



GEOLOGIA DE LOS VOLCANES DEL CALLEJON DE TILOCALAR
CORDILLERA DE LOS ANDES - ANTOFAGASTA

MOYRA GARDEWEG P.

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

CARLOS F. RAMIREZ R.

RESUMEN

En la Cordillera de los Andes de la Región de Antofagasta, afloran dos pequeños conos volcánicos ubicados al sur del Salar de Atacama en el Callejón de Tilocalar (23° 55' a 23° 59' Lat. sur y 68° 06' a 68° 08' Long. oeste).

Estos volcanes están ubicados en una zona de inflexión de la cadena volcánica de la Región de Antofagasta, desplazados hacia el oeste de la misma. Están emplazados en ignimbritas pliocénicas, a lo largo de fallas normales, expuestas, de rumbo NS y edad pliocena-pleistocena, que originan el graben del Callejón de Tilocalar. Corresponden a dos pequeños conos escasamente erosionados de edad cuaternaria, compuestos principalmente por potentes coladas en bloque, de lavas andesíticas y andesítico-basálticas, prácticamente aférricas. El cono de más al norte está formado exclusivamente por lavas andesíticas, cuyas coladas conforman una lengua de dirección NS; el cono de más al sur, de forma semirectangular, está constituido por un depósito basal y coladas de andesitas y andesitas basálticas, además de tener asociado un cráter de explosión.

Químicamente, las andesitas del volcán norte se presentan más diferenciadas que las andesitas y andesitas basálticas del volcán sur, señalado por el mayor índice de diferenciación y un menor índice de solidificación. Presentan una asociación química calcoalcalina, con contenidos de potasio promedio a alto, característica de una zona orogénica de margen de placa continental, destructivo, y similar a la que ha sido descrita en rocas volcánicas de áreas cercanas del Norte de Chile.

ABSTRACT

In the Andes Range of the Antofagasta Region two small volcanic cones crop out in the southern part of the Atacama salar, in Callejón de Tilocalar (Lat. 23° 55' to 23° 59' south and Long. 68° 06' to 68° 08' west).

These volcanoes are displaced to the west respect to the main volcanic chain, at an inflection zone. They are set over pliocene ignimbrites along plio-pleistocene NS normal faults, that form the Callejón de Tilocalar graben. These volcanoes are two small quaternary volcanic cones, scarcely eroded, formed mainly by thick aphyric lava flows of andesitic and basaltic-andesitic composition. The north cone is formed exclusively by andesitic lavas originating a tongue shape of NS direction; the southern cone has an approximately rectangular shape and is formed by a basal pyroclastic deposit and by andesitic and basaltic-andesitic flows. This cone is associated with an explosion crater.

The andesites of the northern cone are chemically more differentiated than the andesites and basaltic-andesites of the southern one; this is shown by a higher differentiation index and a lower solidification index of the lavas of the northern cone. They all show a calcoalcaline association with average to high contents of potassium, characteristic of an orogenic belt, related to a destructive continental plate margin. The former are similar to those previously described for most volcanic rocks of northern Chile.

INTRODUCCION

Durante el levantamiento geológico a escala 1:250.000 de la Hoja Toconao (Ramírez y Gardeweg, en prensa) en la Cordillera de los Andes de la provincia de Antofagasta, se estudiaron, en detalle, dos pequeños volcanes ubicados al sur del Salar de Atacama, en un sector deprimido, denominado Callejón de Tilocálar (Fig. 1).

Estos volcanes se caracterizan por estar ubicados frente a una zona de inflexión, en la extensa cadena volcánica que constituye la Cordillera de los Andes, en la Región de Antofagasta. Se encuentran desplazados 25 km hacia el oeste de la cadena principal, constituida por un cordón NS, que abarca desde el volcán Juriques (22° 45' Lat. sur) hasta el volcán Caichinque (24° Lat. sur), a partir de donde presenta una orientación NNE, abarcando desde el Cordón de Coronsoque (24° Lat. sur) hasta el volcán Socompa (24° 30' Lat. sur). Se caracterizan, además, por su peculiar emplazamiento en fallas expuestas (Fig. 1).

En gran parte del sector precordillerano, donde se encuentran estos volcanes, aflora un flujo de ignimbritas pliocénicas (Ignimbrita Tucúcaro) que cubre, en discordancia angular, a estratos de areniscas y conglomerados escasamente litificados de la Formación Tambores (Oligoceno-Mioceno Medio) y a granitoides paleozoicos. En el sector de Tilocálar, estas unidades están afectadas por un sistema de fallas normales, de rumbo aproximadamente NS, y manteo cercano a la vertical, de 30 km de extensión, que configuran un graben de unos 20 km de ancho, ubicado entre el Cordón de Lila y las Lomas de Quílvár, con los bloques fallados, inclinados hacia el oeste (Fig. 1). En el flanco occidental del graben, de 12,5 km de ancho, se reconocen tres fallas con saltos variables entre 30 y 60 m, distantes 1-5 km entre sí, mientras que en el flanco oriental sólo se reconocen dos fallas, a 3 km de distancia entre sí, con saltos de hasta 200 m (Fig. 1).

Los volcanes de Tilocálar se ubican en la parte centro-occidental de este graben, derramando sus lavas sobre la Ignimbrita Tucúcaro y sobre depósitos recientes no consolidados.

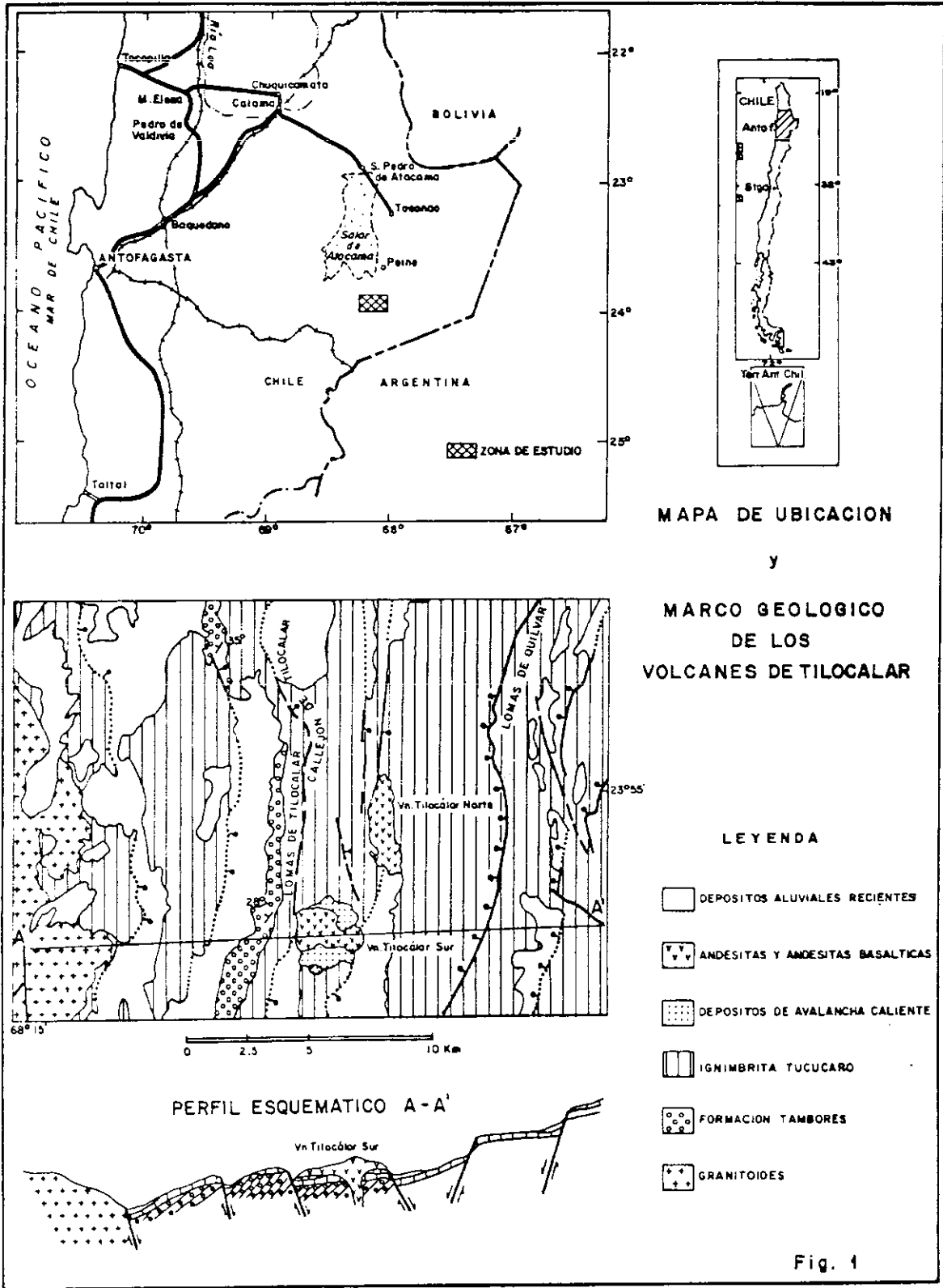
MORFOLOGIA VOLCANICA

Los volcanes de Tilocálar corresponden a dos pequeños conos escasamente erosionados, compuestos principalmente por potentes (50-80 m) coladas en bloque de lavas andesíticas y andesítico-basálticas, que no presentan evidencias de haber sido rotadas. Según su disposición geográfica se han denominado Volcán Tilocálar Norte y Volcán Tilocálar Sur (Fig. 2).

Volcán Tilocálar Norte (23° 55,7' Lat. sur; 68° 06,3' Long. oeste)

Este volcán se encuentra en el escarpe de la primera falla del flanco occidental del graben del Callejón del Tilocálar (Fig. 1). Corresponde a un cono formado exclusivamente por lavas, las cuales se extienden hacia el norte del centro de emisión, rellenando la quebrada adyacente al escarpe de falla. Sus coladas forman una lengua de 4,3 km de largo y 1 km de ancho máximo, en que un volumen de aproximadamente $160 \times 10^6 \text{ m}^3$ de lava cubre una superficie de $3,5 \text{ km}^2$.

Consta de tres coladas principales (Fig. 2); la más antigua y de menor superficie (TN_1) sobreyace a la Ignimbrita Tucúcaro. La colada siguiente (TN_2) corresponde a un pequeño derrame, de forma lobulada y 800 m de extensión, dirigido hacia el sur. La colada más moderna y más extensa (TN_3) está asociada a un pequeño cuello emplazado en la zona de emisión; se extiende por 3,8 km hacia el norte del cono principal y está levemente disectada por quebradas poco profundas.



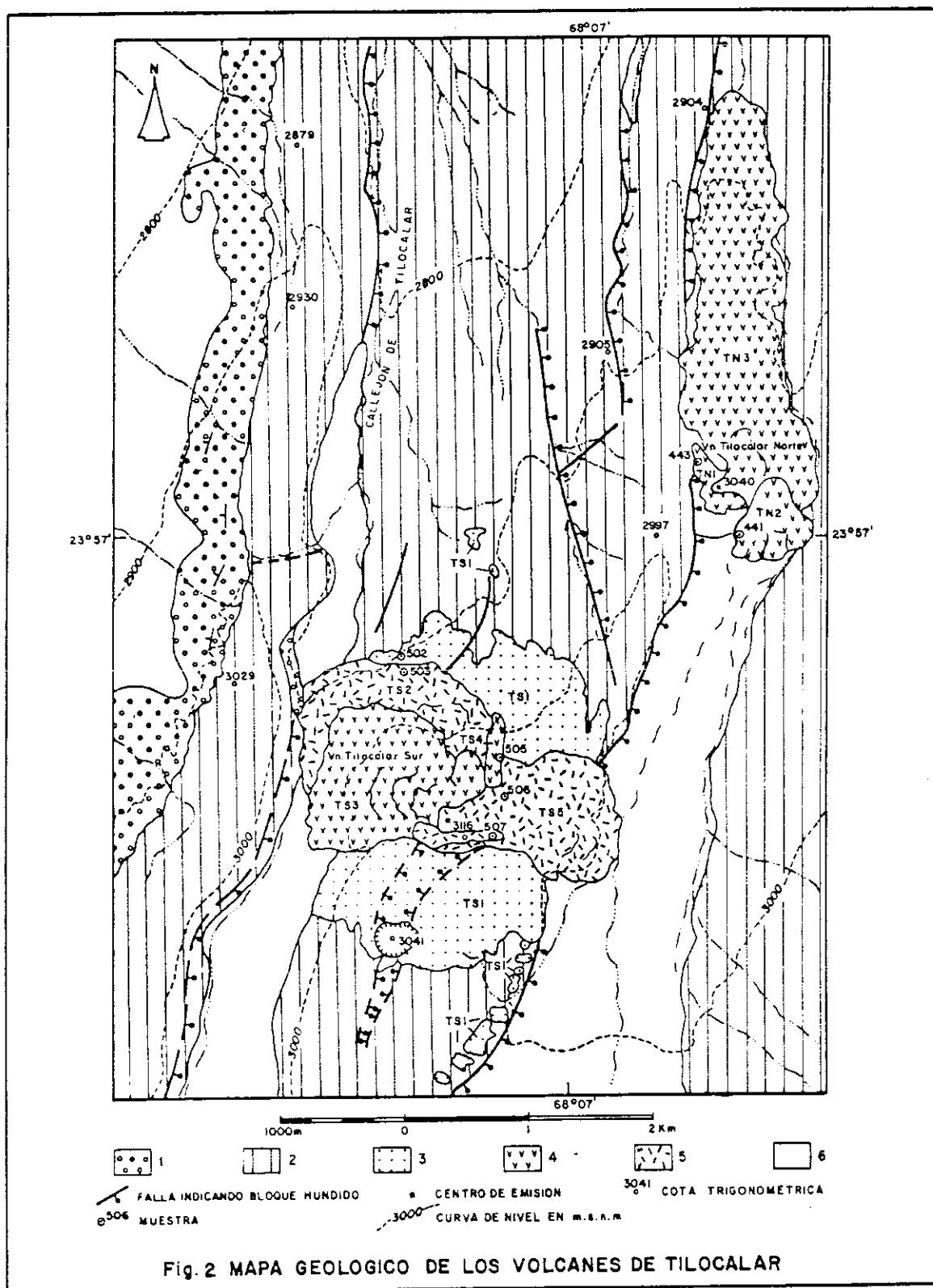
Volcán Tilocálar Sur (23° 58,6' Lat. sur, 68° 07,5' Long. oeste)

Se encuentra 3,5 km al suroeste del volcán Tilocálar norte, emplazado en el bloque adyacente, que forma parte del flanco occidental del graben del Callejón de Tilocálar. La parte central de este bloque está seccionada por dos fallas normales (Fig. 2) que conforman, a su vez, un pequeño graben de 250 m de ancho y 1.700 m de largo. En él se sitúan el centro de emisión del volcán Tilocálar sur y un cráter de explosión volcánico ubicado 1.000 m más al sur (Fig. 2).

Este volcán está compuesto por cuatro coladas de lavas andesíticas y andesítico-basálticas en bloques, con un volumen de 0,24 km³ (240 x 10⁶ m³) de lavas, y un depósito piroclástico que aflora en una superficie de 3,3 km². Sus productos cubren una superficie semicuadrada de aproximadamente 7,5 km² en total. La unidad inferior (TS₁) corresponde a un depósito piroclástico originado, probablemente, en una erupción violenta, asociada al cono principal. Este depósito está constituido por bloques (2-40 cm) de andesitas con matriz de escoria y ceniza, soldada en algunos sectores. Los bloques mayores (1,20 m) se encuentran fracturados "in situ" (Foto) lo que indica que se depositaron a una temperatura elevada (Francis *et al*, 1974). Entre los fragmentos que contiene este depósito se observan rodados de areniscas pardas, de areniscas cuarcíferas y de conglomerados, todos ellos previamente reconocidos en los estratos de la Formación Tambores, que aflora en el escarpe de la falla (Fig. 2).



FOTO: Depósito piroclástico de la base del Volcán Tilocálar Sur, compuesto por una brecha piroclástica, con fragmentos fracturados de hasta un metro y con ceniza intersticial.



1
 2
 3
 4
 5
 6

FALLA INDICANDO BLOQUE HUNDIDO
 * CENTRO DE EMISION
 3041 COTA TRIGONOMETRICA

506 MUESTRA
 - - - 3000 CURVA DE NIVEL EN m. s. n. m.

La porción occidental del depósito de avalancha está cubierto por una colada de andesita basáltica (TS₂) (Fig. 2), cuyo flujo ha sido detenido por el escarpe de una de las fallas del flanco occidental del graben (Fig. 2). Sobre esta colada se apoyan dos coladas de andesitas (TS₃ y TS₄), la más joven de extensión reducida que, a su vez, están parcialmente cubiertas por la última colada de este cono (TS₅) (Fig. 2), de composición andesítico-basáltica, que se derrama hacia el este.

El cráter ubicado al sur del Volcán Tilocálar Sur corresponde a una estructura semicircular originada, probablemente, por una explosión de gases y/o vapor de agua, que ha afectado a rocas de la Formación Tambores, a la Ignimbrita Tucúcaro y al depósito piroclástico (TS₁). Esta relación indica que se produjo, probablemente, por un taponamiento del conducto del Volcán Tilocálar Sur, una vez terminada la etapa de erupciones de lava, por acumulación de los componentes gaseosos. Escasos fragmentos de piroclastos accidentales se reconocen dentro del cráter y en sus alrededores, mezclados superficialmente con los bloques del depósito piroclástico basal (TS₁). Corresponden a fragmentos de tobas soldadas y de clastos de los conglomerados de la Formación Tambores, que se presentan comúnmente fracturados. Esta estructura había sido atribuida al impacto de un meteorito (Ferrando, 1965), origen que ha sido descartado puesto que no presenta características morfológicas de este tipo, tales como: forma regular, sección horizontal, circular o elíptica, y anillo solevantado en el bore. Tiene 400 m de diámetro en sentido EW y una profundidad de aproximadamente 40 m.

EDAD

Las lavas de los volcanes del Callejón de Tilocálar han sido derramadas sobre la Ignimbrita Tucúcaro, de edad radiométrica $3,2 \pm 0,2$ m.a. (K-Ar en biotitas; Ramírez y Gardeweg, en prensa) lo cual permite asignarles un rango de edad desde el Plioceno Superior al Cuaternario.

Se dató radiométricamente (K-Ar en roca total), en el Laboratorio de Geocronología del Servicio Nacional de Geología y Minería, una muestra de cada uno de estos volcanes (443 y 503). El resultado de los análisis entregó, para ambas muestras, indicios de enriquecimiento en argón radiogénico (Ar⁴⁰), lo cual señala para ellas una edad inferior a un millón de años (< 1 m.a.). Por lo tanto, las lavas de los volcanes de Tilocálar se asignan al Pleistoceno-Holoceno.

PETROGRAFÍA

Los volcanes de Tilocálar están constituidos, principalmente, por *andesitas de piroxeno*, aunque en el cono sur también se reconocieron algunas *andesitas basálticas de clinopiroxeno y olivino*. Ambos tipos litológicos corresponden a rocas afíricas, frescas, de color gris oscuro, con megafenocristales escasos o ausentes y con 10-30% de pequeños poros que, en niveles piroclásticos, alcanzan a constituir el 80% de la roca.

Al microscopio las *andesitas* presentan escasos (< 5%) microfenocristales de plagioclasa (An₃₆ - An₄₈; 0,5 - 0,7 mm) poikilítica o con inclusiones de mesóstasis vítrea; clinopiroxeno verdoso (augita; 0,2 - 0,5 mm) y, sólo en las lavas del volcán norte, ortopiroxeno (0,5 - 1,2 mm) levemente pleocroico. La masa fundamental de estas rocas es de *textura hialofítica semifluida*, constituida por vidrio (20-50%) muy homogéneo, de colores pardo claro a medio (más ácido en el cono norte). Inmersas en este vidrio hay laminillas de plagioclasa (0,50-0,3 mm; 10-30%) comúnmente subparalelas; clinopiroxeno verdoso (augita; 0,05-0,5 mm; 1-7%) subhedral, generalmente en grupos de dos o más cristales; escaso ortopiroxeno; minerales opacos cúbicos y anhedrales (posiblemente magnetita) (0,01-0,1 mm; 1-3%), generalmente más abundantes en las lavas del cono sur. Esporádicamente, se observan microcristales aciculares, pardos y pleocroicos, posiblemente de anfíbolos.

Se observaron amígdalas de yeso y, en menor proporción, de calcita o cristobalita. Los poros (10-30%) son subsféricos y angulosos (0,2-1,8 mm).

Las *andesitas basálticas* (503, 506 y 507) tienen una petrografía muy similar a la de las andesitas, ya que presentan escasos fenocristales (< 2%), en este caso, de plagioclasa (0,3-0,5 mm) tipo $An_{48}-An_{58}$, clinopiroxenos verde-amarillentos, con laminillas de exsolución (0,2-0,5 mm) y olivinos (0,4-0,8 mm), con borde de reacción de ortopiroxenos asociados a opacos. En una muestra del cono sur (506), cuyas características petrográficas no son muy definidas, se reconocieron, además, fenocristales de oxihornblenda (0,1-0,2 mm), con gruesos bordes opacíticos que, en algunos casos, llegan a reemplazar completamente a la anfíbola. La masa fundamental de estas rocas también es de *textura hialoofítica seimifluida*, con vidrio pardo medio o pardo-rojizo y microlitos subparalelos de plagioclasa, gránulos de clinopiroxeno y abundantes minerales opacos, subcúbicos (hasta 5%). Son menos porosas que las *andesitas* (10%; 0,1-0,2 mm) y presentan escasas amígdalas de cristobalita y sericita.

En algunas muestras, tanto de *andesitas* como de *andesitas basálticas* del cono sur (504, 505 y 507) se reconocieron bordes relictos de fenocristales, que han perdido su núcleo o la totalidad del cristal. Estos bordes están constituidos por un agregado de pequeños cristales subhedrales, amarillo-verdosos y pleocroicos, posiblemente de epidota. Minerales similares se reconocieron en el borde de una amígdala de cristobalita, en una andesita del cono norte.

La presencia de vidrio en ambos tipos litológicos, como asimismo la escasez y reducido tamaño de los fenocristales (< 1 mm) señalan que estas rocas habrían tenido un enfriamiento rápido. Características similares se observaron en algunas lavas de los volcanes de la Hoja Toconao (Ramírez y Gardeweg, en prensa) donde, pese a que, con frecuencia, son rocas intermedias y básicas, es común encontrar vidrio en las masa fundamental.

Andesitas con características mineralógicas y químicas similares han sido descritas por Munizaga y Marinovic (1979), en el área de Zapleri, 160 km al NE del área de estudio.

La presencia de olivino, observada en las andesitas basálticas del Volcán Tilocálar Sur, también ha sido observada por Deruelle (1979) en las andesitas basálticas de los volcanes calcoalcalinos de Atacama (22°-24° 30' Lat. sur). En andesitas de estos mismos volcanes, Deruelle (1979) también describió fenocristales de hornblenda con bordes opacíticos, como los observados en algunas de las lavas del área estudiada.

QUIMISMO

En la tabla adjunta se incluyen cinco análisis químicos y normativos (norma CIPW) de lavas de los volcanes Tilocálar Norte (441-443) y Tilocálar Sur (503, 506 y 507).

Presentan un contenido de aluminio relativamente alto, que permite clasificarlas como rocas peraluminosas, de acuerdo a Shand (1951). La composición normativa revela, además, que son rocas sobresaturadas en sílice.

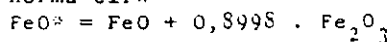
Para la clasificación química de estas rocas se han utilizado los diagramas de Irvine y Baragar (1971) y de Peccerillo y Taylor (1975) (Fig. 3). Según la primera clasificación, estas rocas se ubican dentro de las series subalcalinas, cerca del límite con el campo alcalino. En el diagrama de plagioclasa normativa versus Al_2O_3 (Fig. 3), caen dentro del campo calcoalcalino, carácter que se ve confirmado en el diagrama AFM (Fig. 4). Los contenidos de potasio, según Irvine y Baragar (1971), serían normales con tendencia a altos, ya que estarían ubicados cerca del campo de las rocas ricas en potasio. De acuerdo a estos autores, las lavas del volcán norte (Fig. 2) corresponderían a andesitas ácidas, por su cercanía con el campo de las dacitas, mientras que las del volcán sur serían más básicas, con una de ellas dentro del campo de las andesitas toleíticas (506) (Fig. 3).

De acuerdo a la clasificación de Peccerillo y Taylor (1975), las lavas del volcán norte corresponden a andesitas con alto contenido de potasio. Las del volcán sur caen en dos campos diferentes: en el de las

TABLA : ANALISIS QUIMICOS Y NORMATIVOS* DE LAVAS DE
LOS VOLCANES DEL CALLEJON DE TILOCALAR.

N° Muestra	441	443	503	506	507
SiO ₂	61.28	61.02	55.56	55.29	56.32
Al ₂ O ₃	15.92	15.75	16.91	16.04	16.46
Fe ₂ O ₃	2.79	1.94	3.27	3.93	3.41
FeO	2.81	3.75	4.36	3.76	4.01
MnO	0.06	0.08	0.10	0.10	0.10
MgO	2.24	2.22	3.58	3.17	3.56
CaO	4.50	4.74	7.11	7.41	7.20
Na ₂ O	4.21	3.94	4.12	4.06	4.11
K ₂ O	2.90	2.63	1.82	2.38	1.70
TiO ₂	0.90	0.92	1.20	1.12	1.17
P ₂ O ₅	0.27	0.28	0.33	0.40	0.42
H ₂ O ⁺	1.30	1.61	0.82	1.88	0.77
H ₂ O ⁻	0.21	0.20	0.14	0.19	0.12
C	0.10	0.12	0.07	0.56	0.11
S	0.05	0.35	0.12	0.10	0.09
TOTAL	99.54	99.55	99.51	100.39	99.55
Cuarzo	13.67	14.91	5.20	4.21	6.87
Ortoclasa	17.51	15.97	10.94	14.42	10.21
Albita	36.39	34.26	35.45	35.21	35.33
Anortita	16.34	18.02	22.66	18.99	21.80
Diopsido	3.76	3.49	8.95	13.08	9.49
Enstatita	4.44	4.68	6.27	4.25	5.99
Ferrosilita	1.95	3.31	3.46	2.82	3.13
Magnetita	3.56	2.89	3.98	3.89	3.93
Ilmenita	1.75	1.80	2.32	2.18	2.26
Apatito	0.65	0.68	0.80	0.97	1.01
CPN	30.98	34.47	39.00	35.04	38.16
ICN	16.11	16.86	25.77	27.20	25.81
FeO/MgO	1.41	1.69	1.36	1.56	1.31
ID	67.57	65.14	51.59	53.83	52.41
FeO*/MgO	2.38	2.48	2.04	2.30	1.99
IS	15.27	15.54	21.28	18.75	21.64
Mg/Mg ⁺ Fe	0.431	0.421	0.469	0.439	0.475

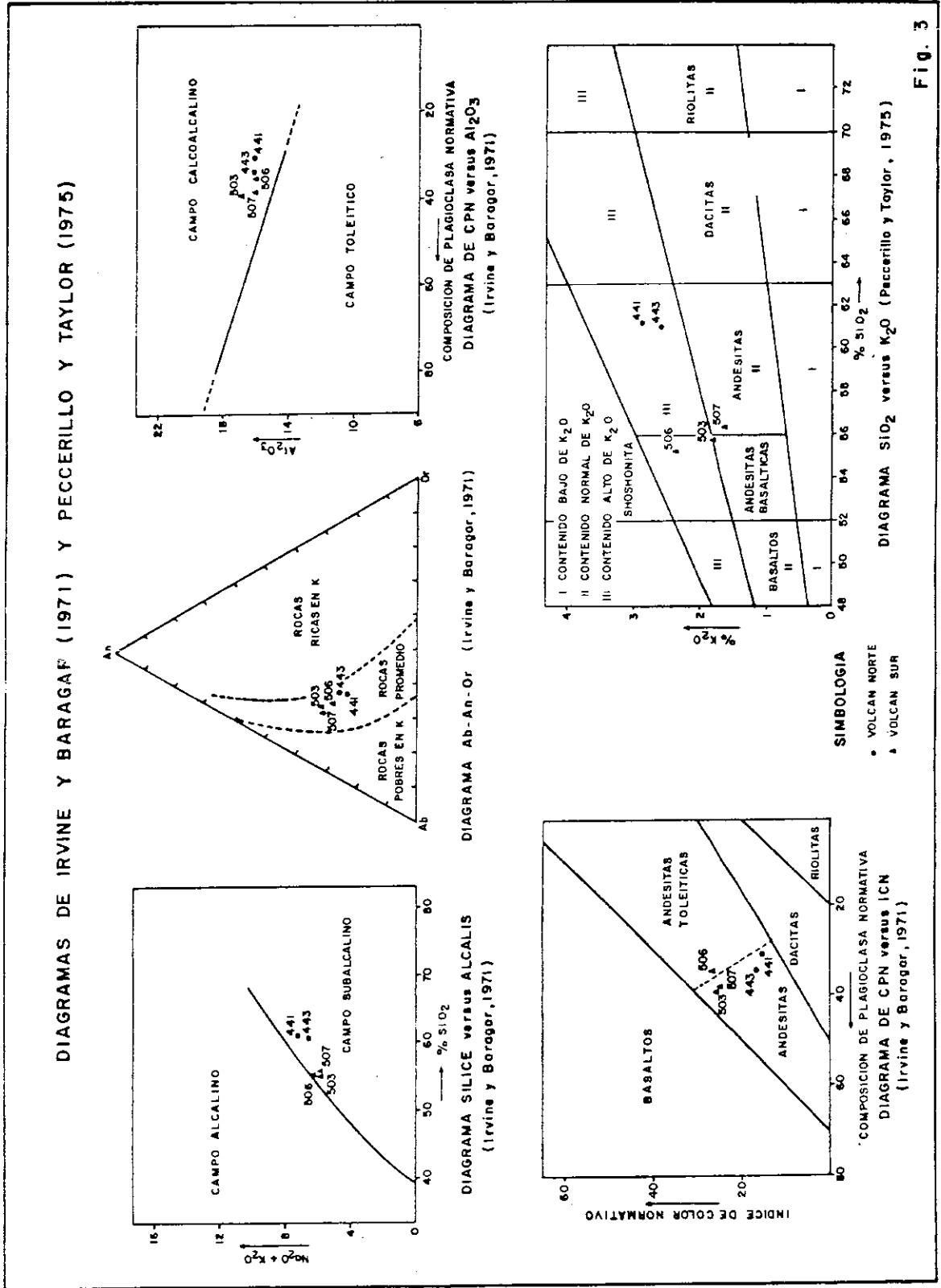
* norma CIPW



441 y 443 : andesitas del volcán norte

503 y 506 : andesitas basálticas del
volcán sur.

507 : andesitas del volcán sur



NUMERO DE MUESTRA

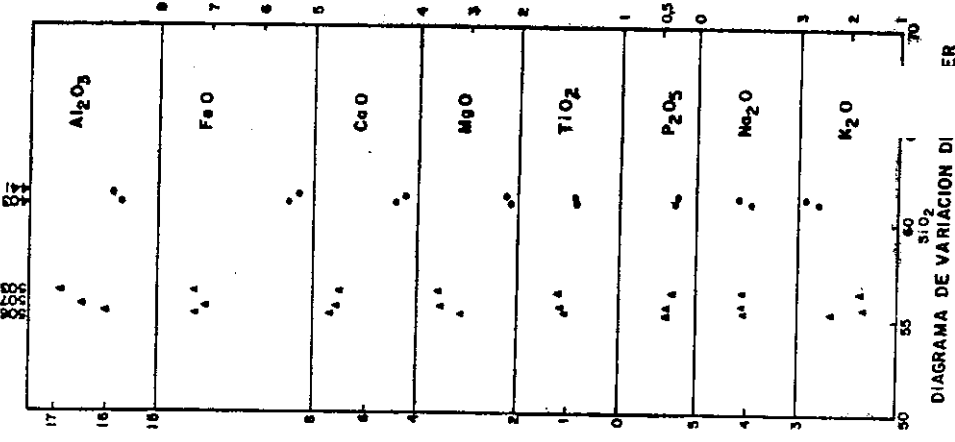


DIAGRAMA DE VARIACION DE ELEMENTOS

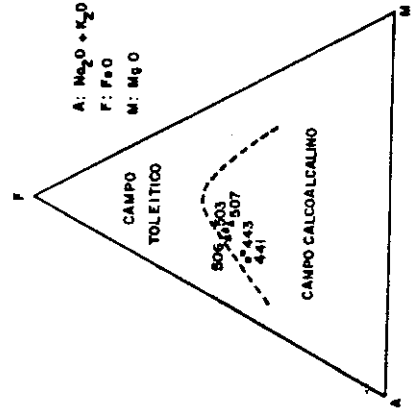


DIAGRAMA AFM (Irvine y Baragar, 1971)

SIMBOLOGIA

- VOLCAN NORTE
- ▲ VOLCAN SUR

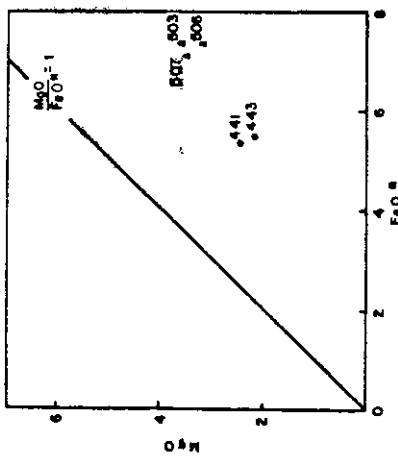


DIAGRAMA FeO versus MgO
(FeO = FeO + 0.8998 Fe₂O₃)

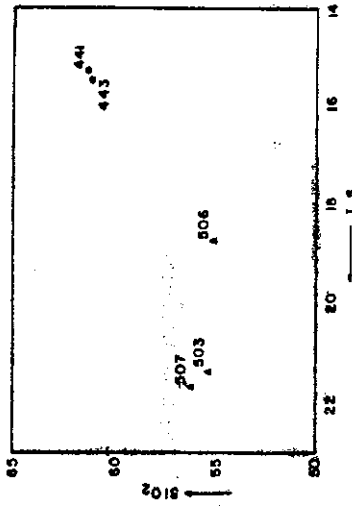


DIAGRAMA INDICE DE SOLIDIFICACION versus SiO₂

Fig. 4

andesitas con contenidos normales de potasio y en el de las andesitas basálticas con alto contenido de potasio (506).

Al comparar la composición química de las lavas de estos volcanes se deduce que:

- la *composición de plagioclasa normativa* (CPN) es más alta en el volcán sur (35,04 - 39,00) que en el volcán norte (30,98 - 34,74);
- el *índice de color normativo* (ICN) es notablemente mayor en el volcán sur (25,77 - 27,20) que en el volcán norte (16,11 - 16,86) (Fig. 3);
- la *relación FeO/MgO* es menor en el volcán sur (1,31 - 1,56) que en el volcán norte (1,41 - 1,69), aunque la diferencia no es tan marcada como en los casos anteriores;
- el *índice de diferenciación* (ID) es mayor en el volcán norte (65,14 - 67,57) que en el volcán sur (51,59 - 53,83);
- la *relación FeO*/MgO* es marcadamente diferente entre ambos volcanes, señalando distintos estados de diferenciación de las lavas. Los valores más altos en las lavas del volcán norte, las señalan como más diferenciadas que las del volcán sur (Fig. 4);
- el *índice de solidificación* (IS) es menor en el volcán norte (15,27 - 15,54), lo cual lo señala como más diferenciado que el volcán sur (18,56 - 21,64) (Fig. 4);
- la *relación Mg/Mg + Σ Fe* (o *número magnésiano*) es mayor en el volcán sur (0,439 - 0,475) que en el volcán norte (0,421 - 0,431) indicando, nuevamente, un mayor estado de diferenciación para las lavas del volcán norte;
- en el *diagrama de Harker* (Fig. 4), la diferencia en el contenido de sílice de las lavas provenientes de los dos volcanes es notable. Las lavas más silíceas del volcán norte tienen, a su vez, mayor contenido de potasio y de sodio mientras que las más básicas del volcán sur tienen mayor cantidad de aluminio, hierro total, calcio y magnesio;

CONCLUSIONES

El emplazamiento de los volcanes de Tilocálar está controlado por un sistema de fallas normales expuestas, de dirección NS, de edad pliocena-pleistocena, que conforman el graben del Callejón de Tilocálar.

El Volcán Tilocálar Norte debe su forma de lengua, en dirección NS, al control morfoestructural, ejercido por la primera falla del flanco occidental de este graben. Este cono está constituido, exclusivamente, por coladas en bloque de lavas andesíticas, prácticamente afíricas.

El Volcán Tilocálar Sur está formado por un depósito piroclástico basal, constituido por brechas piroclásticas, cuya distribución está actualmente restringida a un radio máximo de 4,5 km. Sobre este depósito se instalaron coladas en bloque de lavas andesítico-basálticas y andesíticas, de características macroscópicas y texturales similares a las del Volcán Tilocálar Norte.

El cráter, ubicado inmediatamente al sur del Volcán Tilocálar Sur, corresponde a un cráter de explosión (de gases y/o vapor de agua) ubicado entre dos pequeñas fallas normales. Su origen estaría asociado al término de la etapa de erupción de lava y al taponamiento del centro de emisión.

Las lavas de ambos centros volcánicos han sufrido un rápido enfriamiento, evidenciado por la presencia de vidrio y la escasez de fenocristales.

La asociación de yeso, calcita, epidota (?) y cristobalita, observada en las amígdalas, es frecuente en cavidades de rocas volcánicas aunque, comúnmente, en rocas volcánicas más ácidas; en general corresponden a productos de cristalización tardía.

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

Existe una notable diferencia química entre las lavas de ambos volcanes, producto de una mayor diferenciación de las lavas del volcán norte. Esta se ve reflejada en el mayor índice de diferenciación en la relación FeO^*/MgO , en el menor índice de solidificación y en un número magnesiano inferior de las lavas del Volcán Tilocálar Norte.

El quimismo ubica a las rocas del volcanismo descrito dentro de las series calcoalcalinas con alto contenido de potasio, característico de una zona orogénica de margen de placa destructivo, siendo el alto contenido de potasio característico de los Andes del Norte de Chile (Moreno, 1977).

Los productos de ambos centros de emisión serían relativamente sincrónicos, con una edad radiométrica (K-Ar, en roca total) inferior a 1 m.a.

REFERENCIAS

- BAKER, M.C.W., 1977. "Geochronology of Upper Tertiary volcanic activity in the Andes of north Chile". *Geol. Rundsch.*, 66: 455 - 465.
- BRÜGGEN, J., 1950. "El volcanismo en Chile". *Fac. Ciencias Fís. Mat., Univ. Chile, Anales* 7: 61-68.
- DERUELLE, B., 1979. "Petrologie d'un volcanisme de marge active: Atacama et Andes méridionales". *These Docteur d'Etat, Univ. Paris, XI, Centre D'Orsay*, 327 p.
- FERRANDO, A. F. 1977. Two unknown meteor craters in Antofagasta region Northern Chile. *Rev. Geog. JPGH*, 85: 210 - 212.
- FRANCIS, P.W.; ROOBOL, M.J.; WALKER, G.P.L.; COBBOLD, P.R.; COWARD, M., 1974. "The San Pedro and San Pablo volcanoes of northern Chile and their hot avalanche deposits". *Geol. Rundsch.* 63: 357 - 388.
- IRVINE, T.N.; BARAGER, W.R.A., 1971. "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks". *Canad. J. Earth Sci.*, 8: 523 - 548.
- LAHSEN, A.; MUNIZAGA, F., 1979. "Nuevos antecedentes cronológicos del volcanismo cenozoico superior de los Andes del norte de Chile entre los 19° 30' y 22° 15' latitud sur". *II Congreso Geológico Chileno, Arica, Chile, F.* 61 - 82.
- MARINOVIC, N., 1978. "Geología de los cuadrángulos Chinquilchoro y Cerro Lila, II Región Antofagasta". *Instituto de Investigaciones Geológicas (inérito)*, 63 p., Santiago, Chile.
- MORENO, H., 1977. "Geología del área volcánica Puyehue-Carrán en los Andes del sur de Chile", *Memoria de Prueba, U. de Chile, Depto. de Geología, Santiago, Chile.*
- RAMIREZ, C.F.; GARDEWEG, M. (en prensa). "Hoja Toconao", *Carta Geológica de Chile, escala 1:250.000*. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- SHAND, A.J., 1951. "The study of rocks", 3rd edition, Thomas Murkey and Co. London.
- MUNIZAGA, F.; MARINOVIC, N., 1979. "Evidencias preliminares de un volcanismo cenozoico superior shoshonítico en el área del volcán Zapaleri, II Región, Chile". *II Congreso Geológico Chileno, Arica, Chile, F.* 237 - 255.
- PECCERILLO, A.; TAYLOR, S.R., 1975. "Geochemistry of Upper Cretaceous volcanic rocks from the Pontic Chain, Northern Turkey". *Bull. Volcanol.* 39: 557 - 569.