ma, Qvs1) y, b- un segundo volcán-caldera (Qvs2) anidado en el extremo noreste de la anterior. Se han reconocido, además, emisiones de lavas tardiglaciales que han descendido hacia el sur. Por otra parte, a lo largo del margen sur y oriental de la caldera más joven, se han observado, a lo menos, 8 lava-domos dacíticas, cuyo emplazamiento fue controlado por una fisura semianular, estructuralmente ligada a ese margen. La notable erupción ocurrida hace ca. 2.900 años (Tabla 1) y motivo de esta investigación, tuvo lugar a través de un cráter de 1 km de diámetro, con una profundidad de 150 a 200 m. El emplazamiento de este cráter, denominado Alpehué, también fue controlado por la fisura anteriormente mencionada (Fig. texto 3; Lám. 1, Fig. 3).

Durante esta erupción se produjo un depósito de flujo piroclástico pumíceo (Ignimbrita Alpehué) que aflora, particularmente, en los valles de Alpehué (noroeste), Blanco (suroeste) y Sollipulli (sureste). Cabe señalar que la ignimbrita cubre un área de, a lo menos, 40 km², pero tiene espesores variables, entre pocos metros hasta unos 30 m. Además de los flujos, la erupción dio lugar a una importante columna pliniana cuyos productos fueron dispersados hacia

el ENE. Ambos depósitos son ampliamente descritos en este estudio.

En los alrededores del volcán, se han reconocido 4 cráteres de explosión en el flanco oriental y unos 8 centros adventicios, esencialmente conos de piroclastos (Qcap) con diversos estados de conservación, algunos de los cuales están asociados con flujos de lavas andesítico-basálticas. Los más antiguos no muestran cráter, debido a la avanzada erosión y, se presume, tienen una edad tardiglacial o posglacial temprana. Los más recientes están ligados a coladas de lava y se localizan en el flanco norte del volcán. Estos últimos corresponden a los conos Redondo y Chufquén, el último de los cuales es de sólo 710 años de antigüedad (Tabla 1), es decir, aproximadamente del año 1.240 de la Era Cristiana (Fig. texto 2).

El volcán-caldera más joven (Qvs2) presenta una secuencia parcialmente erosionada por la última glaciación (Würm). En su pared interna, exhibe una alternancia de lavas cortadas por conos dacíticos con diaclasamiento prismático radial, particularmente en su borde sur y sureste. La caldera de 4 km de diámetro ha servido de recipiente para la acumulación y preservación del hielo, el cual está en la actualidad, en lento retroceso (Fig. texto 2). El glaciar de la caldera tiene ca. 12,5 km² de superficie. En un reconocimiento geológico efectuado en 1989, con apoyo de un helicóptero, se recorrió la caldera y se realizaron observaciones en el borde sur, encontrándose una pared de hielo de tonalidades azulinas de, por lo menos, 80 m de espesor. Por otra parte, mediciones de espesor mediante radar de penetración durante el verano de 1993, revelaron que el glaciar tiene una profundidad media de 200 m. Además, se pudo comprobar que el piso de la caldera es irregular; en consecuencia, el volumen mínimo del glaciar sería de ca. 2 km³, lo cual equivale a un volumen de agua del orden de 1,6 km³, considerando una densidad aproximada de 0,8 g/cm³ para el glaciar.

GEOCRONOLOGIA DE ALGUNAS ERUPCIONES RECIENTES DEL VOLCAN SOLLIPULLI

Los productos de la erupción Alpehué generaron depósitos plinianos de caída de pómez, ignimbriticos y de oleadas piroclásticas asociadas. Esta erupción está vinculada al cráter Alpehué, adyacente al margen

suroeste de la caldera más joven. Los depósitos mencionados tienen distinta distribución geográfica; por lo que no se dispone de una sucesión representativa de estos productos, en una sola sección.

Los datos geocronológicos obtenidos en este estudio (Tabla 1), son concordantes con las observaciones de terreno y con la estratigrafía observada. Así también, éstos se correlacionan con los antecedentes cronoestratigráficos de algunos depósitos piroclásticos del volcán Llaima, ubicado 38 km al NNW del Sollipulli.

En la tabla 1, se muestran 6 edades radiométricas C^{14} obtenidas de muestras de madera carbonizada y turba. Estas representan depósitos de erupciones del Sollipulli, 4, y del Llaima, 2, las cuales se distinguen por sus relaciones estratigráficas, distribución y características composicionales.

TABLA 1. EDADES RADIOMETRICAS C^{14} DE MUESTRAS DE CARBON Y DE TURBA DE DEPOSITOS PIROCLASTICOS DE LOS VOLCANES SOLLIPULLI Y LLAIMA. DATACIONES REALIZADAS EN LOS LABORATORIOS DE BETA ANALYTIC INC., MIAMI, U.S.A.

Nº Correlativo	Edad y error (1 σ) (años antes de 1950)	Tipo de muestra, unidad y ubicación
1	9.360 \pm 250	Carbón (fragmentos), depósitos de oleada piroclástica (Llaima), Molulco
2	8.830 \pm 80	Turba, bajo el depósito de pómez pliniana (Llaima), Zahuelhue
3	2.900 \pm 60	Carbón (tronco), depósito de flujo piroclástico, Río Alpehué
4	2.860 \pm 60	Carbón (ramas), depósito de oleada piroclástica, oeste de Quiliche
5	2.850 \pm 70	Carbón (tronco), depósito de flujo piroclástico, Río Blanco
6	710 \pm 60	Carbón (ramas), lava del cono Chufquén, Río Carilafquén-Chufquén

Las edades Nos. 1 y 2 (Tabla 1) corresponden a depósitos de erupciones de etapas altamente explosivas del volcán Llaima (Naranjo y Moreno, 1991; Moreno *et al.*, 1991) depositados a lo largo de los valles de los ríos Zahuelhue y Allipén. La pómez pliniana del Llaima, infrayace claramente a depósitos plinianos del Sollipulli, con espesores variables de paleosuelo entre ellos (Lám. 1, Fig. 2).

Por otra parte, depósitos de oleadas piroclásticas distribuidos en el sector El Retiro, al suroeste de Melipeuco y a lo largo del estero Pallanilahue (Tabla 1, No. 1), en las cercanías del asentamiento Molulco (15 km al noroeste del volcán Sollipulli) se asignan al período de alta explosividad del volcán Llaima (13.000-7.400 a A.P.) por continuidad areal y afinidad

petrográfica.

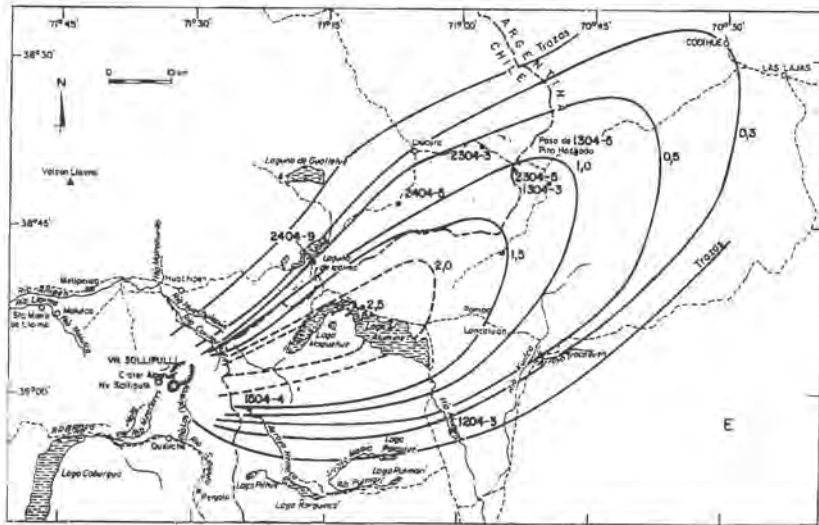
Las edades Nos. 3, 4 y 5 son notablemente concordantes y corresponden a depósitos de flujos piroclásticos ignimbríticos del sector Río Alpehué (Tabla 1, No. 3; Lám. 1, Fig. 4) al noroeste del volcán y Río Blanco (No. 5) al suroeste del Sollipulli. Hacia el sur se identificaron depósitos de oleada piroclástica (No. 4) con abundante material carbonoso. La concordancia radiométrica de estas tres edades, así como las afinidades de sus constituyentes litológicos (pómez), permiten asignar estos flujos a la erupción que generó el depósito pliniano de pómez, reconocido vastamente hacia el ENE de la caldera Sollipulli. En consecuencia, la erupción Alpehué habría ocurrido entre 2.780 y 2.960 a A.P.

PRODUCTOS DE LA ERUPCION ALPEHUE (2.900 a A.P.)

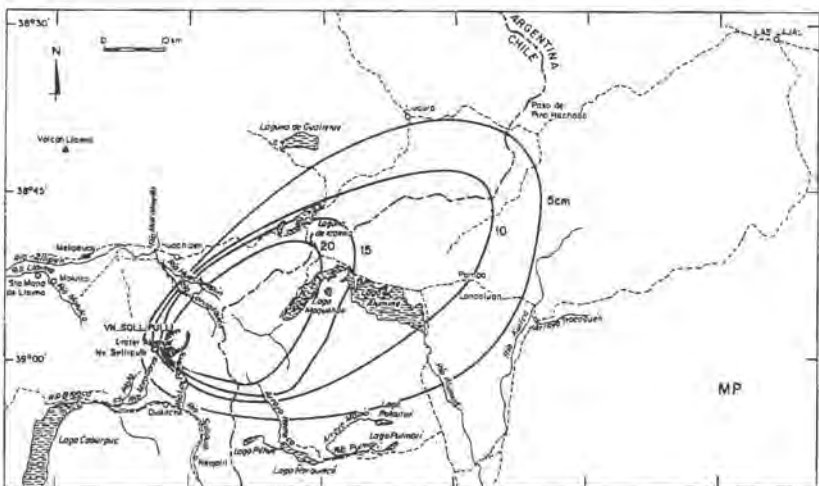
DEPOSITO PLINIANO DE CAIDA DE POMEZ

Este depósito corresponde a una unidad de amplia distribución hacia el ENE, compuesta de pómez de

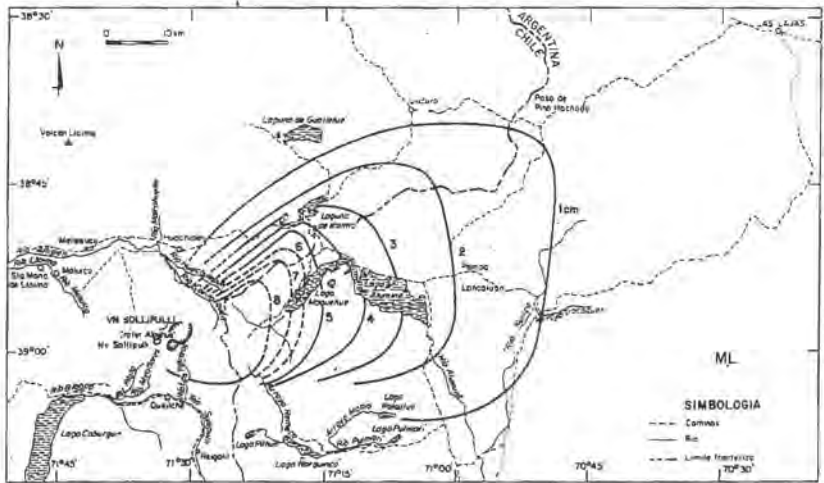
formas muy irregulares de color blanco grisáceo a pardo pálido y líticos angulosos, preferentemente accesorios. En la figura texto 4 se muestran los mapas de isópacas e isópletas del diámetro promedio



a



b



c

FIG. texto 4. Mapas de: a- isopacas, en metros (E); b- isopleías, en centímetros, del promedio del tamaño máximo de pómez (MP); c- isopleías, en centímetros, del promedio del tamaño máximo de líticos (ML), del depósito pliniano de la erupción Alpehú.

de los 5 clastos mayores de pómez (MP) y líticos (ML) observados en las diversas localidades estudiadas.

Los máximos espesores medidos del depósito, se aproximan a los 2 m a una distancia de 30 km del volcán, en el eje de dispersión de orientación N60°E. Este eje cruza el lago Moquehue y la localidad de Las Lajas en Argentina (Fig. texto 4). Por otra parte, bombas de hasta 28 cm de diámetro se observaron a 12 km del volcán, donde los líticos alcanzan, a su vez, 9,1 cm de diámetro.

El depósito pliniano pumíceo de la erupción Alpehué tiene una distribución continua sobre el relieve montañoso en territorio chileno. En cambio, sobre sectores más llanos del territorio argentino, sus exposiciones son más irregulares por redeposición eólica, debido al clima semiárido y la consecuente escasez de vegetación. En efecto, entre los sectores de la pampa Loncoluán y Las Lajas, la mayoría de los afloramientos muestran evidencias de removilización (Lám. 1, Fig. 5). Este hecho es particularmente notable, considerando la juventud del depósito, el cual generalmente está bajo un suelo de cenizas volcánicas escoriáceas, cuyo espesor varía entre 15 y 20 cm (Lám. 1 Fig. 2; Lám. 2, Fig. 1). Este depósito cubre una superficie mínima de ca. 5.100 km², y presenta clastos pumíceos de más de 2 cm de diámetro en los bordes laterales de dispersión. Su eje cruza por encima a su similar del Llaima (8.830 a A.P.), cuyo eje de distribución se orienta hacia el sureste (Naranjo y Moreno, 1991) (Lám.1 Fig. 2).

El depósito pliniano del Sollipulli es, en general, bien seleccionado, sin estratificación interna, lo cual sugiere un proceso eruptivo continuo. En algunos lugares, se presenta una delgada capa basal, de grano fino, generalmente con gradación normal, que corresponde a <10% del espesor total (Lám. 2, Fig. 3). Localmente, dentro del depósito principal, se insinúa una cierta gradación inversa en la base y normal en la parte más alta. Sin embargo, estos rasgos son difíciles de apreciar considerando la irregularidad de las formas de las pómez, lo que da un aspecto de mala compactación del depósito. Las pómez presentan vesículas de hasta 1 cm de diámetro, algunas de las cuales constituyen amígdalas de agregados cristalino-vítreos. Los líticos se distribuyen aleatoriamente en el depósito, sin que se aprecie incremento interno alguno (Lám. 2, Fig. 3).

Con el volumen estimado en 7,46 km³ de material

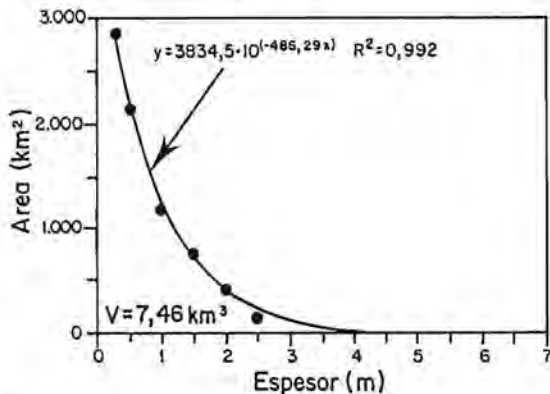


FIG. texto 5. Diagrama de espesor versus área incluida por la isópaca respectiva para el depósito pliniano de la erupción Alpehué. El volumen de 7,46 km³ se obtuvo por integración de la curva resultante.

piroclástico de caída (Fig. texto 5), el depósito de pómez Alpehué es similar a muchos otros depósitos tipificados como de actividad pliniana (Fig. texto 6). Su índice de dispersión D (= área dentro de la isópaca 0,01 T_{máx}, donde T_{máx} es el espesor máximo del depósito), es mucho mayor que 1.000 km², valor mínimo para depósitos plinianos (Walker, 1973, 1981). Sin embargo, de acuerdo a la distribución de los máximos fragmentos líticos (ML), se deduce que la erupción Alpehué fue particularmente violenta, al eyectar líticos de 9 cm de diámetro a más de 12 km de distancia. Esto se comprueba aplicando los valores de las dimensiones de las isópletas de líticos 1,6, y 3,2 cm ($s = 2.500 \text{ kg/m}^3$) al modelo de Carey y Sparks (1986, p. 121), resultando una columna eruptiva de entre 47 y 45 km de altura con vientos estratosféricos del WSW de 27 y 30 m/s, respectivamente. Considerando tanto el volumen eyectado, como la altura de la columna, se obtiene un índice de explosividad volcánica (VEI) de 5 (Newhall y Self, 1982).

Estos valores son algo mayores comparados con aquéllos obtenidos mediante otro método para determinar alturas de columnas, considerando las de áreas de isópletas versus tamaños máximos de pómez ($s = 500 \text{ kg/m}^3$) y líticos ($s = 2.500 \text{ kg/m}^3$) que se muestran en la figura texto 7 (Carey y Sparks, 1986). En ambos casos, se obtuvo valores de 41-42 km para la altura máxima de la columna. Cabe destacar que los datos revelan que la erupción Alpehué desarrolló una columna pliniana de, a lo

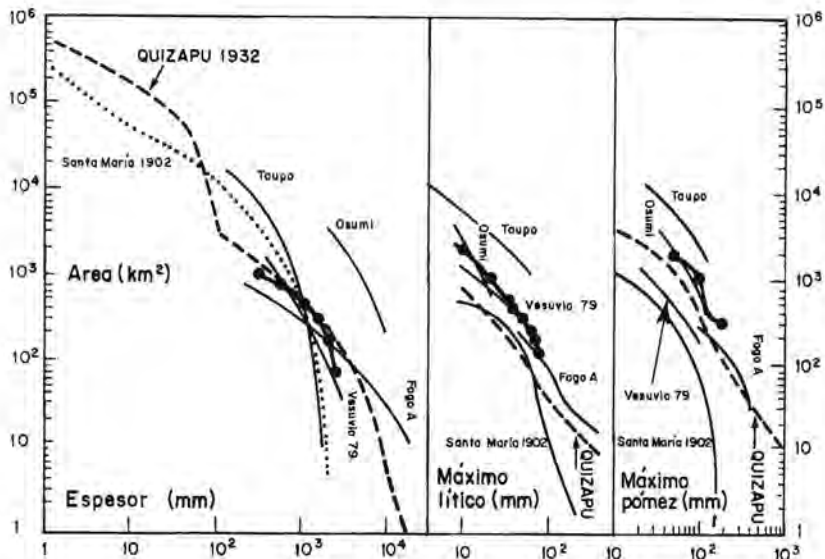
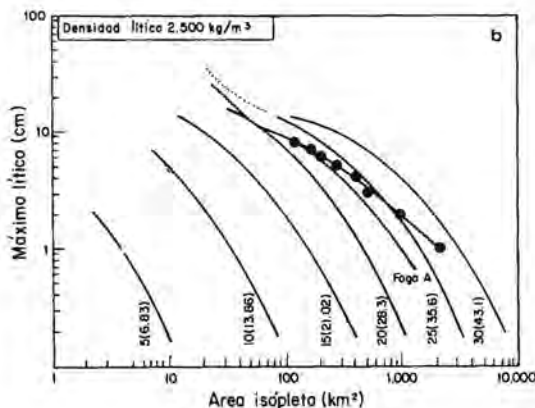
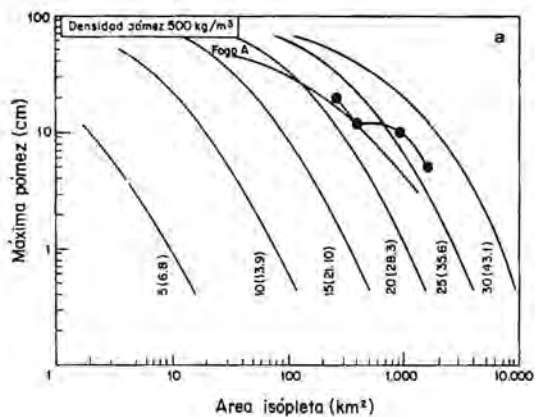


FIG. texto 6. Áreas en kilómetros cuadrados incluidas por la isópacas e isópletas de máximos tamaños de pómez (MP) y líticos (ML), ambas en mm, de la erupción Alpehué (línea gruesa con puntos). Valores comparados en el diagrama de Hildreth y Drake (1992), donde se muestran, además, otras erupciones plinianas.



menos, 10 km más alta que la erupción paroxismal Fogo A (San Miguel de Azores en 1563; Walker y Croasdale, 1971).

Considerando la geometría del depósito, su volumen y la energía eruptiva, es muy probable que la erupción haya ocurrido en un tiempo breve, aparentemente menos de 1 día, con fuertes vientos del WSW y, en consecuencia, buenas condiciones meteorológicas.

DEPOSITOS DE FLUJO PIROCLASTICO Y FACIES ASOCIADAS (IGNIMBRITA ALPEHUE)

Sobre el fondo de los valles del noroeste y sur del volcán Sollipulli, afloran remanentes erosionados de un flujo piroclástico de pómez y ceniza, denominado ignimbrita Alpehué (Lám. 2, Fig. 2). Estos depósitos no se han observado en contacto con aquéllos de caída de pómez, debido a su distinta distribución geográfica. Esta ignimbrita cubre un área de sólo 40

FIG. texto 7. Diagramas de áreas de isópletas versus tamaño de clasto para alturas de columnas eruptivas entre 7 y 43 km (Carey y Sparks, 1986) con densidades de clastos de a- 500 kg/m³ y b- 2.500 kg/m³. En ambos casos, la columna eruptiva del Sollipulli habría llegado hasta los 41-42 km de altura, sobrepasando a la de Fogo A, San Miguel de Azores (Walker y Croasdale, 1971).

km², habiéndose reconocido únicamente en los valles de los ríos Alpehué (hasta 12 km al noroeste), Blanco (hasta 15 km al suroeste), Quililche y Sollipulli (hasta 10 km) al sur y sureste, respectivamente. Sus espesores máximos observados alcanzan 30 m a unos 15 km del volcán, lo cual varía dependiendo de las características del relieve preexistente de los valles. Con estos antecedentes se estimó un volumen de 0,4 km³ para la ignimbrita de Alpehué, considerando un espesor medio de 10 m.

Estos depósitos presentan una coloración grisácea a pardo pálida, debido principalmente a los fragmentos juveniles de pómez (Lám. 2, Fig. 2). Estos son de tamaño lapilli a bombas y de formas subesféricas a subelongadas. Tamaños máximos de hasta 70 cm de diámetro han sido reconocidos en el valle Alpehué, a 14 km del volcán. Los fragmentos presentan, generalmente, algún grado de redondeamiento producido por abrasión durante el transporte. Las pómez son fibrosas, con agregados vitrocristalinos ('augen vesicles' no deformadas) con plagioclasa + orto y clinopiroxeno, olivino y escasos opacos. Los líticos corresponden mayoritariamente a fragmentos accidentales de lavas, obsidiana y juveniles densos, con variados contenidos de fenocristales de la misma mineralogía que las pómez. El grado de cohesión del depósito es mayor donde se encuentra enriquecido en finos. En general, los constituyentes de la matriz no presentan alteración, aunque se aprecian diversos grados de intemperización en las pómez y en la matriz.

La ignimbrita es esencialmente no-soldada en la mayoría de los sectores, aunque en el centro de emisión (cráter Alpehué) aflora como un depósito soldado. Observaciones de detalle en las facies intermedias y cistales, evidencian que sus rasgos estructurales internos varían lateral y longitudinalmente. En efecto, las facies canalizadas al centro del valle presentan un aspecto macizo (Lám. 2, Fig. 2) y son ricas en pómez, con contenidos variados de líticos, cristales y ceniza fina. En las cercanías del volcán se han reconocido afloramientos de lava-domos similares a los líticos juveniles, aunque de aspecto más vítreo, con inclusiones vesiculares relativamente menos silíceas.

Las estructuras de fluidización como pipas y tubos empobrecidos en finos, consecuentemente enriquecidos en pómez y líticos (Lám. 2, Fig. 5), y la presencia de troncos y ramas carbonizadas (Lám. 1, Fig. 4), demuestran un emplazamiento a temperaturas

elevadas para estas facies, las cuales localmente, muestran distintas unidades de flujo (hasta 4 unidades en las inmediaciones del río Blanco. Las estructuras de pipas de fluidización están particularmente bien desarrolladas en los niveles más bajos cercanos a los lechos de los ríos y, probablemente, se formaron por la incorporación de vapor de agua, al entrar el flujo en el cauce.

Aunque no se ha observado una continuidad de afloramientos, hacia los costados del valle, se distinguen unidades más delgadas que incluyen varios tipos de facies de diversa composición y estructura interna (Fig. texto 8). Algunas muestran rasgos de depósitos delgados del tipo 'barniz' ignimbítico, como se ha descrito para la ignimbrita Taupo, en Nueva Zelanda (Walker *et al.*, 1991; Wilson, 1985), particularmente por la presencia de lentes pumíceos empobrecidos en finos. Otras facies son texturalmente idénticas a las canalizadas y serían su equivalente lateral, depositado sobre sectores de terrazas más elevadas. Un tercer tipo corresponde a facies empobrecidas en finos, con líticos y pómez menores que las facies macizas canalizadas, con estratificación planar y dunas superpuestas. Estos depósitos serían semejantes a las ignimbritas empobrecidas en finos reconocidas en Taupo, emplazadas en un régimen turbulento producido por la incorporación de vegetales. Esto daría lugar a una excesiva pérdida de finos y, en consecuencia, una rápida sedimentación (Walker *et al.*, 1980). Localmente, tan sólo en una distancia de 20 m, estas facies gradan lateralmente desde los depósitos relativamente ricos en pómez gruesas.

En forma restringida, hacia el sur del Sollipulli, en el sector oeste de Quililche, se han reconocido depósitos delgados (de hasta 1 m de espesor), con estratificación paralela y cruzada, acumulados sobre una pendiente de más de 30°. En general, son mal seleccionados, aunque individualmente los niveles muestran cierta selección y gradación inversa, con tamaños desde lapilli fino a bombas pumíceas y líticos muy subordinados. Estos incluyen abundantes restos de ramas carbonizadas de coligüe.

Al igual que las facies laterales a lo largo del río Alpehué, estos depósitos corresponden a los equivalentes diluidos, de baja densidad y emplazados en zonas más elevadas, del flujo ignimbítico canalizado por los valles del Blanco y Sollipulli. Sus rasgos texturales y estructurales son, en parte, similares a depósitos de oleadas de base piroclástica observadas



FIG. texto 8. Aspecto que presentan las diversas facies laterales de la ignimbrita Alpehué, en los sectores elevados de los costados del valle homónimo.

en el volcán Laima (Naranjo y Moreno, 1991), aunque aquéllos son más macizos y, aparentemente, fueron generados a partir de explosiones dirigidas.

Las facies distales de la ignimbrita Alpehué, se reconocen en la desembocadura del río homónimo hacia el valle del Zahuelhue. Se trata de un lóbulo, tipo depósito de flujo de barro, de 4 km de ancho este-oeste y aproximadamente 2 km de largo norte-sur. Corresponde a un depósito polimítico, macizo y homogéneo de más de 3 m de espesor, localmente erosionado por acción fluvial. Incluye sólo un 20% de pómez bien redondeadas de 3-15 cm de diámetro y abundantes clastos líticos (en partes de hasta 20 cm

de diámetro) de granitos y rocas volcánicas negras. Se han reconocido pequeñas vesículas o burbujas adheridas a las superficies de algunos clastos y en la matriz fina. Este depósito corresponde a un flujo de facies transicional o lahar de alta temperatura ('mugnimbrite') a juzgar por su composición y estructura interna, emplazado sobre la ignimbrita. El desarrollo de este flujo se habría producido por fusión parcial del hielo glaciar y/o nieve existente sobre el volcán y se emplazó inmediatamente con posterioridad a la ignimbrita, como una corriente lahárica canalizada y de menor velocidad.

ESTUDIOS GRANULOMETRICOS

DISTRIBUCION DE FRAGMENTOS

Los mapas de isópletas (Fig. texto 4) muestran la caída de bombas de pómez de hasta 20 cm a distancias de 30 km hacia el noreste y fragmentos líticos de 5 cm hasta 25 km hacia el este del Sollipulli. Las isópletas de pómez desarrollan un lóbulo bien definido con un eje de dirección N50°E. Las isópletas de los líticos, en

cambio, desarrollan una dispersión de ángulo más abierto al este. Efectivamente, éstas exhiben un mayor ancho norte-sur hacia el oriente.

Las áreas incluidas por las diversas isópacas e isópletas de la erupción Alpehué, son comparables con otros depósitos plinianos de pómez que han sido bien estudiados. Esto se puede observar en la figura texto 5 que incluye esos parámetros para la

erupción del volcán Quizapu 1932 (Hildreth y Drake, 1992), la mayor del presente siglo ocurrida en los Andes. Las características de la dispersión producida por la erupción Alpehué fueron de gran magnitud, según se aprecia en el diagrama área incluida *versus* espesor máximo lítico y máxima pómez. Sin embargo, queda también demostrado que estos parámetros no varían proporcionalmente con la magnitud del fenómeno cuando se les compara con sus respectivas áreas. Las inflexiones observadas (*i.e.* Quizapu 1932) serían consecuencia de variaciones de las características de dispersión producidas entre sectores proximales-medios de caída de pómez y sectores distales de caída de ceniza fina (Hildreth y Drake, 1992). En el caso del Sollipulli, se ha observado una escasez de exposiciones confiables al noreste del lago Alumine, debido a la intensa removilización eólica en los sectores cordilleranos de sotavento.

SELECCION Y PROPORCION DE COMPONENTES

Se efectuaron 28 análisis de tamizajes de muestras de los depósitos de la erupción Alpehué, utilizando mallas a intervalos de $\phi = 1$ ($\phi = -\log_2 N$, donde $N =$ tamaño del grano en mm). Se graficaron las respectivas curvas acumulativas con el fin de obtener los parámetros estadísticos de distribución. Estos parámetros (Inman, 1952) corresponden al diámetro medio:

$$Md_0 = \sigma_{50} \text{ y } \sigma = (\sigma_{84} - \sigma_{16})/2$$

que corresponde a la desviación estándar gráfica, es decir, un parámetro que mide el grado de selección. Complementariamente se hizo la separación de los componentes principales de los depósitos: pómez (incluyendo ceniza y esquirlas de vidrio), cristales y líticos.

Los depósitos de caída de pómez e ignimbríticos de la erupción Alpehué, muestran distintos grados de selección cuando se grafican en el diagrama Md_0/σ . Efectivamente, allí se puede observar (Fig. texto 9) que ambos depósitos caen en los respectivos campos característicos señalados por Walker (1971). Para las diferentes isópacas, el depósito pliniano muestra, en general, una buena selección ($s < 2$), contrariamente a los depósitos de flujo piroclástico, la mayoría de los cuales tiene valores en el intervalo 2-4.

La distribución granulométrica y de componentes de muestras representativas seleccionadas de los

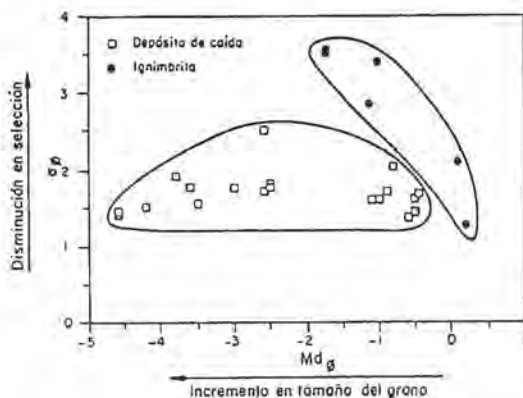


FIG. texto 9. Diagrama Md_0/σ para los depósitos plinianos e ignimbrítica de la erupción Alpehué.

diferentes depósitos de la erupción, se muestran en los histogramas de la figura texto 10. La presencia de clastos de pómez y líticos relativamente más grandes, hace que el depósito ignimbrítico sea pobremente seleccionado, comparado con el depósito pliniano. Los histogramas de frecuencia de tamaño muestran, además, distribuciones polimodales y unimodales para los depósitos de la ignimbrítica y de la pómez pliniana, respectivamente, lo que es concordante con sus correspondientes modalidades de formación.

Debido a la existencia de un mayor número de buenas exposiciones del depósito pliniano al norte del eje de dispersión, se ha podido contar con más antecedentes que en el resto del depósito. Generalmente la distribución granulométrica del mismo es unimodal (Fig. texto 10). Sin embargo, las facies distales (> 40 km) principalmente del sector norte del área cubierta, muestran una tendencia bimodal por la aparición de cristales en la fracción $\phi = 0$ y 1 (1 y 1/4 mm), debido al grado de fragmentación de los componentes. Es probable que la acción del viento haya tenido una influencia seleccionadora en el sector sotavento cordillerano. Asimismo, a 40-45 km desde el volcán hacia el ENE, también se manifiesta un aumento de la granulometría de las pómez en relación a los otros componentes más densos, como los líticos que son particularmente muy abundantes. Este efecto, se ve reflejado con el desarrollo de un lóbulo cuyo eje tiene una dirección N50°E para las isópacas de pómez (Fig. texto 4b), que difiere notablemente con la forma más ancha de las isópacas de máximos líticos (Fig. texto 4c). A poco más de 12 km al ESE del volcán, el depósito pliniano de 1,5 m

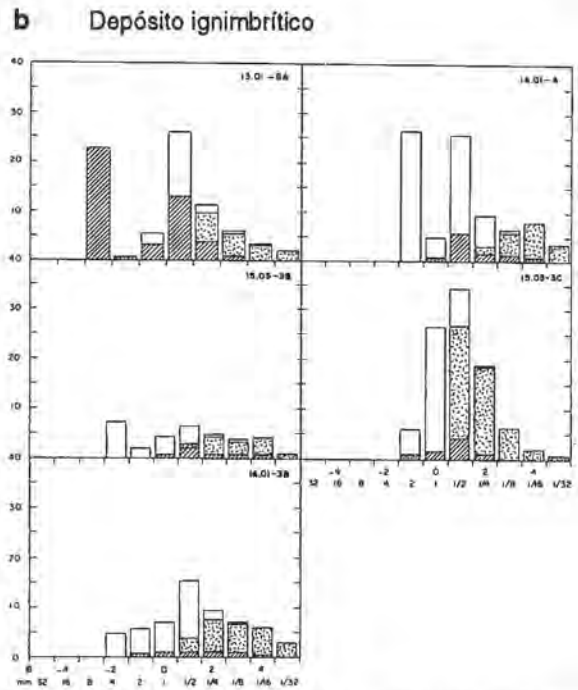
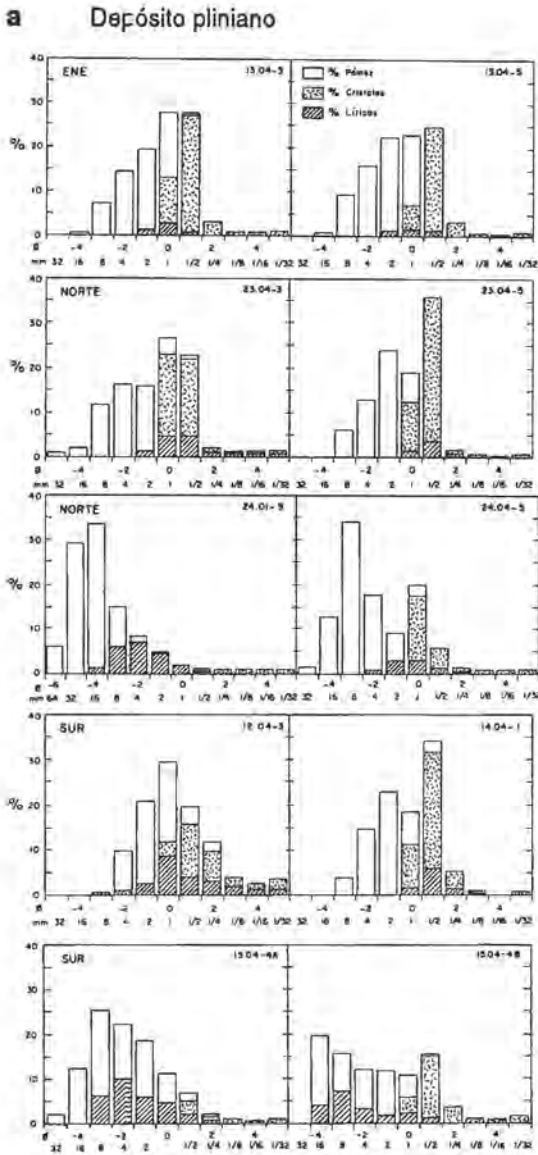


FIG. texto 10. Histogramas que ilustran la variación granulométrica y proporción de componentes (% peso) para muestras seleccionadas de los depósitos piroclásticos de la erupción Alpehué; a- depósito pliniano; b- ignimbrita. La ubicación de las muestras del depósito pliniano se indica en la figura texto 4 a.

de espesor, muestra un nivel basal de 15 cm, unimodal, bien seleccionado (muestra 1504-4A; Fig. texto 10); lo que contrasta con la distribución gra-

nulométrica polimodal del depósito macizo (muestra 1504-4B; Fig. texto 10). El nivel basal, con un alto contenido de líticos de obsidiana, correspondería a un depósito de una fase eruptiva inicial freatomagmática, que se caracterizó por un alto grado de fragmentación. Esa fase habría perdurado durante el resto de la erupción, lo que explicaría la coexistencia de una importante fracción fina de 0,5 mm ($\sigma = 1$), rica en cristales, con una fracción más gruesa de pómez de hasta 28 cm y líticos de hasta 9,1 cm de diámetro.

PETROGRAFIA Y GEOQUIMICA

GENERALIDADES

Se muestrearon principalmente componentes juveniles de la erupción Alpehué y lavas del volcán Chufquén. Se seleccionaron 8 muestras de pómez

y líticos juveniles, y una muestra de lava andesítico-basáltica, de una de las erupciones más recientes (710 a. A.P.) del volcán Sollipulli, para efectuar análisis petrográficos y geoquímicos.

TABLA 2. PETROGRAFIA Y MINERALOGIA DE MUESTRAS DE LA ERUPCION ALPEHUÉ Y DE UNA LAVA RECIENTE DEL VOLCAN SOLLIPULLI.

Muestra	Fenocristales					Masa fundamental			
	%	OI	Cpx	Opx	Plg	%	Plg	Opacos	Vidrio
1103-3 ⁽¹⁾	20	+	+	+	+++	80	++++	++	++++
1003-1B ⁽²⁾	10		++		+++	90	++++	+	++++
1003-2 ⁽³⁾	10	+	+	++	+++	90	+++		++++
1003-1A ⁽⁴⁾	2		+		++	97	+++		+++++
2404-10 ⁽⁵⁾	3		+		++	98	+++		+++++
1504-4B ⁽⁶⁾	3	+	+	++	++	97	+++		+++++
1404-5 ⁽⁷⁾	2		++		++	98	++++	+	+++++

¹ Lava andesítico-basáltica del cono piroclástico Chufquén

² Lítico juvenil con cúmulos cristalinos, de la Ignimbrita Alpehué

³ Pómez densa (pseudobsidiana), lítico de la Ignimbrita Alpehué

⁴ Pómez de la Ignimbrita Alpehué

⁵ Pómez del depósito pliniano de la erupción Alpehué (Lago Icalma)

⁶ Pómez del depósito pliniano de la erupción Alpehué (Arroyo Remeco, Argentina)

⁷ Pómez del depósito pliniano de la erupción Alpehué (Lago Alumíné, Argentina)

PETROGRAFIA

Las rocas seleccionadas corresponden a andesitas, andesitas basálticas y dacitas de piroxeno, además de una obsidiana riolítica, todas de mineralogía similar. En la tabla 2, se muestran análisis petrográficos de muestras representativas.

Las pómez están constituidas por más de un 97% de vidrio y el resto corresponde a glomerocristales de clino y ortopiroxeno en cúmulos o amígdalas con plagioclasa (+ olivino) (Lám. 2, Fig. 4). El vidrio de la masa fundamental sólo muestra microlitos de plagioclasa y grandes vesículas (≤ 1 cm). Generalmente, el vidrio presenta una textura eutaxítica, con aspecto fibroso producido por la deformación 'flu dal' de las vesículas, generando un estiramiento de las mismas. Aquéllas con inclusiones vitro-cristalinas, constituyen verdaderas amígdalas a las cuales no afecta la deformación eutaxítica. En efecto, el agregado cristalino se encuentra inmerso en un vidrio de burbujas perfectamente esféricas (con fracturamiento perlítico), formando verdaderos 'augen vesicles' no deformados (Lám. 2, Fig. 6).

La muestra 1003-2 corresponde a una pómez densa (pseudobsidiana) incluida como clasto accesorio de la ignimbrita. Tiene un 10% de glomerocristales, de la misma mineralogía de los agregados cristalinos de las amígdalas (plag+cpx+opx+olivino). La muestra 1003-1 B representa un fragmento

lítico juvenil con la misma mineralogía de las pómez, aunque con mayor cantidad de cúmulos cristalinos (10%). Su masa fundamental microcristalina de color pardo, incluye microlitos de plagioclasa y opacos inmersos en el vidrio intersticial. La muestra 1103-3 corresponde a una lava porfírica (andesita basáltica de plag + cpx + opx y olivino) con abundantes microfenocristales (20%) y microlitos opacos en la matriz. Como ocurre en las demás rocas analizadas, los fenocristales también se presentan comúnmente en cúmulos.

Macroscópicamente, se observaron bombas vesiculares mezcladas, con bandas nítidas de pómez blancas y de escoria negra, de 3 a 4 cm de ancho (Lám. 2, Fig. 7). Las bandas de pómez blancas son petrográficamente idénticas a las pómez típicas de la erupción Alpehué.

GEOQUIMICA

En la tabla 3, se muestra la composición de elementos mayores de 7 muestras seleccionadas, que representan a los productos juveniles emitidos durante la erupción Alpehué (2.900 a.A.P.) y del cono adventicio Chufquén. Las muestras 1504-4B y 1003-1 A corresponden a pómez del depósito pliniano y de la ignimbrita, respectivamente. La muestra 1003-1 B es un lítico juvenil y la 1003-2 es una pómez densa

TABLA 3. ANALISIS QUIMICOS DE MUESTRAS SELECCIONADAS DE LA ERUPCION ALPEHUE Y DE UNA LAVA RECIENTE DEL VOLCAN SOLLIPULLI.

Muestra	1003-2 ⁽¹⁾	1003-1A ⁽²⁾	1504-4B ⁽³⁾	1003-1B ⁽⁴⁾	1093-3A ⁽⁵⁾	10933B ⁽⁶⁾	1103-3 ⁽⁷⁾
SiO ₂	73,43	67,25	67,19	56,55	66,38	56,65	53,54
TiO ₂	0,23	0,52	0,53	1,05	0,57	1,10	1,31
Al ₂ O ₃	13,60	15,47	15,45	17,68	15,74	17,77	17,53
Fe ₂ O ₃	0,73	1,02	1,15	2,03	1,45	3,15	3,40
FeO	1,04	2,29	2,16	5,32	2,21	4,35	5,42
MnO	0,04	0,08	0,08	0,14	0,08	0,15	0,15
MgO	0,20	1,01	0,96	4,07	1,01	2,99	4,76
CaO	0,84	2,96	2,63	7,65	2,85	6,74	8,78
Na ₂ O	4,57	4,57	4,47	3,82	4,93	4,60	3,58
K ₂ O	4,27	2,98	2,92	1,24	3,03	1,23	1,04
P ₂ O ₅	0,04	0,12	0,13	0,23	0,14	0,23	0,26
ppc	0,88	1,68	2,15	0,16	1,48	0,81	0,18
Suma	99,87	99,95	99,82	99,94	99,87	99,87	99,95

¹Pómez densa (pseudo absidiana), lítico de la ignimbrita Alpehué

²Pómez de la ignimbrita Alpehué

³Pómez del depósito pliniano de la erupción Alpehué (Arroyo Romero, Argentina)

⁴Lítico juvenil con cúmulos cristalinos de la ignimbrita Alpehué

⁵Banda pumícea de fragmento juvenil del depósito pliniano de la erupción Alpehué, margen norte de la caldera

⁶Banda escoriícea de fragmento juvenil del depósito de la erupción Alpehué, margen norte de la caldera

⁷Lava andesítico-basáltica del cono proclásico Chufquén

(obsidiana), ambas de la ignimbrita. Las muestras 1093-3A y 3B, representan fragmentos juveniles bandeados de pómez y escoria, respectivamente

(Lám. 2, Fig. 7). Finalmente, la muestra 1103-3 corresponde a la lava andesítico-basáltica emitida por el volcán Chufquén de 710 a A.P., posiblemente la erupción más reciente del volcán Sollipulli (año 1.240 de la Era Cristiana).

El contenido de SiO₂ de estas muestras exhibe una tendencia, aparentemente, bimodal. Las rocas más básicas tienen contenidos de 53,5-56,6% SiO₂ y las más ácidas, de 66,4-73,5% SiO₂. De acuerdo al sistema de clasificación de Peccerillo y Taylor (1976), los productos pumíceos de la erupción Alpehué corresponden, fundamentalmente, a dacitas de alto potasio (Fig. texto 11). Sin embargo, durante el proceso eruptivo también se emitieron constituyentes riolíticos de tipo obsidiana y andesíticos juveniles. En este diagrama se han incluido, además, los componentes de la erupción pliniana del volcán Llama (8.830 a A.P.), la cual mostró una evolución desde dacítica a andesítica, a medida que eran evacuados los niveles inferiores y menos diferenciados de su cámara magmática (Naranjo y Moreno, 1991).

En el caso del volcán Sollipulli, las variaciones de la mayoría de los elementos mayores con respecto al contenido de sílice, muestra una cierta proporcionalidad (compatible o incompatible), según se muestra en los diagramas Harker de la figura texto

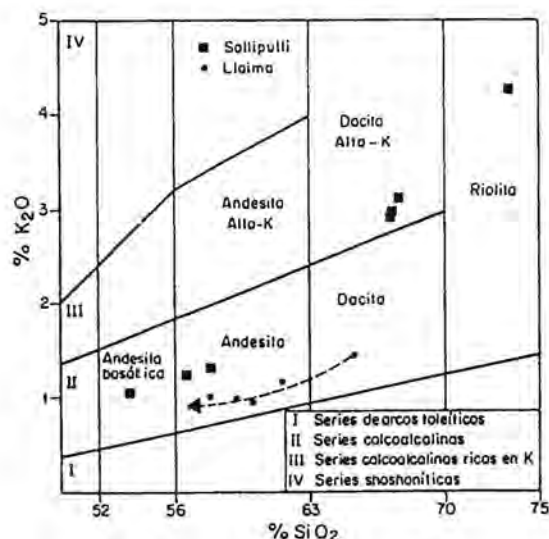


FIG. texto 11. Composición química de piroclastos de la erupción Alpehué y lava del volcán Chufquén (andesita basáltica). Diagrama de Peccerillo y Taylor (1976). Se incluye la tendencia de la erupción pliniana del Llama a modo de comparación.

12, en los cuales se destacan las tendencias más dispersas comparadas con las de la erupción pliniana del volcán Llaima; además, se evidencia la ausencia de productos de composiciones intermedias. Por

otra parte, esta variación está claramente reflejada en los análisis de la muestra 1093-3A y 3B, la cual evidencia, también, un proceso de mezcla de magmas inmiscibles vinculado a la erupción Alpehué.

DISCUSION

Durante la erupción Alpehué fueron eyectados materiales piroclásticos juveniles, los cuales, según

antecedentes petrográficos y geoquímicos preliminares, son muy disímiles, notándose la

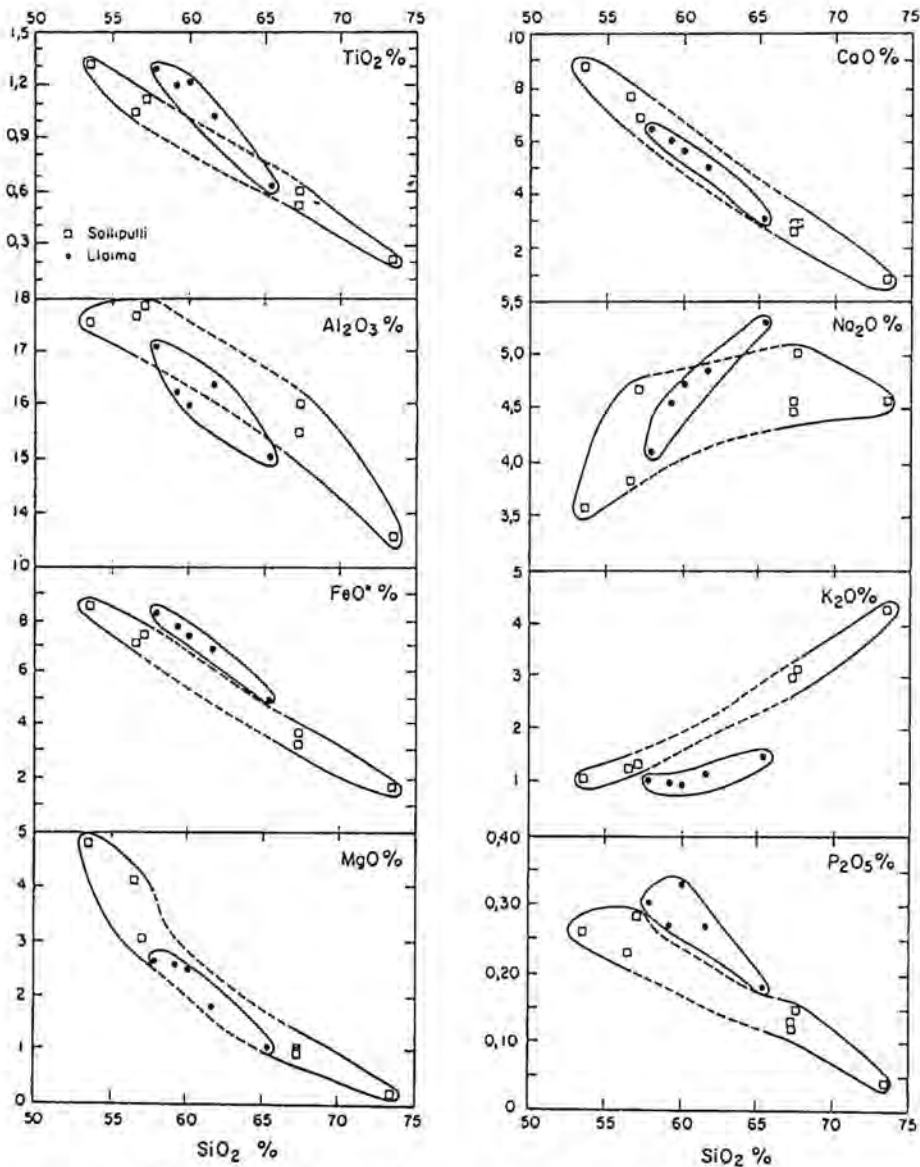


FIG. texto 12. Diagrama Harker de composición de elementos mayores de rocas del volcán Sollipulli y de la pliniana del Llaima.

ausencia de productos intermedios entre andesitas basálticas (< 56,6% SiO₂) y las dacitas-riolitas. En consecuencia, el fenómeno eruptivo bimodal, habría sido desencadenado por una mezcla de magmas de diferentes composiciones. Según Sparks *et al.* (1977) y Huppert *et al.* (1982), este proceso se produce inmediatamente antes de erupciones explosivas, siendo éstas el factor desencadenante. Sobre la base de estos antecedentes, se infiere la existencia de una cámara magmática diferenciada y zonada, cuyo volumen se ha estimado en más de 4 km³, considerando el equivalente de roca densa para el material eyectado. La abundante pómez dacítica, además de a presencia de bombas bandeadas en los productos emitidos de la erupción Alpehué, indicarían que el proceso de mezcla se desarrolló con la inyección de un gran volumen de magma básico, de baja viscosidad, dentro de la parte alta de la cámara. Esta habría estado ocupada por un magma dacítico de alta viscosidad y de menor volumen, de acuerdo al modelo de Kouchi y Sunagawa (1983). Durante el proceso expansivo, este magma dacítico habría incorporado los glomero cristales y burbujas de vidrio de textura perlítica, más fríos, existentes en los márgenes de la cámara, dando como resultado la textura glomeroporfírica de las pómez.

La expresión superficial del magma más primitivo

del Sollipulli, corresponde a las lavas de los centros adventicios y en su ascenso a la superficie, habría utilizado fracturas ancestrales radiales o concéntricas, ubicadas en las márgenes de la cámara del volcán, dando origen a los conos edificadas fuera de la caldera (Fig. texto 13).

El volumen total mínimo estimado para el depósito de pómez pliniano (ca. 7,5 km³) sumado al volumen de la ignimbrita (ca. 0,4 km³), indica un total emitido de, aproximadamente, 7,9 km³ para esta erupción. Considerando los porcentajes relativos de pómez, líticos y cristales, se puede inferir que la densidad promedio de ambos depósitos es de aproximadamente 1,5 gr/cm³. En consecuencia, el volumen equivalente de roca densa (D.R.E.) del material total emitido, habría sido de unos 4,7 km³.

La erupción se caracterizó por una columna pliniana de gran altura, con una máxima de unos 44 km. En consecuencia, el radio del cráter inicial era relativamente reducido para que la columna lograra tal altura. Según Wilson *et al.* (1980), con un radio variable de hasta 400 m para el cráter, el punto crítico de colapso se produce cuando el porcentaje en peso del contenido gaseoso alcanza un mínimo de 2% y la velocidad de eyección es menor que 400 m/s. Por otra parte, Wilson *et al.* (1978) han determinado empíricamente una relación entre la altura de la

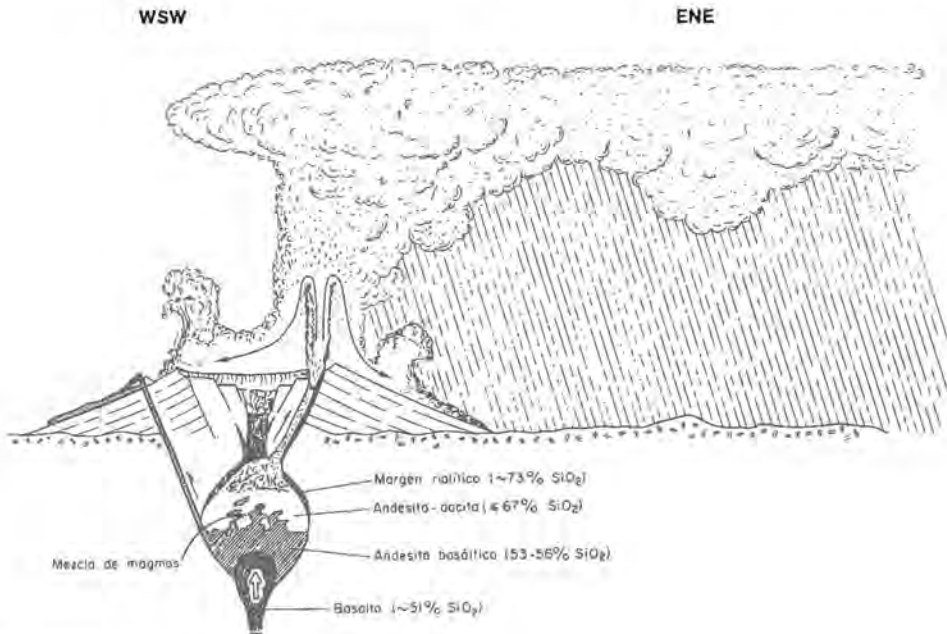


FIG. texto 13. Modelo esquemático para la erupción Alpehué.

columna eruptiva y la tasa de emisión (m^3/seg). En el caso de la erupción Alpehué, con una columna de 44 km de altura, las tasas de erupción habrían variado entre $5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{seg}$ y $10^6 \text{ m}^3/\text{seg}$. Considerando que el volumen emitido se ha estimado en $7,5 \text{ km}^3$, la erupción pliniana habría durado entre 4,2 y 2,1 horas, respectivamente. Este proceso estuvo asociado, además, con la generación de los flujos piroclásticos. Estos flujos se desplazaron

rápido, en particular hacia el sector noroeste, oeste y sur del volcán. Debido a la presencia de hielo y nieve en el interior y flancos de la caldera, se generaron lahares calientes, que descendieron por sobre la ignimbrita, erosionándola en parte y canalizándose a lo largo de ella, dando lugar al desarrollo de un lóbulo distal claramente definido en el extremo norte del valle de Alpehué.

CONCLUSIONES

- El volcán Sollipulli es un estratovolcán caldera activo que aloja un glaciar de más de 2 km^3 de volumen. Su actividad más reciente correspondería a una erupción en un cono parásito (volcán Chufquén), ocurrida en el siglo XIII de la Era Cristiana.

- La erupción paroxismal de 2.900 a. A.P. (erupción Alpehué), provocó una columna pliniana de unos 44 km de altura, con un volumen estimado en $7,5 \text{ km}^3$ ($\text{VEI} = 5$), además de flujos piroclásticos pumíceos de aproximadamente $0,4 \text{ km}^3$. Esta erupción ocurrió en un cráter de 1 km de diámetro, ubicado en el margen suroeste de la caldera más reciente del volcán Sollipulli.

- La densidad media de los depósitos, notablemente ricos en líticos y cristales, es de alrededor de $1,5 \text{ gr/cm}^3$, por lo cual su volumen equivalente en roca densa (D.R.E.), es de ca. $4,7 \text{ km}^3$.

- La composición de los materiales juveniles es, esencialmente, pómez dacítica ($67\% \text{ SiO}_2$), con textura glomero porfirica y agregados cristalinos de plagioclasa, orto y clinopiroxeno, además de olivino muy escaso. También se generaron fragmentos bandeados de escoria andesítico-basáltica y pómez dacítica, evidenciando un mecanismo de mezcla de magmas como factor desencadenante de la erupción.

- La erupción Alpehué se habría producido por el ascenso de un gran volumen de magma de baja viscosidad, de composición andesítico-basáltica (ca. $56\% \text{ SiO}_2$), en la parte alta de una cámara zonada, con un volumen menor de magma diferenciado silíceo ($67\% \text{ SiO}_2$), viscoso, y un contenido gaseoso de, a lo menos, 2% en peso.

- El volcán Sollipulli es activo, y en consecuencia, podría tener una erupción, en cualquier momento. Eventuales erupciones en el interior de su caldera, además de generar lahares, podrían iniciar la edificación de un nuevo edificio volcánico.

- Una erupción como la señalada anteriormente o similar a la ocurrida hace 2.900 años, significaría un alto riesgo volcánico para un amplio sector de la Región IX, debido a la generación de flujos piroclásticos, acumulación de grandes espesores de pómez y formación de voluminosos lahares. Una columna eruptiva tan elevada (ca. 40 km) representaría, actualmente, un desastre inconmensurable a nivel regional sudamericano, debido a la deriva de la pluma de dispersión según los vientos reinantes, como ocurrió en la erupción del volcán Hudson en 1991 (Naranjo *et al.*, en prensa).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución de los Proyectos 0110-91 y 1048 de FONDECYT. Los autores agradecen al Servicio Nacional de Geología y Minería el apoyo otorgado en su realización, como asimismo a los Srs. N. Barks (U.S. Geological Survey), C.F.

Ramírez (CAMBIOR Chile, S.A.) y C. Stern (University of Colorado) la evaluación crítica del original de este trabajo. A los Srs. O. Rojas y J. Lobato, estudiantes de geología, por su valiosa colaboración en terreno y en el procesamiento de datos, respectivamente.

REFERENCIAS

- Carey, S.; Sparks, R.S.J. 1986. Quantitative models of the fallout and dispersal of tephra from volcanic eruption columns. *Bulletin of Volcanology*, Vol. 48, p. 109-125.
- Emparan, C.; Suárez, M.; Muñoz, J. 1992. Hoja Curacautín. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile*, No. 71. Santiago.
- Hildreth, W.; Drake, R.E. 1992. Volcán Quizapu, Chilean Andes. *Bulletin of Volcanology*, No. 54, p. 93-125.
- Huppert, H.E.; Sparks, R.S.J.; Turner, J.S. 1982. Effects of volatiles or mixing in calc-alkaline magma systems. *Nature*, Vol. 297, p. 554-557.
- Inman, D.L. 1952. Measures for describing the size distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 22, p. 125-145.
- Kouchi, A.; Sunagawa, I. 1983. Mixing basaltic and dacitic magmas by forced convection. *Nature*, Vol. 304, p. 527-528.
- Moreno, H.; Naranjo, J.A. 1991. Síntesis geológica del volcán Llaima, Andes del Sur (38° 45'S) e implicancias de riesgos. *In Congreso Geológico Chileno*, No. 6, Actas, Vol. 1 p. 386-289. Viña del Mar.
- Naranjo, J.A. Moreno, H. 1991. Actividad explosiva postglacial en el volcán Llaima, Andes del Sur (38°45'S). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 18, No. 1, p. 69-80.
- Naranjo, J.A.; Moreno, H.; Banks, N. (En prensa). La erupción del volcán Hudson en 1991 (46°S), Región XI, Aisén, Chile. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín*, No. 44.
- Newhall, C.; Self, S. 1982. The volcanic explosivity index (VEI): an estimate of explosive magnitude historical volcanism. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 87, No. C 2, p. 1231-1238.
- Peccerillo, A.; Taylor, S.R. 1976. Geochemistry of Eocene Calc- Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 58, p. 63-81.
- Sparks, R.J.S.; Sigurdsson, H.; Wilson, L. 1977. Magma mixing: a mechanism for triggering acid explosive eruptions. *Nature*, Vol. 267, p. 315-318.
- Walker, G.P.L. 1971. Grain size characteristics of pyroclastic deposits. *Journal of Geology*, Vol. 79, p. 696-714.
- Walker, G.P.L. 1973. Explosive volcanic eruptions; a new classification scheme. *Geologische Rundschau*, Vol. 62, p. 431-446.
- Walker, G.P.L. 1981. Plinian eruptions and their products. *Bulletin of Volcanology*, Vol. 44, p. 223-240.
- Walker, G.P.L.; Croasdale, R. 1971. Two plinian type eruptions in the Azores. *Journal of Geological Society of London*, Vol. 127, p. 17-55.
- Walker, G.P.L.; Wilson, C.J.N.; Froggatt, P.C. 1980. Fines depleted ignimbrite in New Zealand - the product of a turbulent pyroclastic flow. *Geology*, Vol. 8, p. 245-249.
- Walker, G.P.L.; Wilson, C.J.N.; Froggatt, P.C. 1991. An ignimbrite veneer deposits; the trail marker of a pyroclastic flow. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 9, p. 409-421.
- Wilson, C.J.N. 1985. The Taupo Eruption, New Zealand II. The Taupo Ignimbrite. *The Royal Society of London, Philosophical Transactions*, Vol. 314, p. 229-310.
- Wilson, L.; Sparks, R.S.J.; Huang, T.C.; Watkins, N.D. 1978. The control of volcanic column eruption heights by eruption energetics and dynamics. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 83, p. 1829-1836.
- Wilson, L.; Sparks, R.S.J.; Stephen, J. Walker, G.P.L. 1980. Explosive volcanic eruptions -IV. The control of magma properties and conduit geometry on eruption column behaviour. *The Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol. 63, p. 117-148.

LAMINA 1

Figuras

- 1 Vista aérea hacia el sur. La caldera Sollipulli, de 4 km de diámetro, anida en su interior un glaciar con lenguas menores hacia el noroeste y sureste. Prominentes depósitos morrénicos yacen sobre sus flancos. Sobre el flanco noreste se distingue el volcán Chufquén, en las nacientes del río homónimo. Se distinguen estructuras de 'levée' en las coladas de lava que descienden del cono piroclástico; p. 168
- 2 Depósito pumíceo pliniano del Sollipulli bajo un suelo de ceniza esconíacea y sobre el depósito pliniano del Laima (8.830 a A.P.), separados por ca. 70 cm de suelo volcánico, en la cuesta Icalma; p. 169, 173, 175
- 3 Vista hacia el sureste del cráter Alpehué. La ignimbrita soldada se distribuye también en el borde superior del escarpe de la caldera más antigua; p. 172
- 4 Tronco carbonizado en ignimbrita de color rosáceo (por alteración debido a vapor de agua), en el valle Alpehué (2.960±60 a A.P.); p. 173
- 5 Notable desarrollo de dunas de ceniza y lapilli fino (erupción Alpehué) por retransporte eólico en el sector de la pampa Loncoluán, Argentina; p. 175

LAMINA 1



1



2



3



4



5

LAMINA 2

Figuras

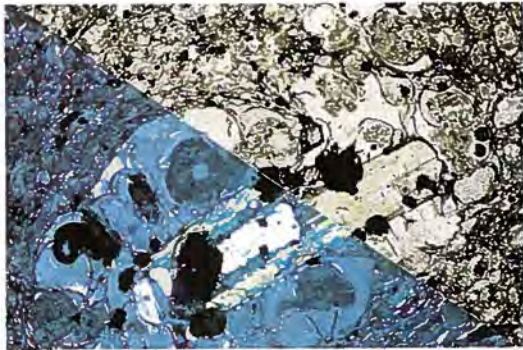
- 1 Aspecto del depósito de pómez pliniano (65 cm de espesor) en el extremo oriental del lago Icalma, el cual infrayace a un delgado suelo de ceniza escoriácea; p. 175
- 2 Depósito ignimbítico macizo en el valle del río Alpehué. Facies canalizadas de más de 20 m de espesor, que contienen bombas de 10 a 40 cm de diámetro; p. 176, 177
- 3 Depósito pliniano de pómez del sector cercano al arroyo Trocoquén, 5 km al este de la pampa Loncoluán Argentina. El depósito tiene 40 cm de espesor y un nivel basal de ceniza de 3 cm que muestra gradación normal. Se insinúan variaciones granulométricas en el lapilli fino a medlo. Nótese el enriquecimiento en líticos hacia la parte alta del nivel basal. Estos se distribuyen aleatoriamente en el resto del depósito; p. 175
- 4 Amgdala con vidrio vesicular perlitico con glomero-cristal de piroxeno y olivino. Matriz de vidrio eutaxítico. Microfotografía (10 x 4) de muestra de pómez de depósito pliniano; p. 181
- 5 Pipa de desgasificación notablemente empobrecida en fino en las facies ignimbíticas macizas, en sectores cercanos al lecho del río Alpehué; p. 177
- 6 Amgdala o'augen vesicle vitrocristalina, de vidrio perlitico con vesículas esféricas, inmersa en una matriz eutaxítica con textura fibrosa. Pómez del depósito pliniano (10 x 4); p. 181
- 7 Fragmento de bomba bandeada y mezclada de pómez y escoria en contactos nítidos. La banda de pómez tiene unos 3 cm de ancho; p. 182



1



2



4



6



3

LAMINA 2



5



7