



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

YACIMIENTOS TIPO IOCG Y PÓRFIDOS: RELACIONES MAGMÁTICAS Y GENÉTICAS EN EL SUROESTE PERUANO-SECTOR ICA Y AREQUIPA

Michael Valencia ⁽¹⁾, Alonso Marchena ⁽²⁾, Walter León ⁽³⁾ Luis Quispe ⁽⁴⁾ & Víctor Torres ⁽⁵⁾

Ingemmet ⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾ ⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾

RESUMEN

Se trata evidenciar las relaciones entre los yacimientos IOCG y Pórfidos relacionados a volcanismo e intrusiones del Jurásico-Cretáceo al suroeste peruano y comprende cuatro épocas de mineralización relacionadas siempre a los yacimientos IOCG y pórfidos. El Batolito de la Costa comienza una convergencia N-S, de transpresión dextral asociados a pórfidos de Cu-Mo que posteriormente entre 30-40 Ma, convergen NE generando más mineralizaciones; finalmente en el Mioceno, con una convergencia E-O. Se evidencia que los IOCG Marcona se relacionan magmáticamente a la Superunidad Punta Coles; Cobrepampa y Hierro Acarí a la Superunidad Linga; Santa Filomena, Tambojasa-La Capitana y La Española (Españolita) a la Superunidad Tiabaya. En base a la geoquímica tenemos: 1) Los diagramas spider marcan relación del magmatismo Punta Coles con mineralización, y las formaciones Río Grande y Guaneros. 2) El magmatismo Linga, Yarabamba y Tiabaya del Cretáceo-Paleógeno están relacionados a pórfidos; mientras el volcanismo Chocolate y Guaneros, relacionados con Superunidad Punta Coles y IOCG. 3) El magmatismo Punta Coles relacionado a IOCG muestra contaminación cortical, fraccionamiento y metasomatismo; mientras el magmatismo Linga y Tiabaya del Batolito de la Costa relacionado con pórfidos presenta contaminación cortical y fraccionamiento. 4) Finalmente, el magmatismo Punta Coles relacionado a IOCG presenta una menor profundidad, menor fusión de anfíbol y mayor metasomatismo; mientras el magmatismo Linga y Tiabaya del Batolito de la Costa relacionado con pórfidos presenta mayor profun-

dididad, mayor fusión de anfíbol con liberación de agua originando los magmas húmedos.

Los IOCG y Pórfidos comparte la misma fuente de fluidos magmáticos, acuosos y salinos con influencia cortical. Por tanto, las diferencias de generación de pórfidos y IOCG magmático hidrotermales tiene que ver con variaciones locales de los gradientes geotérmicos y de fuente de contenido de azufre.

PALABRAS CLAVE: Calcoalcalino, fraccionamiento, contaminación cortical, litogeoquímica.

ABSTRACT

The study shows the relationships between the IOCG and Porphyry deposits related to volcanism and Jurassic-Cretaceous intrusions in southwestern Peru and includes four periods of mineralization always related to the IOCG and porphyry deposits. The Coastal Batholith begins a N-S convergence, of dextral transpression associated with Cu-Mo porphyries, between 30-40 Ma the converge NE generating more mineralizations; finally in the Miocene, there is an E-W convergence. It is evidenced that the Marcona IOCGs are magmatically related to the Punta Coles Superunit; Cobrepampa and Hierro Acarí to the Linga Superunit; Santa Filomena, Tambojasa-La Capitana and La Española (Españolita) to the Tiabaya Superunit. Based on geochemistry we have: 1) For the spider diagrams, they mark the relationship of Punta Coles magmatism with mineralization, and the Río Grande and Guaneros formations. 2) Linga, Yarabamba and Tiabaya magmatism of the Cretaceous-Paleogene are related to porphyry; while

the Chocolate and Guaneros volcanism, related to Punta Coles Superunit and IOCG. 3) Punta Coles magmatism related to IOCG shows cortical contamination, fractionation and metasomaticism; while the Linga and Tiabaya magmatism of the Batholith of the Coast related to porphyry presents cortical contamination and fractionation. 4) Finally, the Punta Coles magmatism related to IOCG presents a shallower depth, less amphibole fusion and greater metasomaticism; while the Linga and Tiabaya magmatism of the Coastal Batholith related to porphyry presents greater depth, greater fusion of amphibole with the release of water originating the humid magmas.

The IOCG and Porphyry have the same source of magmatic, aqueous and saline fluids with cortical influence. Therefore, the differences in the generation of porphyry and hydrothermal magmatic IOCG have to do with local variations of geothermal gradients and source of sulfur content.

INTRODUCCIÓN

El estudio se ubica al suroeste del Perú, en las regiones de Ica y Arequipa, donde se tiene yacimientos IOCG y Pórfidos relacionados al magmatismo del Jurásico-Cretácico, entre la Cordillera Occidental y la costa peruana; que compartan posiciones geográficas parecidas, que este trabajo trata de evidenciar las relaciones existentes entre estos depósitos.

METODOLOGÍA APLICADA

Para determinar las relaciones magmáticas y genéticas de los depósitos IOCG y Pórfidos se recopiló información bibliográfica y se tomaron datos de campo. Se tomaron 326 muestras que se analizaron por ICP-Masa para Análisis Multielemental para 55 elementos, para determinaciones litogeoquímicas y análisis por fluorescencia de rayos X para determinar la composición de óxidos de las rocas ígneas.

GEOLOGIA REGIONAL

La evolución tectono-estratigráfica de esta zona es compleja (Figura 1). El Complejo Basal consisten de gneises, granitos gnéisicos, sobreyacidos de esquistos micáceos de la Formación San Juan y los conglomerados, cuarcitas, calizas marmolizadas de la Formación Marcona del Neoproterozoico-Ordoviciano y probable Silúrico inferior. En el Jurásico se tiene a la Formación Chocolate que solo aflora en la Cordillera Occidental de más al

sur, diferenciada de la Formación Guaneros, conformada por andesitas-basaltos, aflorante más en la Costa. En el Cretácico Grupo Toquepala superior se asocian a los yacimientos porfídicos de Cu-Mo; mientras hacia el norte tenemos al Grupo Casma representada de flujos masivos de lavas porfíricas y afaníticas. Estas rocas se encuentran intruidas por el Batolito de la Costa que agrupa a las superunidades como: Pampahuasi, Ling, Incahuasi, Tiabaya y otras unidades menores.

METALOGENIA

Se tienen cuatro épocas de mineralización: 1) Jurásico medio-superior, de depósitos de Cu-Fe-Au denominados de IOCG (Franja V); 2) Cretácico inferior, se le relaciona a los de depósitos de Cu-Fe-Au denominados como IOCG (Franja VIII) 3) del Cretácico superior, corresponde a depósitos de Au-Pb-Zn-Cu relacionados con intrusivos (Franja IX) granitoides del Cretácico superior del Batolito de la Costa; y 4) franja de depósitos de pórfidos de Cu-Mo (Franja X) relacionada a graníticos del Cretácico superior del Batolito de la Costa (Acosta et al., 2008).

CONTROL ESTRUCTURAL

La tectónica de transcurrencia en una margen oblicua-transpresional, es preferentemente intruida por magma granítico, con adelgazamiento cortical y fusiones parciales del manto superior. Se tienen diferentes direcciones de convergencia de la placa oceánica, que para el Cretácico y Paleógeno, se interpreta como dextral y mayormente sinistral entre el Paleógeno y el reciente y un magmatismo Jurásico con convergencia oblicua, mayormente transtensiva-dextral y originando arcos insulares (Formación Guaneros) para el sur peruano. La placa subductada tenía un mayor ángulo, poca velocidad y era relativamente fría, con una mayor participación de la cuña mantélica, generando mayor flujo geotérmico y adelgazamiento cortical, con un magmatismo pasivo (Valencia et al., 2020).

Con el emplazamiento del Batolito de la Costa cambia las condiciones magmáticas y comienza una convergencia N-S, con transpresión dextral emplazando el magmatismo continental durante 35 Ma, entre los 100 y 65 Ma (Figura 2). Un régimen dextral (Jaillard et al., 2000) provocó la formación de cuencas tipo *pull-apart*, donde emplazaron los intrusivos asociados a los pórfidos de Cu-Mo. Otra convergencia N045°-050° se mantuvo estable por de 10 Ma, generando otras miner-

alizaciones. Durante el Mioceno, la convergencia E-O se mantuvo estable con mayor velocidad incrementada (Hampel, 2002).

MAGMATISMO

CONTROL LITOGEOQUÍMICO

Los yacimientos de tipo IOCG y vetiformes de Au se encuentran relacionados a unidades ígneas. Para el IOCG Marcona consideramos que la Superunidad Punta Coles es el intrusivo regional parental, de edad 157.3 ± 3.2 de Ar-Ar, (Chen, 2008). Por ubicación geográfica, edad de las intrusiones y mineralización, y geoquímica, asumimos relaciones de intrusivo parental con mineralización. Así en Cobrepampa y Hierro Acarí el intrusivo parental es la Superunidad Linga; para las vetas Au-Cu en Santa Filomena, Tambojasa-La Capitana y La Española (Españolita) se considera como intrusivo parental a la Superunidad Tiabaya, por asociación espacial con estos yacimientos.

Para la caracterización geoquímica, se tomaron muestras de estos intrusivos parentales a escala regional y local para los yacimientos. Para los spider el magmatismo Punta Coles y los diques de Marcona, estarían relacionados directamente con la mineralización; así mismo estarían asociados al arco Jurásico Temprano con sus formaciones Río Grande y Superunidad Punta Coles (Figura 3); mientras que, las superunidades Linga, Yarabamba y Tiabaya del Cretáceo-Paleógeno proviene de un magmatismo de arco (Figura 4). El volcanismo Chocolate y Guaneros, están relacionados con Superunidad Punta Coles e IOCG (Figura 5). Este magmatismo Punta Coles muestra contaminación cortical, fraccionamiento y metasomatismo; mientras el magmatismo Linga y Tiabaya relacionado a pórfidos presenta contaminación cortical y fraccionamiento (Figura 6); asimismo una menor profundidad y menor fusión de anfíbol para los primeros, mientras una mayor profundidad y mayor fusión de anfíbol para los segundos (Figura 7), con mayor metasomatismo en Punta Coles, mientras el magmatismo Linga y Tiabaya asociado con pórfidos, presenta una liberación de agua originando los magmas húmedos (Figura 8)

DISCUSIÓN

Los depósitos de pórfido se forman por fluidos magmático hidrotermales exsolucionados, relativamente oxidados, ricos en S, de magmas calco-alcalinos a levemente alcalinos relacionados

a un arco; también se forman separados de los arcos activos, en ambientes de post-subducción, con fusión parcial litosférica modificada por subducción; mientras que los IOCG relacionados a hidrotermalismo magmático se forman principalmente durante períodos de deformación extensional o transtensional, desde el trasarco o arco distal a intra-arco este último como Marcona y a la configuración extensional posterior a la colisión (Richards y Mumin, 2016). Este arco Mesozoico subsidente, muestra levantamientos episódicos fluctuantes en función de la tasa de convergencia y ángulo de las placas Farallón/Nasca (Figura 2), con la placa Sudamericana, generándose cuencas frontales y de intra-arco, limitadas por fallas y rellenos volcanoclásticos, con engrosamiento cortical y magmatismo. La cinemática de la subducción genera un pórfido de Cu, con velocidad de subducción constante (>10 Ma), y favorables para una mineralización económicas por una zona de homogenización del magma, MASH, con reciclaje de H₂O en el manto por subducción de la litósfera oceánica con deshidratación de la placa subductada, y liberación de fluidos acuosos que metasomatizan (Figura 6) la cuña mantélica astenosférica suprayacente, que causan la fusión parcial, y magmas basálticos hidratados (Figura 8) relativamente oxidados y calco-alcalinos. Su poca profundidad en la corteza, libera los volátiles, debido a enfriamiento, que forman los depósitos magmáticos-hidrotermales (Richards y Mumin, 2016).

La mayoría de los depósitos de IOCG están asociados a entornos extensionales con su magma parental de origen más profundo cerca de magma de origen, originando un gradiente geotérmico en la roca huésped más altos de lo normal. Por el contrario, los depósitos tipo pórfido, se forman en niveles poco profundos ($\sim 1-5$ km de profundidad) por encima de los más profundos batolitos ($\sim 5-10$ km), y por lo tanto en rocas más frías (Figura 7). Así, los depósitos tipo pórfido e IOCG magmático hidrotermales, ahora han sido reconocidos en ambientes tectónicos post-subducción, es decir con posible superposición de estos depósitos (Richards y Mumin, 2016), que en tiempo y espacio comparten un mismo evento magmático episódico y continuado por un periodo largo. Por tanto, las diferencias de generación de pórfidos e IOCG magmático hidrotermales, tienen que ver más con variaciones locales de los gradientes geotérmicos y de fuente de contenido de azufre: para los IOCG

como el Intrusivo Punta Coles un magmatismo de origen más basáltico menos contaminado que el de los pórfidos (Figura 6); así como emplazados más cerca de la superficie que el de fuentes de pórfidos (Figura 7), lo que originó su menor contenido de azufre y su abrupto gradiente geotérmico que los diferencia de los depósitos pórfidos.

CONCLUSIONES.

- El magmatismo Linga y Tiabaya del Batolito de la Costa y Pórfidos presenta contaminación cortical, con fraccionamiento, con mayor profundidad, mayor fusión de anfíbol y liberación del H₂O, generando magmas húmedos relacionada a elementos Cu-Mo-W.
- Comparativamente los IOCG y Pórfidos comparte la misma fuente de fluidos magmáticos, acuosos y salinos con influencia cortical, parecidas alteraciones proximales a la fuente magmática, y con elementos metálicos principales Cu-Au y Fe como mena en el primero y como constituyente mineral principal de la roca huésped en el otro.
- Por tanto, las diferencias de generación de pórfidos e IOCG magmático hidrotermales tiene que ver con variaciones locales de los gradientes geotérmicos y de fuente de contenido de azufre: para los IOCG como el Intrusivo Punta Coles un magmatismo de origen más basáltico menos contaminado, que el de los pórfidos; asimismo con un emplazamiento más cerca de la superficie, que el de fuentes de pórfidos, lo que originó su menor contenido de azufre y su abrupto gradiente geotérmico para los IOCG a diferencia de los depósitos pórfidos.

AGRADECIMIENTOS.

A las autoridades del INGEMMET por el apoyo brindado y a los comentarios y sugerencias de los colegas en la elaboración del presente artículo .

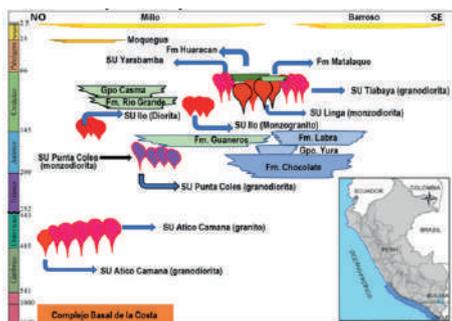


Figura 1. Cuadro tectonomagmático de la zona de estudio

REFERENCIAS

- ACOSTA, J.; QUISPE, J.; SANTISTEBAN, A. & ACOSTA, H. (2008) - Épocas metalogénicas y tipos de yacimientos metálicos en la margen occidental del sur del Perú: latitudes 14°s - 18°s. CD Resúmenes extendidos. XIV Congreso Peruano de Geología, C28.
- CHEN, H. (2008) - The Marcona – Mina Justa District, South-Central Perú: Implications for the genesis and definition of the Iron Oxide-copper (gold) ore deposit clan. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. Queen's University, Kingston, Ontario, Canada. 280 p.
- HAMPEL, A. (2002) - The migration history of the Nazca Ridge along the Peruvian active margin: a re-evaluation. Earth and Planetary Science Letters, 203. p. 665-679.
- JAILLARD, E.; HERAIL, G.; MONFRET, T.; DÍAZ MARTÍNEZ, E.; BABY, P.; LAVENU, A. & DUMONT, J. (2000)- Tectonic evolution of the Andes of Ecuador, Perú, Bolivia and northernmost Chile. En: Cordani, Umberto Giuseppe, ed.; Milani, Edison Jose, ed.; Thomaz Filho, Antonio, ed.; Campos, Diogenes de Almeida, ed., Tectonic evolution of South America. Rio de Janeiro: 31st International Geological Congress, 2000, p. 481-559
- RICHARDS, J. & MUMIN, H. (2016) - Magmatic-hydrothermal processes within an evolving Earth: Iron oxide-copper-gold and porphyry Cu ± Mo ± Au deposits, Web: Geology.gsa-pubs.org on January 19, 2016.
- VALENCIA, M.; LOZADA V.; LEÓN, W.; MARTÍNEZ, W. & MARCHENA, A. (2020) - Magmatismo Jurásico - Cretáceo y su relación con los yacimientos tipo IOCG y pórfidos entre Ica y Tacna. Bloque norte. INGEMMET, Boletín Serie B: Geología Económica, 66, 231 p., 28 mapas.



Figura 2. Relaciones entre las direcciones de convergencia del movimiento de placas y los mayores yacimientos entre Perú y Chile

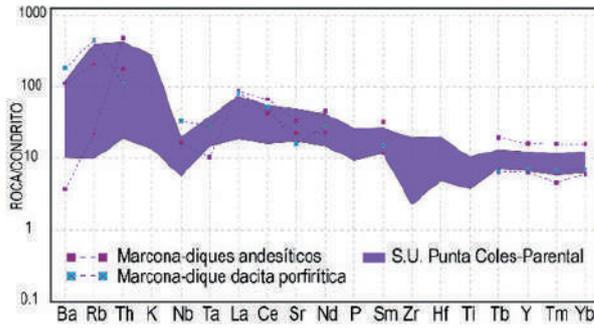


Figura 3. Diagrama spider REE normalizado al condrito de NAKAMURA (1974) con adiciones de HASKIN et al. (1968) para la Superunidad Punta Coles (intrusivo parental de muestras tomadas al sur de Atico) y para muestras de diques en Marcona

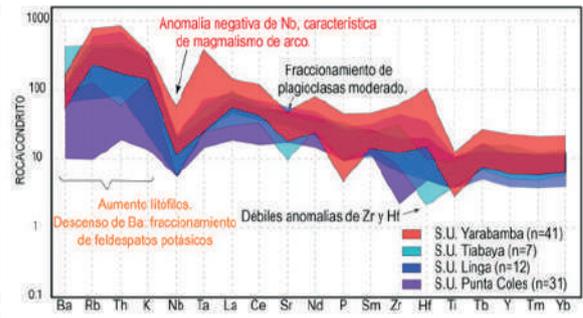


Figura 4. Diagrama Spider normalizado al condrito de Thompson (1982) excepto el Rb, K y P-manto primitivo, para las superunidades Punta Coles, Ilo y Linga y Yarabamba

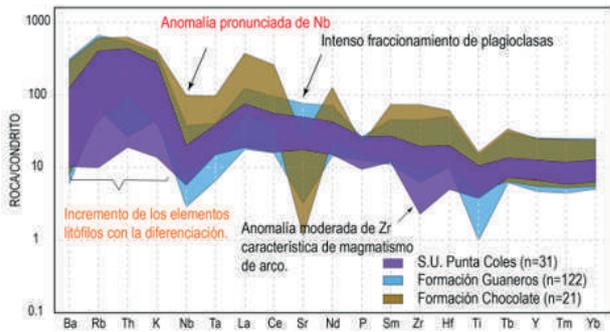


Figura 5. Diagrama Spider normalizado al condrito de Thompson (1982) excepto el Rb, K y P-manto primitivo, para las superunidades Punta Coles, Ilo y Linga y Yarabamba

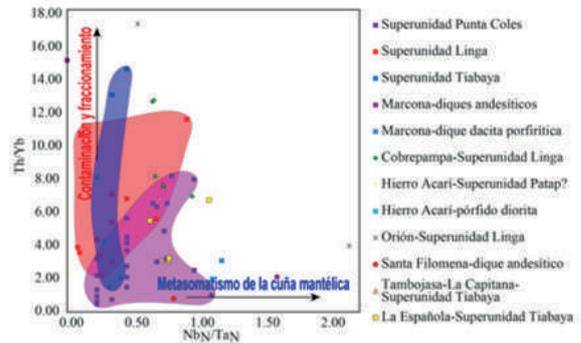


Figura 6. Diagrama NbN/TaN vs Th/Yb. El parámetro Th/Yb proporciona un indicador de la contaminación cortical (aumento de Th) y del fraccionamiento (descenso de Yb), mientras que el ratio NbN/TaN da un indicador del grado de metasomatismo de la cuña mantélica.

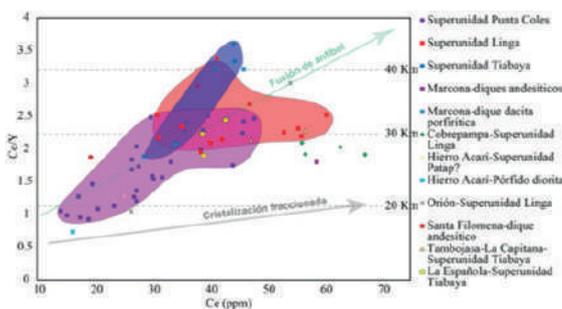


Figura 7. Diagrama para estimar profundidad del Moho de Mantle & Collins (2008) y tendencias del fraccionamiento para las unidades ígneas regionales, incluyendo los yacimientos Marcona, Cobrepampa, Hierro Acari, Orión, Santa Filomena, Tambojasa-La Capitana y La Española (Españolita).

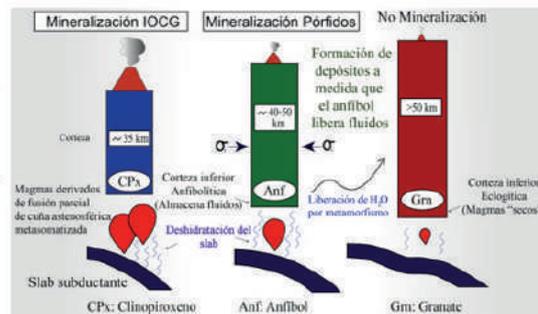


Figura 8. Representación esquemática hidratación de los sistemas relacionado a las fases minerales predominantes: clinopiroxenos (CPx) y anfíboles (Anf) en la zona de MASH de la corteza inferior-manto litosférico, para el Jurásico superior y Cretácico inferior. Los principales yacimientos se generaron por ascenso de magmas primitivos a través de sistemas de fallas corticales; el magmatismo fue controlado por fusión de anfíbol. Modificado de Kay & Mpodozis (2001) y Modificado de Lang y Baker (2001)