

ALTERACION HIDROTHERMAL EN EL COMPLEJO VOLCANICO EL LACO, NORTE DE CHILE

W. Vivallo*, F. Henríquez** y S. Espinoza°

Como resultados parciales de un proyecto orientado a estudiar los procesos geológicos que controlan la metalogénesis del oro y el hierro en ambientes volcánicos, se caracterizan, en este trabajo, los distintos tipos de alteración asociados al complejo volcánico El Laco.

La mineralogía de las rocas afectadas por la alteración más intensa fue determinada utilizando técnicas de difracción de rayos X, análisis de microsonda y, en las rocas menos alteradas, por medio del microscopio petrográfico.

Marco Geológico

El complejo volcánico El Laco, ubicado 450 km al E de la ciudad de Antofagasta, en la Alta Cordillera de la II Región, a los 23°48' de latitud S y entre 4300-5470 m de altura sobre el nivel del mar, ocupa una superficie aproximada de 7x5 km (Fig. 1). Forma parte del actual arco magmático de la Cadena Andina y corresponde a un estrato-volcán constituido, principalmente, por coladas de lavas, brechas y tobas andesíticas y, en menor proporción, lavas riodacíticas¹. Dataciones K-Ar en andesitas han establecido una edad de $2 \pm 0,3$ Ma para el complejo². En los flancos del estrato-volcán, en disposición concéntrica a la estructura central del edificio volcánico (Pico El Laco), se presentan varios yacimientos de magnetita y zonas con intensa alteración hidrotermal. Los yacimientos de magnetita han sido interpretados como formados a partir de un magma de hierro¹ y ocurren como cuerpos extrusivos e intrusivos. Los de carácter extrusivo corresponden a coladas de lava y

material piroclástico y los intrusivos se presentan como diques y domos subvolcánicos. Su mineralogía consiste principalmente de magnetita, con hematita primaria escasa, apatita y clinopiroxeno. Dataciones realizadas mediante el método de trazas de fisión en apatita, indican una edad de $2,1 \pm 0,1$ Ma³, la cual es coincidente con la establecida para las rocas.

Alteración

En el complejo volcánico El Laco se pueden distinguir dos tipos de alteración. La primera está restringida a las zonas marginales de la mena de hierro, con la cual está espacial y probablemente temporal y genéticamente ligada. La otra, en parte sobre-impuesta a la anterior, corresponde a una alteración hidrotermal con una amplia distribución areal.

La alteración asociada a los depósitos de hierro ocurre como pequeñas aureolas en torno a los cuerpos de hierro, principalmente en aquéllos de carácter intrusivo y, además, como depositación de diferentes especies minerales ubicadas entre cristales de magnetita y oquedades, presentes tanto en las coladas de lava de óxidos de hierro como en los cuerpos intrusivos de mena. Los halos de alteración afectan a coladas de lavas andesíticas, alcanzando hasta 20 m de ancho. Ellos presentan un color rojizo, posiblemente determinado por la adición de óxido de hierro desde los cuerpos de mena. Mineralógicamente, las aureolas se caracterizan por la presencia de cristales aciculares de clinopiroxeno (diópsido), cuarzo y magnetita. Los minerales depositados en la mena de hierro, con posterioridad a su solidificación, se presentan en huecos dentro de las texturas esferulíticas de magnetita o magnetita-clinopiroxeno y entre cristales octaédricos de magnetita, que se han desarrollado en paredes de tubos de escape de

* Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile

** Departamento de Ingeniería de Minas, Universidad de Santiago

° Departamento de Geociencias, Universidad del Norte, Antofagasta

gas o en vesículas en la mena de hierro. Corresponden a cristales euhedrales simples, entre los cuales se han identificado plagioclasa, sanidina, tridimita baja, cuarzo, diópsido, rutilo, natroalunita y alunita. En las paredes de algunas cavidades, en la mena de hierro, existe una delgada película que corresponde, en partes, a calcita y, en otras a escapolita. Finalmente, entre cristales primarios de hematita ('tuercas'), se encuentra cuarzo de baja temperatura, rutilo, alunita y natroalunita.

La alteración hidrotermal de carácter distrital es uno de los rasgos más característico del área y se presenta como extensas zonas de colores claros, que contrastan fuertemente con las tonalidades oscuras de las rocas andesíticas menos alteradas (Fig. 1). Formando parte de las zonas alteradas, se observan numerosas estructuras silicificadas vetiformes y también cuerpos de brechas hidrotermales de forma irregular. En estas zonas se pueden distinguir dos tipos de productos, el primero representado por la alteración de las rocas volcánicas, especialmente rocas volcanoclásticas, que dan origen a rocas fuertemente lixiviadas y/o blanqueadas. Un segundo tipo, arealmente mucho más restringido, corresponde a productos precipitados a partir de soluciones hidrotermales, que alcanzaron hasta la superficie ('exhalitas').

Los depósitos exhalativos corresponden principalmente a sulfatos, que se depositan a partir de varios centros discretos, formando acumulaciones superficiales de poco espesor. Estructuras vetiformes o núcleos silicificados, de hasta 150x30 m, son comunes en estas áreas con depósitos exhalativos. En algunos casos, se ha podido reconocer la existencia de los conductos a través de los cuales estas soluciones alcanzaron la superficie. El mineral más abundante en este tipo de depósito es el yeso, mientras que azufre, cristobalita, tridimita y cuarzo(?) están subordinados. El azufre generalmente se observa en fracturas que atraviesan el yeso. Jarosita y alunita también forman parte de la asociación mineralógica de estos depósitos.

En las áreas con rocas volcánicas alteradas hidrotermalmente se puede distinguir una zona fuertemente alterada, con blanqueamiento y lixiviación,

gradando hacia la periferia a rocas con alteración débil o no alteradas. Las rocas fuertemente alteradas presentan coloraciones blanquecinas y las texturas originales han sido comúnmente destruidas. La alteración más abundante corresponde a silicificación mineralógicamente caracterizada por cuarzo, tridimita, cristobalita y abundante alunita y jarosita. Esta silicificación se produce, principalmente, por una fuerte lixiviación y también por deposición de sílice transportada por los fluidos hidrotermales. Yeso y azufre generalmente se observan en las fracturas que afectan a las rocas alteradas. Además, se han identificado cantidades menores de feldespato potásico, anatasa (?) y diversos sulfatos y fosfatos de Fe. La mayor parte de las estructuras silicificadas consisten en la asociación tridimita-cristobalita-alunita-jarosita. En las rocas menos alteradas, los minerales más afectados corresponden a piroxeno, que es reemplazado por clorita en tanto que la plagioclasa se altera a sericita y minerales de arcilla. La asociación hematita-epidota también es común en estas rocas.

Discusión y Conclusiones

Los minerales de alteración asociados con la mena de hierro representan dos etapas de un mismo proceso. El halo de alteración que rodea a los yacimientos de hierro corresponde a una asociación de alta temperatura, que puede ser interpretada como un proceso de metamorfismo de contacto, ocasionado por el emplazamiento de magmas de menas a altas temperaturas. Las asociaciones encontradas en las cavidades como vesículas y tubos de desgasificación de los cuerpos extrusivos, y también aquellos minerales depositados en espacios abiertos, representan una asociación de más baja temperatura (aunque más alta que aquella representada por las asociaciones de la etapa de alteración hidrotermal distrital) y se habrían formado como resultado del proceso de enfriamiento-desgasificación de los cuerpos de mena.

Las asociaciones mineralógicas de las áreas con alteración de carácter distrital son típicas de zonas afectadas por alteración hidrotermal del tipo campo geotérmico⁴. Ellas indican temperaturas en el intervalo 200-250 °C^{5, 6}. La presencia de estructuras del tipo

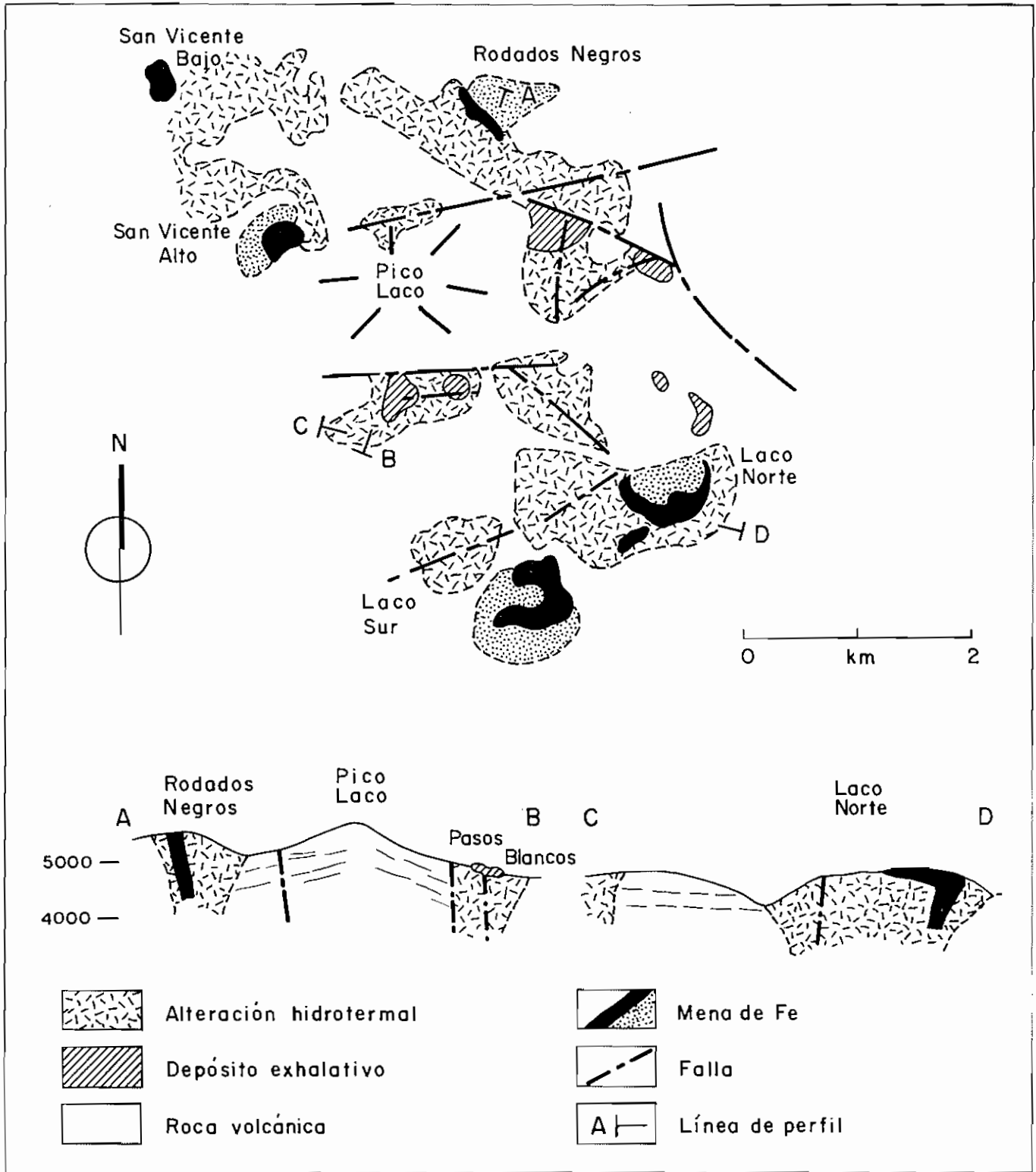


FIG. 1

brechas hidrotermales y estructuras vetiformes silicificadas, espacialmente asociadas con estas zonas, son consistentes con esta interpretación y sugieren que la circulación de los fluidos hidrotermales fue controlada, principalmente, por un patrón estructural preexistente y niveles de rocas más permeables, representados por tobas y brechas volcánicas. La distribución espacial de las brechas hidrotermales, estructuras silicificadas y depósitos exhalativos indican que la alteración se desarrolló en torno a varios centros discretos, los que, durante el período más activo, debieron presentar las características de fuentes termales de alta temperatura que, en superficie, posibilitaron la depositación principalmente de yeso.

La abundancia de minerales como yeso, alunita jarosita y la fuerte lixiviación que afecta a parte de las rocas alteradas indican que las soluciones que alcanzaron la superficie tuvieron un carácter muy ácido y ricas en sulfatos. La presencia de depósitos precipitados en superficie por las soluciones hidrotermales indican que los sistemas hidrotermales en El Laco no han sido mayormente afectados por la erosión.

El origen de estos sistemas geotermales necesariamente parece conectarse con la evolución geológica del complejo volcánico El Laco, con el cual se encuentran espacialmente relacionados. La fuente de energía de este sistema habría sido la misma actividad magmática que posibilitó la formación del complejo volcánico, incluyendo las menas de hierros asociadas.

Agradecimientos

El presente estudio ha sido financiado a través del

Grant SWE89-101 de la Agencia -Gubernamental Sueca de Cooperación Científica con los Países en Desarrollo (W.V.), Grant 5-87-15HB DICYT (USACH) y 89-0759 FONDECYT (F.H). Este proyecto se está realizando en colaboración con el Programa de Geología Económica del Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad Católica del Norte (S.E.). Se agradece a la Compañía Minera del Pacífico por la autorización y facilidades para realizar el estudio, y a J.O. Nyström la revisión crítica del manuscrito.

Referencias

1. Henríquez, F.; Martin, R.F., 1978. Crystal-growth textures in magnetite flows and feeder dykes. El Laco, Chile. *Canadian Mineralogist*, Vol.16, p. 581-589.
2. Gardeweg, M.; Ramírez, C.F. 1985. Hoja Río Zapaleri, Región de Antofagasta. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile*, No 66, 89 p.
3. Maksaev, V.; Gardeweg, M.; Ramírez, C.F.; Zentilli, M. 1988. Aplicación del método trazas de fisión (Fission Track) a la datación de cuerpos de magnetita de El Laco e Incahuasi en el Altiplano de la Región de Antofagasta. *In Congreso Geológico Chileno, No. 5, Actas*, Vol. 1, p. B1-B24. Santiago.
4. Browne, P.R.L. 1987. Hydrothermal alteration processes and their recognition. Pre-congress workshop notes- 98-149. *'Mineralisation and Volcanicity', Pacific Rim Congress 87*, 98-149. University of Queensland, Australia.
5. Hayba; D.O., Bethke, P.M.; Heald, P.; Foley, N.K. 1985. Geologic, mineralogic, and geochemical characteristics of volcanic-hosted epithermal precious-metal deposits. *Reviews in Economic Geology*, Vol.2, p. 129-167.
6. Stoffregen, R., 1987. Genesis of acid-sulfate alteration and Au-Cu-Ag Mineralization at Summitville, Colorado. *Economic Geology*, Vol. 82, p. 1575-1591.