



Estudios geológicos, geoquímicos, petromineralógicos, de firmas espectrales e inclusiones fluidas en Cerro Colorado Chico, Áncash, Perú: ¿evidencias de un posible yacimiento tipo IOCG?

John Cerrón ¹, Alberto Torres ²

¹ Geólogo Junior de Exploraciones Regionales, Anglo Peruana Terra S. A., Lima-Perú
(ext_apt_jcerron@volcan.com.pe)

² Docente E. P. Ingeniería Geológica en Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela
cuadra 34 s/n, Ciudad Universitaria, Lima-Perú (atorresg74@gmail.com)

1. Introducción

El área de estudio se ubica a 230 km al norte de Lima, región de Áncash - Perú, a una cota promedio de 500 msnm. Se aplicó teledetección usando imágenes Landsat 8 en combinación con el *software* ENVI 5.3 mediante el uso de ratio de bandas para determinar zonas con presencia de óxidos y arcillas, ayudando a ubicar *targets* donde se escogió a Cerro Colorado Chico por su accesibilidad y cercanía. En la zona de estudio se observan geformas positivas aisladas con coloraciones rojizas llamativas. Se realizó muestreo selectivo de afloramientos (*rock chips* y canales), el análisis químico se hizo en el laboratorio de química analítica del Ingemmet por el método ICP-OES. El tratamiento de los datos geoquímicos fue realizado usando los análisis de las muestras de campo (rocas), e información data recopilada (muestras de roca y suelo) de otras empresas, examinándolos por separado y subdividiéndolos por poblaciones estadísticas según criterios de litología, y tipo de horizonte en suelos, respectivamente. Asimismo, se realizó estudios microscópicos de firmas espectrales y de inclusiones fluidas de algunas muestras, con el fin de fundamentar la hipótesis.

2. Marco geológico

En la zona de estudio, afloran rocas volcano-sedimentarias del Grupo Casma (K-inf.; Cobbing, 1973; Guevara, 1980) intruidas por cuerpos ígneos

del batolito de la Costa (T-inf.; Pitcher, 1977), así como numerosos cuerpos volcánicos menores. Esta área corresponde a la franja metalogénica de yacimiento IOCG del Cretáceo (Carlotto et al, 2009). Se identificaron 5 zonas que poseen alteración hidrotermal (*Figura 1*).

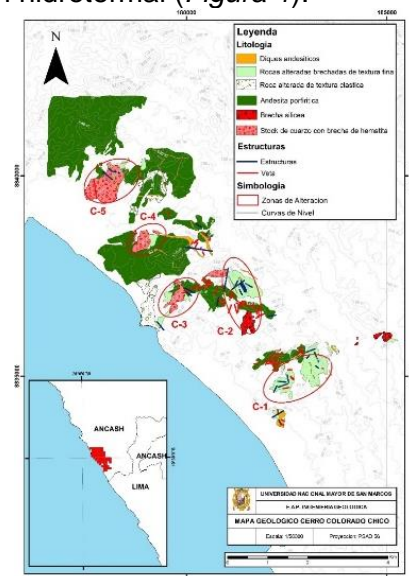


Figura 1. Mapa geológico de Cerro Colorado Chico.

Las zonas C1 (182500 E – 8835000 N) y C2 (180640 E – 8837058 N) están conformadas por rocas volcánicas andesíticas (silicificadas, cloritizadas y ocasionalmente piritizadas) y brechas siendo cortadas por vetas de cuarzo de hasta 2 m de ancho (con 3 generaciones de cuarzo) con óxidos (hematita y jarosita) como patinas. Las brechas poseen un halo de oxidación,

mientras que algunas de las vetas poseen carbonatos y sulfuros secundarios de Cu (ejemplo malaquita y covelita), también se observa venillas (1 a 5 mm) de cuarzo y hematita. Existen estructuras con rumbo andino como Andino Normal.

En la zona C3 (179800 E – 883770 N) se observa roca volcánica andesítica de textura afanítica a porfirítica con oxidación supérgena moderada cortada por diques de andesita porfirítica de color gris verdoso cloritizado con pirita y calcopirita diseminada, con magnetismo (por la magnetita, propia de la roca). Hacia el este se encuentra un cuerpo intrusivo (llamados en campo *stocks* de cuarzo, que serían intrusivos dacíticos porfiríticos obliterados) zonificado siguiente desde el núcleo altamente silicificado con abundante pirita y calcopirita diseminada, posteriormente se escasea la pirita y hacia la periferia se encuentran brechas silicificadas de clastos medianos con diseminación de pirita y calcopirita.

La zona C4 (178745 E – 8838320 N) está conformada por un *stock* de cuarzo (dacita porfirítica) brechado silicificado y hacia los alrededores se observa oxidación supérgena moderada (conformada por hematita y goethita), cortando a las rocas volcánicas andesíticas que también presentan oxidación supérgena moderada.

Y, por último, la zona C5 (178140 E – 8840000 N) está conformada por un *stock* de cuarzo (dacita porfirítica) cortando las rocas volcánicas andesíticas porfiríticas silicificadas y con pirita diseminada, a la vez cubiertas por un halo de oxidación supérgena. El conjunto es cortado por numerosos diques andesíticos tardíos no mineralizados.

3. Resultados

3.1. Estudios petromineralógicos

Se realizó el estudio de 6 muestras de roca (vetas, brechas y roca volcánica alterada) con el apoyo del laboratorio de Petromineralogía del Ingemmet.

Al microscopio, en las muestras de vetas, se observa la presencia de minerales como cuarzo II predominante con inclusiones de cuarzo III (rellenando intersticios), siendo impregnados por arcillas y sericita en cavidades, así como goethita-hematita supérgena. Ocasionalmente se evidencia trazas de carbonatos y rutilo. También existe diseminaciones (locales?) de pirita subhedral a anhedral (a veces fracturada) y calcopirita englobadas en el cuarzo II.

En la muestra de brecha sílicea (monomítica clasto-soportada con clastos silicificados), los clastos presentan diseminaciones de rutilo anhedral, con una matriz compuesta de 2 generaciones, un cuarzo I (cuarzo granular) y otra de goethita-fragmentos de cuarzo. También existe diseminación de pirita anhedral (alterada a goethita) y en algunos casos la pirita contiene inclusiones de pirrotita.

En las muestras de andesita porfirítica alterada ocurren cristales de rutilo idénticos a los que poseían los clastos silicificados de las brechas, acompañados por goethita y limonita rellenando oquedades y fracturas.

3.2. Estudios geoquímicos

Los estudios geoquímicos se desarrollaron en base a muestras obtenidas en el campo (rocas) y data recopilada de muestras de roca y suelo de empresas. Se recolectaron 41 muestras de canales y *rock chips* en el campo. Estas muestras fueron analizadas en el laboratorio de Química Analítica del Ingemmet por el método ICP-OES. Asimismo, para corroborar el muestreo se aplicó QA/QC a las muestras.

Con esta información de campo y la recopilada se hizo tratamientos estadísticos para poder obtener los valores promedio y anomalías para muestras de rocas y suelos.

El estudio estadístico en las vetas (tratamiento paramétrico al superar las 30 muestras) evidenció anomalías de Au (hasta 3.39 ppm en la zona C-2), Cu (de 519 a 1030 ppm en la zona C-3), As (hasta 380 ppm) y Zn (hasta 786 ppm), entre las más importantes. Asimismo, por estudio de correlaciones bivariantes se identificó correlación de Sc-V-P-Ti. El estudio estadístico en los *stocks* de cuarzo evidencia (no paramétrico por tener menos de 30 muestras) débiles? anomalías de V, Zn, Mn, Ti, Sr, He, Sc, entre otros. Por medio de correlaciones bivariantes se definieron ternas como As-Fe-V y Mn-P-Zn. Estudiando las rocas caja (estadístico paramétrico y no paramétrico, según los casos) se observaron escasas anomalías importantes de Zn (749 ppm, en andesitas porfiríticas), Mn, Ti y Ni. Con la estadística bivariante se definieron algunas ternas de como Co-Mn-Zn, Ni-Zn-Sc, entre otras.

Las muestras de brechas síliceas no fueron analizadas debido a su escasez (3 muestras) con fines de evitar el sesgo, pero definiendo valores promedio de *background* y *threshold* de la zona nota que los *stocks* de cuarzo tienen los valores de *background* y *threshold* más bajas: ningún valor de las muestras tomadas de brechas síliceas

supera el *threshold* promedio, sugiriendo que los cuerpos silíceos son estériles.

3.3. Estudios de firmas espectrales

Este estudio se desarrolló con el objetivo de determinar las firmas espectrales de las muestras usando el equipo espectroradiómetro Fieldspec 4HI-RES y el *software* RS3.

Se estudiaron las muestras de vetas, brechas silíceas y rocas volcánicas andesíticas porfiríticas. Las firmas espectrales determinadas entregan informaciones sobre la naturaleza de los minerales que las componen. La presencia de la familia de la alunita y de la jarosita, así como sílice indicaría un ambiente de condiciones de pH ácido con presencia de H₂SO₄, además de la presencia de caolinita/dickita-illita y/o sericita (pH ácido) ligada mayormente a las estructuras vetiformes. Al alejarse de estas estructuras aparecen minerales indicando condiciones más neutras como clorita, además de seguir presente la sericita con un halo de silicificación. Considerando además que el *stock* de cuarzo (dacita porfirítica alterada) presenta una silicificación pervasiva con presencia de pirofilita y en otros tramos dickita/caolinita. Se infiere un halo sílice-arcillas-sericita (alteración ácida) gradando lateralmente a clorita-sericita (alteración neutra) luego afectado por alteración supérgena goethita/hematita.

3.4. Estudios de inclusiones fluidas

Los estudios de inclusiones fluidas se realizaron en cuarzo (cuarzo II) mostrando inclusiones fluidas bifásicas y trifásicas. Los resultados microtermométricos en inclusiones fluidas bifásicas presentan temperaturas de homogenización entre 138 °C – 329 °C, mientras que los rangos de salinidad son de 0.70 - 8.95% Eq. peso NaCl. En la muestra de la Zona C-1, existen inclusiones fluidas trifásicas con temperaturas de fusión de hielo mínimo -5.8 °C y máximo -0.4 °C, de homogenización entre 560 °C – 605 °C, y rangos de salinidad varían de 44.82 – 47.66% Eq. peso NaCl.

Ploteando los resultados en el gráfico temperaturas de homogeneización-salinidad de Wilkinson (2001), se nota una superposición de esos con los dominios pórfido y epitermal. Tal superposición podría ser una transición de pórfido a epitermal.

4. Discusión

Dada las evidencias encontradas el área de Cerro Colorado Chico se propone un posible

yacimiento tipo IOCG en la zona C-2 y un sistema pórfido con vetas epitermales en la zona C-1. El argumento esencial a favor de un modelo IOCG es el contexto estructural vertical y/o subvertical en zonas de cizalla de orientación andina. Este control dado en el Cretáceo se relaciona con un periodo de extensión durante la subducción evidenciado por generar un vulcanismo bimodal (Cueva et al, 2010). Este vulcanismo (representado por el Grupo Casma; Guevara, 1980) datado en 130-105 Ma, corresponde a la época con mayor presencia de yacimientos tipo IOCG en el sur del Perú y norte de Chile (Chen et al, 2013). Los *stocks* de cuarzo (protolito dacita porfirítica) con brechas hematíticas y las brechas silíceas registran los más bajos valores de elementos económicos, indicando que son cuerpos estériles. En la cercanía de las brechas silíceas de la zona C-2, se ha encontrado asociaciones y anomalías de tierras raras en el horizonte C de suelos (Er-Y-Yb e inclusive anomalías de Dy) y se podría tener la presencia de un “Quartz Pod” (Lobo-Guerrero, 2004). Estos cuerpos estériles ligados a los plutones intrusivos que aún siguen en estudio, aunque se tiene evidencia en algunos, en otros proyectos en Áncash (Biminchumo, 2013). Otro indicador podría ser la presencia de abundantes diques andesíticos subverticales, anteriores a los *stocks* de cuarzo (predominio carácter mantélica; Sillitoe, 2003). Como se presencié en las vetas epitermales (por ejemplo, en la zona C-1), existe múltiples etapas hidrotermales, donde la mineralización de sulfuros cpy-po podría indicar un estadio de sulfuración intermedia. La presencia de escasa magnetita y abundante de hematita-goethita secundaria sugiere una alteración supérgena con posible presencia de magnetita en profundidad (Barton & Johnson, 2004). También se pudo evidenciar la presencia de un gran halo de alteración cuarzo-goethita-hematita-sericita-clorita, mientras que la alteración “ácida” se concentra hacia las estructuras con un ensamble de sílice-arcillas-sericita, además de poseer trazas de alunita y pirofilita. Eso indica que esta zona de alteración es de baja temperatura (Hitzman et al, 1992; Tornos et al, 2008) y de condiciones de pH ácido a neutro (Richards & Mumin, 2013), siendo una alteración argílica limitada a estructuras. Las asociaciones y anomalías de mayor interés indican presencia de Au, Fe y Cu; y metales asociados como As, Co, Ni y Zn en rocas, similar a los registrados en la mayoría de los yacimientos tipo IOCG en el sur del Perú y norte de Chile (Sillitoe, 2003), aunque no se presentó asociaciones con Mo. Además, otra asociación de interés revelada por geoquímica de rocas es la de Sc-P-V-Ti, donde los elementos de

P y V (presencia de óxidos de hierro deficientes en titanio) están típicamente asociados a yacimientos tipo IOCG (Tornos et al, 2008). En base a esas evidencias se propone un modelo genético basado en fluidos hidrotermales que forman vetas relacionadas a intrusivos cercanos, además de un pórfido ciego relacionado con las vetas epitermales de intermedia sulfuración en la zona C-1. Como se puede ver estas vetas epitermales son de escaso contenido de sulfuros, con gran predominancia de óxidos secundarios de hierro rellenando cavidades, donde llegan a tener 45% de Fe. Esta gran cantidad de óxidos secundarios (goethita-hematita) rellenando cavidades podría ser ligada a la parte superficial oxidada del IOCG mayormente en la zona C-2 (predominancia al norte de la zona de estudio). Se cree que pueda existir alguna relación entre el pórfido y el probable IOCG profundo, ya como detalla Sillitoe (2003) mencionando pequeños pórfidos en las franjas metalogénicas de los IOCG. Nuestras evidencias son apoyadas por estudios realizados en el departamento de Áncash por entidades públicas y privadas donde detallan la presencia de yacimientos tipo IOCG (Rodríguez et al, 2011; Biminchumo, 2013) por Punta Bermejo, Pararin y Casseli, así como presencia de otro tipo de yacimientos de tipo "Manto de Cu", ligados a los IOCG (Reyes, 2016, Sillitoe, 2003).

4. Conclusiones

La zona Cerro Colorado Chico presenta características geológicas, geoquímicas, petromineralógicas, de firmas espectrales e inclusiones fluidas que permite sugerir la idea de estar frente a un IOCG.

Se propone un modelo de vetas epitermales de IS ligadas a un yacimiento tipo pórfido ligado a en la zona C-1, mientras que en la zona C-2 se sugiere la presencia de un yacimiento tipo IOCG profundo, donde existirá relación probable entre los dos. Como propone Sillitoe (2003) existirían yacimientos tipo pórfido pequeños dentro de la franja de IOCG. Asimismo, por la escasa información del probable IOCG en la zona C-2 se recomienda realizar estudios adicionales (mapeo geológico detallado, muestreo, entre otros estudios) enfocados en corroborar la hipótesis presentada, y estudios de geocronología en ambas zonas.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo brindado por las autoridades de la E. P. de Ingeniería Geológica en la Unmsm. Al ingeniero, en especial al Ing. Edwin

Loayza y a su equipo de trabajo en los laboratorios. Además, un fuerte agradecimiento al Ing. Luis Vargas por sus comentarios y opiniones, al Mg. Hugo Rivera por sus consejos, asimismo, por los breves comentarios al PhD. Fernando Tornos y PhD. J. Wilkinson. En la etapa de campo, al técnico Raymundo Leguía y a los compañeros Sebastián Loayza, Gustavo Miranda y Yuder Espíritu.

Referencias

- Barton, M. & Johnson, D. 2004. Footprints of Fe-oxide(-Cu-Au) systems. SEG 2004: Predictive Mineral Discovery Under Cover. Centre for Global Metallogeny. Spec. Pub 33. The University of Western Australia, pág. 112-116.
- Biminchumo, E. 2013. Análisis geológico del cuerpo de "Cuarzo Pod" Caseli del IOCG DVIMIN, usando como herramientas: magnetometría, espectrometría y polarización inducida. Ancash, Lima-Perú. Tesis de Ingeniero Geólogo, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Chen, H., Cooke, D. & Baker, M. 2013. Mesozoic Iron Oxide Copper-Gold Mineralization in the Central Andes and Gondwana Supercontinent Breakup. Society of Economic Geology, Inc. Economic Geology, v. 108, pág. 37-44.
- Cueva, E., Mamani, M., Rodríguez, R. 2010. Magmatismo y geoquímica del volcanismo Albiano-Cenomaniano (Grupo Casma) y Maastrichtiano-Daniano entre Pucusana y Chimbote. XV Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica de Perú, Pub. Esp. N° 9, Cusco, pág. 921-924.
- Guevara C. 1980. "El Grupo Casma del Perú central entre Trujillo y Mala" Sol. Soc. Geol. Perú, Vol 67, pág.73-83.
- Hitzman, M., Oreskes, N. & Eianaudi, M. 1992. Geological characteristic and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposit. Precambrian Research, 58. Pág. 241-287. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- Cobbing, J. 1973. Geología de los cuadrángulos de Barranca, Ambar, Oyon, Huacho, Huaral y Canta. Servicio de Geología y Minería. Boletín N° 26.
- Lobo-Guerrero, A. 2004. Quartz "Pods", An exploration guide to iron oxide-copper-gold mineralization. Economic Geology Research Institute, University of the Witwatersrand, Private Bag 3, WITS 2050, Johannesburgo, South Africa.
- Pitcher, W. 1977. Anatomía de un Batolito. J. of the Geological Society, vol. 135, part 2, pág. 157-182.
- Richards, J. & Mumin, A. 2013. Magmatic-hydrothermal processes within an evolving Earth:

Iron oxide-copper-gold and porphyry Cu ± Mo ± Au deposits. Geological Society of America, Vol. 41; pág. 767-770.

Sillitoe, R. 2003. Iron oxide-copper-gold deposit: An Andean view. *Minerium Deposita* N° 38. Pág. 787-812.

Tornos, F., Carriedo, J., Velasco, F. & Tome, C. 2008. Génesis de los depósitos de tipo IOCG: Geología y Geoquímica de Mineralizaciones en los Andes e Iberia. Conferencia: XIV Congreso Peruano de Geología y XIII Congreso Latinoamericano de Geología.

Wilkinson, J. J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. Elsevier Science B.V., *Lithos* 55, pág. 229-272.

