



Controles estructurales en el distrito minero de Tintaya

Lytman S. Jordán G., Edward Sánchez V., Marco Acebedo Z., y Mario C. Lázaro

Compañía Minera Antapaccay S.A., Campamento Minero Tintaya, Espinar, Cusco, Perú (lytman.jordan@glencore.com.pe, edward.sanchez@glencore.com.pe, marco.acebedo@glencore.com.pe, mario.lazaro@glencore.com.pe)

1. Introducción

El distrito minero de Tintaya (lat. 14°56'45"S, long. 71°18'41"W) está situado en el distrito y provincia de Espinar, en el departamento de Cusco, con una altitud promedio de 4100 m.s.n.m., 256 km al sureste de la ciudad de Cusco. Desde un punto de vista geológico-económico, el distrito minero de Tintaya presenta yacimientos de tipo skarn y pórfidos cupríferos, y se ubica en el extremo sureste del "cinturón de cobre" Andahuaylas-Yauri del sur del Perú.

El distrito fue inicialmente explorado por yacimientos metasomáticos de contacto, de tipo skarn. El descubrimiento del pórfido de Antapaccay y de su mineralización económica causó un giro en el concepto de las exploraciones a nivel distrital así como en todo el cinturón de cobre. El distrito alberga a los yacimientos de Cu-(Au, Ag, Mo) de Tintaya, Atalaya, y Corocohuayco, que son de tipo skarn; y a los yacimientos de Cu-(Au, Ag) de Antapaccay y Quechua, de tipo pórfido.

Esta investigación se orienta a integrar toda la información relacionada al distrito minero de Tintaya con la ayuda de trabajos de investigación de diversos autores, datos de campo nuevos y recopilados, campañas de perforación DDH, y trabajos de gabinete; lo que permite actualizar la información geológica-estructural con el objetivo de proporcionar una herramienta para el entendimiento geológico del distrito.

2. Geología regional

El distrito minero de Tintaya está situado en la elongación sureste de los estratos sedimentarios mesozoicos, que se extienden por más de 300 km desde Yauri hasta Andahuaylas (Fig. 1). Estos estratos se

correlacion con sus equivalentes en el centro y sur del Perú y están conformados por secuencias deposicionales que reflejan procesos transgresivos-regresivos ocurridos desde el Cretácico inferior hasta fines del Cretácico medio (Fig. 2). Regionalmente, el paquete sedimentario cretácico aflora desde el NNE de Tintaya (cerro Huinicunca) hasta el sur del proyecto cuprífero de Quechua (cerro Quinsa Puquio), y se presenta como una potente secuencia de areniscas cuarzosas y ortocuarcitas de coloración blanca pardusca, que corresponden a la Formación Soraya. Esta unidad subyace a una secuencia de areniscas y lutitas de coloración marrón rojiza, descrita como Formación Mara. La secuencia cretácica finaliza con las calizas de coloración gris a gris blanquecina (tipo cebra) de la Formación Ferrobamba, la que alberga a los yacimientos de tipo skarn de Cu y Fe en la franja metalogénica de Andahuaylas-Yauri (Terrones, 1958; Bellido, 1962; Santa Cruz et al., 1979).

La secuencia sedimentaria mesozoica está intruida por plutones y stocks de edad Eoceno-Oligoceno, que conforman el Batolito de Andahuaylas-Yauri y representan múltiples pulsos magmáticos. Regionalmente, como plutones de gran dimensión afloran dioritas y microdioritas en los cerros Choquechampe y Chabuca Sur. Al intruir a las calizas Ferrobamba, stocks monzoníticos han dado origen a anillos de skarn. Posteriores a los eventos de skarn, se observan diques de latitas y andesitas porfiriticas, que se asignan al Grupo Barroso, el cual aflora al SO de Tintaya (Dávila, 1988). Sedimentos de origen lacustre y aluvial, conformando la Formación Yauri, cubren grandes áreas de la zona. Existen también depósitos fluvio-glaciares y aluviales cuaternarios, que se depositaron en las cuencas de los ríos y quebradas (De La Cruz, 1995).

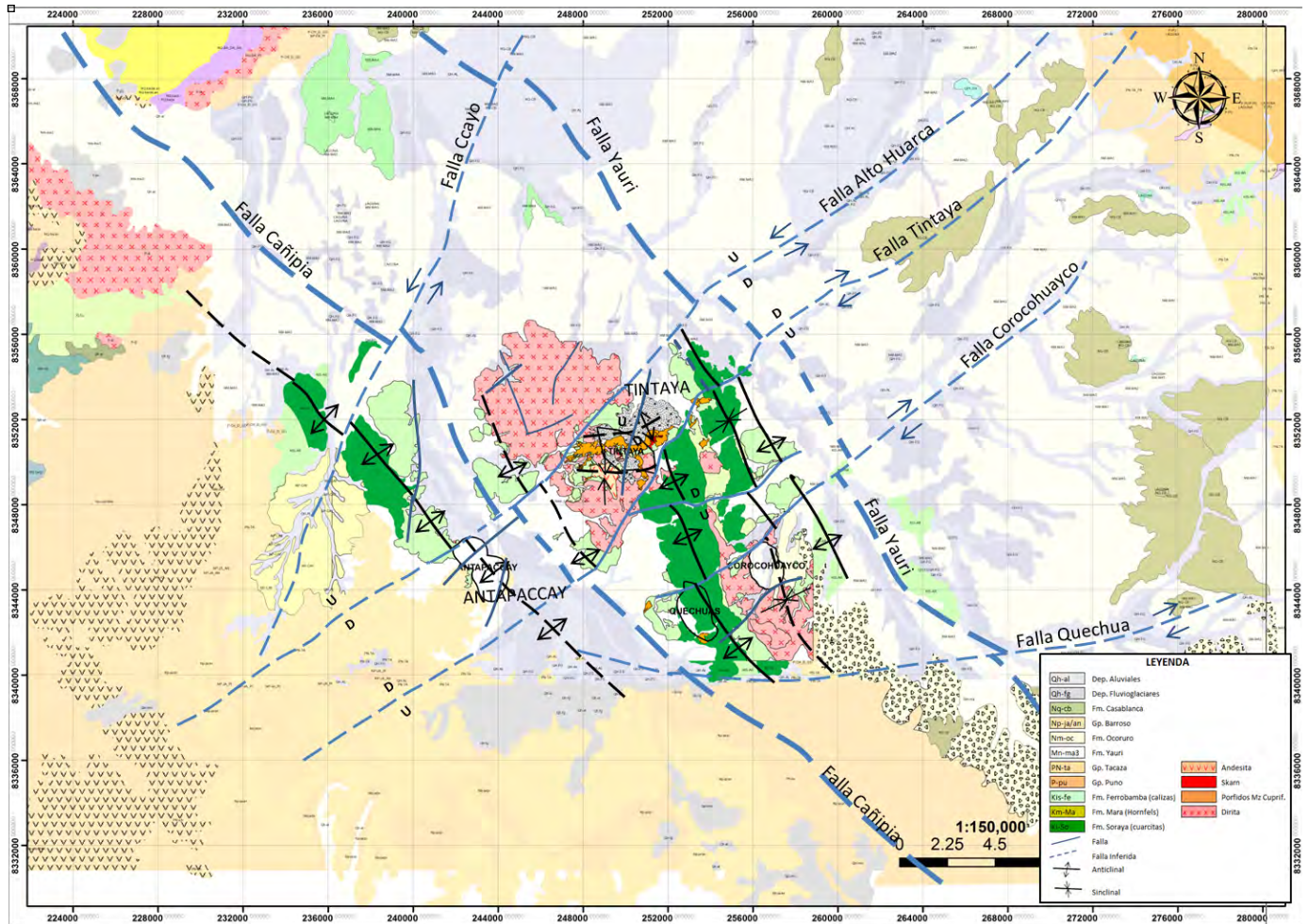


Figura 1. Plano geológico-estructural del distrito minero de Tintaya, actualizado con trabajos de campo, en base a los trabajos de A. Maldonado (2006) e INGEMMET.

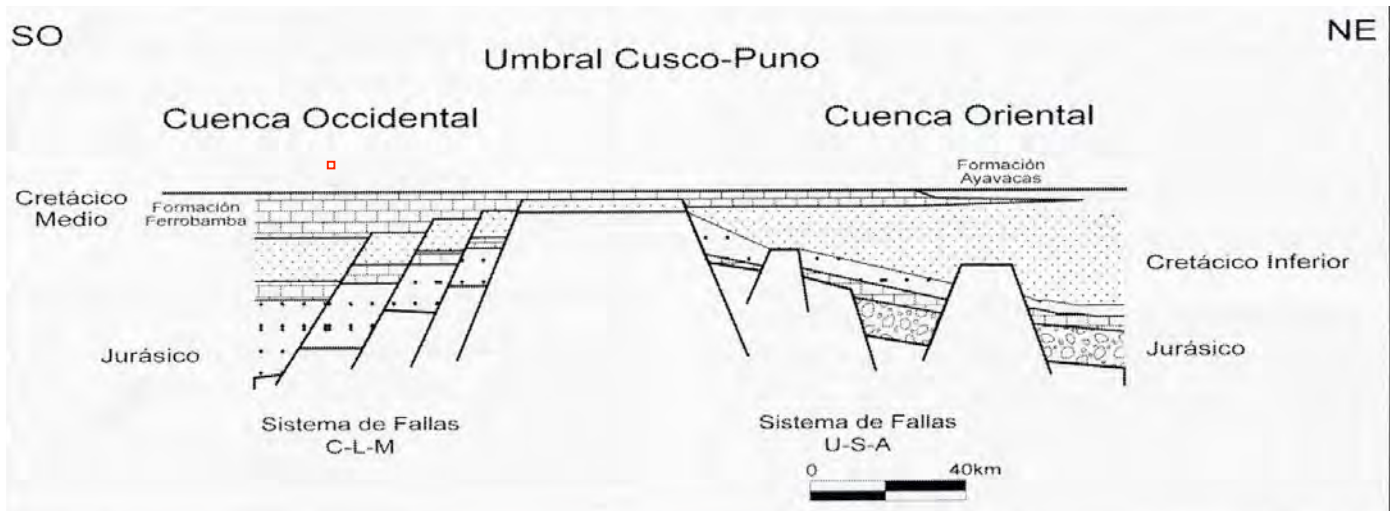


Figura 2. Modelo tectono-sedimentario de la cuenca jurásica-cretácica del sur del Perú, mostrando el alto estructural Cusco-Puno (Carlotto, 2005). El distrito minero de Tintaya se encuentra al oeste del umbral indicado por el rectángulo rojo.

3. Marco tectono-sedimentario de la cuenca jurásica-cretácica en el sur del Perú

En el distrito minero de Tintaya, se observa que los estratos de la Formación Ferrobamba están replegados de forma compleja (Fig. 3). Para explicar esta particularidad, es necesario entender el comportamiento tectono-sedimentario que tuvo la cuenca jurásica-cretácica del sur

del Perú, y conocer las investigaciones realizadas sobre este tema.

La sedimentación jurásica y cretácica se desarrolló en una gran cuenca, dividida en dos subcuencas (Sempere et al., 2004): la subcuenca de Arequipa, con depósitos

mayormente marinos (Vicente et al., 1982; Sempere et al., 2002), y la subcuenca de Putina, con sedimentos mayormente continentales (Jaillard, 1994); estas subcuencas estuvieron separadas por un alto estructural conocido como el Alto Cusco-Puno (Fig. 2) que incluye alrededor de 900 m de capas rojas interestratificadas con lutitas, calizas, y yeso (Carlotto et al., 1993; Jaillard et al., 1994; Sempere et al., 2004).

En la subcuenca de Arequipa se ha descrito una secuencia sedimentaria de hasta ~4.5 km de espesor, que cubre el intervalo Triásico superior-Cretáceo superior (Vicente et al., 1982; Jaillard y Santander, 1992; Sempere et al., 2002). En la subcuenca de Putina, se conoce una secuencia sedimentaria de la misma edad pero de facies predominantemente continentales, con un espesor de ~2.6 km (Jaillard et al., 1993; Jaillard, 1994; Cárdenas et al., 1997; Sempere et al., 2004).

En la zona de Comerciocha, Carlotto et al. (2006)

mostraron evidencias de movimientos tectónicos extensionales durante la sedimentación de las calizas Ferrobamba, los cuales provocaron deslizamientos subácueos que causaron la formación de estructuras sedimentarias complejas a manera de pliegues. En el distrito minero de Tintaya, se ha identificado en diversos afloramientos de las calizas Ferrobamba estructuras sedimentarias a manera de pliegues complejos que escapan de la lógica de la deformación compresiva. Esto se manifiesta claramente en el cerro Alto Huarca de Antapaccay, la presa de relaves de Huinipampa, Chabuca Norte, Quechua, y demás afloramientos que han complicado el entendimiento estructural del distrito (Fig. 2). Estudios regionales han mostrado que estos repliegues a veces complejos se formaron durante el colapso general de la plataforma carbonatada causado por el evento de desestabilización "Ayabacas" (Sempere et al., 2000; Callot et al., 2007, 2008a, 2008b).

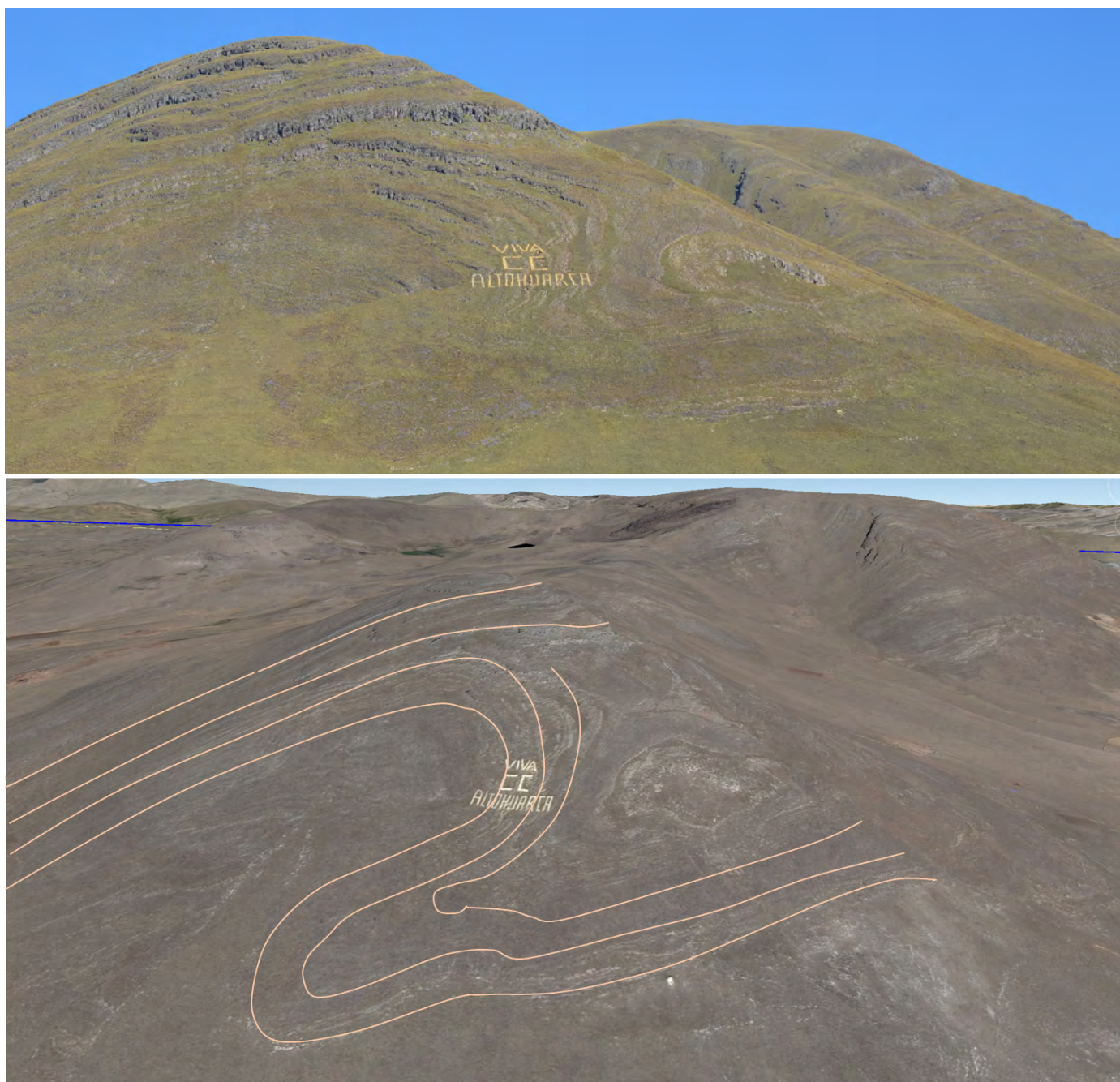


Figura 3. Repliegues complejos se observan en las calizas Ferrobamba (cerro Alto Huarca, Antapaccay).

4. Contexto metalogénico

El distrito minero de Tintaya está ubicado en la terminación sur de la franja metalogénica de Andahuaylas-Yauri. La mineralización en este cinturón está asociada espacial- y temporalmente al Batolito Andahuaylas-Yauri, de composición calco-alcalina y de edad Eoceno medio-Oligoceno inferior (~45-30 Ma; Perelló et al., 2003). Este batolito se emplazó en el borde norte de la antigua subcuenca mesozoica de Arequipa, al límite con el alto estructural Cusco-Puno, en una zona de fallas que corresponde al sistema Cusco-Lagunillas-Mañazo y su prolongación denominada Abancay-Andahuaylas-Totos (Fig. 1). Según Carlotto (1998) y Carlotto et al. (2005), este sistema controló la sedimentación mesozoica, separando el alto de la cuenca y actuando como fallas normales. Sin embargo, durante el Eoceno inferior jugó como de rumbo dextral, creando la cuenca Kayra, y en el Eoceno superior-Oligoceno inferior como inversa, desarrollando la cuenca sin-orogénica Soncco. Además, habría también controlado el emplazamiento del batolito y el desarrollo de cuenca Anta.

El modelo regional propuesto por Perelló et al. (2003) sugiere que los magmas calco-alcalinos del Batolito Andahuaylas-Yauri, y la subsecuente mineralización de tipo pórfido, fueron generados durante un evento de subducción horizontal, originando la tectónica compresiva, el acortamiento cortical, y el levantamiento sincrónico, que supuestamente se relacionarían con el evento tectónico "Inca" del Eoceno medio. Es posible que en este periodo también se haya producido una delaminación litosférica (Carlotto et al., 1999b). El acortamiento de la parte superior de la corteza habría impedido el rápido ascenso del magma, favoreciendo el almacenamiento de ello en grandes cámaras magmáticas, que a una adecuada profundidad de la corteza más superior, permitió el emplazamiento a gran escala de pórfidos de Cu, en régimen compresivo. Otro aspecto que resalta en esta franja es que se sitúa en plena deflexión de Abancay, donde la dirección de las estructuras andinas NO-SE cambia a E-O. Se ha interpretado que esta deflexión también se habría formado en relación al evento tectónico "Inca", que se inició en ~43 Ma, y que la rotación antihoraria, que es la causa del cambio de dirección, ha estado controlada por grandes estructuras antiguas como los sistemas de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo y Urcos-Sicuani-Ayaviri. Sin embargo, Roperch et al. (2006) han demostrado que la deflexión de Abancay se formó alrededor de ~30 Ma.

5. Controles estructurales del distrito minero de Tintaya

Los controles estructurales del distrito minero de Tintaya están ligados a pliegues y fallas de la deformación andina relacionada a la fase "Inca", que corresponde a pliegues en la secuencia sedimentaria cretácica y fallas regionales con orientaciones preferenciales NNW-SSE. Cortando a las estructuras antes descritas se presentan las fallas NNE-SSW, NE-SW, y E-W, que funcionaron durante la formación de la deflexión de Abancay. Se supone que los

esfuerzos formadores de las estructuras correspondieron a esfuerzos ligados a la rotación del ángulo de convergencia y a la subducción horizontal de las placas, en el Eoceno medio-Oligoceno inferior (~45-32 Ma), creando condiciones favorables para el emplazamiento de los intrusivos dioríticos y pórfidos monzoníticos mineralizantes en el distrito.

A nivel regional el control estructural del distrito está definido por las siguientes fallas (Fig. 1):

- Fallas NW-SE: estas fallas limitan el distrito. Al oeste se presenta la Falla Cañipia, y al este la Falla Yauri, que son concordantes con los ejes de los pliegues regionales que deforman la secuencia cretácica en la zona. Las fallas indicadas concuerdan con el sistema de fallas que delimita el dominio geotectónico del bloque Andahuaylas-Yauri; al este del dominio se presenta el sistema de fallas Cusco-Lagunillas-Mañazo y al oeste el sistema de fallas Puquio-Condoroma.
- Fallas NNE-SSW: en este sistema, la falla Ccayo limita el distrito al norte.
- Fallas NE-SW: estas fallas cortan los ejes de los pliegues de la zona y las fallas regionales Cañipia y Yauri. Las fallas Alto Huarca y Tintaya delimitan un corredor a manera de un graben donde se ubican los yacimientos de Tintaya y Antapaccay. La falla Coroccohuayco corta al NW a los yacimientos de Quechua y Coroccohuayco.
- Fallas E-W: en la zona están representadas por la falla Quechua, que probablemente marca el límite sur del distrito minero de Tintaya.

El distrito minero de Tintaya consiste de los siguientes yacimientos:

5.1. Antapaccay y Atalaya

El yacimiento de tipo pórfido de Cu-(Ag y Au) de Antapaccay y el skarn de Cu-(Ag y Au) de Atalaya están controlados por un anticlinal cuyo eje tiene una dirección NNW-SSE (deformación andina). Este sinclinal ha sido reconocido regionalmente; está corroborado por la perforación DDH y por afloramientos en el actual tajo de Antapaccay Sur, donde el pórfido cuprífero corta la charnela del eje del anticlinal.

Al norte de Antapaccay Norte se aprecia regionalmente la falla Alto Huarca, con movimiento sinistral normal, que va hasta el norte del yacimiento de Tintaya desplazando claramente al eje del anticlinal y a su vez baja el paquete sedimentario con un salto de 620 m (verificado en los taladros DDH de Antapaccay y los afloramientos de la Formación Soraya de cerro Ccayo).

Mapeos recientes en el tajo Antapaccay Sur han identificado fallas normales post-mineral con orientaciones NE-SW y E-W (donde se emplaza un dique dacítico estéril). En el actual tajo de Antapaccay Sur, estas fallas generan inestabilidad en los taludes. En el flanco SE del anticlinal de Antapaccay, se presenta el yacimiento de Atalaya, de tipo skarn, metasomático de contacto, de Cu-(Ag, Au, Mo), producto del contacto del pórfido cuprífero emplazado en una falla de orientación NE-SW con las calizas de la Formación Ferrobamba.

5.2. Tintaya

Las ocurrencias de mineralización de Tintaya corresponden a un yacimiento de tipo skarn, metasomático de contacto, de Cu-(Ag, Au, Mo), producto del contacto de un pórfido cuprífero con calizas de la Formación Ferrobamba. El yacimiento de Tintaya está conformado por Tintaya (Tajo Antiguo), Chabuca Este y Oeste, Chabuca Norte, y Zona Industrial, que están controlados por un anticlinal de orientación ENE-WSW, y Chabuca Sur, cuyo control es un sinclinal de orientación similar.

Por años los geólogos que han estudiado la zona han tratado de explicar la orientación de estas estructuras que escapan de la lógica de los pliegues andinos, cuyo patrón dominante para el distrito es NNW-SSE. La presente investigación permite aseverar que la disarmonía regional de los pliegues de Tintaya está ligada a las fallas regionales Alto Huarca y Tintaya con orientaciones NE-SW y fallas menores con orientaciones NNE-SSW con movimientos de desplazamiento de rumbo y normales (con un salto de 720 m en la vertical), que han rotado a los pliegues andinos y su vez ha permitido el emplazamiento del pórfido cuprífero mineralizador de la zona. Estas fallas han generado regionalmente un corredor a manera de un graben que va desde Tintaya hasta Antapaccay, donde el paquete sedimentario cretácico ha descendido considerablemente en relación al entorno. Esta interpretación está sustentada por evidencias encontradas en el mapeo regional, y por perforaciones DDH en la zona, donde se ha interceptado lutitas de la Formación Mara (por el metamorfismo se encuentran como hornfels) y cuarcitas de la Formación Soraya en profundidad, que están parcialmente mineralizadas en Tintaya y Antapaccay.

5.3. Quechua

El pórfido cuprífero del proyecto Quechua está emplazado en un sistema de fallas en el flanco SW del anticlinal NNW-SSE que ha sido reconocido desde el Cerro Quinsa Puquio y llega hasta ser truncado por una falla dextral normal al sur de Tintaya donde aflora el intrusivo diorítico de dimensiones regionales. La mineralización del yacimiento de Quechua ocurre en el pórfido y las cuarcitas de la Formación Soraya, que han sido cortadas por diques y sills de este pórfido cuprífero.

5.4. Coroccohuayco

Las ocurrencias de mineralización de la zona de Coroccohuayco corresponden a yacimientos de tipo skarn, metasomáticos de contacto, de Cu-(Ag, Au, Mo), producto del contacto del intrusivo diorítico y pórfido cuprífero con las calizas de la Formación Ferrobamba.

Coroccohuayco está controlado por un sinclinal de orientación NNW-SSE. El intrusivo diorítico se emplazó en la zona a manera de sills gigantes en el sinclinal, generando un metamorfismo y metasomatismo incipiente en las calizas de la Formación Ferrobamba; posterior a este evento, se emplazó el pórfido monzonítico cuprífero, cortando la base del sinclinal NNW-SSE con bifurcaciones

de diques, completando el metasomatismo y la mineralización en el yacimiento.

6. Conclusiones

Los controles tectónicos-estructurales del distrito minero de Tintaya se relacionarían con el cambio en la dirección de rotación del ángulo de convergencia y la subducción horizontal de las placas, que permitieron la formación de las estructuras (pliegues y fallas), el emplazamiento del magmatismo, y la consecuente ocurrencia de yacimientos en el distrito. El contexto tectónico habría sido compresivo debido a la subducción plana.

A nivel regional, las fallas Cañipia y Yauri (NW-SE), Ccayo (NNE-SSW), y Quechua (E-W) se presentan como controles de importancia que definen y delimitan el distrito minero de Tintaya.

La mineralización del distrito se encuentra estrechamente relacionada con el magmatismo de edad Eoceno medio-Oligoceno inferior (~45-32 Ma) que dio origen al batolito de Andahuaylas-Yauri.

El entendimiento de los pliegues complejos característicos de la Formación Ferrobamba como estructuras sinsedimentarias, productos de esfuerzos distensivos y deslizamientos durante la sedimentación en esta cuenca, permite entender y discriminar estas estructuras en el comportamiento tectónico-estructural compresivo del distrito.

La llamada fase "Inca", con pliegues NNW-SSE y fallas NE-SW y E-W, habría proveído los principales controles estructurales para el emplazamiento de los pórfidos cupríferos en el distrito.

Se destaca la ocurrencia simultánea de yacimientos que se presentan como de tipo skarn, es decir metasomáticos de contacto, de Cu-(Ag, Au, Mo) con Tintaya, Atalaya y Coroccohuayco; y otros como de tipo pórfidos de Cu-(Ag, Au), con los yacimientos de Antapaccay y Quechua.

Referencias

- Callot, P., Sempere, T., Odonne, F., Robert, E. 2007. The mid-Cretaceous carbonate platform of southern Peru collapsed at the Turonian-Coniacian transition. In: 4th European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America, E. Díaz-Martínez & I. Rábano (eds.), Madrid, Cuadernos del Museo Geominero, v. 8, p. 75-80.
- Callot, P., Sempere, T., Odonne, F., Robert, E. 2008a. Giant submarine collapse of a carbonate platform at the Turonian-Coniacian transition: The Ayabacas Formation, southern Peru. *Basin Research*, v. 20, p. 333-357.
- Callot, P., Odonne, F., Sempere, T. 2008b. Causes and consequences of liquification and soft-sediment deformation in a limestone megabreccia: A case study from the Ayabacas giant collapse, southern Peru. *Sedimentary Geology*, v. 212, p. 49-69.

- Carlotto, V. 2013. Paleogeographic and tectonic controls on the evolution of Cenozoic basins in the Altiplano and Western Cordillera of southern Peru. *Tectonophysics*, v. 589, p. 195-219.
- Carlotto, V., Cárdenas, J., Velarde, T., Cerpa, L., Tupac Yupanqui, V., Acosta, H., Jaimes, F. 2006. Evolución sedimentaria y tectónica de la Formación Ferrobamba (Albiano-Turoniano) de la región de Cotabambas, Apurímac. Resúmenes extendidos, XIII Congreso Peruano de Geología, p. 525-528.
- De La Cruz, N. 1995. Geología de los cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri, y Azángaro. *Boletín del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Serie A*, v. 58, 144 p.
- Maldonado, A. 2006. Caracterização das estruturas geológicas e estimativas da resistência ao cisalhamento das discontinuidades na mineração de cobre de Tintaya, Perú. Tesis de Maestría en Geología, UnB, Brasilia, Brasil, 88 p.
- Perelló, J., Carlotto, V., Zárate, A., Ramos, P., Posso, H., Neyra, C., Caballero, A., Fuster, N., Muhr, R. 2003. Porphyry-style alteration and mineralization of the Middle Eocene to Early Oligocene Andahuaylas-Yauri Belt, Cuzco Region, Peru. *Economic Geology*, v. 98, p. 1575-1605.
- Rivera, R., Santisteban, A. 2009. Evaluación del potencial de los depósitos minerales en el Batolito Andahuaylas-Yauri. Programa de Metalogenia, Proyecto GE-24.
- Roperch, P., Sempere, T., Macedo, O., Arriagada, C., Fornari, M., Tapia, C., García, M., Laj, C. 2006. Counterclockwise rotation of Late Eocene-Oligocene forearc deposits in southern Peru and its significance for oroclinal bending in the Central Andes. *Tectonics*, v. 25, TC3010, doi:10.1029/2005TC001882.
- Sempere, T., Jacay, J., Carrillo, M.A., Gómez, P., Odonne, F., Biraben, V. 2000. Características y génesis de la Formación Ayabacas (departamentos de Puno y Cusco). *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, v. 90, p. 69-76.
- Sempere, T., Carlier, G., Soler, P., Fornari, M., Carlotto, V., Jacay, J., Arispe, O., Néraudeau, D., Cárdenas, J., Rosas, S., Jiménez, N. 2002. Late Permian-Middle Jurassic lithospheric thinning in Peru and Bolivia, and its bearing on Andean-age tectonics. *Tectonophysics*, v. 345, p. 153-181.
- Sempere, T., Acosta, H., Carlotto, V. 2004. Estratigrafía del Mesozoico y Paleógeno al norte del Lago Titicaca. In: J. Jacay & T. Sempere (eds.), *Nuevas contribuciones del IRD y sus contrapartes al conocimiento geológico del sur del Perú*, Sociedad Geológica del Perú, Publicación Especial 5, p. 81-103.
- Terrones, A.J. 1958 Structural control of contact metasomatic deposits in the Peruvian Cordillera. *American Institute of Mining, Metall., and Petroleum Engineers*, v. 211, p. 365-372.