



**ESTRUCTURAS y TEXTURAS de AMBIENTE EXHALATIVO en los YACIMIENTOS de MAGNETITA de El LACO. 2ª REGION CHILE.**

Espinoza R, S.\*

**INTRODUCCION**

El yacimiento de magnetita El Laco comprende una serie de depósitos afloramientos (Laco Sur, Laco Norte, Rodados Negros, Tuyacto Alto y Tuyacto Bajo, Cristales Grandes y Laquito) que se disponen alrededor un domo andesítico-dacítico denominado Pico Laco. En un principio se pensó que los afloramientos de mineral de hierro eran el remanente de la erosión de un manto de coladas de magnetita vertidas desde Pico Laco, el que fue interpretado como cuello volcánico (PARK, 1961; RUIZ 1965). Posteriormente el conjunto fue interpretado como una caldera volcánica en donde los yacimientos eran el resultado de actividad adventicia (FRUTOS y OYARZUN, 1975). Si bien no se ha encontrado evidencias de colapso tipo caldera, parece claro que los afloramientos de magnetita no son remanentes de erosión sino depósitos individuales, producto sea de actividad hidrotermal exhalativa o extrusiones de magma de magnetita.

Contra lo que sugieren las formas y apariencias de los afloramientos y contra las interpretaciones que se ha hecho en el sentido de que las estructuras y texturas que presenta el mineral en El Laco serían evidencias de efusiones de lavas de magnetita, los estudios de paleotermometría, isotopía y geoquímica entregan datos distintos de lo esperado para un fenómeno extrusivo de magma de magnetita y más bien indican un ambiente de formación hidrotermal de alta temperatura y con una abundante fase gaseosa. Esta situación obliga a reconsiderar la interpretación que se ha hecho de las estructuras y texturas de los afloramientos de magnetita.

**ANTECEDENTES**

El yacimiento El Laco yace sobre lavas y tobas andesíticas, y lavas y brechas riódacíticas plio-pleistocénicas depositadas sobre la unidad Tuyacto del "Plateau" Ignimbrítico Andino. El yacimiento tendría una edad de 2.1  $\pm$  0.1 m.a., (MAKSAEV et al. 1988, (Trazas de fisión en apatita)). La mena, maciza y prácticamente sin ganga, es fundamentalmente magnetita (y maghemita) masiva, octaédrica, rara vez dodecaédrica y suele encontrarse asociada a diópsido, apatita y sílice. También hay cantidades subordinadas de hematita primaria acompañando a magnetita (SHIGA et al 1988) y también como cristales hexagonales idiomórficos ("tuercas") de hasta 2,5 Cm de arista. asociada a sílice y apatita y diópsido .

\*= Depto. de Ciencias Geológicas U. C. del Norte

VIVALLO et al.(1991) encontraron plagioclasa, sanidina, diópsido, tridimita, rutilo, natroalunita y alunita en oquedades dentro de los cuerpos de magnetita y en halos periféricos. Una importante alteración sobreimpuesta, de amplia distribución, que forma zonas blanqueadas fuera del área de los yacimientos, con depósitos exhalativos de sílice opalina, cristobalita, tridimita, yeso, azufre, jarosita y alunita.

La mayoría los investigadores que se han referido a estos depósitos concuerdan en el ambiente volcánico en que fueron depositados los óxidos de hierro, pero hay discusión respecto de los procesos de depositación.

Muchas de las texturas y estructuras presentes en la mena tales como esferulitas dendritas "tubos" y cavidades han sido explicadas por algunos autores como típicas de enfriamiento rápido de una masa fundida, sin descartar que también hubo actividad hidrotermal (PARK, 1961; RUIZ 1965; HENRIQUEZ Y MARTIN, 1978; NYSTRÖM y HENRIQUEZ, 1994). Otros piensan que solamente hubo exhalación de gases y agua formándose la magnetita por procesos metasomáticos e hidrotermales LARSON y Oreskes (1994) y ORESKES et al. (1994, 1995).

Hasta el momento no hay evidencias de carácter fisicoquímico que soporten la idea de un magma de magnetita. Mediciones paleotermométricas de inclusiones fluidas en apatita (ORESKEs et al., 1994) indican temperaturas de homogeneización de 206° C en la zona de "Cristales Grandes" y 219° C en Rodados negros con salinidades de 2 a 30% equivalente y un promedio de 20%. Estas temperaturas solo son compatibles con una mineralización hidrotermal de ambiente epitermal. La temperatura de fusión de la magnetita alcanza los 1400°C y las lavas más calientes registradas sólo alcanzan los 1200°C. Aunque PHILPOTTS, (1967) obtuvo mezclas de magnetita - apatita que permanecieron fundidas a temperaturas inferiores a los 800° C, no aparece en El Laco la alta proporción de apatita utilizada por Philpotts en sus experimentos la que, por otra parte, es del tipo hidroxapatita, propia de ambientes hidrotermales.

Por otra parte el grado de cristalinidad de los óxidos de hierro es siempre muy alto y no se aprecia material vítreo como se esperaría de una lava. Los contenidos de elementos en traza como Ti y V son más bajos que lo esperable para una magnetita formada a partir de una masa fundida de magma de mena.

Estudios de isotopía de oxígeno en cuarzo han entregado valores de delta <sup>18</sup>O muy variables y en algunos casos extremadamente altos (desde 6,0 a 27,9 ‰ (LARSON y Oreskes, 1994) y desde 7,0 a 35,3 ‰ (VIVALLO et al. 1994). Estos valores podrían ser interpretados como pertenecientes a aguas de origen magmático.

## ANALISIS DE ESTRUCTURAS

La apariencia de masa viscosa solidificada y las espectaculares estructuras "dendriformes," "columnares" y "vesiculares" desarrolladas en los afloramientos de magnetita han impresionado fuertemente a los investigadores y sin duda estas imágenes han sido decisivas en la concepción de la hipótesis que explican estas formas como el producto del enfriamiento de coladas de magnetita fundida. Sin embargo un análisis paciente de estas estructuras permite explicar su génesis, en la mayoría de los casos, como un simple proceso de crecimientos cristalinos, a partir de una superficie, en un ambiente exhalativo.

1) Estructuras aceptadas como de origen hidrotermal.

-Estructuras botroidales. Son escasas y están constituidas por tetraedros de magnetita con caras curvas lo que los da un aspecto esferoidal.

-Drusas de magnetita. Numerosas cavidades de formas y tamaños variables desde milímetros a decenas de centímetros presentan su parte interna cubierta de cristales de magnetita.

-Brechas de matriz magnetita. Estas son escasas y están compuestas de una matriz de magnetita abundante con fragmentos de roca muy alterada en partes reemplazada por sílice opalina. En otras ocasiones se presentan en los bordes de filones de magnetita formando un enrejado de venas de magnetita.

-Vetas de magnetita. Estas están formadas por cristales octaédricos de magnetita y suelen incluir cristales prismáticos de apatito dispuestos perpendicularmente a las cajas. Estas vetas atraviesan los depósitos de magnetita.

2) Estructuras descritas como propias de enfriamiento rápido de una masa fundida y que aquí interpretamos como de crecimiento en ambiente hidrotermal.

-A) Dendritas y columnas. Estas son estructuras comunes y abundantes en el yacimiento. Las dendritas se pueden presentar como texturas laminares en “v”, estructuras aciculares y pequeñas columnas dendriformes desde milimétricas hasta de más de un centímetro de sección. Estas columnas tienden a una forma prismática de base cuadrada y presentan laminaciones transversales en las caras laterales lo que da a el conjunto el aspecto de dendritas. En estos los casos se aprecia un crecimiento periódico unidireccional y en epitaxia de octaedros superpuestos de magnetita. De este modo que la parte superior o cabeza de cada columna muestra la parte superior del último octaedro. (Caras 1,1,1; -1,1,1; -1,-1,1 y 1,-1,1)(Fig. 1-A).

Si las columnas crecen paralelas y contiguas y a la misma velocidad, sobre una superficie plana y horizontal, tienden a formar capas que van desde centímetros hasta más de un metro de espesor siendo particular de cada capa el tamaño de las columnas cristalinas. El techo de estas capas lo constituye una superficie de aspecto áspero o irregular formada por las cabezas hemioctaédricas de cada columna. (e: Laquito) Algunas estructuras de apariencia fibrosa o acicular son interpretadas aquí como un estado embrionario de columnas de tetraedros.

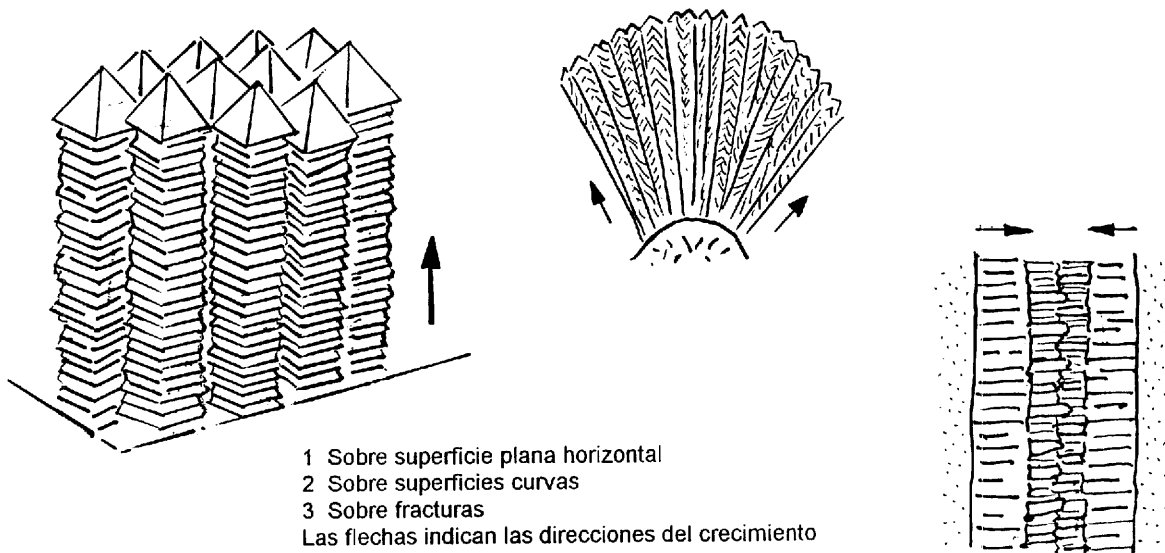
La sobreposición de capas sucesivas llega a edificar “mesas” que pueden tener varios metros de alto. En estos casos cada capa presenta sus particularidades respecto al mayor o menor desarrollo de las columnas cristalinas conforme a las condiciones ambientales en que crecieron. En algunos casos el espacio entre columnas forma largos “tubos” que suelen continuar en las capas superiores.(e: Tuyacto alto)

El fracturamiento de estas capas suele generar bloques que evocan las lavas tipo AA. (Parker, 1963)

Si los cristales se desarrollan a partir de superficies curvas o irregulares generan estructuras radiales.

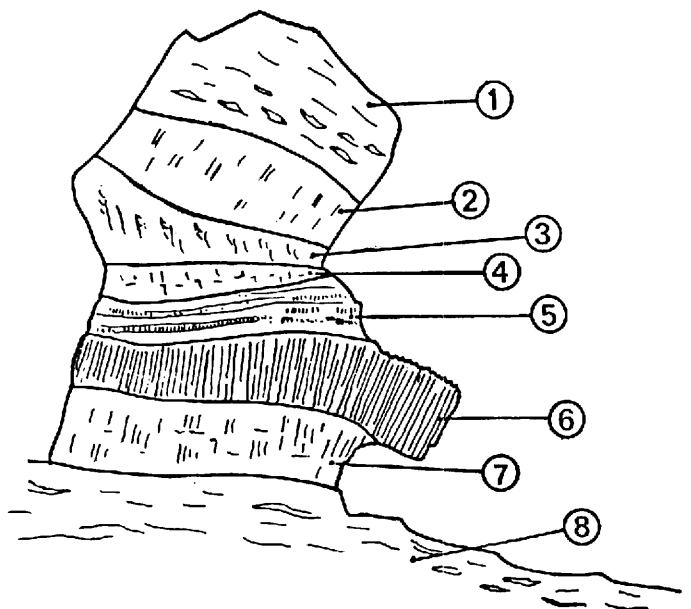
El estilo de crecimiento columnar se presenta también a partir de superficies verticales o inclinadas formando vetas. En todos los casos la posición de las columnas es perpendicular a la superficie de base.

**Fig. 1-A ESTILOS DE CRECIMIENTO COLUMNAR DE LOS OCTAEDROS DE MAGNETITA**



**Fig. 1- B MUESTREO EN EL SECTOR LAQUITO**

Nº	Ti (ppm)	V (ppm)	Ni (ppm)	Cr (ppm)
1	518	1376	266	70
2	297	1571	253	69
3	148	1651	237	59
4	111	1307	234	78
5	2813	1651	260	72
6	376	1754	254	72
7	296	1857	278	53
8	111	1410	257	76



- 1)- Magnetita con corteza de aspecto macizo y queredades de desarrollo horizontal.
- 2)- Magnetita de aspecto macizo muy compacta en parte con desarrollo columnar fibroso.
- 3)- Magnetita con estructuras de crecimiento columnar de sección milimétrica y en parte fibrosa.
- 4)- Magnetita con estructura de crecimiento columnar gruesa poco evidente.
- 5)- Varias capas de 2 cm y más de espesor con magnetita que presenta crecimiento columnar fino.
- 6)- Magnetita con crecimiento columnar muy bien desarrollado en columnas de sección del orden

-B) Cubiertas con drusas, “tubos” y vesículas.

Muchos cuerpos de aspecto macizo tienen la apariencia de coladas de lava (e. Laco Norte) Estos cuerpos que suelen albergar drusas, vesículas y “tubos” presentan una especie de corteza maciza con un brillo semejante al denominado “barniz del desierto” (Brüggen, 1928). Sin embargo al interior de la roca el material se presenta opaco y muy poroso en donde se ha observado sílice opalina formando pequeñas “flores” al interior de las cavidades. Este material puede graduar, más abajo, a un material terroso y disgregable como ocurre en Laco Sur donde la explotación lo ha dejado al descubierto. En este yacimiento verdaderas arenas de magnetita están junto a bolsonadas de material claro disgregable de aspecto de ceniza que podría ser el resultado de una muy fuerte alteración hidrotermal.

## ESTUDIO DE ELEMENTOS EN TRAZA.

En varios lugares las capas formadas por el crecimiento columnar de magnetita alternan con capas de aspecto macizo y estructuras de aspecto fluidal (flames) que generalmente contienen sílice opalina. Ante la idea de que estas capas pudiesen corresponder a coladas de lavas de magnetita se realizaron muestreos especiales capa por capa, a fin de comparar sus contenidos de elementos traza. Distintas condiciones de formación que significarían grandes diferencias de temperatura deberían estar también reflejadas en los contenidos de elementos como V, Mn, Ti, y Ni.

Los valores de los elementos estudiados, en 31 muestras clasificadas por afloramiento y tipo de cubierta, caen dentro de lo que puede considerarse un ámbito de filiación magmática aunque como ha sido señalado con anterioridad (SHIGA et al., 1988 ; NYSTRÖM Y HENRIQUEZ 1994) las magnetitas de el Laco son más pobres en V y más ricas en Ni que los yacimientos de la Franja Ferrífera de Atacama-Coquimbo. (ESPINOZA, 1990).

Si se consideran los distintos yacimientos del distrito El Laco se observa que cada yacimiento tiene ciertas características distintivas en lo que se refiere a la distribución de elementos en las magnetitas. Así por ejemplo las magnetitas de Laco sur tienen menos Mn, Mg y Cr , en tanto que el Cr es más alto en Laquito que en el resto de los depósitos. V, Ti y Ni están por su parte más concentrados en Rodados Negros. Es muy difícil extraer algún significado genético de estos resultados que más parecen indicar que el medio ambiente en que se formaron las magnetitas fue similar en todos los depósitos.

Un afloramiento especialmente estudiado en este trabajo ha sido el de Laquito, (Fig. 1-B ) en donde alternan capas con estructuras columnares de distintos grados de desarrollo, con capas que presentan vesículas y estructuras con apariencia de “flames” .

Los resultados obtenidos allí no dieron las diferencias esperadas y los valores de elementos estudiados tienen un comportamiento que no acusa ambientes fundamentalmente distintos para capas de diferente aspecto.

## CONCLUSIONES.

Las estructuras y texturas presentes en los afloramientos de magnetita de el yacimiento El Laco pueden ser interpretadas como propias de depósitos exhalativos.

En lo referente a la geoquímica de trazas los elementos estudiados mostraron ciertas similitudes entre muestras de un mismo yacimiento, pero no acusaron ninguna tendencia que

pueda asociarse con las distintas formas de presentarse la magnetita. Así los afloramientos con apariencia de coladas de lava tienen los mismos patrones geoquímicos que aquellos con estructuras aceptadas como de origen hidrotermal. Estos resultados habría que interpretarlos como evidencia de un origen común de la magnetita en todo el yacimiento. Ese origen, conforme a todo lo expuesto correspondería a un depósito exhalativo de óxidos de hierro.

## RECONOCIMIENTOS

Este trabajo se realizó con la colaboración de los alumnos talleristas Marcelo ASTENGO y Carlos ZAMORA y ha sido financiado por el Programa de geología Económica de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas.

## REFERENCIAS

**Frutos, J and Oyarzun, J 1975**, Tectonical and geochemical evidence concerning the genesis of El Laco magnetite lava flow deposits, Chile. *Econ. Geol.* V 70 p 988-990.

**Henriquez, F and Martin, R 1978**, Cristal growth textures in magnetite flows and feeder dykes El Laco, Chile. *Canadian Mineralogists.* V 16 p 581-589.

**Larson, A and Oresques, N 1994**, The magnetite "lava flows (?)", El Laco, Chile: New evidence for formation by vapor transport. 7º Congreso Geológico Chileno, Universidad de Concepción. V 2 p 1501-1505.

**Nyström, J.O. and Henriquez, F. 1994**, Magmatic features of ores of the Kiruna type in Chile and Sweden: Ore textures and magnetite geochemistry. *Econ. Geol.* V 89 p 820-839.

**Oreskes, N., Rhodes, A.L., Rainville, K., Sheets, S., Espinoza, S. & Zentilli, M. 1994**, Origins of magnetite deposits at El Laco, Chile: New evidence from field studies, fluid inclusions, stable isotopes, and fission track analysis. (Magnetite deposit at El Laco, Chile: new evidence) *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 26, A-379.

**Oreskes, N., Larson, A., Sheets, S.A. and Espinoza, S. 1995**, Evidence for formation of magnetite by hydrothermal processes at El Laco, Chile, part 1: Field relations and alteration assemblages. *Geological Society of America New Orleans Annual Meeting 1995. Session N° 143.*

**Park, Ch. 1961**, A magmatic "flow" in the northern Chile. *Econ. Geol.* V 56 p 431-436.

**Philpotts, A.R. 1967** Origin of certain iron-titanium oxide and apatite rocks. *Econ. Geol.* V 62, N° 3, p 303-315.

**Ruiz, C.(ed.) 1965**, Geología y Yacimientos metalíferos de Chile. IIG(SERNAGEOMIN) Santiago, Chile.

**Vivallo, W., Henriquez, F. and Espinoza, S. 1991**, Alteración hidrotermal en el complejo volcánico El Laco, norte de Chile. 6º Congreso geológico chileno. (SERNAGEOMIN) p 44-47

**Vivallo, W., Henriquez, F and Espinoza, S. 1994**, Oxygen and Sulfur isotopes in hydrothermally altered rocks and gypsum deposits at El Laco mining district, Northern Chile. *Comunicaciones N° 45*, 93:10 Department of Geology, Chile University, Santiago.