

LA ERUPCIÓN RECIENTE EN EL COMPLEJO VOLCÁNICO LONQUIMAY (DICIEMBRE 1988-), ANDES DEL SUR

HUGO MORENO

Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile, Correo 13518-21, Santiago, Chile.

MOYRA C. GARDEWEG

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

RESUMEN

El Complejo Volcánico Lonquimay, de edad pleistocena superior-holocena, forma parte del frente del arco volcánico de los Andes del Sur y presenta una composición predominantemente andesítica. La nueva erupción, ubicada en el pie noreste de su cono principal y sobre la fisura activa en 1887-89, se inició el 25 de Diciembre de 1988, en un nuevo cráter que evolucionó rápidamente a una pequeña fisura con cuatro cráteres, para luego de tres días, concentrarse en el más occidental, en donde se edificó el cono de piroclastos Navidad. La erupción, de tipo estromboliana, con un inicio más explosivo (VEI 2-3) y con columnas de emisión que alcanzaron hasta 9.000 m, declinó durante los meses siguientes, presentando columnas de 1.000-2.000 m en Abril (VEI 1). Desde el cono Navidad, con cráter abierto al noreste, fluyó lava inicialmente de bloques, la cual evolucionó a transicional entre bloques y 'aa', y con tasas de emisión declinantes (de 5×10^6 a $10^6 \text{ m}^3/\text{día}$). Hasta el 5 de Abril se estima un volumen de lava emitido de ca. $142 \times 10^6 \text{ m}^3$. Simultáneamente, fueron eyectados piroclastos correspondientes a bombas de hasta 5 t a 500 m del cráter, lapilli escoriáceo y ceniza de color gris oscuro a negro, esta última dispersada principalmente hacia el este. Las lavas y piroclastos corresponden a andesitas afáníticas, con microcristales de plagioclasa, clinopiroxeno, olivino y opacos, cuya composición química ($\text{SiO}_2 = 57,8\text{-}58,9\%$) y petrográfica es similar a las anteriores del complejo. Aunque de magnitud reducida, la presente erupción ha afectado a los habitantes de la zona y a la industria agropecuaria.

Palabras claves: Volcanología, Erupción reciente, Lonquimay, Andes del Sur, Chile.

ABSTRACT

The Lonquimay volcanic complex, of Late Pleistocene to Holocene age and predominantly andesitic composition, is part of the Southern Andes volcanic front. The present eruption, initiated on December 25, 1988, is located on the northeast foothill of the main edifice of the complex, along a fissure active in 1887-89. It started with one crater which shortly evolved to a small fissure with four craters. After three days the explosive activity concentrated in the westernmost crater, where the Navidad (Christmas) pyroclastic cone was built. The eruption, of strombolian type, had a more explosive beginning (VEI 2-3), with emission columns that reached up to 9,000 m. During the following months it decreased, showing by early April columns between 1,000 and 2,000 m (VEI 1). From the Navidad cone, which is breached to the northeast, a blocky lava was erupted which later evolved to transitional between blocky and 'aa'. By April the emission rates of the flow has decreased from 5×10^6 to $10^6 \text{ m}^3/\text{day}$, with an estimated volume of $142 \times 10^6 \text{ m}^3$ of erupted lava. Simultaneously pyroclastic material was ejected, including bombs up to 5 tons, 500 m from the crater, and dark gray to black scoriaceous lapilli and ash, the latter mainly dispersed eastward. The lavas and pyroclasts correspond to afanitic andesites with plagioclase, clinopyroxene, olivine and opaque minerals microcrysts of chemical ($\text{SiO}_2 = 57,8\text{-}58,9\%$) and petrographic composition similar to previous andesites of the complex. Although it is a rather small eruption it has harmed the inhabitants of the area, and largely the farming industry.

Key words: Volcanology, Lonquimay, Recent Eruption, Southern Andes, Chile.

INTRODUCCION

GENERALIDADES Y OBJETIVOS

El día 25 de Diciembre de 1988, entró en erup-

ción un nuevo cráter en el Complejo Volcánico Lonquimay (IX Región de La Araucanía). Testigos informaron que, entre las 15:00 y 15:30 horas, se ob-

servó una 'columna de humo negro que se elevaba sobre el volcán'. La erupción fue precedida por una serie de sismos que comenzaron aproximadamente el 19 de Diciembre. Durante los días cercanos a la erupción, la actividad sísmica se intensificó causando alarma en los poblados vecinos y llamando la atención a los medios informativos. Esta también fue detectada por los sismógrafos de la Universidad de La Frontera (Temuco) aunque, debido al escaso número de instrumentos, el epicentro del 'enjambre de sismos' no pudo ser inicialmente localizado con precisión. Vuelos sobre el volcán, realizados el mismo 25 de Diciembre, revelaron que la erupción ocurría en un pequeño cráter ubicado en el pie noreste del volcán, a 3,5 km de su cima. El cono formado con posterioridad, fue bautizado como Navidad por los habitantes de la zona debido a la fecha de inicio de la actividad volcánica.

En esta contribución se da a conocer la evolución del actual ciclo eruptivo desde su inicio hasta el 5 de Abril de 1989 junto a una breve reseña de los ciclos anteriores. Se describen los productos de la erupción; sus características petrográficas y geoquímicas y sus efectos en el medio ambiente. El presente es un trabajo preliminar pues la erupción está aún en proceso. Está basado, principalmente, en observaciones y estudios realizados por los autores durante los tres primeros meses del actual ciclo eruptivo. Parte de esta información ha sido presentada en informes preliminares (Gardeweg y Muñoz¹; Moreno²), en diversos comunicados escritos para la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI) de la IX Región e informes publicados en SEAN Bulletin, Vol. 13, No. 12 y Vol. 14, Nos. 2 y 3. Próximamente, el Servicio Nacional de Geología y Minería editará un volumen especial dedicado a la presente erupción y su impacto en el medio ambiente, donde se tratarán, en forma más detallada, los distintos aspectos volcanológicos, petrológicos, geofísicos y de geología ambiental.

MARCO GEOGRAFICO

El Complejo Volcánico Lonquimay (CVL) se localiza en la Cordillera de los Andes a los 38°22'30"S y 71°35'30"W y su cono principal alcanza una

altura de 2.865 m s.n.m. (Figs. 1, 2). Está ubicado, en línea recta, 118 km al noreste de la ciudad de Temuco y 35 km al noreste de Curacautín, siendo las localidades pobladas más cercanas Malalcahuello (10 km al sur), Lonquimay (20 km al sureste) y la Hacienda Lolco (28 km al noreste) (Figs. 1, 2). Se accede al CVL desde la Carretera Longitudinal Sur (Ruta 5) por la ciudad de Victoria hacia Curacautín y Malalcahuello, ruta cuyos últimos 15 km, aproximadamente, están sin pavimentar. A 10 km de Malalcahuello, por el camino de tierra de Cuesta Las Raíces hacia Lonquimay se bifurca otra ruta, también de tierra, que permite el acceso al volcán y que, previo a la presente erupción, llegaba hasta Lolco (Fig. 2). La colada de lava generada en el cono Navidad, ubicado en la base del volcán Lonquimay, a los 38°22'S y 71°W, cortó este camino en un tramo de 3,5 km a lo largo del valle del río Lolco debiendo habilitarse vías alternativas por valles de los esteros Lancú y Naranjo o Portales (Fig. 2).

SINTESIS GEOLOGICA DEL COMPLEJO VOLCANICO LONQUIMAY

Corresponde a un complejo eruptivo formado, principalmente, durante el Holoceno y aún en proceso de edificación. Forma parte del frente del arco volcánico cuaternario de Los Andes del Sur y se ubica entre los complejos volcánicos Tolguaca por el noroeste y Llaima por el sur (Fig. 1). El volcán Tolguaca presenta sólo actividad fumarólica en las cercanías de su cumbre, en tanto que el volcán Llaima ha registrado varias erupciones históricas.

Los productos volcánicos del CVL están dispuestos sobre un relieve abrupto caracterizado por filos y valles glaciares, labrados en rocas estratificadas e intrusivas terciarias. Las secuencias estratificadas comprenden rocas volcánicas y sedimentarias clásticas denominadas Formación Lolco y Estratos de Lancú por Salinas (1979) y, posteriormente, asignadas a las formaciones Curamallín y Trapatrapa por Thiele *et al.*³. Hacia el oeste y noroeste, lavas más antiguas del CVL cubren además a los materiales volcánicos de la unidad Tolguaca 1 (Fig. 3). Entre los volcanes Lonquimay y Tolguaca, y en una dirección WSW-ENE, existen

¹ 1989. La erupción reciente del volcán Lonquimay: antecedentes preliminares. Servicio Nacional de Geología y Minería (Inédito), 37 p.

² 1989. Geología del Complejo Volcánico Lonquimay. Características del nuevo ciclo eruptivo iniciado el 25 de Diciembre de 1988. Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica (Inédito), 29 p. En Biblioteca del Servicio Nacional de Geología y Minería.

³ 1987. Estudio geológico regional, escala 1:100.000, de la hoya superior, curso medio del río Bio Bío. Convenio Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica-ENDESA (Inédito), 304 p. Coautores: A. Lahsen, H. Moreno, J. Varela, M. Vergara y F. Munizaga. En Biblioteca del Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile.

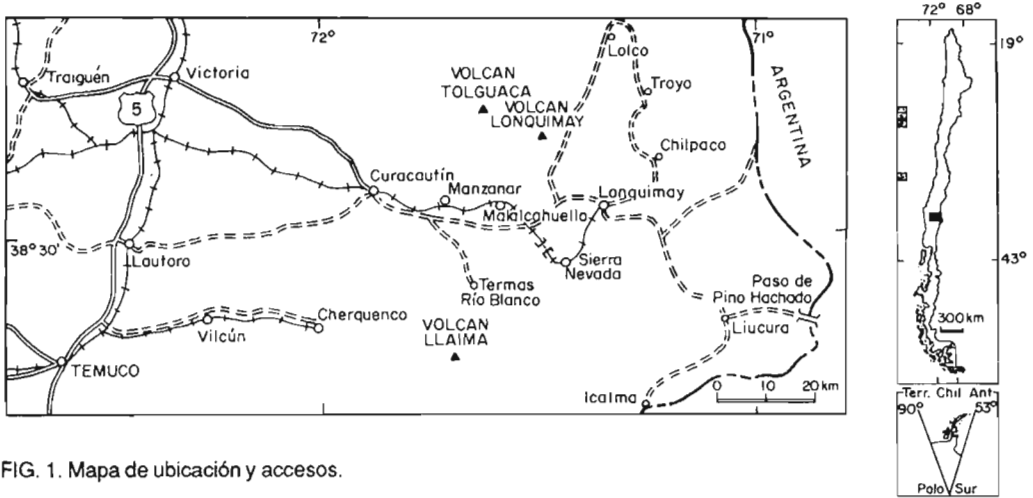


FIG. 1. Mapa de ubicación y accesos.

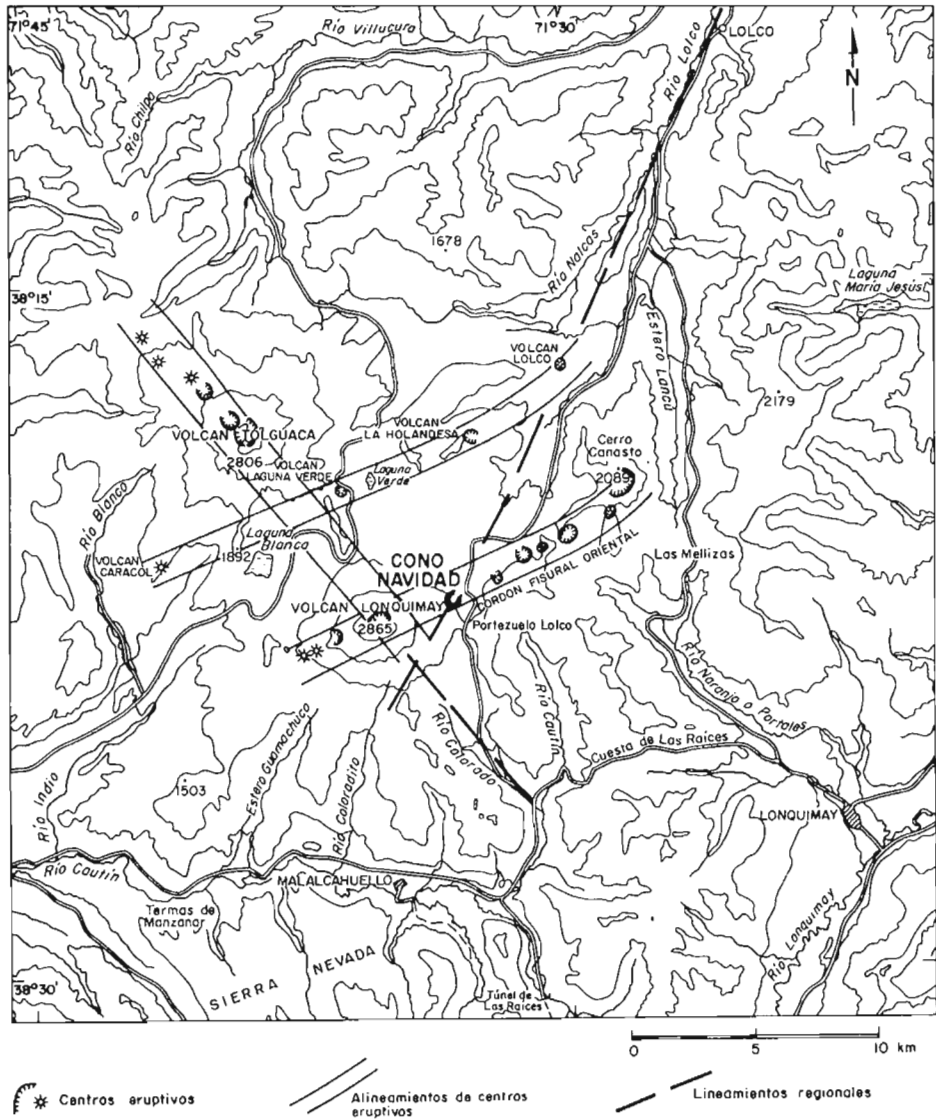


FIG. 2. Mapa de ubicación del Complejo Volcánico Lonquimay con lineamientos regionales y distribución de centros eruptivos.

cuatro conitos de piroclastos post-glaciales (Qcp) Caracol, Laguna Verde, La Holandesa y Lolco. Este último, el mayor de ellos, se ubica en el margen occidental del valle del río Lolco y tiene asociada una colada de lava basáltica (Figs. 2, 3).

En el área de los complejos volcánicos Tolguaca y Lonquimay se reconocen cuatro lineamientos notables que, en general, controlan el emplazamiento de los centros volcánicos (Fig. 2). Estos corresponden a:

- Un lineamiento NW-SE, definido por los volcanes Lonquimay y Tolguaca y el valle del río Colorado.
- Un lineamiento N20°E, determinado por el valle del río Lolco.
- Dos lineamientos N60-70°E, definidos por los conitos de piroclastos independientes y por el volcán Lonquimay y un cordón fisural de dirección ENE.

El CVL lo conforman su cono principal o Lonquimay propiamente tal y una cadena de centros adventicios de menor tamaño ubicados al pie oriental del cono principal, a lo largo de una fisura de dirección noreste (Conjunto Volcánico Las Paramelas de Salinas (1979) o 'Cordón Fisural Oriental' de Thiele *et al.*, *op. cit.*). Es en el extremo occidental de esta fisura donde se produjo la presente erupción (Figs. 2, 3).

El volcán Lonquimay es un pequeño estratovolcán mixto (lavas y piroclastos) con forma de cono truncado, de perfil casi regular, ligeramente elongado en dirección WSW-ESE y laderas de pronunciada pendiente (30-40°). Su base, aproximadamente circular y de 8,5 km de diámetro promedio, cubre una superficie de unos 60 km², aunque algunas coladas sobrepasan el perímetro basal. En su cima presenta un cráter principal elíptico de 700 m de diámetro mayor orientado en dirección WSW-ESE. En su borde norte se encuentran otros tres cráteres secundarios de 150-250 m de diámetro y en el borde WSW, otro de 300 m de diámetro. En los flancos sur-occidental y oriental del cono se reconocieron centros de emisión menores aislados o asociados a fisuras. El mayor número de estos centros forma una cadena de pequeños conos piroclásticos edificadas a lo largo de una fisura de 2 km de longitud de dirección WSW, ubicada en la ladera sur-occidental del cono principal. El cono está bien conservado, con sus flancos cubiertos por flujos de lavas 'aa' y de bloques, con superficies frescas y abundantes depósitos piroclásticos sueltos (Fig. 8). Sólo la ladera sur muestra erosión glaciaria y morrenas entre las cotas 1.900 y 2.350

m. Un glaciario de poco más de 1 km² cubre este sector; otro, más pequeño, de 0,15 km² se ubica en la ladera ESE, bajo la cumbre del volcán.

El Cordón Fisural Oriental (Fig. 3) tiene 8 km de longitud y consta de una docena de cráteres, pequeñas fisuras de menos de 1 km de largo, conos piroclásticos y domos, edificadas sobre una secuencia estratificada subhorizontal de lavas, brechas y aglomerados, afectada por erosión glaciaria. Este cordón está cubierto por un grueso manto de material piroclástico (Qcp, Fig. 3) entre los que predominan bombas, pequeños bloques y lapilli (escoria y pómez). Sus coladas más recientes, emitidas hacia las cabeceras del río Lolco, son predominantemente de bloques. Entre éstas, el flujo más notable alcanza un ancho superior a 1 km y una longitud de 5 km.

UNIDADES VOLCANICAS

Sobre la base de criterios morfológicos y estratigráficos, se distinguieron cinco unidades cronoestratigráficas en el CVL, denominadas en orden decreciente de edad, Lonquimay 1-5 (Qv1- Qv5) (Fig. 3), parcialmente basados en Thiele *et al.* (*op. cit.*).

La Unidad Lonquimay 1 (Qv1) corresponde a lavas andesíticas y basálticas que afloran discontinuamente en el pie suroeste y noroeste del cono principal y a una secuencia volcánica estratificada subhorizontal de aproximadamente 400 m de espesor, que forma gran parte del cordón fisural (Fig. 3). Los escasos afloramientos de Qv1 muestran los efectos de intensa erosión glaciaria, y a su vez rellenan valles glaciarios labrados en las unidades previas. Sobre ella se dispone la Unidad Lonquimay 2 (Qv2) correspondiente a emisiones postglaciales de lavas y piroclastos andesítico-basálticos. Forma gran parte de la ladera oriental y del cráter de la cima del cono principal e incluye pequeños afloramientos de lavas andesítico-silíceas ubicadas en la ladera noroeste del cordón fisural (Fig. 3). En el cono principal subyacen a depósitos morrénicos neoglaciales y a la Unidad Lonquimay 3 (Qv3), representada exclusivamente por flujos de lava de composición andesítica (basáltica a silícea). Aquéllas fueron emitidas desde el cráter central y cráteres secundarios del volcán Lonquimay, hacia los flancos noroeste y sur del cono principal (Fig. 3). Las coladas muestran superficies bien conservadas, con erosión glaciaria incipiente sólo

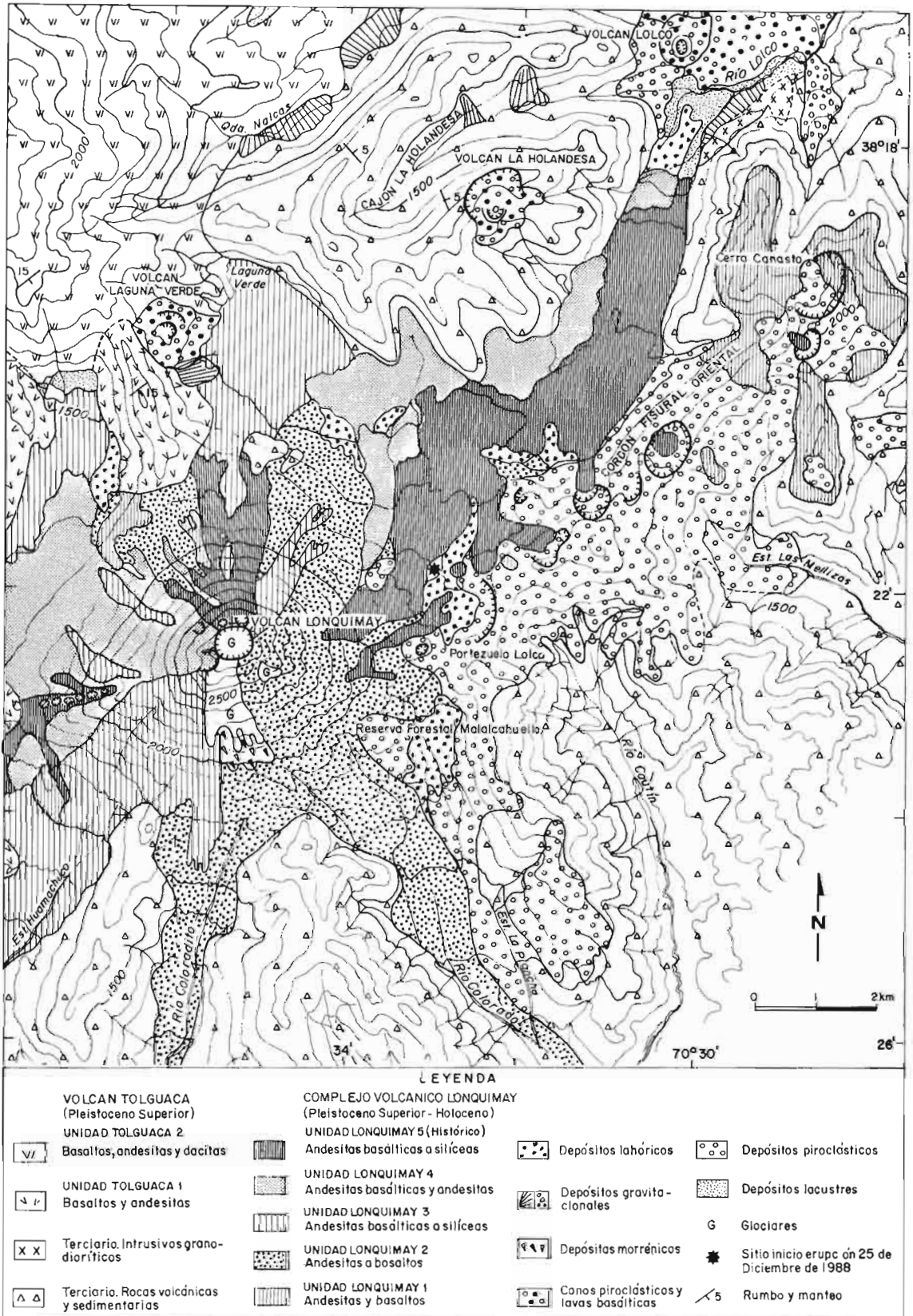


FIG. 3. Mapa geológico del Complejo Volcánico Lonquimay.

en la cima. Están parcialmente cubiertas por lavas y piroclastos de la Unidad Lonquimay 4 (Qv14) de composición andesítico-basáltica y andesíticas también del cono principal, emitidas desde cráteres secundarios ubicados en su flanco oriental (las más extensas de hasta 7 km de longitud), y a lo largo de la fisura WSW en la ladera occidental.

Las cuatro unidades anteriores han sido parcialmente cubiertas por la Unidad Lonquimay 5 (Qv15) representada por coladas 'aa' y de bloques de las erupciones históricas de 1853 y 1887-1889 (Fig. 3). En el cono principal, lavas de composición andesítica y andesítico-basáltica fueron emitidas desde los cráteres secundarios del borde norte de la cima, la fisura WSW y dos puntos en el flanco oriental. En el cordón fisural, coladas de andesitas silíceas y dacitas de bloques fueron emitidas desde varios puntos, a través de cráteres preexistentes y desde nuevas fisuras discontinuas. La colada más extensa de esta unidad (de 5 km de longitud) fue derramada hacia el norte y rellena el valle del río Lolco. Contemporáneamente fueron emitidas grandes cantidades de piroclastos (bombas, pequeños bloques y lapilli escoriáceo y pumíceo) que se distribuyen como un manto continuo (Qcp), principalmente sobre el Cordón Fisural.

PETROGRAFIA Y GEOQUIMICA

Las lavas del CVL corresponden a basaltos, andesitas basálticas, andesitas intermedias, andesitas silíceas y dacitas afaníticas o microporfídicas, con escasos fenocristales principalmente de plagiocasa y hasta 50% de microfenocristales de plagiocasa, clinopiroxeno, olivino y minerales opacos (Fig. 17). Los basaltos ($\text{SiO}_2 = 49,2\%^*$) ocurren sólo en las unidades más antiguas (Qv1 y 2), contienen hasta 30-55% de microfenocristales en una masa fundamental hialofítica con vidrio pardo oscuro. Las andesitas basálticas ($\text{SiO}_2 = 52,6-55,9\%$) ocurren en todas las unidades del complejo y contienen hasta 15% de pequeños cristales en una masa fundamental que varía de hialofítica a intersertal con vidrio pardo, más claro que el de los basaltos. Las andesitas intermedias ($\text{SiO}_2 = 56,0-59,1\%$) también se observan en todas las unida-

des del complejo y varían de afaníticas en las unidades más antiguas, a levemente porfídicas en las coladas históricas. Contienen bajas proporciones de fenocristales en una masa fundamental de textura pilotaxítica con vidrio claro. Las andesitas silíceas ($\text{SiO}_2 = 61,1-61,3\%$) y dacitas ($\text{SiO}_2 = 63,3-63,8\%$) son petrográficamente similares al resto de las andesitas intermedias, pero se presentan predominantemente en las unidades más recientes del complejo, particularmente en las lavas del evento 1887-89.

Las lavas del CVL tienen las características geoquímicas típicas de la provincia volcánica de los Andes del Sur. Presentan un amplio intervalo de contenido en SiO_2 (49,2-63,8%; Thiele *et al.*, *op. cit.*, y datos inéditos de los autores y L. López), variando de basaltos a dacitas. Los valores más altos de SiO_2 fueron obtenidos en las lavas más recientes del cordón fisural (1887-89). Corresponden a rocas calcoalcalinas con contenidos de K normales a bajos (0,4-1,4%) y altos de Al_2O_3 (15,4-22,7%).

HISTORIA ERUPTIVA

Comprende su actividad prehistórica, que se infiere de la cronoestratigrafía de sus unidades, e histórica, basada en los antecedentes bibliográficos que describen las erupciones en el pasado y presente siglo. A juzgar por los materiales emitidos, las erupciones han sido efusivas a explosivas, de magnitudes moderadas a grandes, es decir, de tipo estromboliano a pliniano, con índices de explosividad volcánica (VEI**) probables de 2-4.

Aún cuando el cono principal del CVL es claramente visible desde la Depresión Central y a pesar de estar rodeado por diversos poblados, existen pocos antecedentes respecto a su actividad histórica. Entre éstos destacan los trabajos de Von Wolff (1929), los inéditos de Hantke⁴; Stone e Ingerson (1934); el 'Zeischrift für Volcanologie' (1935); Brügger (1950) y Casertano (1963), de los cuales se pudo obtener, con cierta certeza, las siguientes fechas de erupciones históricas.

⁴ 1961. Der Vulcanismus. Vol. 9, No. 84, Chile. Smithsonian Institution, p. 349-350. Washington. En Biblioteca del Smithsonian Institution

* Todos los valores se entregan normalizados, libres de volátiles.

** VEI (Índice de Explosividad Volcánica): escala de 0 a 8, propuesta por Newhall y Self (1982), con el propósito de cuantificar numéricamente la actividad volcánica explosiva.

- 1853 (Febrero): Volcán Lonquimay. Fuertes explosiones, proyección de material piroclástico y derrames de lava.
- 1887 (24 de Junio) -1889 (Diciembre): Cordón Fisural Oriental y volcán Lonquimay(?), Violento ciclo eruptivo con proyección de material piroclástico y grandes emisiones de lavas de bloques.
- 1933 (4 de Enero): Volcán Lonquimay. Erupción de piroclastos.
- 1940 (Febrero): Volcán Lonquimay. Fumarola o erupción de piroclastos(?).

CICLO ERUPTIVO ACTUAL: DICIEMBRE 25, 1988 - ABRIL 5, 1989

Después de un período de siete días de intensa actividad sísmica, la cual alcanzó una frecuencia, de hasta unos 92 eventos entre el 22 y el 25 de Diciembre (Fuentealba, en prep.) y que afectó preferentemente a Malalcahuello, comenzó un nuevo ciclo eruptivo en el complejo volcánico Lonquimay.

y ceniza dio lugar a una gran columna de color gris oscuro, muy densa, que alcanzó una altura de unos 9.000 m (VEI 3), la mayor observada durante este período del presente ciclo (Fig. 5). Desde aquí en adelante, la actividad eruptiva explosiva se concentró esencialmente en el cráter más occidental (1.720 m s.n.m.)

25/12 ca. 15:30 horas: Se inició la erupción a través de un pequeño cráter ubicado a 1.680 m s.n.m., 3,5 km al noreste de la cima del volcán Lonquimay (38°22'S y 71°33'W, Figs. 1, 3, 6). Una columna de gases volcánicos y cenizas se elevó hasta una altura de 5.000 m mientras que un continuo 'bombardeo' de fragmentos mayores ocurría en torno al nuevo cráter. La erupción se situó sobre la fisura N60°E, activa en 1887-89.

28-29/12 La actividad se mantuvo más o menos constante con un VEI de 2-3 y con pulsos de mayor y menor explosividad en períodos de 15-20 minutos. Los piroclastos emitidos eran esencialmente de tipo salpicaduras ('spatter'), bombas, lapilli escoriáceo y ceniza. Un nuevo cono que los lugareños denominaron 'Navidad' se comenzó a edificar en torno al cráter occidental.

ca. 19:00 horas: Una fisura de unos 400 m de longitud se abrió en dirección al cono principal del volcán Lonquimay (hacia el WSW) y a lo largo de ella otros tres cráteres entraron en erupción.

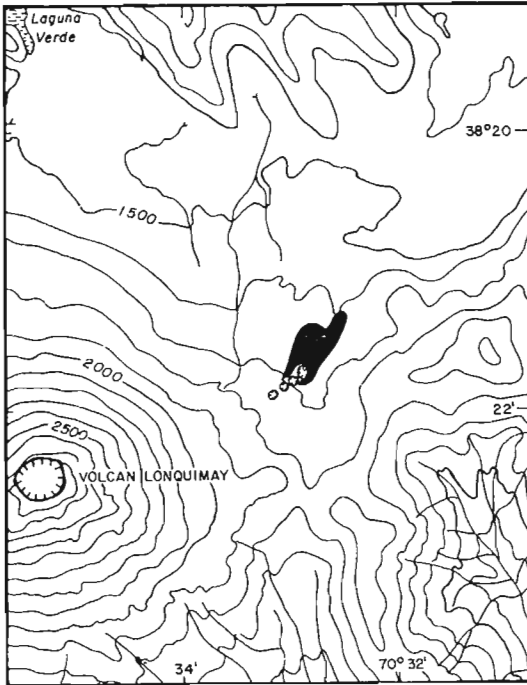
Desde esta fecha en adelante, la actividad explosiva continuó en este nuevo cono mientras que la actividad efusiva se localizó en la mitad oriental de la fisura (Figs. 4b, 4c, 8 y 9). El 1 de Enero y después de un período prolongado de baja explosividad (casi 12 horas, VEI 1-2) se registró un notable aumento en la actividad explosiva desde las 17:15 horas en adelante (VEI 2-3) (Fig. 13). A mediodía del 2 de Enero el VEI descendió a 2 y a las 18:30 nuevamente alcanzó a 3. El 3 de Enero la actividad eruptiva se mantuvo con fuertes explosiones.

26/12 Los cuatro cráteres desarrollaron intensa actividad eruptiva con proyección de bombas, lapilli, abundante ceniza y fuerte degasificación que revelaba la presencia de vapor de agua.

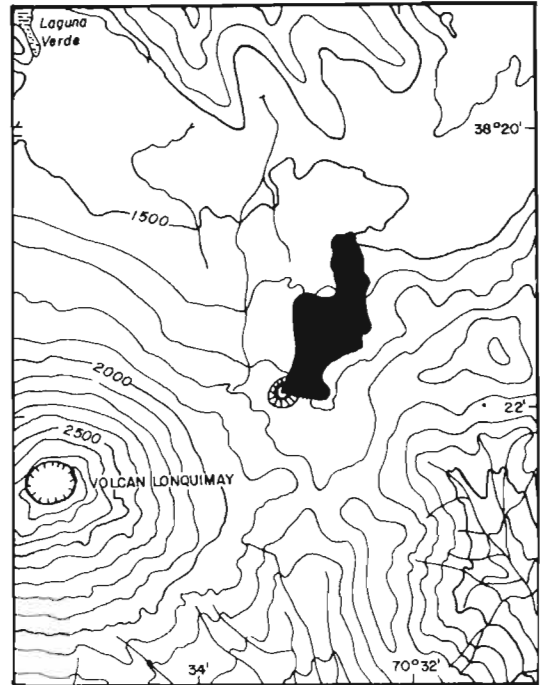
Crecimiento del Cono Navidad entre el 27-12-88 y el 03-01-89 (Fig. 6)

27/12 La erupción, de tipo estromboliano explosivo, se concentró principalmente en dos de los cuatro nuevos cráteres activos (Figs. 4a, 7). La columna de gases y cenizas se elevó entre 4.500 y 6.000 m sobre los cráteres y el índice de explosividad volcánica (VEI) alcanzó valores de 2 y 3. La pluma (ceniza y gases dispersos por el viento) se dirigió en dirección este. Alrededor del mediodía, comenzó a fluir lava viscosa de tipo bloques, hacia el norte y noreste desde el extremo oriental de la fisura (Fig. 4a). A las 18:30 horas la continua eyección de lapilli

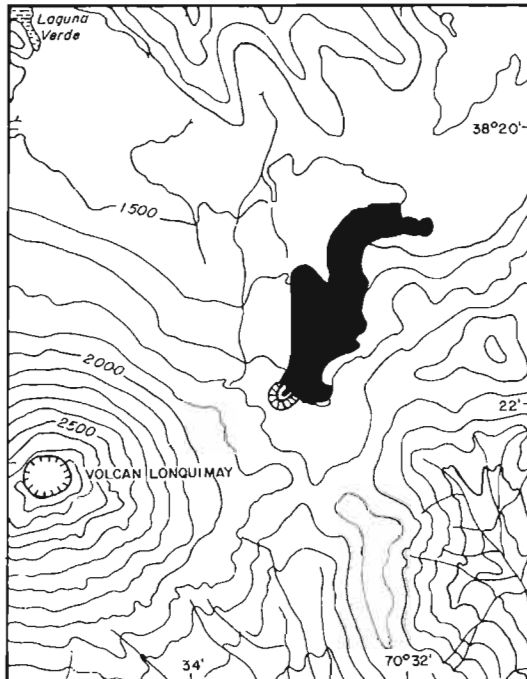
	Altura aprox. sobre la base	Diámetro aprox. del cráter
27-12-1988	45 m	-
29-12-1988	55 m	75 m
30-12-1988	60 m	100 m
31-12-1988	85 m	120 m
01-01-1989	100 m	150 m
03-01-1989	130 m	180 m



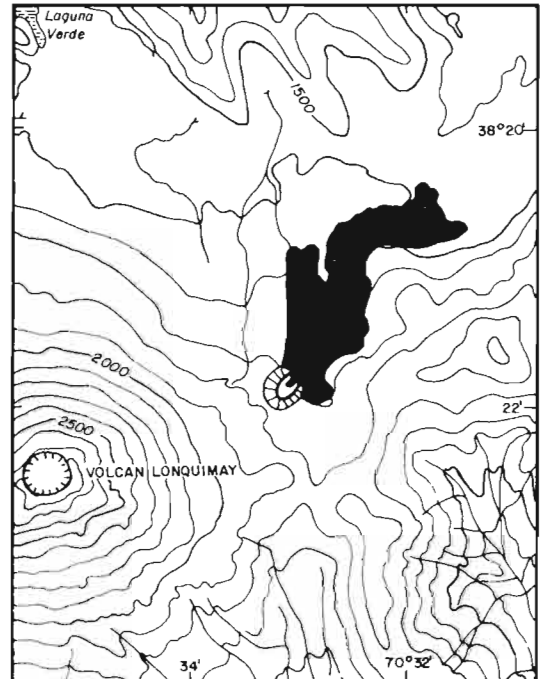
a. 27-12-88, 19:00 horas.



b. 29-12-88, 12:00 horas.

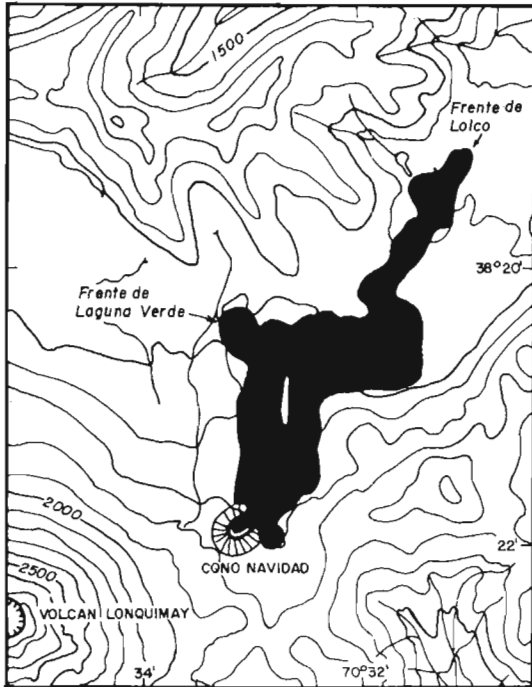


c. 31-12-88, 14:00 horas.

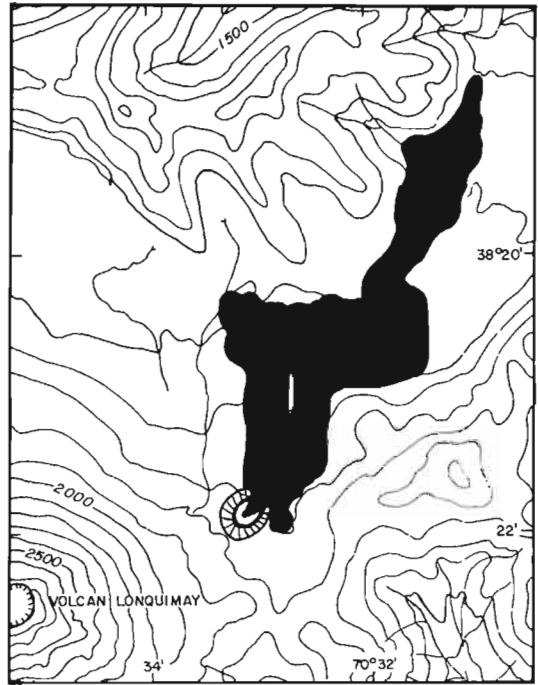


d. 02-01-89, 18:00 horas.

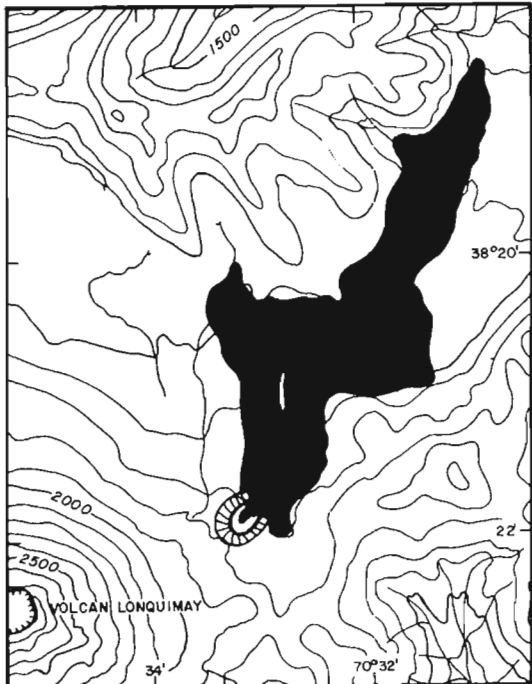
FIG. 4. Avance de la colada de lava durante la etapa inicial entre el 27 de Diciembre de 1988 y el 2 de Enero de 1989 (a-d)



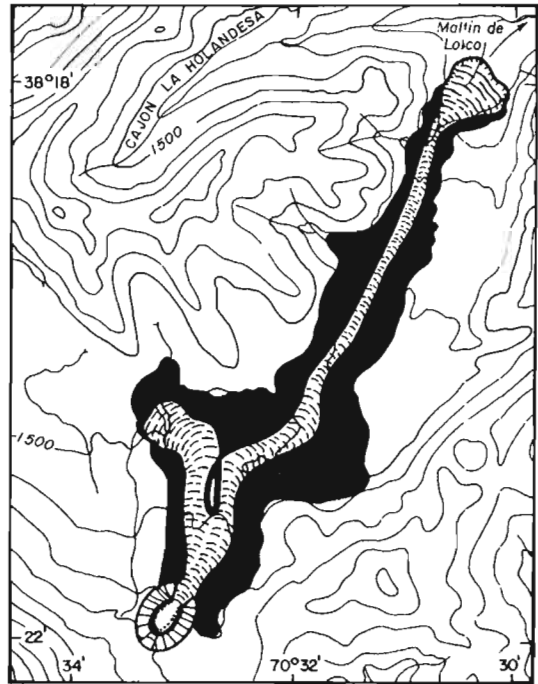
e. 17-01-89.



f. 31-01-89.



g. 08-02-89.



h. 05-04-89.

y avance de la colada de lava en dos frentes, entre el 17 de Enero de 1989 y el 25 de Marzo de 1989 (e-h).

Evolución de la Colada de Lava entre el 28-12-88 y el 03-01-89 (Fig. 4)

	Longitud	Espesor medio aprox.	Area	Volumen
28-12-1988	1,0 km	10 m	0,5 km ²	5 x 10 ⁶ m ³
29-12-1988	1,8 km	10 m	1,0 km ²	10 x 10 ⁶ m ³
30-12-1988	3,0 km	10 m	1,6 km ²	16 x 10 ⁶ m ³
31-12-1988	3,3 km	10 m	2,2 km ²	22 x 10 ⁶ m ³
02-01-1989	4,0 km	12 m	2,5 km ²	30 x 10 ⁶ m ³
03-01-1989	4,3 km	12 m	2,8 km ²	34 x 10 ⁶ m ³

Tasa elusiva media: 5,0 x 10⁶ m³/día

Velocidad media de avance: 20-25 m/hora.

Bombas, columna y dirección de la pluma entre el 27-12-88 y el 04-01-89 (Fig. 5)

	Altura de bombas	Altura de la columna	Dirección de pluma
27-12-1988	300 m	2.500-7.000 m	NNE
28-12-1988	450 m	4.500-6.000 m	ESE
30-12-1988	650 m	5.000-5.500 m	SE
31-12-1988	700 m	5.000-5.500 m	ESE
01-01-1989	1.000 m	5.000-6.000 m	ENE
02-01-1989	800 m	6.000-7.000 m	SE/ESE
03-01-1989	-	5.000-6.000 m	ESE
04-01-1989	-	4.500-6.000 m	ESE

Ceniza caída al 04-01-89

Lonquimay	5-6 mm
Sierra Nevada	2 mm
Malacahuello	1-1,5 mm

El 4 de Enero, a las 15:00 horas, debido a un aumento en la humedad atmosférica, la pluma adquirió una forma de 'coliflor' por una mayor condensación del vapor de agua, produciéndose una pequeña tormenta eléctrica y la caída de lluvia ácida (probablemente pH 1-3) en la cuesta Las Raíces. Los días siguientes y hasta el 06-01 se registró una notable disminución en la actividad explosiva para luego incrementarse el 07-01 hasta alcanzar un VEI 2 (explosividad moderada). Este período, caracterizado por pulsos de menor y mayor violencia eruptiva, se mantuvo hasta el 12-01. Durante uno de los pulsos mayores fueron eyectadas bombas de hasta 4 m de longitud (Fig. 11), hacia el este del cono y a distancias de 400-500 m. El día 12-01 y siguiente hubo una intensa actividad sísmica seguida por fuertes emisiones de cenizas. Los sismos de la madrugada del día 12-01, que fueron percibidos hasta Temuco (Fig. 1), alcanzaron una intensidad de 6-7° en Malacahuello (Figs. 1, 2) causando destrozos de vidrios, caídas de rocas y pánico en

la población. Durante estos días, la columna de emisión alcanzó alturas entre 2.000 y 3.500 m (Fig. 5), siendo notable la escasa visibilidad en la zona debido a la variable dispersión de la pluma.

El 14-01 el flujo de lava avanzaba en dos frentes a una velocidad de 10 m/hora. El lóbulo nororiental alcanzaba 6 km de largo y el noroccidental 2,5 km. El día 17-01 la actividad había disminuido, la columna de emisión se elevaba entre 1.000 y 2.000 m y la pluma estaba muy reducida. La colada seguía avanzando en sus dos frentes; el lóbulo noroeste alcanzaba 2,9 km de longitud, 600 m de frente y 8 m de espesor (Fig. 10), en tanto que el noreste, encauzado por el valle del río Lolco, tenía 6,3 km de largo y sólo 250 m de ancho en el frente (Fig. 4e). Los frentes avanzaban aproximadamente a 130 y 100 m/días, respectivamente.

Desde el 21-01 y hasta el 31-01 la actividad explosiva decreció notablemente (VEI 1). La columna de gases y ceniza no sobrepasaba los 200 m de altura sobre el cráter y la mayoría de los piroclastos caía dentro de él. El 31-01 hubo un incremento en la actividad explosiva (VEI 2), con una columna de gases y cenizas de hasta 2.000 m sobre el cráter. La lava continuaba su lento avance en sus dos lóbulos, cubriendo una superficie de aproximadamente 6,0 km² (Fig. 4f).

Durante los primeros días de Febrero, la actividad eruptiva se mantuvo con intensidad baja a moderada, con períodos alternantes de mayor y menor explosividad. El 08-02 la columna alcanzaba 2.000 m de altura sobre el cono y la pluma se propagaba muy bien definida hacia el noroeste, hasta la ciudad de Angol, a 120 km de distancia. El frente de lava del lóbulo de Laguna Verde (NW) avanzaba a una velocidad media de 30 m diarios (1,25 m/h) mientras que el lóbulo de Lolco lo hacía a razón de 35 m diarios (1,5 m/h). Uno de los afluentes del río Lolco fue cubierto por la lava (Fig. 4g) y la

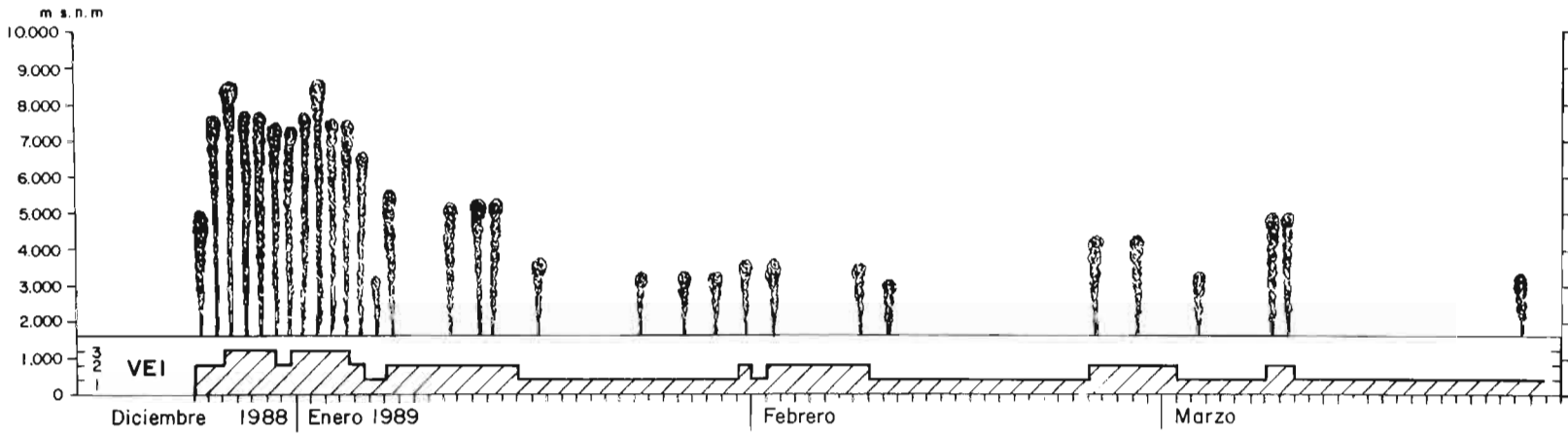


FIG. 5. Alturas máximas de la columna de erupción y VEI estimado entre el 25 de Diciembre de 1988 y el 25 de Marzo de 1989.

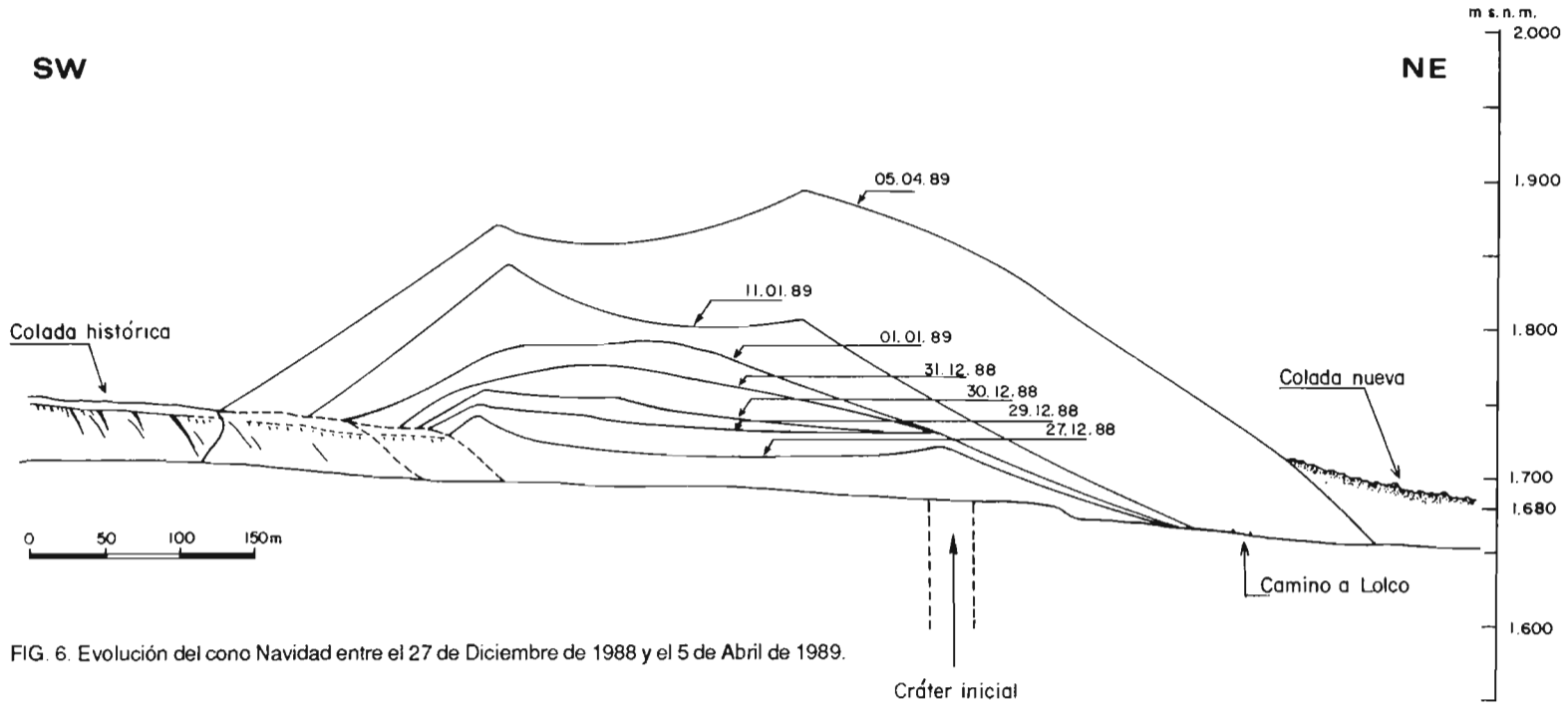


FIG. 6. Evolución del cono Navidad entre el 27 de Diciembre de 1988 y el 5 de Abril de 1989.

del río Lolco fue cubierto por la lava (Fig. 4g) y la temperatura de las aguas subió hasta 30°C a 1 km del frente, despidiendo gases de olor fétido.

Durante los meses de Febrero y Marzo la actividad eruptiva mantuvo sus características con pulsos de mayor y menor explosividad, aunque más disminuida, y con períodos cada vez más prolongados de VEI 1. La lava continuaba siendo emitida aunque la tasa de efusión disminuyó hasta alrededor de 10⁶ m³/día manteniéndose más o menos constante hasta el 05-04. Ese día, el frente del lóbulo de Lolco tenía 8,5 km de longitud, sobrepasando en 0,5 km a las coladas prehistóricas y a aquéllas del ciclo 1887-89 (Fig. 3). El 25-03 este lóbulo (Fig. 4h) había invadido alrededor de 60 ha del mallín de Lolco (área con sedimentos lacustres no consolidados y saturados de agua), destruyendo bosques de araucarias y coigües (Fig. 15). El peso de la lava, cuyo frente alcanzaba un espesor de 30 m, estaba comprimiendo y deformando los

sedimentos como un gigantesco "bulldozer". El agua parda oscura, exprimida desde este ambiente reductor, saturado de materia orgánica en descomposición e hidrocarburos, incrementaba en unas tres veces el caudal del río Lolco, que alcanzó un gasto aproximado de 6-8 m³/s. A 20 m del frente de la lava, el agua registraba una temperatura de 71° C. El cono Navidad con su cráter abierto hacia el noreste, alcanzaba una altura aproximada de 210 m y una actividad eruptiva muy disminuida (Figs. 14, 16).

Dimensiones del Cono Navidad entre el 21-01 y el 25-04 (Fig. 6)

	Altura sobre la base	Diámetro aprox. del cráter	Diámetro de la base
11-01-89	145 m	200 m	600 m
21-01-89	185 m	295 m	750 m
25-04-89	210 m	250 x 350 m	800 m

Evolución de la Colada de lava entre el 14-01 y el 05-04 (Fig. 4)

	Valle Lolco	Laguna Verde	Espesor medio aprox.	Superficie	Volumen aprox.
14-01-89	6,0 km	2,5 km	15 m	5,0 km ²	75 x 10 ⁶ m ³
17-01-89	6,3 km	2,9 km	15 m	5,5 km ²	83 x 10 ⁶ m ³
31-01-89	7,0 km	2,8 km	15 m	6,0 km ²	90 x 10 ⁶ m ³
08-02-89	7,3 km	3,5 km	15 m	6,5 km ²	98 x 10 ⁶ m ³
25-04-89	9,0 km	3,5 km	15 m	9,5 km ²	142 x 10 ⁶ m ³

Altura de la columna y dirección de la pluma entre el 27-01 y el 25-03 (Fig. 5)

	Altura de la columna	Dirección de la pluma	Observaciones
27-01-89	1.000-1.500 m	ESE	Caída de cenizas en Lonquimay
28-01-89	1.000-1.500 m	ESE"	
29-01-89	1.000 m	ESE"	
30-01-80 (AM) (PM)	1.500-2.000 m	ESE" SE-S	Caída de cenizas en Malalcahuello
01-02-89	1.000-2.000 m	SE	Caída de cenizas en Curacautín
02-02-89 (AM) (M) (PM)	1.000-2.000 m	NNW NW W-SW	
03-02-89	1.500-2.000 m	W-SW"	
08-02-89	2.000 m	NNW	Pluma bien definida hasta Angol, 120 km de distancia
24-02-89	2.500 m	ESE	Caída de cenizas en Lolco
25-03-89	1.000-1.500 m	NNE	

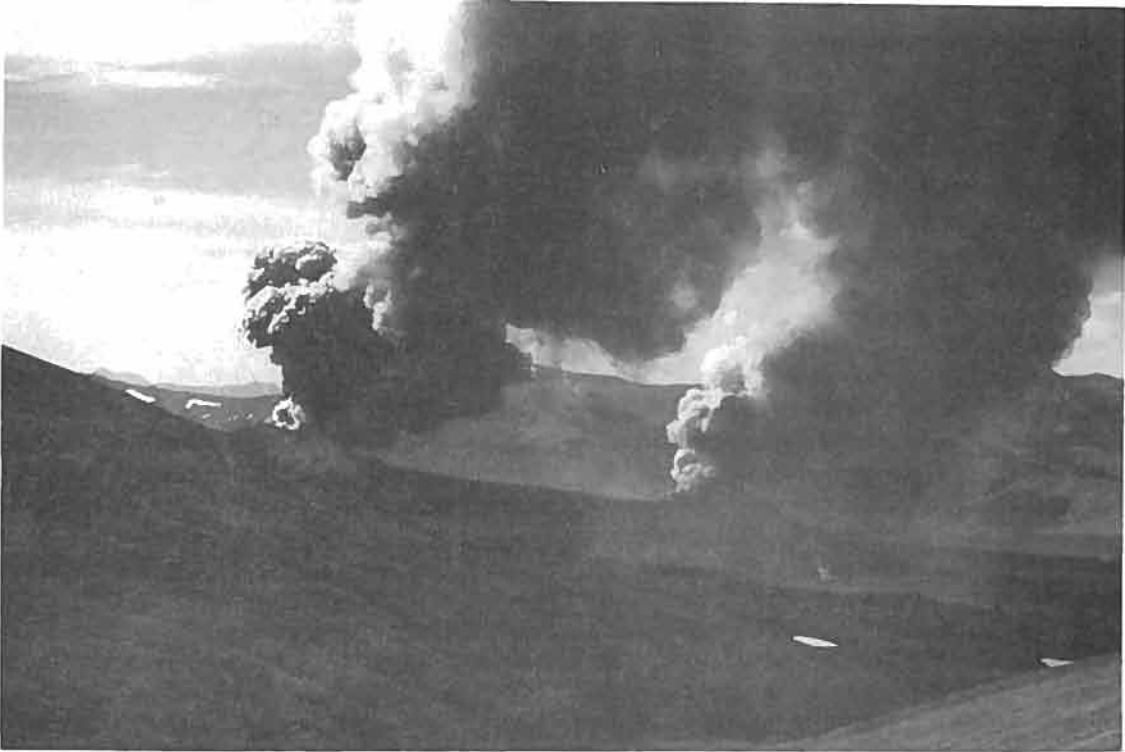


FIG. 7. Vista lateral de la fisura de erupción, de aproximadamente 400 m de longitud, con los dos cráteres más activos, a las 17:00 hrs. del 27 de Diciembre de 1988. Horas más tarde, la actividad explosiva se concentró en el cráter más occidental (izquierda) y se comenzó a edificar un nuevo cono de piroclastos.

PRODUCTOS DE LA ERUPCION

LAVA

CARACTERISTICAS DEL AVANCE Y MORFOLOGIA

Las observaciones de terreno y aéreas permitieron efectuar un seguimiento del avance de la colada de lava desde la tarde del 27 de Diciembre de 1988 hasta el 25 de Marzo de 1989, de manera casi continua durante el primer mes.

El 27 de diciembre, la lava, de moderada viscosidad, presentaba un espesor aproximado de 10 m y una característica superficie de bloques. Su avance era lento y se estimó en unos 40 m/h. Observaciones de terreno realizadas desde el 29 de Diciembre revelaron que el desplazamiento del flujo era del tipo 'caterpillar' o 'correa transportadora' (la superficie de bloques avanzaba hasta precipitar en el frente, quedando sepultada). La caída de bloques y de masas escoriáceas irregulares en el

frente de lava, estuvo acompañada por nubes de polvo pardo-rojizo que se elevaban constantemente durante el avance (Fig. 9). Este polvo correspondía a un material fino pardo rojizo de tamaño arcilla, limo y arena, producido por la fricción y abrasión de los bloques (fragmentos autoclásticos, Fisher y Schminke, 1984). Efectos similares fueron observados durante el avance de la lava del volcán Mirador, al interior del lago Ranco en 1979 (Moreno, 1980). Observaciones nocturnas revelaron que el material fino escurría incandescente y en forma gravitacional por las laderas de la lava al desprenderse los bloques, dando el aspecto de un líquido muy fluido. Esta particularidad sugirió denominarlo 'polvo de esmeril incandescente', cuya apariencia, en frío, es algo similar al de la ceniza volcánica, aunque su génesis es muy diferente.

Durante los primeros días de avance de la lava (Fig. 4), un alto topográfico elongado, correspondiente al 'levée' oriental de la lava del ciclo 1887-

89, bifurcó el flujo dando lugar a un lóbulo mayor de dirección noreste (hacia Lolco) y a un lóbulo menor de dirección norte (hacia la cuenca endorréica de Laguna Verde). El espesor de la lava se iba incrementando debido a la mayor viscosidad de la misma, provocada por el enfriamiento de sus márgenes. Con un espesor medio estimado en 12 m, el volumen emitido en la primera semana de erupción alcanzó aproximadamente unos $34 \times 10^6 \text{ m}^3$ aproximadamente.

Durante el mes de Enero, en ambos lóbulos se formaron dos canales centrales de alimentación de unos 250 m de ancho, con marcados 'levées' laterales. Simultáneamente, la colada comenzó a evolucionar de una típica colada de bloques a una con rasgos 'aa' (Fig. 10). A principios de Abril, el flujo presentaba características de ambos tipos de lava, por lo cual es razonable clasificarlo como de transición entre bloques y 'aa'.

Al día 31 de Enero de 1989, la colada presentaba un espesor medio de alrededor de 15 m y un volumen estimado de $90 \times 10^6 \text{ m}^3$. Mostraba una superficie muy irregular, con típicas estructuras de flujo, tales como rugosidades arqueadas y fracturas concéntricas. Además, se podía observar grandes bloques irregulares, alzados por efecto del empuje y rotación, algunos de los cuales sobrepasan los 15 m de diámetro.

En los primeros días de Marzo, la lava alcanzó el mallín del río Lolco a 8,5 km del cono Navidad. Durante el mes se expandió en un ancho frente de más de 1 km de perímetro, alcanzando un espesor máximo de 35 m (Fig. 15). El empuje de esta masa, debido a una expansión lateral y frontal por una disminución del esfuerzo de corte de cizalla ('shear stress') en la base, provocó la deformación del suelo en el frente de la colada, alzándolo hasta una altura de 8-10 m y fracturándolo en bloques (efecto 'bulldozer').

Desde los inicios de la erupción se pudo percibir emanaciones de gases (HCl, SO₂), cuya reacción con la roca originó pátinas de cloruro de hierro (sal amarilla) y sulfatos (sales blancas). Estas pátinas de sales se observaron tanto a lo largo de la colada como sobre la superficie de algunas bombas mayores.

TEMPERATURAS

Utilizando un pirómetro óptico de filamento se realizaron mediciones de la temperatura de la lava

en el lóbulo de Laguna Verde y en el frente del lóbulo de Lolco, obteniéndose valores de $1.020 \pm 10^\circ \text{ C}$ y $1.040 \pm 10^\circ \text{ C}$, respectivamente. Los objetivos medidos fueron sectores incandescentes en el frente de la lava, descubiertos al caer grandes bloques, o en fracturas profundas en la colada. El 5 de Abril, en el frente de Lolco y a 9 km del cráter (Fig. 15), se midieron 1.040° C . Si se presume que una lava de composición andesítica intermedia es extruida a temperaturas de $1.100 \pm 50^\circ \text{ C}$ y considerando que ha recorrido 9 km, la pérdida calórica es muy baja (Williams y Mc Birney, 1979). La estructura de la colada puede ser modelada como una 'tubería aplanada', con paredes de muy baja conductividad térmica.

Un efecto interesante se observó durante los primeros días de Enero, cuando la colada fue afectada por lluvia. La lava de un color originalmente negro, reaccionó con el agua debido a su elevada temperatura, dando lugar a una intensa oxidación del Fe, con generación de hematita, y adquiriendo un color pardo rojizo (comparar Figs. 9 y 10). Este fenómeno fue observado con anterioridad, en la lava del volcán Mirador en 1979 (Moreno, 1980).

PIROCLASTOS

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

Los materiales piroclásticos eyectados durante la presente erupción corresponden a ceniza, lapilli, bombas y escasos bloques (accesorios y accidentales). Composicionalmente, la partícula juvenil más abundante es la escoria negra a gris oscuro.

La ceniza (<2 mm de diámetro) está compuesta de partículas escoriáceas, muy irregulares, con puntas agudas altamente abrasivas y, en menor proporción, de fragmentos de cristales. El lapilli (2-64 mm de diámetro, Fig. 11) consiste, esencialmente, en escoria de formas subesféricas, las partículas mayores, a muy irregulares y alargadas, las más pequeñas. Los líticos son muy escasos (<1% en volumen) y corresponden a fragmentos de lavas más antiguas del complejo volcánico, a rocas estratificadas terciarias y a granitoides de color blanquecino parcialmente fundidos y de aspecto pumiceo, debido a su alta vesicularidad (piroclasto accidental 'pop corn')

Las bombas y las salpicaduras abundan en el cono (Figs. 13, 14) y en un radio de hasta 2 km del cráter. Las bombas más densas presentan varia-



FIG. 8. Vista hacia el sureste del Complejo Volcánico Lonquimay y el recientemente formado cono Navidad en su pie oriental. Se observa la columna de emisión, la pluma dirigida al sureste y, al fondo, la contaminación ambiental que afectó la zona. (Foto del 29 de Diciembre de 1988.) Se distinguen, también, coladas y piroclastos de erupciones anteriores en el cono principal y hacia la izquierda, el cordón fisural oriental.



FIG. 9. La colada de lava negra y el incipiente cono Navidad, cuatro días después del inicio de la erupción (29 de Diciembre de 1988). Con una longitud de 1,8 km y un espesor de 10 m, la colada avanzaba a 30 m/hora. En el frente se observa el 'polvo rojizo' (autoclástico), formado por la abrasión de los bloques durante el avance.



FIG. 10. Frente de la colada hacia Laguna Verde (frente noroeste), donde el día 17 de Enero de 1989, alcanzaba un espesor de 8 m. Se puede apreciar que se trata de un flujo transicional entre los tipos 'aa' y de bloques. La lava adquirió un color pardo-rojizo debido a la oxidación resultante por lluvia caída durante los primeros días de Enero.

das formas, aunque predominan las alargadas y de tipo fusiforme (Fig. 11). Bombas de hasta 4 m de diámetro se encontraron a 500 m del cráter. Con un bajo ángulo de proyección balística, algunas bombas mayores produjeron un doble cráter de impacto. Se encontraron, también, formas subesféricas achatadas, trenzadas e irregulares, aplanadas tipo salpicaduras, las cuales se aglutinaron al caer. Las bombas menos densas son escoriáceas, más frágiles y se desintegraban al impactar el suelo. Las bombas densas muestran superficies frágiles con exfoliación concéntrica (Fig. 10) o fracturamiento tipo 'corteza de pan'.

Los bloques son muy escasos y la mayoría de ellos corresponde a fragmentos accesorios de lavas más antiguas del CVL. Bloques accidentales de granitoides parcialmente fundidos y altamente vesiculados ('pop corn') aparecen subordinados.

DISTRIBUCION

La distribución del material piroclástico está controlada por su proyección balística y dispersión eólica. La mayor parte de las bombas y el lapilli grueso (32-64 mm) se distribuye en torno al cráter y forma el cono. Sin embargo, después de algunos días de fuerte viento noroeste se observaron, a más de 1 km del cráter, bombas escoriáceas pequeñas (de hasta 10 cm de diámetro) y lapilli grueso, transportados en sentido ascendente mediante saltación, a lo largo de una ladera de 25° de pendiente.

El lapilli fino (2-16 mm) a medio (16-32 mm) se distribuyó en forma elíptica, hacia el sureste del cráter (Fig. 12), debido al predominio de los vientos provenientes del noroeste. Los fragmentos de lapilli de formas aplanadas y contornos irregulares alcanzaron distancias mayores por su mayor resistencia al roce (efecto planeador).

La ceniza, aunque más densa que el lapilli, siendo más fina y alcanza mayor altura en la columna eruptiva, por lo cual es transportada a grandes distancias por el viento. La ceniza de la presente erupción ha sido transportada preferentemente hacia el ESE, siendo Lonquimay la localidad más afectada por su caída. Entre los días 29-12-88 y el 10-01-89 (según información del satélite NOAA proporcionada por el Smithsonian Institution, EUA) una pluma densa de ceniza se extendía en dirección este y sureste, hasta una distancia de 250 km y difusa hasta 500-600 km del volcán Lonqui-

may, alcanzando un ancho promedio de 50 km.

Durante los primeros días de Febrero se tomaron 67 medidas del espesor de la ceniza y lapilli, en un área de 900 km² en torno al volcán y se confeccionó un mapa isópaco preliminar (Fig. 12). Los sitios de medición se seleccionaron y revisaron minuciosamente eliminándose aquellos que denotaban removilización del material por el viento, agua u otros factores. Los más propicios eran los sectores abiertos rodeados de bosques, terrenos planos protegidos con troncos, empalizadas o arbustos, chozas o corrales abandonados, entre otros, es decir, sitios planos y cerrados. En cada punto se tomaron entre 3 y 5 medidas, obteniéndose un promedio entre los tres valores más elevados.

PETROGRAFIA

La lava, bombas y lapilli se caracterizan por presentar una gran similitud petrográfica. Corresponden a andesitas afaníticas, de color negro, granulometría fina, con rasgos de fluidez (lavas y bombas no escoriáceas) y bandas producto de concentraciones diferenciales de minerales (en particular opacos) o por distintos grados de vesicularidad. Las zonas macizas, ricas en vidrio, muestran fracturamiento concoidal. Son rocas casi afíricas con menos de 3% de pequeños fenocristales de plagioclasa translúcida, los cuales alcanzan tamaños de hasta 4 mm. Ocasionalmente se observan cristales subhedrales de pirita (xenocristales), lo cual constituye una curiosidad.

Al microscopio, las andesitas presentan escasos microfenocristales (0,1-0,6 mm) de plagioclasa, comúnmente orientados, clinopiroxeno y olivino, además de una proporción notablemente alta de minerales opacos. Los fenocristales más abundantes corresponden a plagioclasa en cristales tabulares frecuentemente esqueletales (con inclusiones ocasionales de clinopiroxeno) o en pequeños cúmulos asociada a clinopiroxenos u olivino y minerales opacos. El olivino y clinopiroxeno se presentan en proporciones variables. Este último ocurre en pequeños cristales (0,1 mm) euhedrales a anhedrales, ocasionalmente con inclusiones de minerales opacos subcúbicos y con gruesos bordes opacíticos. El olivino aparece en cristales subhedrales de hasta 0,3 mm con inclusiones de minerales opacos; los cristales mayores son comúnmente esqueletales (horadados) y presentan bor-

des de reacción de piroxeno. Los minerales opacos corresponden principalmente a magnetita (3-8%), la cual se presenta finamente diseminada y/o concentrada en bandas de color más oscuro. Ocasionalmente está asociada a un enriquecimiento de cristales de plagioclasa. Ocurre en cristales pequeños (<0,1 mm), anhedrales a subcúbicos y, escasamente en cristales mayores, subhedrales y con inclusiones de pirita, en partes, asociada a ilmenita.

La masa fundamental está constituida principalmente por vidrio, variando su color desde pardo claro a negro. Se presenta comúnmente bandeada y/o fluidal con texturas intermedias entre hialopilitica y pilotaxítica. Incluye cantidades variables de microlitos de plagioclasa y abundantes gránulos de magnetita. Dentro de ella, se distinguen núcleos con mayor grado de cristalinidad y/o de vidrio incoloro con cristales aciculares de enfriamiento rápido, evidenciando diferentes ritmos de enfriamiento.

to.

Las rocas estudiadas presentan distintos grados de vesicularidad, desde 2% en las zonas de lava maciza, hasta 50% en las bombas escoriáceas. Las vesículas son de formas esféricas las menores (0,06 mm) e irregulares y comúnmente alargadas las mayores (1,5 mm). Están homogéneamente distribuidas en las escorias, pero no en la colada ni en las bombas. En las bombas las paredes de las vesículas muestran cristales aciculares de plagioclasa y piroxeno de enfriamiento rápido ('quenched'), en tanto que en la colada presentan pequeños prismas de clinopiroxeno con tinción amarilla. Algunas vesículas presentan las paredes cubiertas por una delgada capa de cristobalita, la que en fracciones brechosas de la colada está teñida verde-amarillento. Tanto esta tinción como la de los prismas de piroxenos sería producto de oxidación de la magnetita, provocada por precipitaciones pluviales.

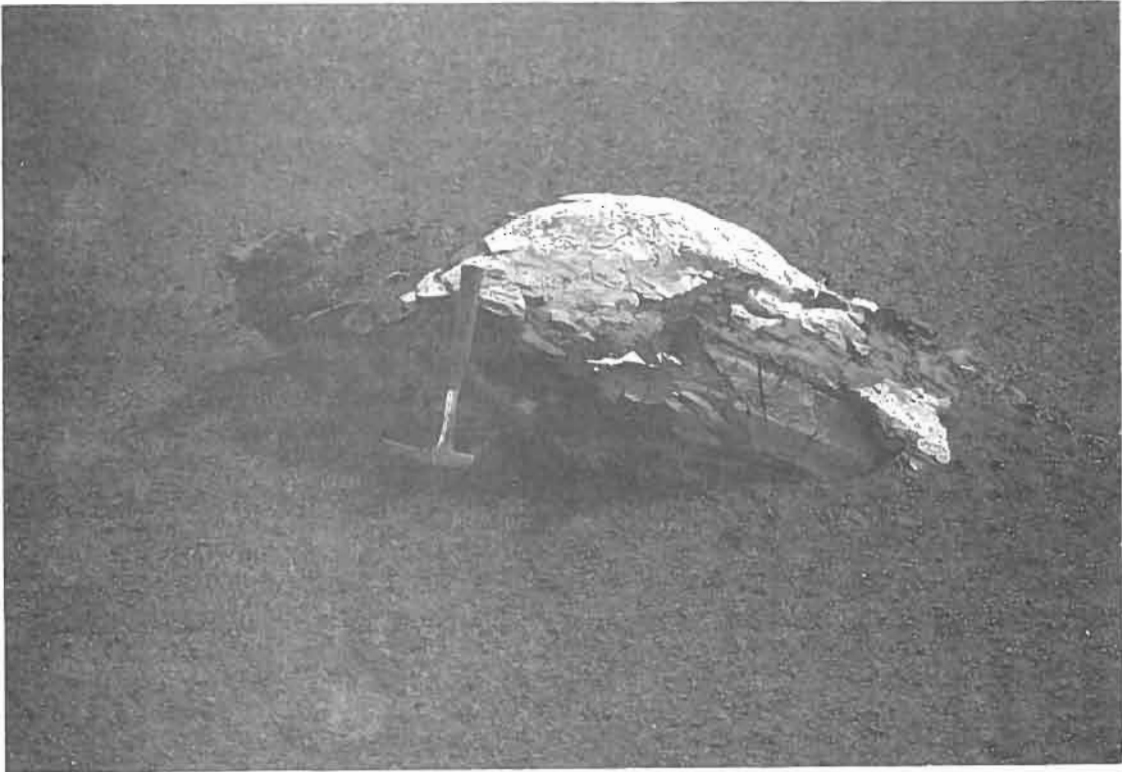


FIG. 11. Bomba fusiforme (1,5 m de longitud) eyectada a 500 m de distancia entre el 7 y 11 de Enero de 1989, rodeada de lapilli escoriáceo gris oscuro. Al 25 de Marzo (dos meses después), sólo afloraba la parte superior de esta bomba.

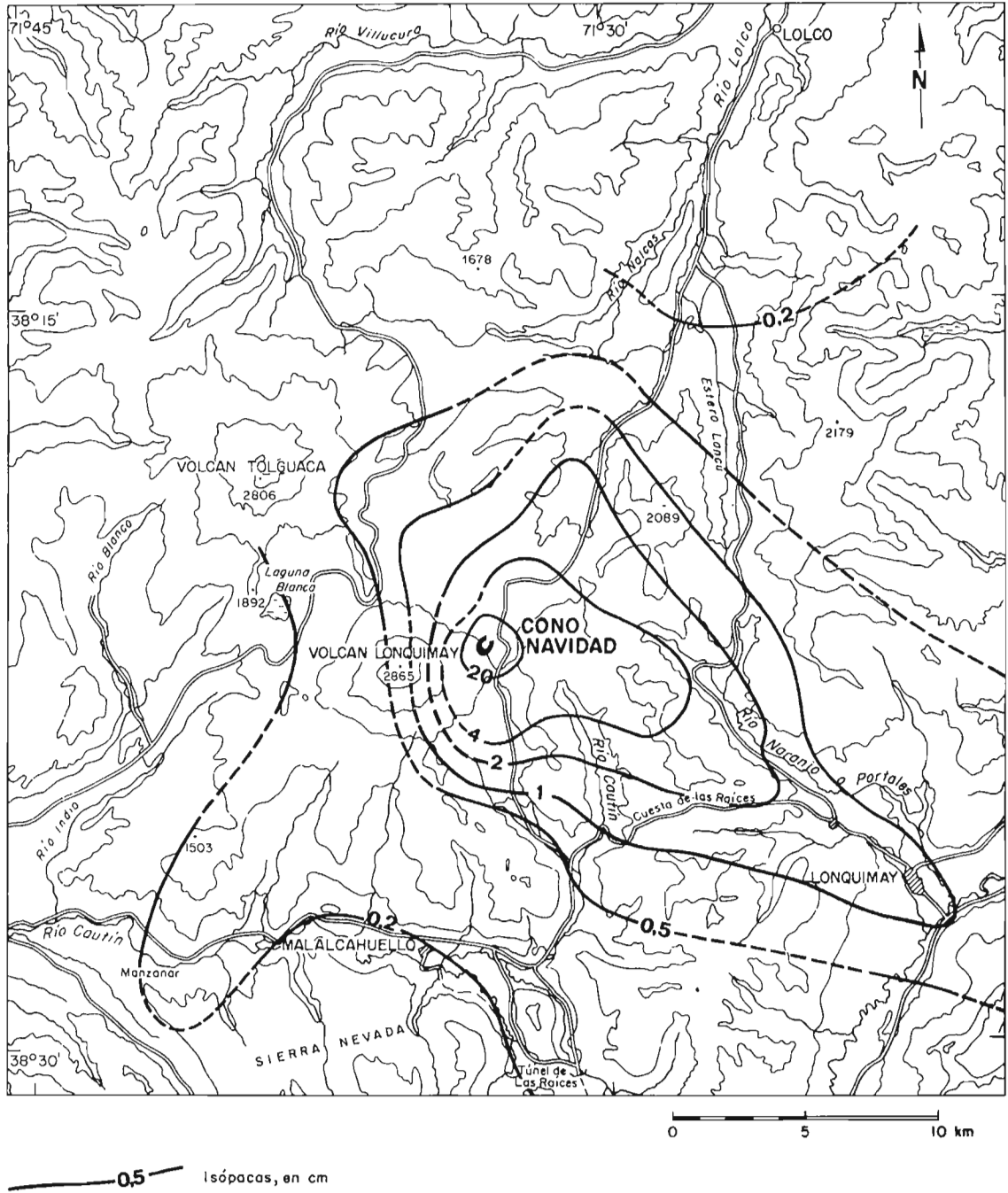


FIG. 12. Isópachas preliminares, basadas en 67 datos de terreno (3 de Febrero de 1989).

GEOQUIMICA

La composición química de los materiales emitidos en la presente erupción corresponden, exclusivamente, a andesitas. Estas muestran un estrecho intervalo composicional, con SiO₂ entre 57,8 y 59,1% (Fig. 17), variación que es independiente del tiempo. Trece análisis químicos de lavas, bombas, escoria y ceniza, algunos de los cuales se entregan en la tabla 1, revelan la similitud

química de estos productos, aunque en promedio las cenizas tienen contenidos de SiO₂ inferiores. Los contenidos de K₂O son bajos y homogéneos (Fig. 17) y, al igual que los restantes elementos mayores, caen dentro de la tendencia de variación del CVL. La composición de estas rocas es comparable con la de una andesita emitida en el ciclo 1887-89, las que, en general, son más diferenciadas (Fig. 17).

TABLA 1. ANALISIS QUIMICOS DEL COMPLEJO VOLCANICO LONQUIMAY, CICLO 1988-

Tipo No. Muestra	Cenizas		Escoria	Bombas		Lava	
	Lo-3	Lo-4	Lo-5	Lo-13	Bomba 01	Lo-12	Lo-11
SiO ₂	57,42	58,12	58,58	58,23	58,65	57,83	58,13
TiO ₂	1,48	1,45	1,45	1,60	1,51	1,57	1,52
Al ₂ O ₃	16,36	16,30	16,31	16,02	15,90	16,37	15,92
Fe ₂ O ₃	3,73	3,46	3,17	1,93	1,52	2,17	3,19
FeO	5,71	5,75	5,63	7,27	7,72	7,23	6,47
MnO	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,23	0,28
MgO	2,42	2,37	2,29	2,45	2,25	2,44	2,24
CaO	5,51	5,43	5,32	5,60	5,57	5,55	5,29
Na ₂ O	5,20	4,96	4,84	5,03	4,95	5,10	5,11
K ₂ O	0,93	0,90	0,89	0,88	0,95	0,90	0,90
P ₂ O ₅	0,37	0,39	0,39	0,33	0,42	0,38	0,40
PPC (950°C)	0,42	0,38	0,40	0,24	0,57	0,29	0,29
Total	99,78	99,74	99,50	99,81	100,23	100,06	99,74
Normalizados Libres Volátiles							
SiO ₂	57,83	58,52	59,13	58,48	58,85	57,96	58,46
TiO ₂	1,49	1,46	1,46	1,61	1,52	1,57	1,53
Al ₂ O ₃	16,48	16,41	16,46	16,09	15,95	16,41	16,01
Fe ₂ O ₃	3,00	2,97	2,98	1,94	1,53	2,18	3,04
FeO	6,43	6,25	5,88	7,30	7,75	7,25	6,66
MnO	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,23	0,28
MgO	2,44	2,39	2,31	2,46	2,26	2,45	2,25
CaO	5,55	5,47	5,37	5,62	5,59	5,56	5,32
Na ₂ O	5,24	4,99	4,89	5,05	4,97	5,11	5,14
K ₂ O	0,94	0,91	0,90	0,88	0,95	0,90	0,91
P ₂ O ₅	0,37	0,39	0,39	0,33	0,42	0,38	0,40
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Ubicación: Lo-3: Cuesta Las Raíces (11-01-89); Lo-4: Lonquimay (11-01-89); Lo-5: Camino, 1 km al este del cono Navidad; Lo-13: Cordón Fisural, 800 m al ENE del Cono Navidad (06-04-89); Bomba 1: 800 m al sureste del cono Navidad (31-13-88); Lo-12: Lava de bloque en el borde este de la colada, a 400 m del cráter; Lo-11: Frente colada, lóbulo Lolco, a 9 km del cráter (05-04-89).



FIG. 13. Etapa inicial de construcción del cono Navidad (1 de Enero de 1989). Su altura alcanzaba a 100 m sobre la base y un intenso bombardeo se puede apreciar en sus flancos. Vista hacia el noroeste desde el portezuelo Lolco, a una distancia de 1.300 m.

IMPACTO DE LA ERUPCION EN EL MEDIO AMBIENTE

CONTAMINACION ATMOSFERICA

Dentro de un radio de unos 6 km en torno al cono Navidad, y dependiendo de la fuerza y dirección de los vientos, la atmósfera presentaba concentraciones variables de polvo volcánico en suspensión y gases (HCl y SO₂), estos últimos percibidos fuertemente en las inmediaciones del cono y la colada. Los sectores con mayor concentración de partículas en suspensión corresponderían al curso superior del río Cautín, Cuesta Las Raíces, valle del río Naranjo o Portales, Lonquimay y, ocasionalmente, Malalcahuello y Lolco. Las consecuencias detectadas en la población fueron irritaciones oculares y respiratorias, lo cual obligó a los habitantes a utilizar mascarillas y a protegerse los ojos, y erosiones en la piel (en zonas de roce con la ropa).

CAIDA DE CENIZAS

Los mismos sectores que sufrieron contaminación atmosférica fueron los más afectados por la caída de cenizas. Fuera de los lugares mencionados, también se registró la caída ocasional de ellas en Curacautín, Sierra Nevada, Chilpaco, Troyo, Icalma y Liucura. El área poblada con la mayor acumulación de cenizas correspondió a la hoya del río Naranjo o Portales (Fig. 12). La vegetación de hojas anchas: ñirres, coigües, coligües, pastos tipo trébol y arbustos oleaginosos, fue la más afectada pues la retención de cenizas en las hojas provocó una mayor absorción de la radiación solar, con la consecuente deshidratación de la planta. En Lonquimay se detectó la muerte de aves de corral y de ganado vacuno por haber ingerido pas-



FIG. 14. Aspecto del cono Navidad con su cráter abierto hacia el noreste, el 5 de Abril de 1989. La cima más elevada alcanzaba 210 m de altura (1.890 m s.n.m.) y en el interior del cráter se observa una débil proyección de bombas y salpicaduras.



FIG. 15. Vista aérea de la colada de lava, Cono Navidad y Volcán Lonquimaí, desde el valle del río Lolco, el 5 de Abril 1989. El frente de lava alcanza un espesor de 35 m y está invadiendo el mallín de Lolco, deformando los sedimentos y destruyendo bosques. Se pueden apreciar las fuertes emanaciones de vapor en el frente de lava, debido al contacto con el agua exprimida desde el mallín. Toda la atmósfera del sector revela un aspecto brumoso determinado por la presencia de gases (HCl, SO₂) y partículas en suspensión (aerosoles).



FIG. 16. Vista aérea del cono Navidad, el 26 de Marzo de 1989; hacia el sureste se puede apreciar la disminuida actividad eruptiva estromboliana, concentrada en un punto marginal de su cráter. Se aprecia, además, la presencia de vapor de agua en la reducida columna de gases y cenizas.

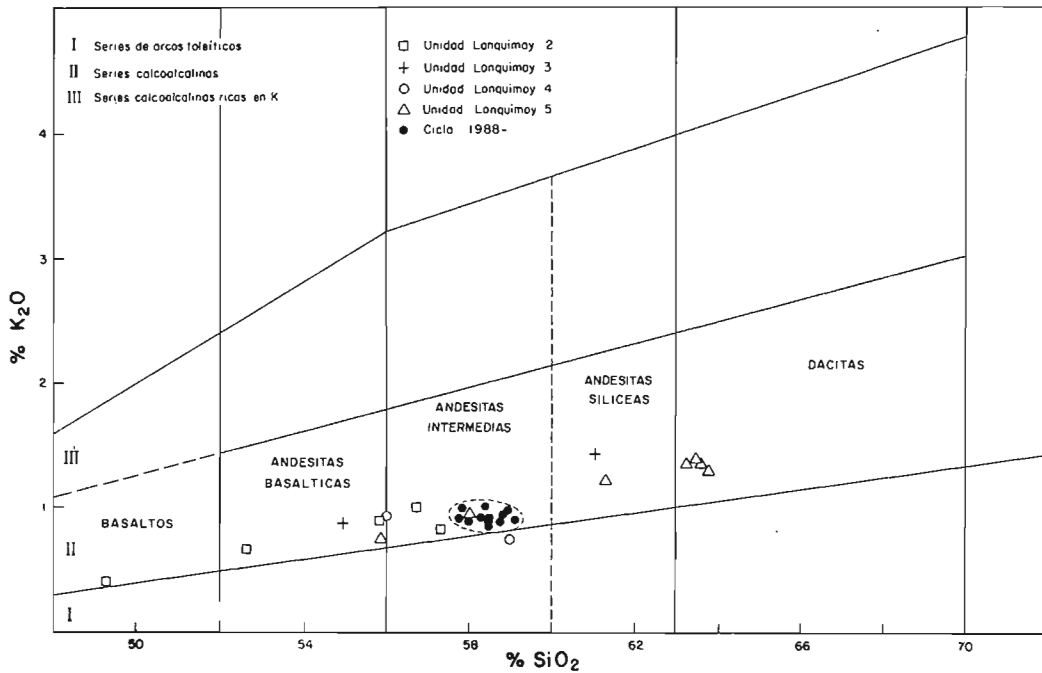


FIG. 17. Diagrama SiO₂ versus K₂O del Complejo Volcánico Lonquimay. Datos de Thiele *et al.* (*op. cit.*); inéditos de L. López, Tabla 1 e inéditos de los autores (libres de volátiles).

tos con ceniza, la cual produjo erosión y obstrucción del tracto digestivo.

LLUVIA ACIDA

Junto a erupciones volcánicas se puede producir la denominada 'lluvia ácida' cuando la lluvia generada en nubes elevadas, atraviesa la pluma de gases volcánicos o cuando esta última se condensa y precipita. Durante la presente erupción se observó la precipitación de lluvia ácida en áreas vecinas al volcán y en la cuesta Las Raíces, los días 4 y 11 de Enero. Los chubascos generados eran de mediana intensidad pero con gruesos goterones cenicientos y un pH 1-3. La lluvia ocasionó quemaduras leves en la piel de algunas personas, generando manchas rojizas. Su impacto en la vegetación no fue evaluado. En ambos casos, la lluvia se originó en la pluma debido a una mayor condensación provocada por aumento de la humedad atmosférica y una baja de temperatura. El 4 de Enero la precipitación fue acompañada por una tormenta eléctrica, en el interior de la pluma.

DESTRUCCION POR AVANCE DE LA LAVA

Afortunadamente, la mayor parte del área cubierta por la colada estaba desprovisto de vegeta-

ción y correspondía al campo de lava y piroclastos denominado 'escoriales de Lonquimay' formado durante el ciclo eruptivo 1987-1989 (Fig. 3). No obstante, al 5 de Abril, el avance de la lava a lo largo del valle del río Lolco, había destruido el camino carretero Malalcahuello-Lolco, en un tramo de 3,5 km y obstruido 60 m en el frente, a 2,5 km del Fundo Lolco. De igual modo provocó el incendio de aproximadamente 5 ha, y la destrucción de otras 30 ha de arbustos y bosques en el margen occidental del valle, incluyendo la desaparición de un pequeño lago. Finalmente causó la destrucción de 60 ha del mallín de Lolco, el cual comprendía araucarias, coigües y pastizales.

CONTAMINACION DE AGUAS

Las aguas corrientes superficiales de los alrededores del volcán Lonquimay experimentaron alteraciones debido a caída de ceniza y el avance de la lava (con algo de contaminación química).

Los ríos Cautín y Naranjo o Portales fueron los más afectados por la caída de ceniza, la cual otorgó turbidez a sus aguas y produjo leves aumentos en los contenidos de cloruros y sulfatos, a juzgar por algunos análisis efectuados por el Servicio Nacional de Obras Sanitarias (SENDOS).

El avance de la lava por el valle del río Lolco pro-

vocó, directamente, una contaminación química y elevación de la temperatura de las aguas superficiales, e indirectamente, una contaminación bioquímica debido a la expulsión de agua con materia orgánica en descomposición, exprimida desde el mallín de Lolco. La lava aportó contenidos variables de HCl, F y SO₂ (y, eventualmente, H₂SO₄) a las aguas corrientes, reduciendo su pH de 7,5 a 6,0. Por otra parte, el agua parda oscura y maloliente

que brotaba del mallín, registraba temperaturas de 71° C a unos 20 m del frente de lava y escurrió como una lámina de 10-30 cm de profundidad, exterminando la vegetación del lugar y la fauna menor. Su superficie oleosa y tornasolada acusaba la presencia de hidrocarburos. Las consecuencias de esta contaminación en la fauna del área y, en particular, en los peces, aún están en proceso de evaluación.

CONCLUSIONES

La erupción iniciada el 25 de Diciembre de 1988 en el Complejo Volcánico Lonquimay ha significado una nueva oportunidad para observar, en detalle, un ciclo eruptivo en los Andes del Sur de Chile, del cual se pueden obtener las siguientes conclusiones preliminares:

1. La actividad sísmica fue un fenómeno precursor de la nueva erupción. El registro de sismos comenzó sólo 7 días antes de su inicio (19 de Diciembre), en la estación sismológica TMU ubicada en Temuco. Los sismos alcanzaron a un centenar y con intensidades de hasta grado 5, siendo Malcahuello (12 km al sur del centro eruptivo) la localidad más afectada. Los sismos se percibieron, además, en Lonquimay, Curacautín y, ocasionalmente, en Victoria y Temuco.
2. Un nuevo cráter se abrió en el pie noreste del volcán Lonquimay, a 3,5 km de su cumbre, alrededor de las 15:30 horas del día 25 de Diciembre de 1988. Posteriormente, una fisura de 400 m se abrió hacia el cono del volcán Lonquimay (sureste), sobre la cual entraron en erupción otros tres cráteres. La actividad explosiva se concentró en la mitad occidental de la fisura en 48 horas, iniciando la edificación de un cono nuevo, mientras que, desde la mitad oriental comenzó a fluir lava. El emplazamiento de los nuevos cráteres a lo largo de la fisura activa en 1887-89 tuvo un claro control estructural. Un dique radial puede haber sido el conducto alimentador de esta nueva erupción.
3. La erupción, de tipo estromboliana vigorosa, tuvo al comienzo índices de explosividad volcánica (VEI) de 2-3, para luego declinar a dos durante la segunda semana de Enero y, finalmente, a uno durante la segunda mitad del mes. A continuación, los períodos más explosivos (VEI 2) comenzaron a tener cada vez menor duración que aqué-

llos de baja explosividad (VEI 1). El comportamiento eruptivo ha tenido dos fases alternantes distintivas: una fuertemente explosiva, acompañada de hongos de vapor de agua y abundante proyección de bombas y otra de baja explosividad con emisión continua de una densa columna de cenizas y gases. Estas fases se alternaban en lapsos de 15-20 minutos al comienzo de la erupción; sin embargo, a fines de Marzo los períodos eran de hasta 2 horas y las fases explosivas menos intensas. La presencia de abundante vapor de agua durante la fase explosiva, sugiere que el nivel freático ha tenido un rol importante en el mecanismo eruptivo.

4. Los piroclastos emitidos han sido esencialmente bombas, salpicaduras ('spatters'), lapilli escoriáceo y ceniza escoriácea, de color gris oscuro a negro. El cono Navidad está formado por piroclastos balísticos del tipo bombas, lapilli grueso y escasas salpicaduras. Bombas de hasta 4 m de largo (aprox. 5 t) fueron eyectadas hasta 500 m de distancia del cráter. Los piroclastos del tipo lapilli medio a ceniza fueron dispersados hacia el ESE por los vientos predominantes del cuadrante occidental y su volumen es del orden de 35×10^6 m³, lo que equivale a un volumen de magma de unos 26×10^6 m³ (70×10^6 t). La pluma (cenizas finas y gases) alcanzó longitudes de hasta 600 km en dirección este, durante el mes de Enero.

5. La lava emitida presentaba, al comienzo, una superficie típica de bloques, color negro y espesores del orden de 10 m. Posteriormente, evolucionó hacia una colada con rasgos transicionales entre bloques y 'aa', engrosándose en forma paulatina hasta alcanzar espesores máximos de 35 m en el frente, a 9 km del cráter, mientras nuevos pulsos de lava eran emitidos sobre la colada. Las tasas de efusión alcanzaron a 5×10^6 m³/día du-

rante la primera semana, para declinar a 10^6 m³/día durante los meses de Febrero y Marzo. El volumen de lava emitido al 5 de Abril era del orden de 142×10^6 m³, lo cual representa una masa de aproximadamente 390×10^6 toneladas.

6. Las temperaturas de la lava medidas en los frentes de la colada revelaron a $1.040 \pm 10^\circ$ C, a 9 km del cráter. La estructura de la colada se asemeja a una 'tubería achatada', con paredes rocosas, que resultan ser de muy baja conductibilidad térmica, si se considera que las lavas andesíticas intermedias a silíceas son emitidas a temperaturas de $1.100 \pm 50^\circ$ C (Williams y Mc Birney, 1979, p. 120-121).
7. Las lavas y piroclastos de la presente erupción son petrográfica y químicamente similares. Corresponden a andesitas afaníticas ($\text{SiO}_2 = 58,7 - 59,1\%$), con microcristales de plagioclasa y escasos de clinopiroxeno, olivino y magnetita. Son comparables a las andesitas de las unidades previas del CVL, aunque más primitivas que las del evento 1887-89 ($\text{SiO}_2 = 60,6 - 62,9\%$), revirtiéndose la aparente tendencia a un mayor fraccionamiento en la evolución del complejo.
8. La energía térmica liberada durante los primeros

100 días de erupción, considerando sólo la lava emitida y el manto de tefra, alcanza a $E_t \sim 4,0 \times 10^{24}$ ergs utilizando la ecuación $E = M \times T^\circ \times C_x \times C_{ex}$ J ergs, en donde la masa (M) es de $\sim 460 \times 10^{12}$ g; la temperatura (T) de 1.040° C; el calor específico (C_e) $\sim 0,2$ cal/g $^\circ$ C y J es 4.186×10^7 ergs/cal.

9. A pesar de lo reducido de esta erupción, su impacto en el medio ambiente ha sido notable. En las zonas cercanas al cono y en aquellas ubicadas bajo la pluma hacia el ESE, la contaminación atmosférica y, en particular la caída de ceniza, afectó el sistema respiratorio y la vista de los habitantes. Además ha causado, y continúa causando, gran daño a la población animal, habiéndose registrado una pérdida generalizada de peso en vacunos (10.000 cabezas) y algunas muertes, con la consecuente pérdida económica. Daños locales en la vegetación produjo la lluvia ácida generada por la condensación en la columna de emisión, la caída de ceniza y el avance de lava que destruyó algunos bosques. Las aguas de la zona presentan aumentos de la turbidez y del contenido de cloruros, sulfatos y flúor además de contaminación biológica en el valle del río Lolco, por donde avanza la lava.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen a la Intendencia de la IX Región, Ilustres Municipalidades de Curacautín y Lonquimay, Universidad de la Frontera de Temuco (UFRO), Empresa Nacional de Electricidad (ENDESA) y al Sr. Patricio Mosso, por el apoyo prestado durante los estudios en el terreno. Especial agradecimiento al Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de Chile, al Servicio Nacional de Geología y Minería y a la Fundación Andes, quienes entregaron el apoyo económico necesario. Además, se expresa el reconocimiento por su colaboración desinteresada a los profesores Sres. Pedro Riffo y Gustavo Fuentealba de la UFRO, a la Srta. Rosy Rojas, de la Oficina Regional de Emergencia, IX Región (ORE-

MI) y a la Srta. Carmen Espejo y Sr. Jaime Martínez (analistas químicos del Servicio Nacional de Geología y Minería). A los geólogos Constantino Mpodzis, José A. Naranjo (Servicio Nacional de Geología y Minería) y Leopoldo López Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica) se agradece la lectura crítica del texto y sus valiosas recomendaciones. A las Srtas. Marcela Marcotti y Rossana Crestto por la ayuda en el tipeo del manuscrito.

Se agradece al Proyecto del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología (FONDECYT) 1989 No. 1.048. El trabajo se presenta como una contribución al Proyecto del PICG, No. 249: "Andean Magmatism and its Tectonic Setting".

REFERENCIAS

Brüggen, J. 1950. Fundamentos de la Geología de Chile. *Instituto Geográfico Militar*, 378 p. Santiago.

Casertano, L. 1963. Catalogue of the active volcanoes of the world including solfatara fields. Part 15, Chilean

- Continent. *IAVCEI*, 55 p.
- Fisher, R.V.; Schmincke, H.U. 1984. Pyroclastic rocks. *Springer Verlag*, 472 p.
- Moreno, H. 1980. La erupción del volcán Mirador en Abril-Mayo de 1979, Lago Ranco-Riñiñahue, Andes del Sur. *Universidad de Chile, Departamento de Geología, Comunicaciones*, No. 28, p. 1-23.
- Newhall, C.G.; Self, S. 1982. The Volcanic Explosivity Index (VEI): an estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal Geophysical Research*, Vol. 87, p. 1231-1238.
- Salinas, P. 1979. Geología del área Lolco-Lonquimay, Cordillera de los Andes, Alto Bío-Bío, IX Región, Chile. Memoria de Título (Inédito). *Universidad de Chile, Departamento de Geología*, 153 p.
- Stone, J.B.; Ingerson, 1934. Earl Miscelanea. *Departamento de Minas y Petróleo, Boletín*, Vol. 5, No. 40-41, p. 636-671.
- Von Wolff, F. 1929. Der Vulcanismus. Stuttgart, Enke.
- Williams, H.; Mc Birney, A. 1979. Volcanology. Freeman, Cooper y Co., 397 p. San Francisco.
- Zeitschrift für Volcanologie. 1935. Nachrichtendienst über vulkanische Ereignisse 1932-33, Vol. 16, 195 p.