



XII Congreso Geológico Chileno  
Santiago, 22-26 Noviembre, 2009



Geología  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

---

S8\_016

## **Metasomatismo de Contacto Producido por Magmas de Fierro en El Laco**

Henríquez, F.<sup>1</sup>, Naranjo, J.A.<sup>2</sup>, Nyström, J.O.<sup>3</sup>

(1) Departamento de Ingeniería en Minas, Universidad de Santiago de Chile, Casilla 10233, Santiago, Chile.

(2) Servicio Nacional de Geología y Minería, Avda. Santa María 0104, Providencia, Santiago, Chile.

(3) Swedish Museum of Natural History, Box 50007, SE-104 05 Stockholm, Sweden.

*[fernando.henriquez@usach.cl](mailto:fernando.henriquez@usach.cl)*

### Introducción

La relación espacial entre yacimientos de magnetita-apatita (tipo Kiruna) y los hidrotermales de óxidos de Fe-Cu-Au (IOCG) es bien conocida y documentada [1], como también lo es la presencia de un metasomatismo alcalino penetrativo. Sin embargo, la relación genética entre los dos tipos de yacimientos es controvertida, existiendo una hipótesis magmática y otra hidrotermal. La hipótesis magmática plantea un origen a partir de un magma de óxido de Fe que origina los yacimientos de Fe y evoluciona a una fase hidrotermal para formar los del tipo IOCG [2]. La hipótesis hidrotermal explica el origen de ambos tipos de yacimientos a partir de soluciones derivadas de cuerpos plutónicos, asignándoles la calidad de skarn de Fe a los cuerpos de magnetita-apatita, como parte de un grupo de yacimientos tipo IOCG [3].

Un rol clave en la controversia genética lo constituye el yacimiento de hierro de El Laco [4,5]. La Compañía Minera del Pacífico (CMP) ha realizado un extenso programa de sondajes en El Laco, el cual ha incluido alrededor de 3.300 m, hasta una profundidad máxima de alrededor de 500 m, en el área de Pasos Blancos, ubicada más o menos en el centro del Complejo Volcánico, donde no afloran cuerpos de hierro. El estudio de estos testigos de sondajes ha permitido establecer evidencias geológicas que aportan nuevos antecedentes a la controversia y son los que se presentan en este trabajo.



XII Congreso Geológico Chileno  
Santiago, 22-26 Noviembre, 2009

---

### Metasomatismo de contacto de escapolita-piroxeno

Las rocas presentes en los testigos de los sondeos realizados en el área de Pasos Blancos corresponden a brechas con algunos fragmentos bien preservados de protolito de andesita y en menor proporción de dacitas, como también fragmentos de mena de magnetita. Los minerales originales de los fragmentos de roca están reemplazados principalmente por escapolita y piroxeno, la matriz de la brecha está constituida principalmente por magnetita, escapolita y piroxeno subordinado.

Los minerales observados en los sondeos y confirmados mediante DRX y/o microscopía corresponden a magnetita, escapolita, piroxeno, titanita, apatita, mica, pirita, natrolita, yeso, bassanita, alunita, tridimita, granate y calcopirita. Análisis con microsonda han permitido establecer que los piroxenos son fundamentalmente diópsido, el granate corresponde a andradita-grosularita con Ti, la mica es flogopita rica en flúor (5-7% F). La apatita, de acuerdo a análisis químicos y DRX es fluorapatita. La magnetita se presenta en tres generaciones y la escapolita en dos.

En los sondeos se observa que la intensidad de la alteración aumenta en profundidad y se han podido interpretar cuatro etapas de evolución genética espacial: *magmática*, *metasomática de contacto*, *hidrotermal* y *geotérmica-hidrotermal*. Las características que han permitido esta interpretación se señalan para cada una de ellas. *La etapa magmática* está representada por la formación de brechas y diques-vetas de magnetita. El origen magmático se basa en similitudes con los afloramientos en superficie, tales como contactos bien definidos entre roca y mena y textura equigranular de la magnetita. *La etapa metasomática de contacto* se habría producido por la intrusión de un magma de óxido de Fe a un nivel sub-volcánico y está caracterizada por el desarrollo de vetillas de magnetita con halos de oxidación a hematita, una intensa escapolitización y menor piroxenos. En esta etapa se presentan en menor proporción granate, titanita, apatita y mica. *La etapa hidrotermal* incluye vetas y vetillas de magnetita con pirita, diseminación de pirita y escasa calcopirita diseminada. *La etapa geotérmica-hidrotermal* se caracteriza por la presencia de abundante yeso y en menor proporción natrolita, bassanita, alunita y tridimita.

### Discusión

El modelo genético propuesto contempla un emplazamiento sub-volcánico de un magma de óxido de Fe muy rico en volátiles, cuya descarga habría producido un intenso fracturamiento en las rocas sobrepuestas. Posterior a este evento, las rocas brechizadas se habrían alterado por metasomatismo de contacto producido por fluidos magmáticos calientes emitidos por el intrusivo de mena que se enfriaba. Con posterioridad y disminución de temperatura, los fluidos metasomáticos habrían evolucionado a un



XII Congreso Geológico Chileno  
Santiago, 22-26 Noviembre, 2009

---

carácter hidrotermal y finalmente se habría producido un evento geotérmico. Este modelo está de acuerdo con el modelamiento magnetométrico de Alva *et al.* [6] quienes infieren la presencia de un gran cuerpo de magnetita en profundidad en Pasos Blancos.

El mecanismo de sub-superficie de descarga de volátiles para la formación de brechas ha sido propuesto para los yacimientos IOCG [7] y tipo skarn [8] pero a partir de un magma silicatado, produciendo un considerable aumento de la permeabilidad de la roca huésped. Un hecho relevante relacionado con los yacimientos de magnetita-apatita lo constituye la presencia de piroxenos en aquellos asociados a volcanismo sub-aéreo (El Laco, Cerro de Mercado en México) y de actinolita en los asociados a volcanismo sub-marino (Franja Ferrífera Cretácica en Chile, Peña Colorada en México). Trabajo experimental de estabilidad térmica en actinolita y su relación con los yacimientos tipo Kiruna [9] ha establecido una temperatura máxima de 840°C a 4 kilobares de presión y de 780-800°C a 1 kilobar e inestabilidad a bajas presiones. Estos valores le asignan una temperatura de origen a la actinolita cercana a la magmática, lo cual podría indicar que los yacimientos con actinolita se habrían formado a mayor profundidad que los con piroxenos. Por otra parte Williams *et al.* [1] propone que el metasomatismo alcalino que acompaña a los yacimientos de magnetita-apatita y asociados a los IOCG, se produce dentro de un gran rango de profundidad (10 km hasta cercano a la superficie).

Las dimensiones variables de los yacimientos de magnetita-apatita, que pueden llegar a más de mil millones de toneladas de mena maciza (Kiirunavaara, Suecia), con recursos en muchos yacimientos chilenos cercanos o superiores a los 200 millones de toneladas, unido a sus rasgos morfológicos, estructurales, texturales, de contactos con roca huésped, mineralogía y geoquímica, hacen difícil asignarles a ellos un origen por metasomatismo, o considerarlos como skarn en base a la alteración asociada. Más bien su origen se produce a partir del emplazamiento de un magma de óxido de Fe muy rico en volátiles, el que en su evolución produce un metasomatismo de contacto y los yacimientos hidrotermales del tipo IOCG.

### Conclusiones

En base al estudio de testigos de sondajes realizados en el área de Pasos Blancos, en El Laco, se ha definido un proceso de metasomatismo de contacto, determinado fundamentalmente por la adición de escapolita y piroxeno. Se propone que este proceso está asociado a un emplazamiento sub-volcánico de un magma de óxidos de Fe muy rico en volátiles.

La escapolita es un mineral presente en muchos yacimientos del tipo IOCG. La estrecha relación entre mena de magnetita y escapolitización en El Laco, indica una relación genética entre ellos, ambas posiblemente derivados de un magma de óxido de Fe.



XII Congreso Geológico Chileno  
Santiago, 22-26 Noviembre, 2009

---

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Leonardo Vergara y Mario Rojo, de CMP, por las facilidades otorgadas para estudiar los sondajes. Esta es una contribución del Proyecto Fondecyt N° 1070428.

### Referencias

- [1] Williams, P.J., Barton, M.D., Johnson, D.A., Fontboté, L., Haller, A., Mark, G., Oliver, N.H.S., Marschik, R. (2005) Iron oxide copper-gold deposits: Geology, space-time distribution, and possible modes of origin. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 371-405.
- [2] Naslund, H.R., Henríquez, F., Nyström, J.O., Vivallo, W., Dobbs, M. (2002) Magmatic iron ores and associated mineralisation Examples from the Chilean High Andes and Coastal Cordillera. in Porter, T.M. (Editor), *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective*, Volume 2; PGC Publishing, Adelaide, 207-226.
- [3] Oreskes, N., Hitzman, M.W. (1993) A model for the origin of Olympic Dam-type deposits. *Geological Association of Canada Special Paper*, vol. 40, 615-634.
- [4] Sillitoe, R.H., Burrows, D.R. (2002) New field evidence bearing on the origin of the El Laco magnetite deposit, northern Chile. *Economic Geology*, vol. 97, 1101-1109.
- [5] Henríquez, F., Naslund, H.R., Nyström, J.O., Vivallo, W., Aguirre, R., Dobbs, F.M., Lledó, H. (2003) New field evidence bearing on the origin of the El Laco magnetite deposit, northern Chile – A discussion. *Economic Geology*, vol. 98, 1497-1500.
- [6] Alva-Valdivia, L.M., Rivas, M.L., Goguitchaichvili, A., Urrutia-Fucugauchi, J., González, J.A., Morales, J., Gómez, S., Henríquez, F., Nyström, J.O., Naslund, H.R. (2003) Rock-magnetic and oxide microscopic studies of the El Laco iron ore deposits, Chilean Andes, and implications for magnetic anomaly modeling. *International Geology Review*. vol. 45, 533-547.
- [7] Oliver, N.H.S., Rubenach, M.J., Jacob, J-A, Rusk, B.G., Bertelli, M., Cleverley, J.S., Blenkisop, T.G., Cooke, D.R., Baker, T., Jungman, D., Yardley, B.W.D., Laneyrie, T. (2009) Very rapid subsurface hydrothermal ore deposition mechanism and the origin of breccia-hosted iron-oxide copper-gold deposits. *Journal of Geochemical Exploration*. vol.101, 76.
- [8] Meinert, L.D., Dipple, G.M., Nicolescu, S. (2005) World skarn deposits, *Economic Geology 100th Anniversary Volume*. 299-336.
- [9] Lledó, H.L., Jenkins, D.M. (2008) Experimental Investigation of the Upper Thermal Stability of Mg-rich Actinolite; Implications for Kiruna-Type Iron Deposits. *Journal of Petrology*. vol. 49, 225-238.