

# CARACTERIZACIÓN DE LOS FLUIDOS HIDROTERMALES DEL PÓRFIDO DE COBRE LARA. AYACUCHO -PERÚ

Jorge Acosta Ale<sup>1</sup> & Ricardo Castroviejo Bolibar<sup>2</sup>

jacosta@ingemmet.gob.pe

<sup>1</sup> Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Av. Canadá 1470. San Borja- Lima 41. Tel. 511-618 9800 ext. 145

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Ríos Rosas, 21. Madrid – 28003. España. Tel. +34 91 336-7071

## INTRODUCCIÓN.

El pórfido de cobre Lara se encuentra en el flanco pacífico de la Cordillera Occidental de los Andes del Perú, dentro de la faja metalogenética Cu-Mo del Cretáceo superior. Está alineado con los pórfidos de cobre del Paleoceno-Eoceno más grandes del sur del Perú: Toquepala, Cuajone y Quellaveco.

Geográficamente, está localizado al sureste de la costa del Perú, a 400 km de Lima. Se ubica en la provincia de Laramate del departamento de Ayacucho, a 40 km del poblado de Palpa que se encuentra en la Panamericana Sur. La elevación máxima se encuentra a 1850 msnm.

Los objetivos de este estudio fueron: caracterizar las inclusiones de fluidos de los eventos hidrotermales de mineralización económica, estudiar la naturaleza de los fluidos hidrotermales que formó la alteración y mineralización, determinar la temperatura de formación de los fluidos mineralizantes y establecer una relación entre las inclusiones fluidas con el tonelaje y la edad de mineralización de los pórfidos de cobre.

## METODOLOGÍA.

Después de la etapa de campo se seleccionaron 12 muestras para estudios de petrografía de inclusiones fluidas, de las cuales se seleccionaron sólo 6 muestras para el estudio de microtermometría.

Se prepararon láminas transparentes doblemente pulidas (LTDP) con un espesor de 100 micras y sin cubierta de vidrio para el estudio de petrografía de inclusiones fluidas.

Se utilizó el equipo FLUID INC para el estudio de inclusiones fluidas, adaptado del sistema de flujo gaseoso de calentamiento/congelamiento de la USGS del Laboratorio de Inclusiones fluidas de la Universidad Politécnica de Madrid. El equipo consta de un microscopio Leitz Laborlux de luz polarizada con aumentos de 4X, 10X y 40X; una platina rectangular de movimiento X-Y, un monitor SONY Trinitron GVM1411QM y una impresora termal de video MITSUBISHI P66E incorporada. El equipo utilizó consumibles de nitrógeno líquido y seco, así como aire comprimido. El sistema de calentamiento/enfriamiento del equipo de inclusiones fluidas utiliza una platina de Reynolds, la cual tiene un rango de trabajo entre -196 °C y 700 °C. Tiene una resolución de medida de 0.1 °C y una precisión de 0.1 °C entre -56.6 °C y +660.4 °C (Fluid Inc, 1991). Su tasa de calentamiento/enfriamiento es de 0.1 °C a 100 °C/min y su estabilidad termal  $\pm 0.1$  °C entre -100 °C y 500 °C (Shepherd et al., 1985).

En la siguiente etapa, de cada LTDP se seleccionaron sólo aquellas inclusiones relacionadas con la génesis del mineral hospedante, es decir, las inclusiones primarias y pseudo secundarias (Shepherd et al., 1985). De esta manera, se escogió familias de inclusiones fluidas (FIF), definidas como un grupo petrográficamente asociado y bien discriminado (Goldstein & Reynolds, 1994). Cada inclusión fue caracterizada por: 1) No. de familia, 2) tamaño, 3) forma, 4) tipo, 5) relación de relleno ( $F=L/L+V$ ), 6) composición y forma del eventual mineral hijo hospedado en la inclusión (Cuadros 3.3 & 6.1 in Shepherd et al, 1985).

Para definir el tipo de inclusión fluida se utilizó la clasificación de Nash (1976) (en Velasco, 2004), donde las clasifican en líquidas (Tipo I) gaseosas (Tipo II) y aquellas con cristal de halita (Tipo III). Sin embargo, las inclusiones fluidas también fueron clasificadas según su paragénesis en primarias,

secundarias o pseudo secundarias (Roedder, 1979)

Una vez seleccionadas las FIF, se pasó a la etapa de microtermometría para el congelamiento y calentamiento de las inclusiones, donde se midió 1) temperatura de fusión del hielo ( $T_m$ ), 2) temperatura de homogenización ( $T_h$ ) a la fase vapor ( $T_{hv}$ ) o a la fase líquida ( $T_{hl}$ ).

## **GEOLOGÍA, ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN.**

Localmente se ha reconocido cuatro eventos intrusivos que pertenecen al Batolito de la Costa. El primero corresponde a la cuarzo diorita hornbléndica de la Superunidad Tiabaya (78-80 Ma; Mukasa, 1985 en Castillo et al., 1993). Esta unidad en el Distrito es intruída por la cuarzo monzonita que aloja al yacimiento. Estos granitoides son intruídos por un pórfido dacítico, que aflora al NE del depósito en la Mina Socos. Al final, diques de andesita y dacita cortan las unidades anteriores y se consideran como post mineralización (Figura 2). Una secuencia de rocas volcánicas piroclásticas cubre la parte oriental del distrito y pertenecen al Grupo Nazca, donde sus edades varían entre 22.4, 20.5, 23.2 y 18.7 Ma Mioceno inferior (Noble et al., 1979).

En el pórfido de cobre Lara el rasgo estructural dominante es el fallamiento en bloques, donde se han reconocido cuatro sistemas de fallas en orden cronológico: un sistema dominante más antiguo N-S que corresponde a fallas de rumbo sinistral. Los demás sistemas tienen una dirección E-O, NE-SO y el más reciente NO-SE.

La alteración y mineralización está representada por cuatro eventos hidrotermales, de los cuales los eventos A y B son responsables de la mineralización económica y están relacionados a la intrusión del cuarzo monzonita. Este intrusivo se emplazó después de la Superunidad Tiabaya.

El primer evento hidrotermal A muestra a un estilo de alteración penetrativo y en vetillas, donde al principio se formaron las vetillas tipo A1: biotita-magnetita-calcopirita y A2: cuarzo-pirita-calcopirita con halo de biotita. Este evento está relacionado con la intrusión de la cuarzo monzonita en la cuarzo diorita y representa la alteración potásica. La roca encajante presenta una matriz con biotitas secundarias alteradas a cloritas y es cortada por vetillas A3: cuarzo-ortoclasa. La alteración propilítica siguió a la alteración potásica y también alteró al cuarzo diorita, manifestándose en la matriz de la roca con una asociación mineralógica de clorita-epídota±carbonato-pirita y con vetillas A4: cuarzo-clorita-carbonato-pirita. La cronología de estos eventos hidrotermales es justificada por el estudio de inclusiones de fluidos, donde las inclusiones primarias de la alteración propilítica tienen las mismas características (salinidad y temperatura de homogenización) que las inclusiones secundarias de la alteración potásica (Acosta, 2007). Esto evidencia su posterioridad.

El segundo evento hidrotermal B se caracteriza por presentar un estilo de alteración con vetillas con sutura tipo B1: cuarzo-sericita-calcopirita-pirita y B2: cuarzo-pirita con halo de sericita que cortan la cuarzo monzonita y cuarzo diorita. Los sulfuros generalmente se presentan oxidados y lixiviados en superficie respectivamente. Este evento está superpuesto al primero y se debe a la incorporación de fluidos de origen meteórico que hacen descender la temperatura del sistema, notándose las primeras evidencias de los efectos retrógrados.

La datación de  $77.48 \pm 0.51$  Ma en sericita por el método  $Ar^{40}/Ar^{39}$  (Rivera, 2006) en el Pórfido de cobre Puquio, sugiere una edad similar para el evento hidrotermal B del Pórfido de cobre Lara, debido a las características de mineralización parecidas entre ambos yacimientos y su ubicación en misma franja metalogénica de pórfidos de Cu-Mo del Cretácico superior.

Posteriormente al evento B se superpuso una alteración argílica (montmorilonita-halloysita±illita±caolinita). Luego siguió un evento hidrotermal C con vetillas C1: cuarzo-ortoclasa±pirita±calcopirita y un cuarto evento D con vetillas estéril tipo D1: cuarzo-sericita están vinculados al último intrusivo granítico, estéril y post-mineralización.

## **ESTUDIO DE INCLUSIONES DE FLUIDOS Y PROFUNDIDAD DE SOBRECARGA.**

En el evento hidrotermal A, la petrografía de las inclusiones de fluidos de las vetillas tipo A3: cuarzo-

ortoclase nos muestran tres tipos de inclusiones primarias: ricas en líquido (Tipo I), ricas en vapor (Tipo II) e hipersalinas con cristal de halita y silvita (Tipo III), siendo las más abundantes las Tipo III y II. La microtermometría presenta los rangos más altos de temperaturas de homogenización (390 -500 °C) y salinidades entre 25 -50 % NaCl eq. Bajo estas condiciones se desarrolló la alteración potásica, compresiones litostáticas de captura de 430 bares, las cuales representan que el sistema inicialmente tenía una sobrecarga de alrededor de 1600 m. Posteriormente, el sistema sufre una caída de la temperatura (desde 380° hasta 240°C) y de la salinidad (desde 10% hasta 5% NaCl eq.) donde se desarrolló la alteración propilítica, como lo demuestran las inclusiones secundarias en la vetilla tipo A3 relacionadas con las inclusiones primarias y secundarias en la vetilla tipo A4: cuarzo-clorita-carbonatos-pirita

Durante la evolución del sistema porfirítico ocurre el evento hidrotermal B conformado por las vetillas tipo B1: cuarzo-sericita±cloritas±limonitas. Estas vetillas presentan inclusiones primarias Tipo I y II donde su microtermometría nos indican que las temperaturas de homogenización descendieron desde 470 °C hasta 270 °C, así como las salinidades, desde 26% a 5% de NaCl equivalente. Sin embargo, fluidos con una temperatura de captura a 382°C y salinidad de 5 % de NaCl eq. en una zona que sugiere ebullición nos indican una presión de captura fue de 226 bares. Bajo este régimen dúctil-frágil, la profundidad máxima se encontraría a 2300 m bajo condiciones hidrostáticas, pero probablemente es inferior y podría aproximarse a 850 m en condiciones litostáticas.

### **CONCLUSIONES.**

El evento hidrotermal A, conformado por la alteración potásica, se formó en un sistema hidrotermal salino H<sub>2</sub>O-NaCl-KCl, donde la salinidad se encontraba entre 25 -50 % NaCl eq. y la temperatura de homogenización de los fluidos variaba entre 390 -500 °C. El sistema tenía una sobrecarga de alrededor de 1600 m bajo condiciones litostáticas.

En la alteración propilítica, la salinidad fue menor (5 -10 % NaCl eq.) y la temperatura homogenización de los fluidos estuvo entre 240 -380°C.

La alteración cuarzo-sericita presenta se formó a temperaturas homogenización entre 300 y 470 °C, donde las salinidades variaban entre 4 -26 % NaCl eq. Este evento se habría desarrollado bajo un régimen dúctil-frágil, lo cual sugiere que la profundidad se encontraría entre 2300 m (bajo condiciones hidrostáticas) y 850 m (condiciones litostáticas).

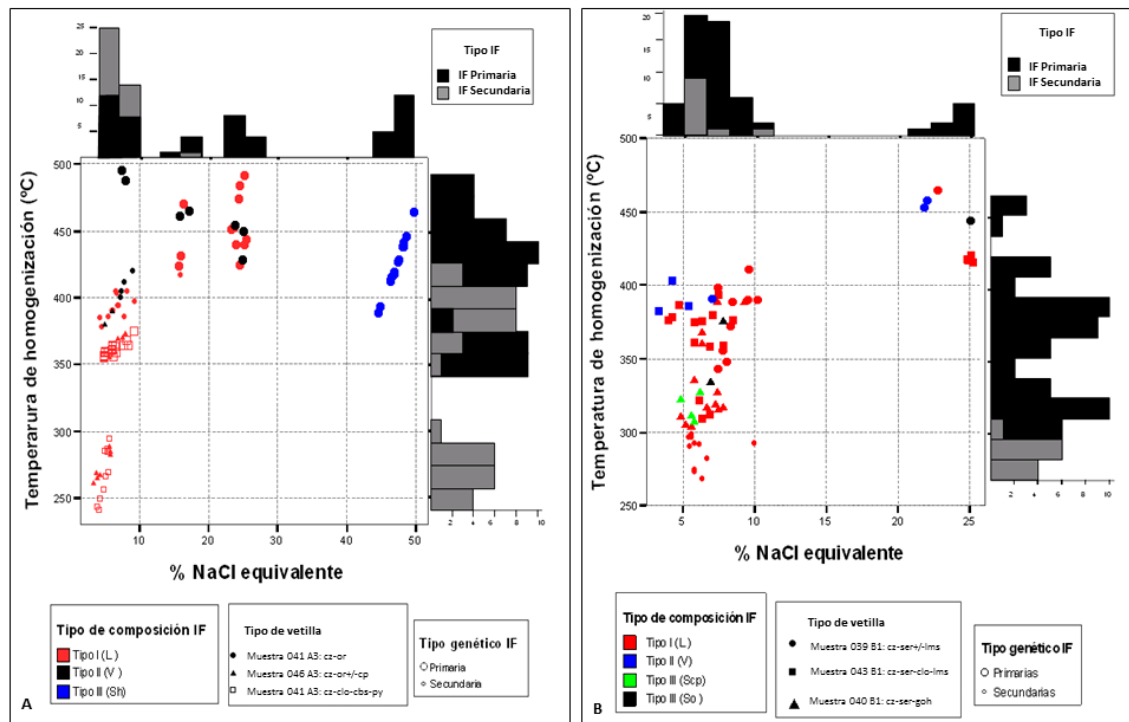
En la franja metalogénica de los pórfidos Cu-Mo del Cretácico superior, el estudio de inclusiones fluidas ha demostrado que el evento hidrotermal de mineralización económica B en el depósito Lara tiene una menor salinidad (11% NaCl eq.) que la de los pórfidos de El Salvador y La Escondida del Paleoceno-Eoceno en Chile (19 - 40% NaCl eq.).

Los pórfidos de cobre del Cretácico superior, como es el caso de Lara y Puquio, tienen menor tonelaje que aquellos del Paleoceno-Eoceno en el sur del Perú. (Cuajone, Quellaveco y Toquepala) y Chile (El Salvador y la Escondida) debido a los profundos niveles de erosión que presentan y poco desarrollo de la zona de enriquecimiento secundario.

### **REFERENCIAS**

1. Acosta, J. 2007. Las Inclusiones Fluidas como Guías de Exploración en Depósitos de Minerales. Ejemplo: El Pórfido de Cobre Lara Ayacucho – Perú. Red DESIR-ALFA. Tesis MSc. Internacional. Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Minerales. Pags 97.
2. Castillo J., Barreda J. & Churchetl A. 1993. Hojas: 29-n, 29-ñ. Geología de los Cuadrángulos de Laramate y Santa Ana. INGEMMET, Bol. No. 45.
3. FLUID INC. 1991. Instruction manual & Temperature calibration standards by synflinc. 33 pg.
4. GOLDSTEIN, TJ Reynolds. 1994 - SEPM Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals RH .
5. Nebocat J., Henstridge D., Plenge R. 1999. The discovery and geologic setting of the Lara porphyry copper deposit, southern coastal Perú. Bol. SGP No. 89, 1999.
6. Noble, D., Mckee, E., Mégard, F. 1979. Early Tertiary "Incaic" tectonism, uplift and volcanic activity, Andes of Central Peru. Geological Society of America Bulletin, vol. 90, n. 10, pp. 903-907, October 1979.

7. Nash, J.T., 1976. Fluid inclusión petrology-data from porphyry copper deposits and applications to exploration. U.S.G.S. Professional Paper 907D, 16 p.
8. Rivera F. 2006. Caracterización genética y potencial económico del sistema pórfido de Cu-Mo Puquio. Tesis para optar el título profesional de ingeniero geólogo. UNMSM.
9. Roedder, E. 1984. Fluid Inclusions. Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy, Vol. 12, 644 p. Samson, A. Anderson, D. Marshall (eds): Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation Mineralogical Association of Canada 2003, Short Course Series, vol. 32, 374 pp.
10. Shepperd, T., Rankin, A.H., & Alderton, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies, Blakie, Glasgow, 235 p.



**Figura 1** Gráficos de salinidad versus temperatura de homogenización de los fluidos de los eventos hidrotermales A y B. (A) Evento de alteración potásica IF: inclusión fluida, L: IF líquida, V: IF rica en vapor, Sh: IF hipersalina con cristal de halita. Simbología: cz: cuarzo, clo: clorita, or: ortoclasa, py: pirita. (B) Evento cuarzo-sericita IF: inclusión fluida, L: IF líquida, V: IF rica en vapor, Sh: IF hipersalina con cristal de halita. Cz: cuarzo, clo: clorita, goh: gohetita, lms: limonitas, ser: sericita.