

“APLICACIÓN DE LAS INCLUSIONES DE FLUIDOS EN LA BÚSQUEDA DE YACIMIENTOS DE COBRE. EJEMPLO: EL PÓRFIDO DE COBRE LARA. AYACUCHO – PERÚ”

Jorge ACOSTA¹, Ricardo CASTROVIEJO², Humberto CHIRIF¹ & José MACHARÉ³

¹ Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET)
Av. Canadá 1470, San Borja, Lima 41 - Perú. Tlf 51-1-6189 800 ext. 145

² Universidad Politécnica de Madrid (UPM)
Rios Rosas, 21. Madrid - 28003 (España). Tlf: +34 91 336-7071

³ Explosupport
Calle Manuel de Falla 297, 2do Piso, San Borja, Lima 41. Tlf. 475 2500

email: jacosta@ingemmet.gob.pe, ricardo.castroviejo@upm.es, hchirif@ingemmet.gob.pe, jmachare@explosupport.com

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, esta 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. Su elevación es de 1850 msnm.

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

METODOLOGÍA.

En la etapa de campo se seleccionaron 17 muestras para estudios de alteración hidrotermal: 5 para estudios de mineralización, 12 para estudios de petrografía de inclusiones de fluidos, 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 micrones y sin cubierta de vidrio para el estudio de petrografía de inclusiones de fluidos.

Se utilizó el equipo FLUID INC para el estudio de inclusiones de fluidos, adaptado del sistema de flujo gaseoso de calentamiento/congelamiento de la USGS del Laboratorio de Inclusiones de fluidos 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 de fluidos 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 ± 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 de fluidos (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 de fluido 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 de fluidos también fueron clasificadas según su paragénesis en primarias, secundarias o pseudo secundarias (Roedder, 1984)

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_{L}).

GEOLOGÍA, ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN.

Localmente se han 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 (Nebocat et al, 1999). Una secuencia de rocas volcánicas piroclásticas cubre la parte oriental del distrito y pertenecen al Grupo Nazca; 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 (Figura 1).

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 de la 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 a la cuarzo diorita, manifestándose en la matriz de la roca con una asociación mineralógica de clorita-epídota±carbonato-pirita y con vetillas A4: cuarzo-clorita-carbonatos-pirita.

El segundo evento hidrotermal B se caracteriza por presentar un estilo de alteración con vetillas y 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 la superficie respectivamente. Este evento esta 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.

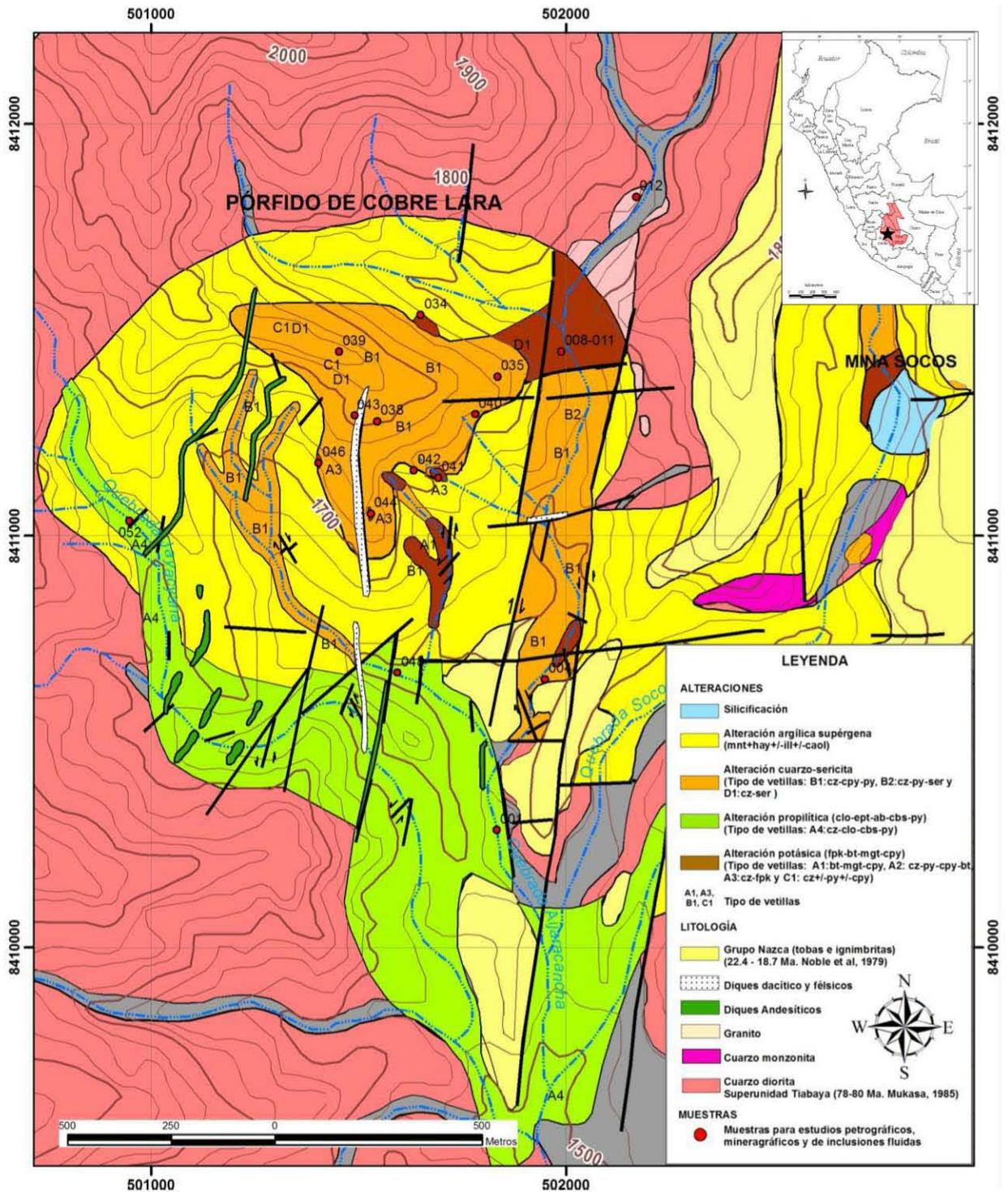


Fig. 1. Mapa geológico y de alteraciones hidrotermales del Pórfido de cobre Lara.

La datación de 77.48 ± 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 a su ubicación en la misma franja metalogénica de pórfidos de Cu-Mo del Cretácico superior.

Posteriormente al evento B se superpuso una alteración argílica de origen supérgena, caracterizada por una asociación mineralógica montmorilonita-halloysita±illita±caolinita.

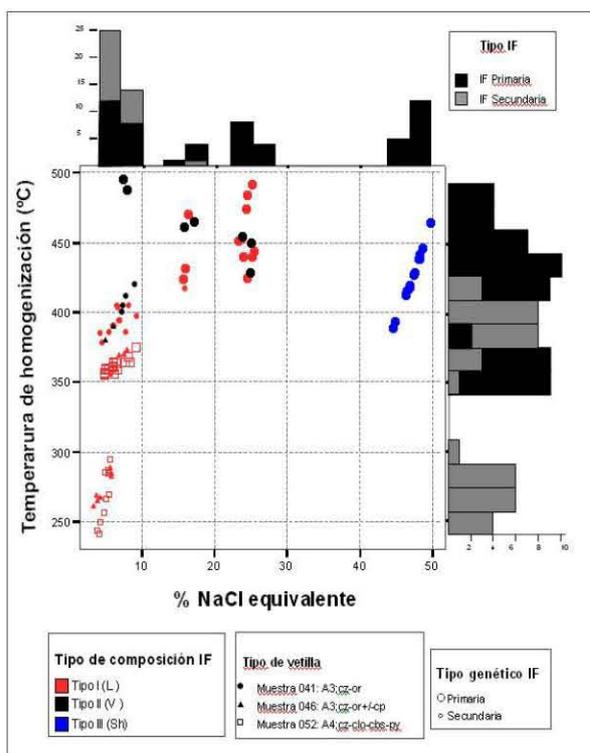


Figura 2. Gráfico de salinidad versus temperatura de homogenización de los fluidos del evento hidrotermal A. IF: inclusión fluida, L: IF líquida, V: IF rica en vapor, Sh: IF hipersalina con cristal de halita. Simbología: cz: cuarzo, clo: clorita, or: ortoclasa, py: pirita.

Un tercer 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 postmineralización.

ESTUDIO DE INCLUSIONES DE FLUIDOS.

El evento hidrotermal A, representado por la alteración potásica, presenta tres tipos de inclusiones de fluidos 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 I. Esta alteración presenta los rangos más altos de temperaturas de homogenización (390 a 500 °C) y salinidades entre 25 y 50 % NaCl eq. A continuación, la alteración propilítica se presenta con inclusiones primarias Tipo I y bajas temperaturas de homogenización, entre 240 y 380°C; sus salinidades también son bajas y varían entre 5 y 10 % NaCl eq. Este episodio también se ve reflejado en las inclusiones secundarias que afectan la alteración potásica.

En el evento hidrotemal B (Fig. 3), la alteración cuarzo-sericita presenta inclusiones primarias Tipo I y II, con temperaturas de homogenización entre 300 y 470 °C y salinidades entre 4 y 26 % NaCl eq. Las inclusiones Tipo II son las más comunes.

RELACIÓN DE LA SALINIDAD DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS CON EL TONELAJE Y EDAD EN LOS PORFIDOS DE COBRE.

La comparación de inclusiones de fluidos Tipo I del evento hidrotermal B de mineralización económica del yacimiento Lara con los pórfidos de cobre chilenos, nos muestra que los yacimientos del Paleoceno-Eoceno de El Salvador (Watanabe & Hedenquist, 2001; Gustafson & Quiroga, 1995 en

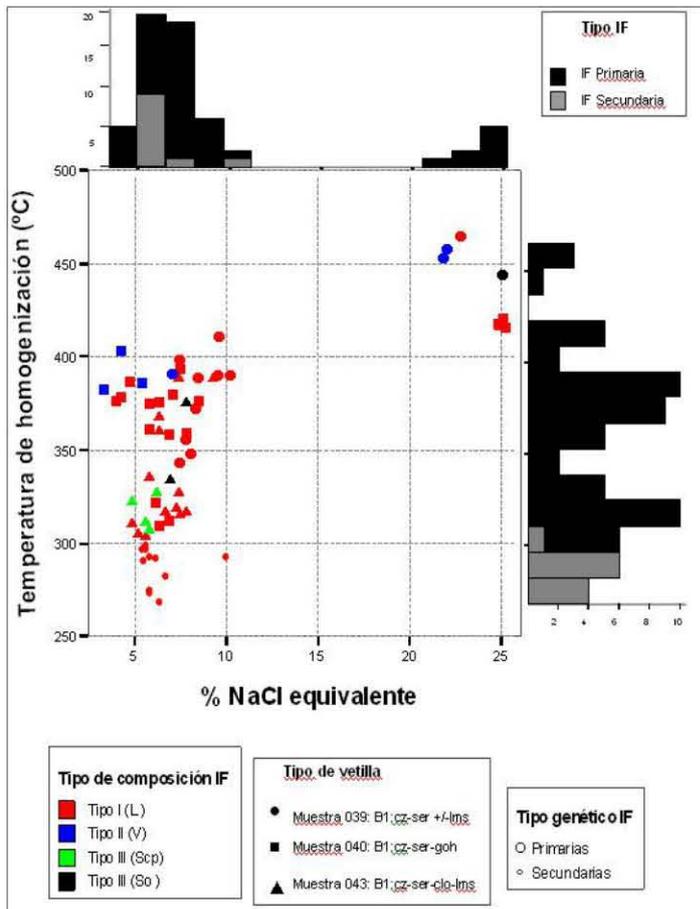
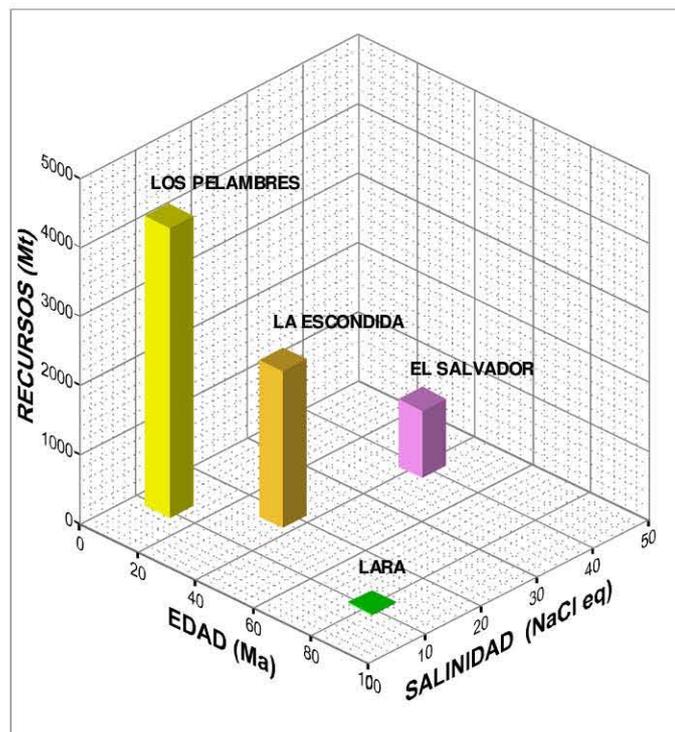


Figura 3. Gráfico de salinidad versus temperatura de homogenización de los fluidos del evento hidrotermal B. IF: inclusión fluida, L: IF líquida, V: IF rica en vapor, Sh: IF hipersalina con cristal de halita. cz: cuarzo, clo: clorita, goh: goethita, lms: limonitas, ser: sericita.

Figura 4. Relación de la salinidad de las inclusiones fluidas Tipo I, del evento de mineralización económica, con la edad y recursos de los pórfidos de cobre chilenos y el Pórfido de cobre Lara.



Camus, 2003) y La Escondida (Padilla-Garza, 2003) tienen una mayor salinidad entre 40 y 19% NaCl eq. que el Pórfido de cobre Lara del Cretácico superior (11% NaCl eq, este estudio); mientras que Los Pelambres de edad miocénica (Alkinson, et al 1996; Skewes & Alkinson, 1985 en Camus, 2003), tiene la misma salinidad que Lara (Figura 4).

CONCLUSIONES.

En el evento hidrotermal A, la alteración potásica se formó en un sistema hidrotermal $H_2O-NaCl-KCl$, donde la salinidad se encontraba entre 25 y 50 % NaCl eq. y la temperatura de los fluidos variaba entre 390 y 500 °C. En la alteración propilítica, la salinidad fue menor (5 a 10 % NaCl eq.) y la temperatura de los fluidos estuvo entre 240 y 380°C.

La alteración cuarzo-sericita se formó a temperaturas entre 300 y 470 °C con salinidades entre 4 y 26 % NaCl eq.

En la franja metalogénica de los pórfidos Cu-Mo del Cretácico superior, el estudio de inclusiones de fluidos ha demostrado que el evento hidrotermal B de mineralización económica 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 a 40% NaCl eq.).

La salinidad de las inclusiones de fluidos se puede utilizar como guía de exploración de pórfidos de cobre, ya que los yacimientos con mayor tonelaje tienen inclusiones más salinas (20-40% NaCl eq.). Esta relación ha sido encontrada en yacimientos de edades que varían desde el Cretácico superior al Oligoceno.

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.

- CAMUS, F. 2003. Geología de los sistemas porfíricos en los Andes de Chile. SERNAGEOMIN, p. 59-68 y 129-144.
- 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. 66 p.
- FLUID INC. 1991. Instruction manual & Temperature calibration standards by syn flinc. 33 p.
- GOLDSTEIN, TJ REYNOLDS RH. 1994 - SEPM Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. Short Course Notes 31. 199 p
- 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, 5-12 p.
- NOBLE, D., MCKEE, E., MÉGARD, F. 1979. Early Tertiary "Incaic" tectonism, uplift and volcanic activity, Andes of Central Peru. Geological Society of American Bulletin, vol. 90, n. 10, p. 903-907, October 1979.
- NASH, J.T. 1976. Fluid inclusion petrology-data from porphyry copper deposits and applications to exploration. U.S.G.S. Professional Paper 907D, 16 p.
- PADILLA-GARZA, R. 2003. Description and Evolution of the Escondida Porphyry Copper Deposit, Antofagasta Region, Northern Chile. A Dissertation Submitted to the Faculty of the Department Of Geosciences In Partial Fulfilment of the Requirements For the Degree of PhD. In the Graduate College The University Of Arizona. 201 p.
- 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. 62 p.
- ROEDDER, E., 1984. Fluid Inclusions. Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy, Vol. 12, 644 p.
- SHEPHERD, T., RANKIN, A.H., & ALDERTON, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusions studies, Blakie, Glasgow, 235 p.
- VELASCO, F. 2004. Introducción al estudio de las inclusiones fluidas. Curso latinoamericano de metalogenia UNESCO-SEG 2004 CRICYT, Mendoza, Argentina del 17 al 28 de agosto de 2004. 98 p.