



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



Geología
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

S11_032

Caracterización geoquímica y petrológica de los pórfidos del depósito Cu-Au-(Mo) de Inca de Oro, Tercera región de Atacama, Chile

Pérez, D.¹, Baeza, L.¹, Chiang, O.¹

(1) Exploraciones Mineras Andinas S. A., filial de Codelco-Chile, Av. Nueva Oriente 2696, Villa Exótica, Calama.

[*dpere008@em.codelco.cl*](mailto:dpere008@em.codelco.cl)

Introducción

En el norte de Chile los depósitos tipo pórfido cuprífero que son económicamente más importantes están asociados a rocas ígneas de arcos magmáticos jóvenes (Paleoceno superior-Oligoceno inferior), por lo que, es de gran interés conocer un depósito tipo pórfido Cu-Au-(Mo), en la franja metalogénica del Cretácico Superior. Este depósito se ubica en una zona de transición, entre la Cordillera de la Costa con plutones básicos jurásicos a cretácicos y una zona de depresión central con intrusivos básicos a intermedios del Cretácico Superior, Paleoceno y Eoceno, en una zona de cuenca tras arco con dominio de rocas volcánicas, volcano-sedimentarias e intercalaciones carbonatadas de las formaciones Chañarcillo y Punta del Cobre. Inca de Oro (IDO) corresponde a un complejo de pórfidos tonalíticos, está encajado en rocas de la Formación Punta del Cobre, de edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior y con un marcado control estructural NE y NW [1].

Este trabajo explica la petrogénesis de los pórfidos de Inca de Oro y su posible afinidad con rocas adakíticas.

Caracterización geoquímica y petrológica de los pórfidos de Inca de Oro

Los intrusivos de Inca de Oro corresponden al emplazamiento de un complejo de varias fases sucesivas de pórfidos de composición tonalítica a granodiorítica de edad cretácica superior [1]. Un análisis geoquímico y petrológico de los intrusivos y rocas de caja de Inca de Oro permiten concluir que los pórfidos tonalíticos son rocas muy diferenciadas con un rango de SiO₂ que varía de 64 a casi un 70% de SiO₂. Los pórfidos provienen de un magmatismo calcoalcalino, subalcalino, de ambiente tectónico de granito de arco volcánico del tipo 'I', muestran una composición dacítica y ciertas similitudes con rocas adakíticas. Adicionalmente los análisis nos indican que el magmatismo que formó los pórfidos de Inca de Oro provino de varios pulsos originados a distintas profundidades,



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

que tuvo un control dominante de plagioclasa en su origen y que se habría emplazado a través de una corteza delgada (La/Yb 5-9) [2] [3].

En líneas evolutivas hay una regresión en la diferenciación magmática, desde el primer pulso que es un pórfido tonalítico temprano y mineralizador (PTO), hacia un pórfido tonalítico grueso e intermineral (PTG), para luego avanzar en una diferenciación hacia un pórfido tardío y postmineral (PPM) (figura 1, [4]). El PTO tiene un alto contenido de K, Na y de álcalis total, seguido de un empobrecimiento hacia los PTG y PPM, en estrecha relación con la alteración potásica. Por el contrario, los elementos Mg, Al y Fe, aumentan significativamente con la evolución, hacia el pórfido post mineral, contrariamente a una diferenciación normal, lo que sugiere una mezcla de magmas.

Las tierras raras muestran curvas más o menos planas con un ligero enriquecimiento en LREE y empobrecimiento en HREE, asimismo muestran una anomalía negativa de Nb, Ta, y Ti, típica de las rocas de arco, y una anomalía negativa de Zr y Hf, producto del fraccionamiento en anfíbol y titanita junto con otros minerales accesorios (figuras 2a y 2b, [5] [6]). Se aprecia también una ausencia en la anomalía negativa de Eu, que es una señal adakítica [7].

Los magmas adakíticos se caracterizan por contenidos de: $\text{SiO}_2 \geq 56\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15\%$, MgO en su mayoría $< 3\%$, $\text{Y} \leq 18$ ppm, $\text{Yb} \leq 1.9$ ppm, $\text{Sr} > 400$ ppm, bajo HFSE, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, normalmente < 0.7040 , altas razones de $\text{Sr}/\text{Y} > 20$, $\text{La}/\text{Yb} > 20$, [8]. Por otra parte, los pórfidos de IDO muestran algunas diferencias en los contenidos de Sr (100-600 ppm), Yb (1.2-2.3 ppm) y baja razón La/Yb (5.4-8.8), en relación con los clásicos valores adakíticos (figura 3, [9]), compartiendo algunas características, siendo estas insuficientes para que correspondan a magmas adakíticos.

Se ha sugerido que los magmas porfíricos productivos se asemejan a adakitas con bajos contenidos de Y y altas razones de Sr/Y [10, 11], mientras [12] dicen que las intrusiones productivas (como en El Salvador-Potrerrillos) tienen características con concentraciones bajas de Y < 10 ppm y MnO < 0.007 wt%, comparadas con plutones no-productivos [10] [11] [12].

Análisis de inclusiones fluidas

Mediante inclusiones fluidas se determinó tres eventos térmicos en IDO (figura 4), solamente dos de ellos, tardimagmático e hidrotermal principal, están asociados a mineralización metálica. La mineralización de molibdenita es relativamente equivalente con la de los sulfuros de cobre (calcopirita y bornita). Las temperaturas de homogenización presentan dos grupos o modas, el evento tardimagmático $700^\circ\text{-}450^\circ\text{C}$ y el hidrotermal principal $450^\circ\text{-}300^\circ\text{C}$. Así mismo, la salinidad tiene dos modas marcadas, una alta salinidad 69,2-30,1% en peso de NaCl eq. correspondiente a inclusiones del tipo III con un rango de temperatura de homogenización (Th) de $600^\circ\text{-}300^\circ\text{C}$ y una baja salinidad 20,3-1,7% en peso de NaCl eq. correspondiente a inclusiones tipo I y tipo II con un rango de Th de $650^\circ\text{-}350^\circ\text{C}$ y $750^\circ\text{-}200^\circ\text{C}$, respectivamente (tanto en fenocristales de cuarzo como en vetillas de cuarzo) (figura 5).



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

Las presiones determinadas por las inclusiones (hidrostática y litostática) permiten concluir que las profundidades de formación habrían sido intermedias, entre 1.500 y 2.000 m bajo la paleosuperficie.

Conclusiones

Los intrusivos de IDO corresponden al emplazamiento de un complejo de varias fases sucesivas de pórfidos de composición tonalítica de edad cretácica superior, que habrían ascendido a través de una corteza delgada. El magmatismo es de carácter ácido, tiene afinidad calcoalcalina, contenido variable de K, de composición dacítica, proveniente de arco volcánico (VAG) y de un margen continental activo, granítico tipo I y presentan una leve diferenciación inversa desde el pórfido tonalítico temprano hasta el pórfido tardío. Tienen un suave enriquecimiento de LREE y un bajo contenido de HREE, siendo una curva relativamente plana (figura 2.a). Los elementos incompatibles muestran fraccionamiento de Zr-Hf, Ti, y Ta-Nb en minerales accesorios, producto de la similitud de propiedades cristalquímicas, lo que se ve reflejado en diagramas Spider (figura 2b), donde están presentes fuertes decaimientos de los elementos mencionados. Los pórfidos de IDO habrían evolucionado en niveles someros de la corteza, con una importante participación cortical controlado por estabilidad de la plagioclasa [2].

La mineralización hipógena de cobre y molibdeno se desarrolló durante los eventos: tardimagmático e hidrotermal principal, correspondientes a rangos de temperaturas entre los 700°-450° y 450°-300° C, respectivamente.

Los pórfidos de Inca de Oro difieren de los pórfidos cupríferos de la Cordillera de Domeyko en que no presentan afinidad adakítica como estos últimos, debido a su muy baja razón La/Yb y porque sus contenidos de Yb y de Sr tienen rangos muy amplios.

Referencias

- [1] Rivera S., Baeza L., Kovacic P. y Martínez A., (2006) Primeros antecedentes de la geología del pórfido Cu-Au-Mo Inca de Oro, Tercera región de Atacama Chile. *XI Congreso Geológico Chileno*, Actas vol. 2, Geología Económica, 339-342.
- [2] Kay S., Mpodozis C., Tittler A., y Cornejo P., (1994) Tertiary magmatic evolution of the Maricunga mineral belt in Chile. *International Geology Review*, vol.36, 1079-1112.
- [3] Camus F., (2003) Geología de los Sistemas Porfíricos en los Andes de Chile. *Servicio Nacional de Geología y Minería*, 267 p.
- [4] Irvine T., y Baragar W., (1971) A guide to the Chemicals classification of the common volcanic Rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, vol. 8, 523-548.
- [5] Nakamura N., (1974) Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 38, 757-773.
- [6] Pearce J. A., Harris N. B., y Tindle A. G., (1984) Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. *Journal of Petrology*. vol. 25, 956-983.
- [7] Castillo P., (2006) An overview of adakite petrogenesis. *Chinese Science Bulletin*, vol. 51, 257-376.



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

- [8] Drummond M. S. y Defant M. J., (1990) A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons. *Journal of Geophysical Research*, 95, B13, 21503-21521.
- [9] Martin H., (1999) Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos*, vol. 46, 411-429.
- [10] Thiéblemont D., Stein G., y Lescuyer J. L., (1997) Gisements épithermaux et porphyriques: la connexion adakite. *Comptes Rendus Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes*, vol. 325, 103-109.
- [11] Oyarzún R., Márquez A., Lillo J., López I. y Rivera S., (2001) Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: adakitic versus normal calc-alkaline magmatism. *Mineralium Deposita*, vol. 36, 794-798.
- [12] Baldwin, J. A. y Pearce, J. A., (1982) Discrimination of Productive and Nonproductive Porphyritic Intrusions in the Chilean Andes. *Economic Geology*, vol. 77, 664-674.

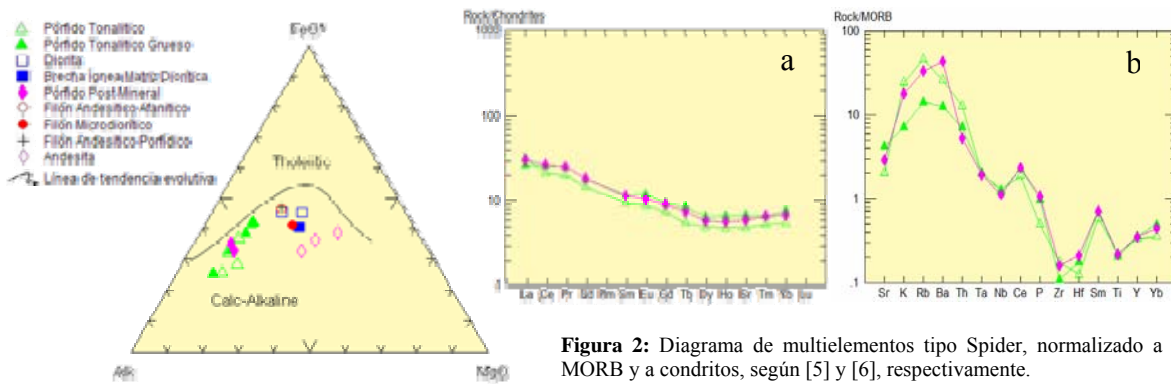


Figura 2: Diagrama de multielementos tipo Spider, normalizado a MORB y a condritos, según [5] y [6], respectivamente.

Figura 1: Diagrama de discriminación AFM, según [4]

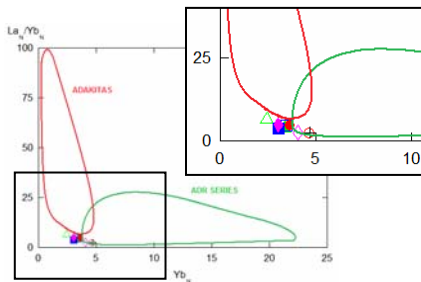


Figura 3: Diagrama de clasificación en función de valores normalizados de Yb y la razón La/Yb, según [9].

Evento Térmico	Rango de Temperatura
Tardimagmático	700° - 450° C
Hidrotermal Principal	450° - 300° C
Epitermal	300° - 200° C

Figura 4: Tabla de eventos térmicos, según temperaturas de homogenización (Th) en inclusiones fluidas.

Figura 5: Diagrama Temperatura v/s Salinidad de inclusiones fluidas en vetillas de cuarzo de Inca de Oro.

