



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: [www.sgp.org.pe](http://www.sgp.org.pe) ISSN 0079-1091

## Zonamiento químico-mineralógico en vetas de Cu-Au-Fe asociadas a un sistema IOCG en el arco Aptiano de la Costa Peruana, Cañete-Lima

Abraham Arana <sup>1</sup> Patricia Guevara <sup>2</sup><sup>1</sup>Universidad Nacional de Ingeniería; <sup>2</sup>Universidad Nacional de Cajamarca

### RESUMEN

En el sector de Cañete – Cerro Azul – Quilmaná se han reportado estructuras de Cu-Au-Fe, la mineralización se emplaza sobre conductos de diques máficos o desarrolla vetas y brechas estructurales, estas estructuras son de intermedia sulfuración con dominio de sericita-hematita-pirita, que muestran un claro metasomatismo de Na-K-Ca, mineralización de Cu en calcopirita > calcosita-covelita-bornita y Au asociado a cuarzo y óxidos, esta evidencia parece ser una expresión epitermal de un sistema IOCG andino, por lo que podrían ser útiles para la exploración y búsqueda de compositos mayores y ocultos que puedan presentar importantes contenidos de Cu, sobre todo para fluidos que hayan interactuado en el nivel estratigráfico de carbonatos de la Fm. Atocongo o equivalentes, ya que podrían desarrollarse amplios skarns de Cu-Fe.

### ABSTRACT

In the Cañete - Cerro Azul - Quilmaná sector, Cu-Au-Fe structures have been reported, the mineralization is usually located on mafic dyke ducts or veins and structural breccias develop, these structures are of intermediate sulfidation with sericite-hematite dominance- pyrite, showing a clear Na-K-Ca metasomatism, Cu mineralization in chalcopyrite > chalcosite-covelite-bornite and Au associated with quartz and oxides, this evidence seems to be an epithermal expression of an Andean IOCG system, so they could be useful for the exploration and search for larger and hidden composites that may have significant Cu content, especially for fluids that have interacted at the stratigraphic level of carbonates of the Fm. Atocongo or equiv-

alents, as extensive Cu-Fe skarns could develop.

### INTRODUCCIÓN

Numerosas estructuras mineralizadas han sido reportadas en el sector costanero del Perú Central, estas exhiben variación en contenido metálico, mineralogía de alteración y mineralización. Muchas de ellas vienen siendo trabajadas por pequeña y mediana minería. Aunque se han desarrollado importantes estudios sobre alguna de estas ocurrencias y sus características hidrotermales (De Haller, 2006; Injoque, 2002, 2000; Vidal et al, 1990; Cardozo, 1983); estas estructuras Cu-Au-Fe se han descrito de forma generalizada y existen pocos trabajos detallados sobre el zonamiento mineralógico y su secuencia paragenética. El presente trabajo busca describir la mineralogía presente, el zonamiento que desarrolla y discutir sobre la génesis de las estructuras Cu-Au-Fe que se presentan en el depósito Hulk en Cañete-Lima.

### METODOLOGÍA

En el presente trabajo se desarrolló un cartografía-litológico-estructural superficial a escala 1:2000 y un mapeo subterráneo de diferentes labores a escala 1:500. Los análisis químicos de las rocas fueron hechos en los laboratorios de Certemin, en total se analizaron 115 muestras por ICP-MS con método de disolución de cuatro ácidos y digestión por metaborato de litio. El estudio principal consistió en el análisis mineralógico, apoyado por herramientas macroscópicas y microscópicas, donde se utilizó un microscopio óptico de marca Optika B-510POL-I. Adicionalmente algunas muestras fueron evaluadas con un difractómetro PANalytical AERIS del Laboratorio de Escuela de Física en

la Facultad de Ciencias - Universidad Nacional de Ingeniería. Se estudió también la petrografía de inclusiones fluidas de las vetillas identificadas, en la empresa FA Ingenieros, utilizando un microscopio de luz polarizada (OLYMPUS BX51) adaptado al equipo de inclusiones fluidas (LINKAM).

### GEOLOGÍA DEL DEPOSITO

La mineralización Cu-Au Hulk se desarrolla en las unidades basales del Grupo Casma en forma estructuras NE y brechas locales. Tanto los diques asociados y el magmatismo presente muestran una diferenciación con tendencia primitiva, con una petrografía que grada de dioritas a cuarzo-dioritas, y un quimismo de los basaltos – andesitas con razones equiparables de álcalis y FeO, pero con una relación de FeO/MgO mayor a 0.8. La mineralogía hidrotermal predominante permite definir cinco estadios de alteración-mineralización, para la akermanita ( $\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{Si}_2\text{O}_7)$ ) no se ha reconocido una clara asociación, sin embargo suele aparecer acompañado de albita y en niveles de basaltos. El primer estadio hidrotermal se observa localmente y está caracterizado por albita, feldespatos potásicos, anfíboles y piroxenos (jervisita- $\text{NaScSi}_2\text{O}_6$ ), biotita y magnetita, este ensamble se encuentra como alteración de secuencias andesíticas ricas en calcio, el segundo estadio está determinado por un buffer de magnetita dominante, acompañado de feldespato potásico, biotita, distalmente se reconoce epidota como alteración y vetillas asociadas, el tercer estadio consiste en una fuerte presencia de sericita sobre las secuencias volcánicas con un buffer dominante de hematita, distalmente se presenta la asociación clorita-epidota, el cuarto estadio consiste en esfalerita, calcopirita, pirita, electrum y cuarzo, se reconoce también presencia de calcosita-bornita a nivel macro y microscópicamente se observa covelita-digenita reemplazando esfalerita-calcopirita, el último estadio corresponde a una mineralogía de oxidación que consiste de goethita, hematita, cuprita asociado a sulfatos, carbonatos, fosfatos y cloruros de Fe, Zn, Cu, Ca, Se y V. Las estructuras mineralizadas de forma general presentan un zonamiento vertical que inicia a profundidad por pirita-cuarzo, seguido de esfalerita-calcopirita, en niveles intermedios se desarrolla calcopirita-calcosita acompañado de bornita-covelita digenita, en algunos sectores del nivel intermedio a superior se tiene estructuras de selenita acompañado de calcosita, y en niveles superiores predomina el cuarzo hematita-cuprita con Au presente. La alteración circundante también

presenta un zonamiento vertical generalizado, hacia las zonas de profundidad relativa se tiene un dominio de sericita con presencia de biotita local y hacia niveles superiores un dominio de clorita acompañada de epidota. Se han estudiado vetillas de cuarzo presente en el sistema hidrotermal Hulk, estas forman parte de una secuencia paragenética, que caracterizan a los estadios Sericita-Hematita y Pirita-Calcopirita-Cuarzo. Las inclusiones estudiadas muestran un sistema de Th de baja temperatura ( $250^\circ\text{-}170^\circ$ ) dominado por fase líquida con salinidades predominantemente bajas ( $\text{NaCl}_{\text{eq}} : 3.7\text{-}10.6\%$ ). Las inclusiones bifásicas conforman más del 90% de las inclusiones observadas, el volumen del líquido acuoso es siempre mayor al volumen de la burbuja de vapor, mostrando una relación variable de V/L: 0.3-0.7, los tamaños de las inclusiones van de 0.3 a 0.65  $\mu\text{m}$ . Las vetillas son principalmente conformadas por cuarzo, epidota, pirita, calcopirita y yeso, como mineral secundario se presenta hematita, calcosita, brocantita, y como minerales traza magnetita y Electrum

### DISCUSIÓN

Las secuencias volcánicas y diques son de composición andesítica a basalto-andesítica, estas unidades muestran una relación La/Y, La/Nb y Zr/Ti relativamente alta, que permiten considerarlas producto de un magmatismo de arco primitivo de naturaleza calco alcalina. La mineralogía representativa del sistema hidrotermal estudiado en Hulk muestra un buffer hematita – pirita, con alteración sericítica predominante y mineralización de Cu presente en calcopirita>calcosita-covelita-bornita, además de Au presente en cuarzo y óxidos. De la secuencia paragenética estudiada se puede reconocer que el fluido hidrotermal aumenta rápidamente su grado de sulfuración a medida que se va oxidando. La presencia de akermanita ( $\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{Si}_2\text{O}_7)$ ) es producto de alteración por contacto entre los diques y las rocas volcánicas ricas en calcio, gran parte de esta alteración ha sido posteriormente destruida por el metasomatismo desarrollado. La presencia de albita y feldespato potásico muestran claramente un metasomatismo de Na y K; la jervisita ( $\text{NaScSi}_2\text{O}_6$ ), además del contener Na como elemento mayoritario también presenta Sc, éste elemento se ubica los espacios cristalográficos de Fe oxidado; por lo que elevados contenidos de Sc en piroxenos suelen evidenciar una fuente magmática primitiva y oxidada, reconocer estas mineralogías, incluso en niveles superiores asociados a estructuras de Cu-Au-Fe indica que las vetas tienen una

conexión genética con un magmatismo tipo IOCG. De igual forma esta alteración queda obliterada por la sericitización subsiguiente. La transición de dúctil a frágil generó una disminución de presión total del sistema, una migración de fluidos a través de los conductos de diques y un amplio desarrollo de sericita como alteración en las secuencias volcánicas circundantes a las estructuras, la apertura del sistema desencadenó una disminución de la fugacidad de azufre, una acidificación de los fluidos y un incremento de la fugacidad de oxígeno, expresado mineralógicamente por sericitización pervasiva y dominio de hematita sobre magnetita. La precipitación de hematita generó un consumo de oxígeno y consecuentemente una disminución de la fugacidad de oxígeno, más la continua acidificación del sistema, llegaron a presentarse condiciones para precipitación y dominio de pirita sobre hematita con magnetita ausente. La precipitación de Cu asociada a esfalerita estuvo controlada principalmente por el descenso térmico, y una posible ebullición a condiciones epitermales generó precipitación de Au asociado a cuarzo y pirita; el subsecuente aumento del pH y condiciones relativamente reducidas fueron esenciales para la principal mineralización de Cu en forma de sulfuro en el sistema Hulk. Del análisis paragenético y estudio microtextural se observa un dominio de covelita-digenita-bornita supergena, sin embargo, también se reconoce calcocita-covelita-digenita hipogena. La abundante aparición de selenita en las estructuras hace suponer que el fluido pudo haber interactuado con aguas someras de cuencas aptianas-albianas rica en sulfatos, esta mezcla de fluidos habría generado un nuevo aumento en la oxidación del fluido hipógeno y aumento en el contenido de S. La paragénesis de oxidación presenta Se, V, Zn y Fe en forma de óxidos hidratados o clorurados, fosfatos, carbonatos de Ca, Na y Mg, cloruros y sulfatos de Cu y Fe. La relación  $py \gg cpy$  en las estructuras, valores de pHs bajos y un estado de oxidación alto, generaron un ambiente que permitió la predominancia de sulfatos sobre carbonatos, un probable clima árido habría favorecido su preservación, de tal forma que en las observaciones macroscópicas no se ha llegado a reconocer calcita ni malaquita, solamente mediante análisis químico se ha reconocido wermalandita (carbonato de Ca y Mg) en contenidos de menores a traza. Las inclusiones fluidas muestran un sistema de Th de baja temperatura (250°- 170°) que estaría mostrando temperaturas epitermales, dominado por inclusiones bifásicas con relación

Líquido > Vapor y salinidades predominantemente bajas ( $NaCl_{eq}$ : 3.7-10.6 %), además se tiene una familia minoritaria de inclusiones hipersalinas (residuales), estas características muestran un fluido residual post ebullición. La mineralogía previamente estudiada, permite interpretar un grado de sulfuración intermedio a condiciones oxidadas, producto de un fluido de origen magmático que hizo ebullición en su ascenso, y que tras una mezcla con agua evaporíticas se enriqueció en azufre oxidado y otros elementos.

## REFERENCIAS

- Cardozo, M. (1983).** Raúl als Beispiel vulkanogener Kupferlagerstätten im Copará-Metallotekt, Zentralperu: Unpublished Ph.D. thesis, Heidelberg, Ruprecht-Karls Universität, p. 240.
- De Haller, A. (2006).** The Raúl-Condestable Iron Oxide Copper-Gold Deposit, Central Coast of Peru. Published Ph.D. thesis, Switzerland, University of Geneva, Terre et Environnement, v. 58, p. 123.
- Injoque J. (2000).** Distribución de yacimientos de sulfuros masivos (VMS) y de cobre tipo manto (CuTM) en el arco volcánico Cretáceo de los Andes Peruanos y Sudamericanos. Sociedad Geológica del Perú, Vol. 90. p. 19-34.
- Injoque J. (2001).** Segmentación de los Gabros y Dioritas tempranos del Batolito de la Costa (Superunidades Patap y Pisco), la fase deformativa Mochica y Mineralización Asociadas, como parte de la segmentación cretácea de la costa peruana. Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, v. 92. p. 7-21.
- Injoque J. (2002).** Yacimientos de óxidos de Fe-Cu-Au en el Perú: Una visión integral. Sociedad Geológica del Perú. XI Congreso Peruano de Geología, Trabajos Científicos, Septiembre 18p.
- Injoque, J. (2002),** Fe Oxide-Cu-Au Deposits in Peru: An Integrated View; in Porter, T.M (Ed.), Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective, Volume 2; PGC Publishing, p. 97-113.
- Sillitoe, R.H., (2003).** Iron oxide-copper-gold deposits: An Andean view: Mineralium Deposita, v. 38, p. 787-812
- Vidal, C., Injoque, J., Sidder, G.B., & Mukasa, S.B. (1990).** Amphibolitic Cu-Fe skarn deposits in the Central Coast of Peru: Economic Geology, v. 85, p. 1447-1461.



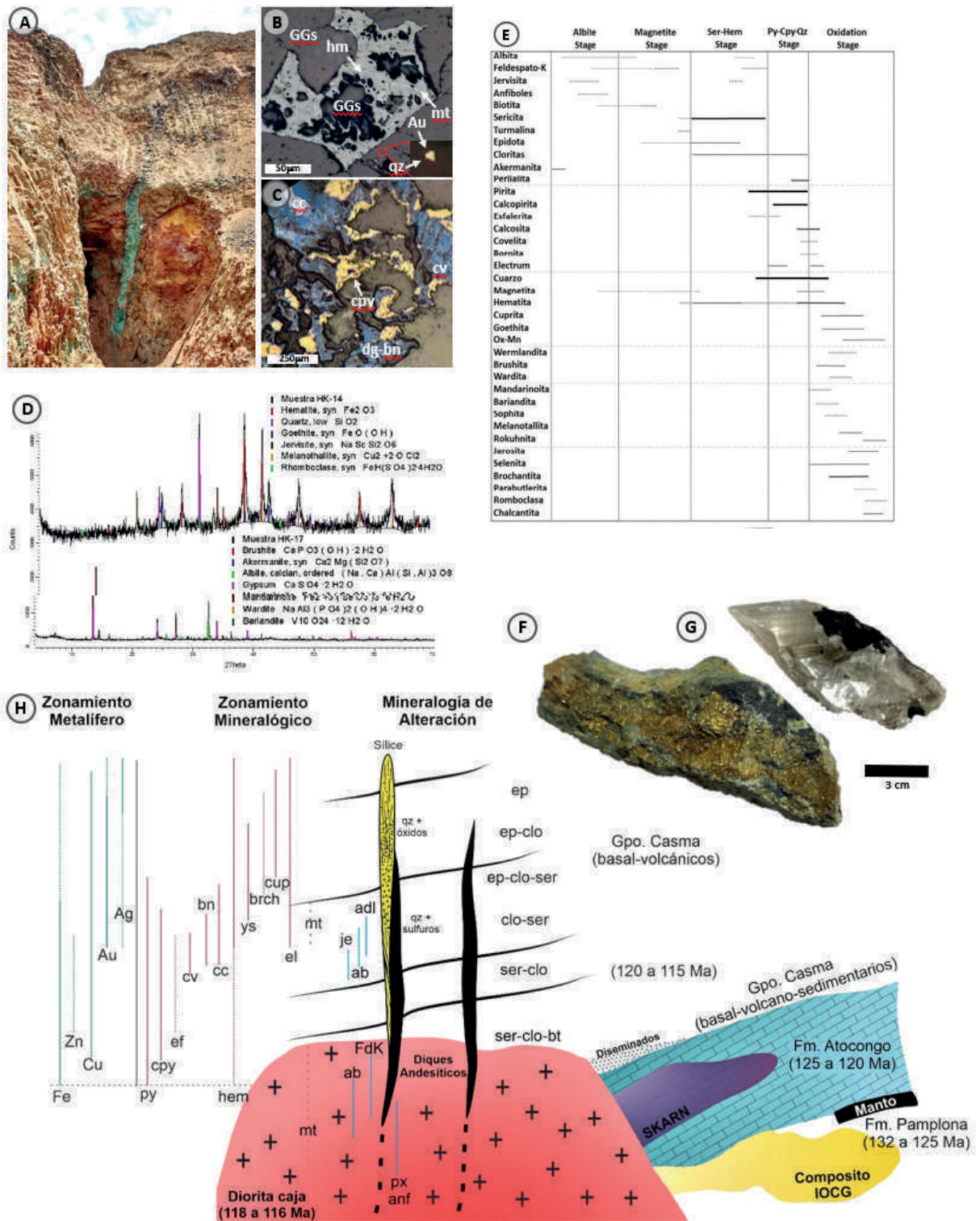


Figura 1. A. Dique con impregnaciones de sulfato de cobre, emplazado en zona de transcurrancia, extremos cizallados con óxidos y valores anómalos de Au. B. Coexistencia de hematita-magnetita con Au en cuarzo presente C. Microfotografía de calcopirita-covelita-calcosita-digenita-bornita. D. Difractogramas de muestras representativas del sistema de vetas IOCG (jervisita-albita). E. Secuencia paragenética del depósito – cinco principales estadios reconocidos. F. Estructura de calcopirita-calcosita-cuarzo. G. Muestra de selenita cristalizada con fosfatos de calcio. H. Zonamiento químico-mineralógico generalizado del sistema, adaptado del modelo de Sillitoe (2003).