



EL VOLCAN LICANCABUR (22°56' S, 67°53' W, SEGUNDA REGION DE ANTOFAGASTA): GEOLOGIA, PETROGRAFIA Y MINERALOGIA.

Oscar Figueroa A.¹ y Bernard Déruelle².

I. Introducción.

El volcán Licancabur está ubicado en la parte sur de la Zona Volcánica Central (ZVC), en la Cordillera Occidental de la Segunda Región de Antofagasta (fig. 1). Su cumbre, a 5916 ms.n.m., es un hito de la frontera entre Chile y Bolivia. Su cráter, de 500 m de diámetro, contiene un lago de 80 m de diámetro y 4 m de profundidad (Leach, 1986). Su volumen total es de 35 km³ y su altura a la base es de alrededor 1500 m. El volcán tiene forma de un cono casi perfecto con una pendiente de 30° y un diámetro basal de 9 km. Aunque no hay registro de actividad histórica, el estado de erosión generalmente muy poco pronunciado de sus coladas atestiguan una actividad reciente.

II. GEOLOGIA

Reseñas geológicas generales del volcán Licancabur ya han sido efectuadas por Déruelle (1979), Marinovic y Lahsen (1984), de Silva y Francis (1991), y Avila-Salinas (1991). Sus coladas, de 10 a 50 m de espesor, son del tipo de bloque y alcanzaron una distancia máxima de 8 km. Su estado de erosión y sus relaciones estratigráficas observadas en terreno permiten distinguir 3 unidades, además de los depósitos aluvionales y de avalancha (fig. 2):

- **Unidad Basal (UB)**: está constituida por las coladas más antiguas que forman la base del volcán. Aunque la base de la Unidad no pudo ser observada ya que está cubierta o rodeada de aluviones, depósitos de avalancha o constituyentes de la Unidad Intermedia, ella es posterior a la ignimbrita de Purico, que cubre el área de estudio y que tiene una edad promedio de 1,35 Ma (de Silva, 1989a). La UB es también preglaciar (alrededor de 10.000 años), puesto que coladas de esta Unidad presentan directa o indirectamente efectos de la acción de glaciares.

- **Unidad Intermedia (UI)**: la UI constituye la mayor parte del edificio volcánico y está distribuida radialmente a partir del cráter. Estratigráficamente descansa sobre la UB y en la cumbre está cubierta por coladas de la Unidad Superior. Sus coladas tienen una morfología muy bien preservada, casi sin trazas de erosión, con levees bien desarrollados y estructuras de flujo netas, y no fueron afectadas por la última glaciación. Su efusión fué seguida de una actividad explosiva cuyos depósitos se observan en la cumbre del volcán. Este episodio piroclástico no tuvo una gran amplitud puesto que el cráter no fué destruido como el de los otros estratovolcanes de la región.

- **Unidad Superior (US)**: está formada por las coladas más recientes, más negras y menos espesas (< 10 m). Ellas cubren la cumbre del volcán y solamente una colada llega a la base del volcán, en su lado sureste. Aunque muy recientes, la edad de estas coladas permanece indeterminada.

- **Depósitos aluvionales y de avalancha**: ellos cubren las partes más bajas del volcán. En el flanco este se encuentran bloques aislados de más de 3 m de diámetro, en tanto que en la base oeste del volcán se encuentra un depósito de avalancha constituido por bloques de hasta 10 m de diámetro.

1 Depto. de Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción, casilla 3-C, Concepción Chile.

2 Laboratoire de Géochimie des Isotopes Stables & URA-CNRS 1762, Université Pierre et Marie Curie, 4 Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, Francia.

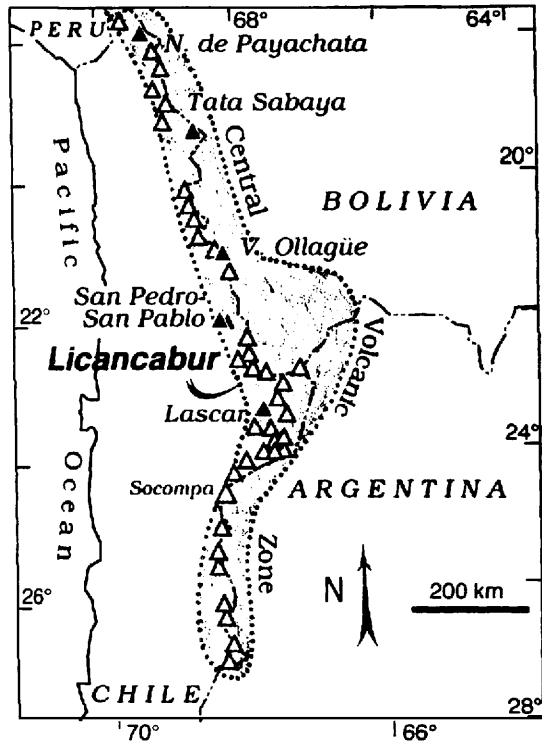


Fig. 1 : Ubicación del volcán Licancabur.

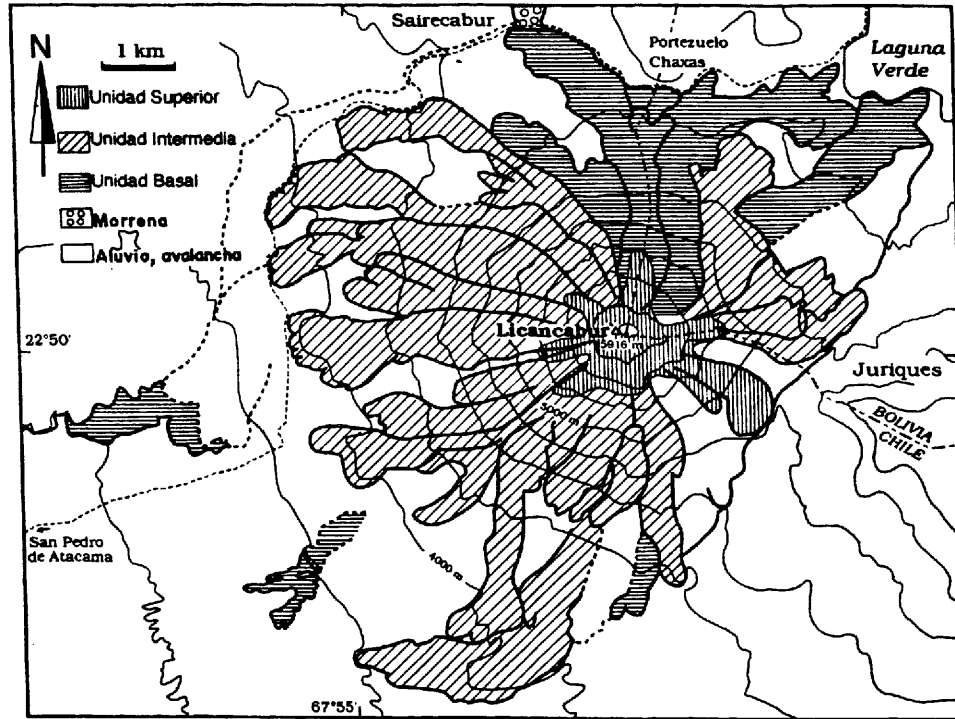


Fig. 2. Mapa geológico del volcán Licancabur.

Fig. 3: variación de la composición de las plagioclasa (% de An) en función del contenido en SiO₂ de las coladas.

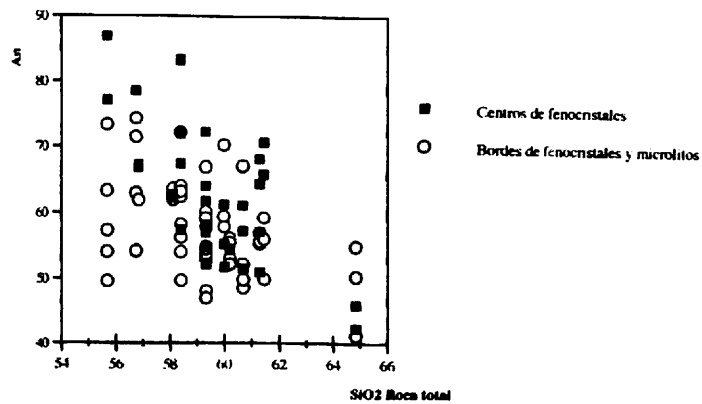
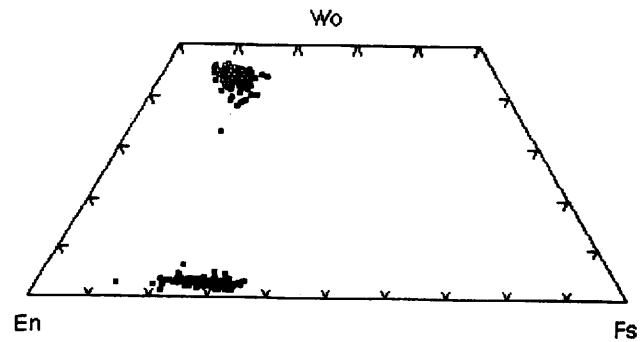


Fig. 4 : Diagrama de composición de los piroxenos



III. PETROGRAFIA

Las 21 coladas visibles del volcán son sobre todo andesitas (90 %). Sus principales fenocristales son plagioclasa (32-13 %) y ortopiroxeno (opx; 12-1 %). Cantidades menores (< 3%) de clinopiroxeno (cpx) y de óxidos de Fe-Ti están también siempre presentes. En algunas andesitas de la UB y de la UI se observan algunos microfenocristales (0,2-0,3 mm) de hornblenda (hbl) rodeados de magnetita o más raramente de un agregado de pequeños cristales de piroxeno, plagioclasa y magnetita. Una andesita basáltica ($\text{SiO}_2 = 55,69$ peso%) rica en opx (12 %) y una andesita "rica" en olivino (4 %) forman parte de la UB. Las coladas de la US dacitas de hbl (\pm biotita).

Las coladas del Licancabur son negras a grises. Ellas tienen una textura porfídica hyalopilitica, levemente vesicular, glomeroporfídica y seriada. La masa fundamental contiene microlitos de plagioclasa, generalmente subparalelos, vidrio y escasos piroxenos. Los fenocristales de todas las coladas muestran evidencias de desequilibrio con el magma, como por ejemplo: coexistencia en una misma colada de fenocristales de plagioclasa límpidos con otros que presentan una marcada textura sieve y/o bordes redondeados o reabsorbidos; presencia de algunos fenocristales de opx rodeados de una fina corona de cpx; fenocristales de cpx, sobretudo los más pequeños, con bordes ligeramente corroídos; presencia de olivino con bordes frecuentemente corroídos (pudiendo llegar incluso a observarse texturas esqueléticas) o, a veces, rodeados de opx; presencia en dos de las coladas más básicas de algunos xenocristales de cuarzo rodeados por una corona de pequeños cristales de cpx.

Las coladas de la UB son andesitas, andesitas de opx y una andesita basáltica. Esta última tiene la misma mineralogía que el resto, pero se diferencia de ellas por el tamaño superior de sus plagioclasas (hasta 3 mm), su naturaleza fuertemente porfírica (48 % de fenocristales) y su mayor cantidad de opx (12 %). Dos coladas de esta Unidad tienen fenocristales de olivinos.

Las coladas de la UI son andesitas y andesitas de opx. Ellas tienen las mismas características generales descritas anteriormente. Dos coladas tienen fenocristales de olivino fuertemente corroídos. Una de esas coladas tiene 2 % modal de olivino y por composición corresponde a una andesita basáltica muy próxima de las andesitas ($\text{SiO}_2 = 56,97$ peso %).

Las coladas de la US son dacitas de hbl. Ellas tienen una textura porfídica, con una masa fundamental con finos microlitos de plagioclasa inmersos en vidrio con textura perlítica. Estas coladas se diferencian también de las otras coladas del Licancabur, por tener mayor contenido de hbl (hasta 5%) que opx, y por tener algunos fenocristales de biotita. Además los fenocristales de hbl son más grandes (hasta 1,2 mm) y los piroxenos más pequeños (0,8 mm) que en las otras coladas.

Inclusiones

Todas las coladas del Licancabur presentan agregados de cristales en textura glomeroporfídica, cuyo diámetro varía generalmente entre 2 y 3 mm pero que puede alcanzar hasta 7 mm. Estos agregados están constituidos de los mismos cristales que existen en la lava huésped, pero los piroxenos, sobretudo el cpx, son en ellos más abundantes. Los cristales de estas inclusiones presentan a menudo zonación y sus formas son euédrales a subédrales. Las inclusiones tienen generalmente una composición gábrica aunque en una misma colada pueden tener composiciones y texturas diferentes. Ellas pueden presentar cristales de olivino o de anfíbol si la colada huésped contiene esos minerales. También se pueden observar finos intercrecimientos simplectíticos de opx y magnetita. Normalmente estas inclusiones no tienen una forma definida, aunque los de mayor tamaño pueden tener una clara forma poligonal o tendiente a ella. Ellas están localmente recristalizadas, con minerales de menor tamaño que presentan límites de grano con numerosos puntos triples. Frecuentemente contienen vidrio entre los cristales, sobre todo alrededor de las plagioclasas, el que puede contener a menudo agregados finos de cristales de piroxenos, los que son a veces aciculares.

IV. MINERALOGIA

a) Olivino:

Estos fenocristales se encuentran en dos coladas de la UB y en dos de la UI. Sus tamaño varían entre 4,7 mm (en la colada más rica en olivino) y 0,2 mm. Ellos contienen a menudo inclusiones de cromita o titanomagnetita rica en cromo. Sus composiciones varían entre Fo86 y Fo69. Los fenocristales de mayor

tamaño tienen zonación normal, con 4% menos de Fo en los bordes, en tanto que los fenocristales más pequeños son casi homogéneos. Los cristales más magnésicos (Fo86-82) pertenecen a una colada de la UB que tiene alto contenido en SiO₂ (61,29 peso %) y, por ello, son considerados como xenocristales. Los fenocristales de olivino de la UI tienen una composición más variable que aquellos de la UB. Particularmente en la colada que contiene hasta 2% de olivino, la composición de los centros de los fenocristales es la más variable (Fo82 a Fo69) del Licancabur.

b) Plagioclasa:

La plagioclasa es el fenocristal más abundante del Licancabur. Su tamaño generalmente varía entre 1,9 y 0,2 mm. Su composición varía entre An87 y An41 (fig. 3), presentando una zonación que puede ser normal, inversa u oscilatoria, incluso en una misma colada. La zonación más corriente es la normal, con una disminución de los contenidos en An del centro al borde que puede alcanzar hasta 20 %. Los microlitos tienen una composición parecida a aquella de los bordes de los fenocristales. Los contenidos en An de los centros de los fenocristales de plagioclasa disminuyen con el contenido en SiO₂ de las coladas. Sin embargo los centros de los fenocristales de la colada de la UB que tiene xenocristales de olivino, tienen contenidos en An superiores a los de las coladas que son más básicas que ella.

c) Ortopyroxeno:

Los fenocristales de opx de tienen tamaños entre 1,7 y 0,2 mm. Su composición varía entre En84 y En63 (fig. 4) y sus números magnésianos (Mg#) están comprendidos entre 87 y 64. En una misma colada, los fenocristales de opx presentan a menudo una zonación normal o inversa. En un mismo fenocristal la variación del Mg# es normalmente de 2 %, pero alcanza 11 % en la colada con xenocristales de olivino de la UB. En esta colada además los fenocristales de opx tienen frecuentemente una zonación inversa. La variación del Mg# de los centros de los fenocristales de una misma colada es generalmente inferior a 6 %. Las variaciones más marcadas (hasta 13%) se observan en la colada de la UI con 2 % de olivino. Los valores máximos de los Mg# de los centros y bordes de los fenocristales disminuyen con el aumento de los contenidos en SiO₂ de las coladas.

d) Clinopyroxeno:

Los fenocristales de cpx, de entre 1,7 y 0,2 mm, están presentes en todas las coladas del Licancabur, pero su abundancia puede limitarse a algunos fenocristales. Su composición varía entre En51-En37 y Wo47-Wo33 (fig. 4). Su Mg# varía entre 85 y 70. En una misma colada los fenocristales de cpx tienen a menudo zonaciones normales o inversas. En un fenocristal la variación del Mg# es baja (3 %) pero es mayor si se comparan los centros de los fenocristales de una misma colada (generalmente de 6 %). Por su parte, los bordes de los fenocristales son más homogéneos (el Mg# varía hasta 3 %). El rango del Mg# de los diferentes cpx permanece constante con el aumento del SiO₂ de las coladas.

e) Anfíbol y óxidos de Fe-Ti:

La hbl es un mineral esencial solamente en la dacita de la US. Según la clasificación de Leake (1978), este anfíbol es una hornblenda magnésica ((Ca+Na)_B > 1,34 y (Na)_B < 0,67, y su razón Mg/(Mg+Fe²⁺) varía entre 73 y 86). Por su parte, los óxidos de Fe-Ti son titanomagnetita e ilmenita, siendo la primera mucho más frecuente que la segunda.

V. DISCUSION

La evolución de la fuente de las coladas del Licancabur se produjo desde los términos más básicos de la UB hasta los términos más diferenciados de la US. Esta evolución se habría producido también en ese mismo sentido al interior mismo de las UB y UI, y ella resultaría principalmente por cristalización fraccionada de plagioclasa y de opx -principales fenocristales de las coladas-, seguida por la cristalización de cpx y de óxidos de Fe-Ti, que son justamente menos abundantes. El paso de la UB a la UI estaría marcado además por una nueva inyección de magma básico en la cámara magmática. Paralelamente, las observaciones petrográficas testimonian la existencia de un desequilibrio entre los fenocristales y el magma que los transportó a la superficie. La existencia de zonaciones normales e inversas de los fenocristales de plagioclasa, opx y cpx de una misma colada, confirman ese desequilibrio que se explicaría por una mezcla de magma que

periódicamente se superpone a la cristalización fraccionada, como ha sido sugerido en otros volcanes de la ZVC (entre otros Feeley y Davidson, 1994; Matthews et al., 1994).

Las variaciones de composición de los minerales con el aumento de los contenidos en SiO₂ de las coladas, como la disminución de los contenidos en An de los centros de los fenocristales de plagioclasa y la disminución de los valores máximos de los Mg# de los opx, pueden ser explicadas en el marco de una cristalización fraccionada dominada por el fraccionamiento de esos dos minerales. Sin embargo, si se compara las composiciones de los fenocristales de plagioclasa y piroxenos de una misma colada, ellas son más variables para los centros que para los bordes de los fenocristales. Estas variaciones confirmarían la existencia de una mezcla de magma. Las coladas que contienen los minerales con composición más variable son aquellas donde la presencia de xenocristales está claramente demostrada (por ejemplo olivinos fuertemente magnésicos y plagioclasas ricas en An en andesita silíceas). Esto indicaría que además de los xenocristales de olivino, existiría también en esa colada xenocristales de piroxenos y de plagioclasa.

Las coladas del Licancabur presentan inclusiones de cristales que son co-magmáticos con los fenocristales de la lava huésped puesto que sus composiciones son similares. Ellas se formaron a bajas profundidades ya que los cristales tienen zonaciones, y en las primeras etapas de cristalización del magma puesto que su composición es más básica que la de la lava huésped. Estas inclusiones pueden tener una forma poligonal, la que puede resultar del enfriamiento rápido del magma en los bordes de la cámara magmática. La posterior reincorporación de estas inclusiones más básicas en el magma más diferenciado y más caliente, habría traído consigo su fusión parcial como testimonio la presencia de vidrio en ellos. La presencia de olivino y de hbl en inclusiones de las coladas más básicas y más diferenciadas respectivamente, indica que a medida que el magma cambia su composición también cambia aquella de las inclusiones. Inclusiones como las descritas han sido también interpretadas como provenientes de los bordes de la cámara magmática (entre otros de Silva, 1989b; Nakada et al., 1994).

REFERENCIAS

- Avila-Salinas, W. (1991). Petrologic and tectonic evolution of the Cenozoic volcanism in the Bolivian western Andes. In Harmon, R. S. & Rapela, C. W. (Ed.): *Andean Magmatism and its tectonic setting*. Geol. Soc. of Am. Special Paper, 265, 245-257.
- de Silva, S. L. (1989a). Geochronology and stratigraphy of the ignimbrites from the 21°30'S to 23°30'S portion of the Central Andes of Northern Chile. *J. Volcanol. Geothermal Res.*, 37, 93-131.
- de Silva, S. L. (1989b). The origin and significance of crystal rich inclusions in pumices from two Chilean ignimbrites. *Geol. Mag.*, 126, 159-175.
- de Silva, S. L. & Francis, P. W. (1991). *Volcanoes of the Central Andes*. Springer-Verlag, 216 pp.
- Déruelle, B. (1979). *Pétrologie d'un volcanisme de marge active: Atacama et Andes Méridionales*. Thesis Doct. Etat. Paris XI, Orsay. 417 pp.
- Feeley, T. C. & Davidson, J. P. (1994). Petrology of calc-alkaline lavas at volcan Ollagüe and the origin of compositional diversity at Central Andes stratovolcanes. *J. Petrol.*, 35, 1295-1340.
- Leach, J. W. P. (1986). Andean High Altitude Expedition. *Underwater Technol.* 12, 27-31.
- Leake, B. E. (1978). Nomenclature of amphiboles. *The Am. Mineralogist*, 63, 1023-1054.
- Marinovic, N. & Lahsen, A. (1984). Hoja 58 Calama, Región de Antofagasta. *Sernageomin*, 144 pp.
- Matthews, S. J., Jones, A. P. & Gardeweg, M. C. (1994). Lascar volcano, Northern Chile; evidence for steady-state disequilibrium. *J. of Petrol.*, 35, 401-432.
- Nakada, S., Bacon, C. R. & Gartner, A. E. (1994). Origin of phenocrysts and compositional diversity in pre-Mazama rhyodacite lavas, Crater Lake, Oregon. *J. of Petrol.*, 35, 127-162.