



Chipispaya: un pórfido Cu-Au del Mioceno inferior en el sur del Perú

Victor Valdivia¹, Juan Carlos Toro², Mirian Mamani³, y Juan Carlos Terán¹

¹ Anglo American Perú, Calle Esquilache 371 Piso 9, San Isidro, Lima, Perú (victor.valdivia@angloamerican.com)

² EM-Codelco, Santiago de Chile, Chile (jtoro025@em-codelco.cl)

³ Departamento de Geoquímica, Universidad de Göttingen, Alemania (mmirian@gwdg.de)

1. Introducción

El objetivo del artículo es sustentar geológicamente la ubicación espacial y temporal de una nueva franja metalogenética de pórfidos Cu-Au de edad Mioceno inferior, superpuesta a la franja metalogenética de pórfidos Cu-Mo del Paleoceno, en el borde suroeste de la Cordillera Occidental. El pórfido Chipispaya, ubicado en el departamento de Tacna (Fig. 1), detectado en el año 2005 (Valdivia, 2005), representa la primera evidencia concreta de un sistema Cu-Au que formaría parte de esta nueva franja.

Para sustentar la existencia de esta nueva franja/distrito de pórfidos de Cu-Au se ha considerado recientes estudios geológicos, estructurales, geocronológicos, y geoquímicos (por patrones de tierras raras [REE]). En este trabajo se describen las características geológicas, geocronológicas y geoquímicas más resaltantes que hace que el pórfido Chipispaya se diferencie de los pórfidos más antiguos.

Las dataciones se efectuaron sobre sericita, alunita, y molibdenita, y resultaron en edades comprendidas entre 24.11 y 22.46 Ma, es decir en torno al límite Oligoceno-Mioceno. Por otro lado, Martínez & Cervantes (2003) reportaron edades similares, entre 24 y 21 Ma, para lavas andesíticas en los alrededores de Chipispaya. Asimismo, regionalmente en el sur de Perú existen potentes ignimbritas de la Formación Moquegua superior con edades entre 24 y 22 Ma (Quang et al, 2005). La coincidencia de estas edades de lavas e ignimbritas sugiere un co-magmatismo con intrusivos de edad similar al sistema porfirítico Chipispaya (Fig. 2).

Bajo un criterio estructural, los intrusivos que conforman esta nueva franja están emplazados a lo largo del sistema de fallas Incapuquio y se superponen a los magmas emplazados en el Paleoceno.

2. Geología general

2.1. Marco litológico

2.1.1. Estratigrafía

Las rocas más antiguas donde se emplaza el Pórfido Chipispaya son correlacionables con el Grupo Yura (Jurásico Superior al Cretáceo Inferior; 166 – 135 Ma) caracterizado por una secuencia de areniscas lutitas, calizas y cuarcitas. Luego se dispone el Grupo Toquepala (Cretáceo Superior - Paleógeno; 100 y 53 Ma) compuesto por flujos piroclásticos - ignimbritas riolíticas - lavas andesíticas, volcánicos dacíticos y depósitos laháricos.

A escala local, se ha observado una secuencia más joven conformada por volcánicos andesíticos, ignimbritas y cenizas no diferenciados. Las andesitas son lavas con edades entre 21.6 Ma K-Ar y 24.6 Ma Ar-Ar. En base a las dataciones se sugiere que son co-magmáticas con el sistema de alteración - mineralización de Chipispaya. Las ignimbritas, dentro del sistema se conservan como remanentes de poco espesor en la parte superior de los cerros, mientras que distalmente (Fig. 1), dentro de las secuencias de la Formación Moquegua, se caracterizan por estratos potentes sobre 50-100m de espesor (Quang et al., 2005).

2.1.2. Rocas intrusivas

En la zona de Chipispaya se han detectado los siguientes intrusivos:

- Intrusivos pre-minerales: granodiorita, diorita I, diorita II, y un plug dacítico.
- Intrusivos tempranos (que no afloran): diorita I y diorita II relacionadas a la mineralización principal.
- Intrusivo intermineral: stock dacítico.
- Intrusivo tardío: stock dacítico.

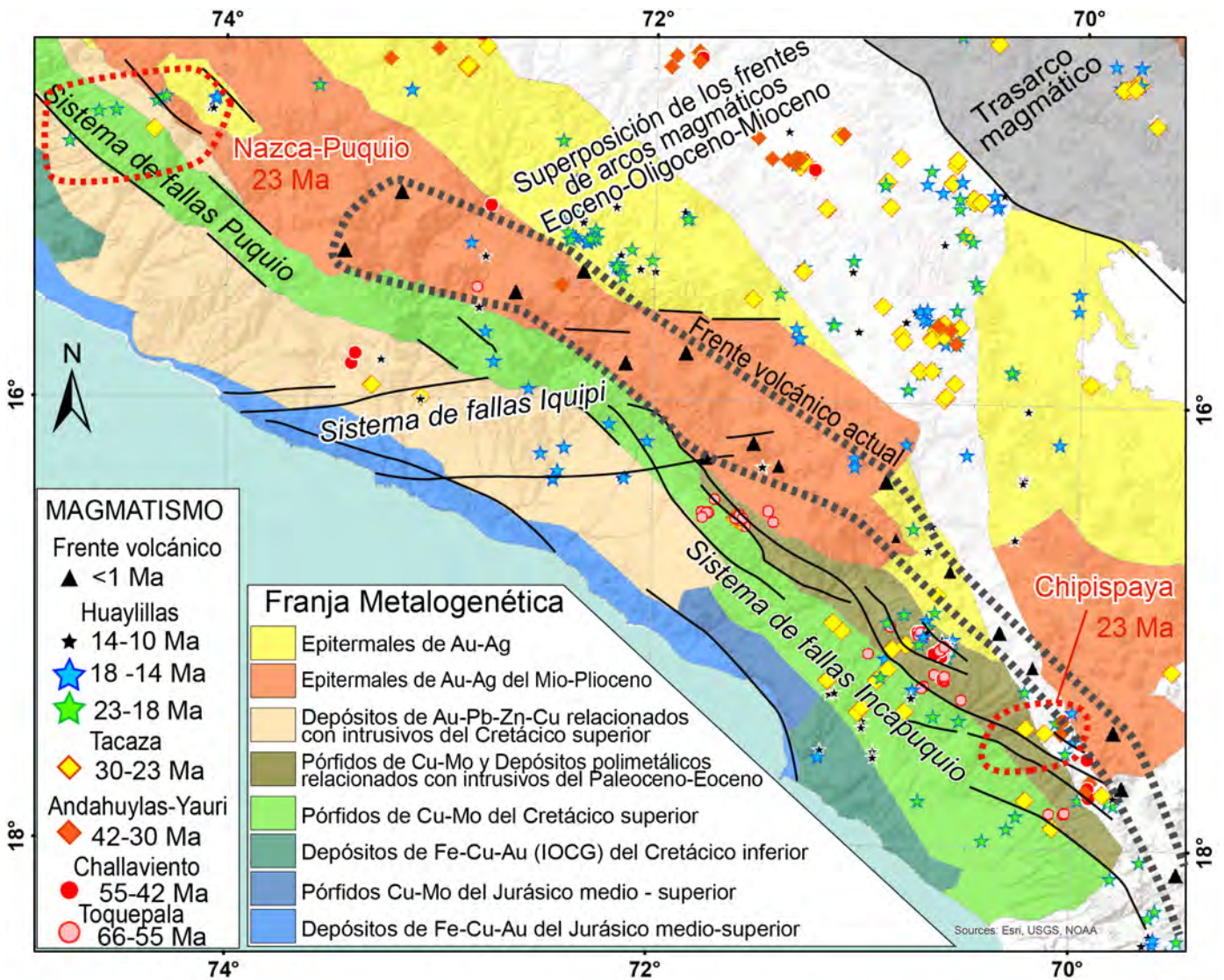


Figura 1. Mapa regional con las franjas metalogenéticas (INGEMMET, 2013), ubicación de los sistemas de fallas principales, y distribución espacial de las edades radiométricas para las unidades magmáticas Toquepala, Challaviento, Andahuylas-Yauri, Tacaza, Huayllillas, y los volcanes del frente volcánico actual.

2.2. Marco estructural

Estructuralmente, las fracturas del sector de Chipispaya se relacionan con el sistema de fallas Incapuquio, que es de rumbo NW (Fig. 1). A escala distrital, Chipispaya está asociado a una falla secundaria NNW del sistema Incapuquio, la cual forma un "jog" de forma lenticular en el cual se emplazaron las intrusiones múltiples que finalmente dieron origen al sistema porfirítico (Fig. 2). Dentro y fuera del "jog" se destacan fallas conjugadas NE, las cuales generaron una tectónica de bloques, exponiendo diferentes niveles del sistema. En los bloques hundidos se ha observado evidencias de preservación del sistema (remanentes de lithocap) mientras que los más erosionados muestran los intrusivos con alteración potásica.

Evidencias de campo demuestran que después de la migración hacia el noreste del arco magmático Tacaza (30-24 Ma, Fig. 3), el arco magmático Huayllillas migró para regresar hacia el suroeste, proceso sugestivo de un *slab rollback* y/o de un aumento del ángulo de subducción.

Durante este proceso, se generó aparentemente un calentamiento de la corteza continental, en donde los magmas de alta temperatura que ascendían desde el manto podían interactuar con la corteza superior y fundirla con mayor facilidad.

El arco frontal del Mioceno se ubica actualmente en el Altiplano occidental y está conformado por múltiples estratovolcanes y calderas, donde se observan complejos de domos, lavas, intrusivos, y sedimentos lacustres. En el trasarco del magmatismo mioceno también se reconocen rocas volcánicas félsicas.

Nuevas evidencias indican que, durante el Mioceno, parte del magma producido pudo migrar hacia el suroeste y se emplazó a lo largo de fisuras profundas (como el sistema Incapuquio), como es el caso del pórfido de Chipispaya y de intrusivos que afloran en la zona de Puquio. Texturas de emplazamiento sintectónico en los intrusivos de Chipispaya proporcionan evidencias del emplazamiento de estos magmas a través de fisuras.

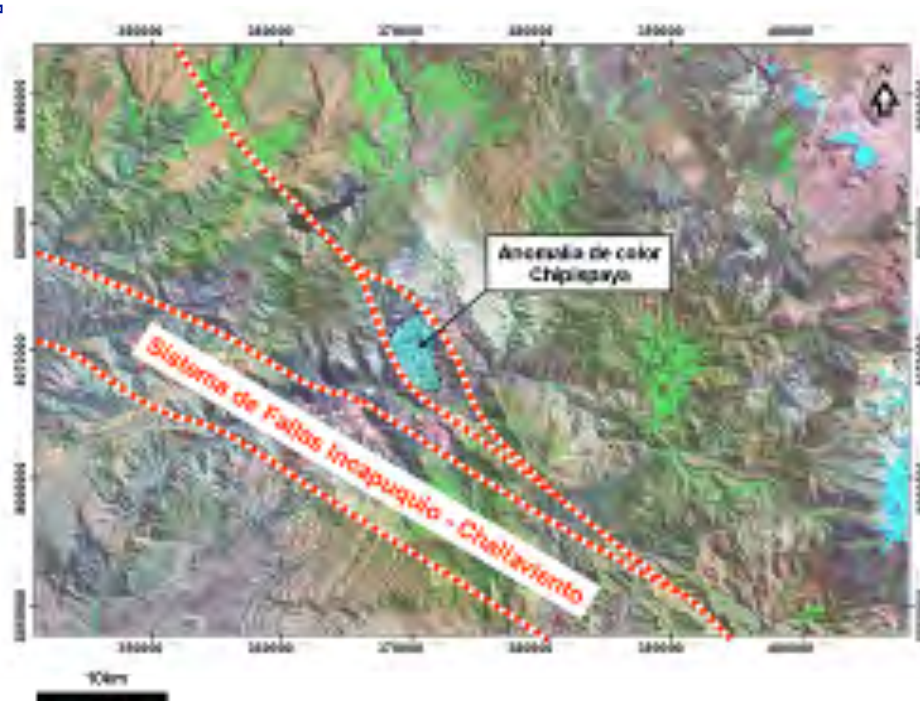


Figura 2. Ubicación del pórfido de Chipispaya dentro del sistema de fallas Incapuquio.

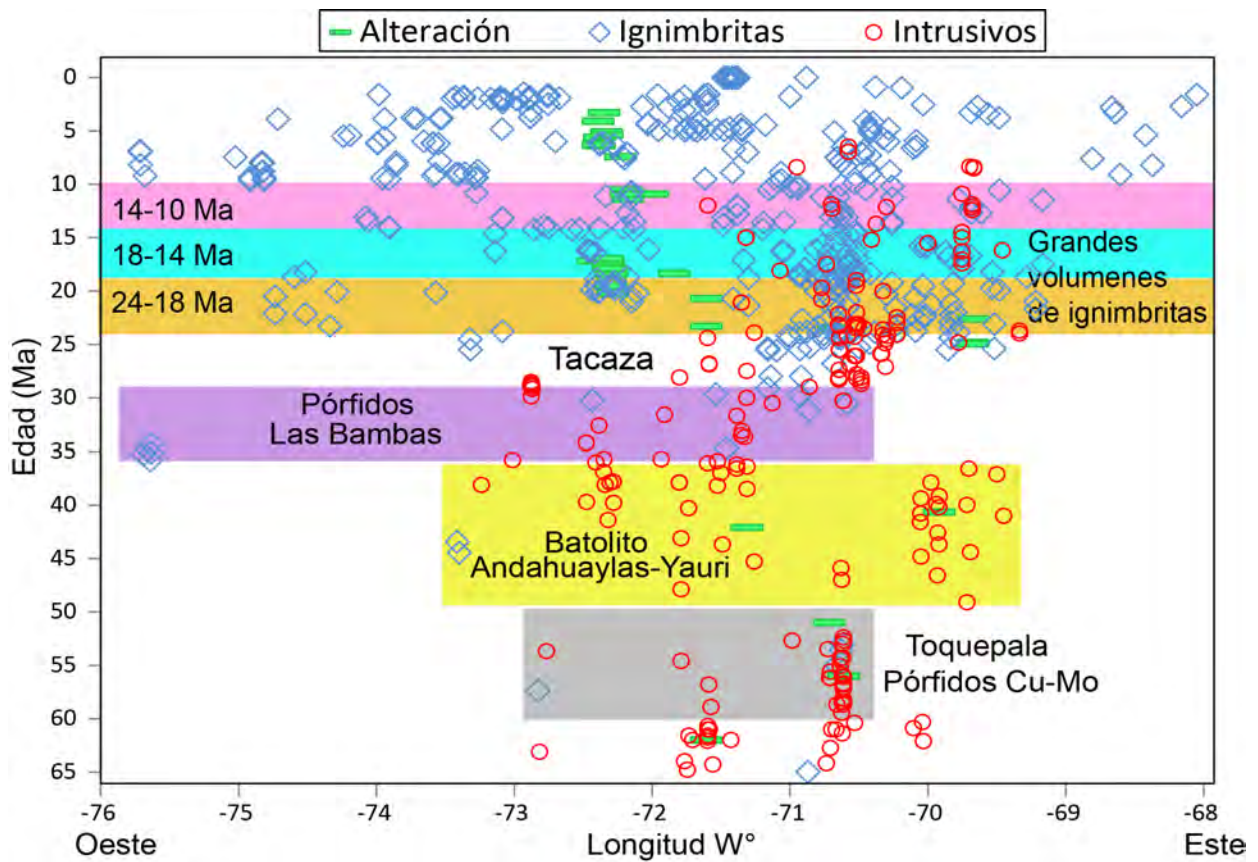


Figura 3. Diagrama con distribución de las edades radiométricas del sur del Perú, donde se resalta la migración de la actividad magmática y la mayor producción de material félsico (ignimbritas) entre 24 y 10 Ma. El arco magmático migró hacia el noreste y retornó rápidamente hacia el suroeste, extendiéndose su actividad a lo largo de todo el sur del Perú.

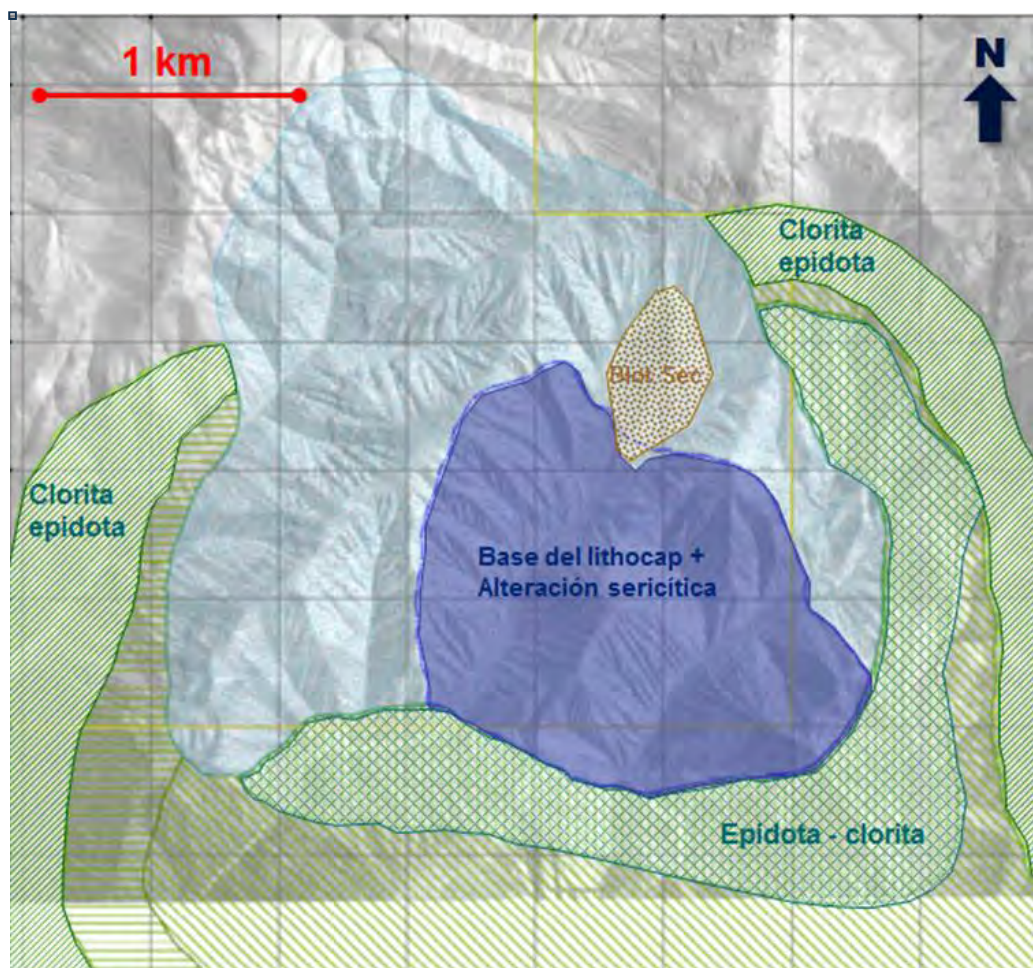


Figura 4. Mapa esquemático de alteraciones en la zona del pórfido de Chipispaya.

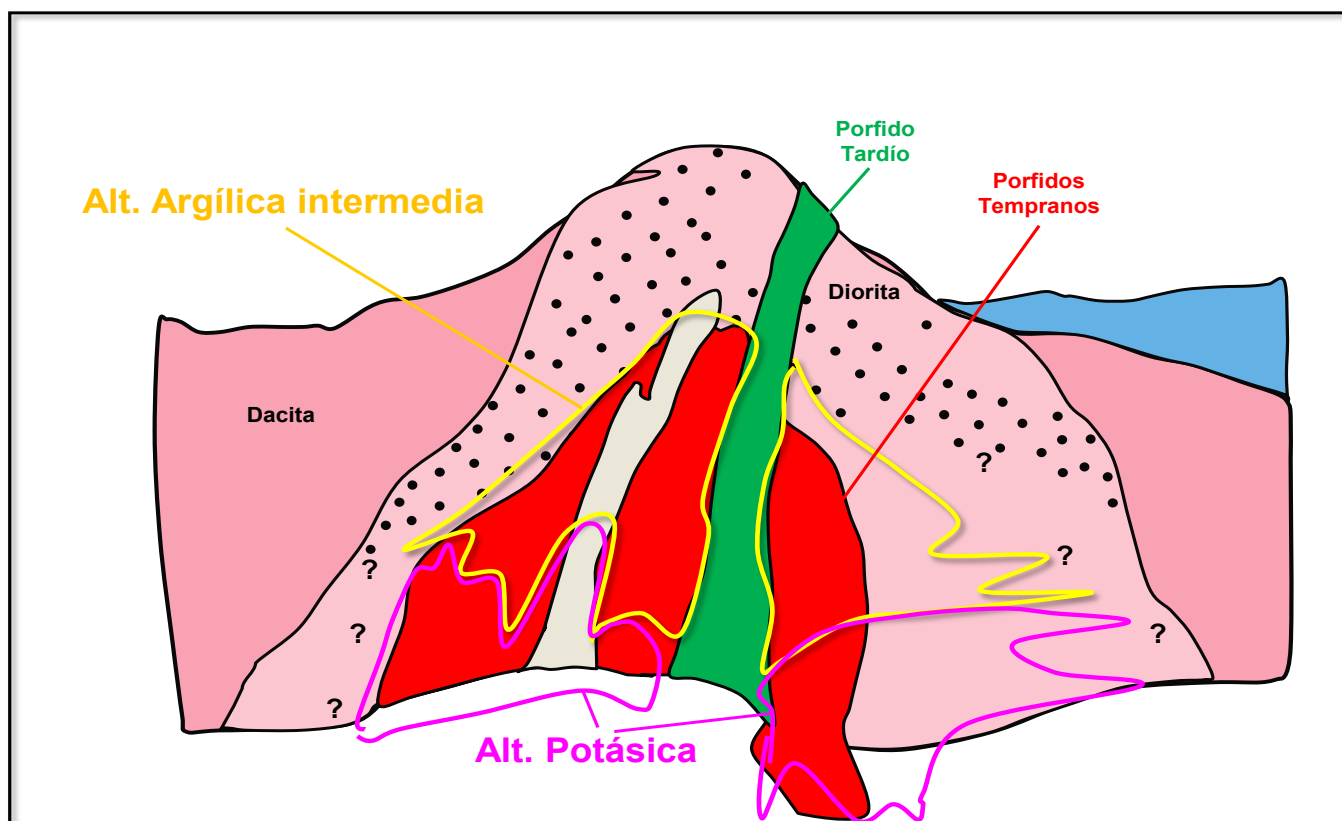


Figura 5. Sección esquemática representativa del pórfido de Chipispaya.

2.3. Alteración y mineralización

2.3.1. Argilización avanzada (lithocap)

Esta alteración se caracteriza por un ensamble cuarzo-alunita-pirofilita-sericita-andalucita relacionado con la base de los lithocaps. Afecta predominantemente a la ignimbrita / toba dacítica. Se sobrepone a las alteraciones potásica y propilítica.

2.3.2. Hornfels potásico

Esta alteración se observa en la diorita pre-mineral y se caracteriza por biotita secundaria diseminada y magnetita.

2.3.3. Alteración potásica hidrotermal.

Esta alteración se reconoce en las dos dioritas tempranas I y II, no aflorantes, caracterizándose por biotita secundaria (diseminada y en vetillas) y feldespato potásico (reemplazando a la matriz y vetillas).

Se ha observado que en los tramos donde hay un incremento de biotita y feldespato potásico también hay un incremento de magnetita hidrotermal (en vetillas y diseminada) y mayores concentraciones de pirita, calcopirita, y Au asociado (Terán, 2012).

Estos intrusivos presentan un fuerte stockwork de vetillas de tipo "A" y "D". Algunas vetillas de tipo "A" alcanzan la superficie, siendo representadas por dos delgadas franjas de 15-20 m de largo por 8-10 m de ancho, con moderado vetilleo que corta la diorita pre-mineral.

La sobreimposición de la alteración argílica avanzada sobre la alteración potásica permite sostener que ocurrió un telescopamiento.

2.3.4. Cuarzo-sericita

Esta alteración presenta escasas vetillas de tipo "D". Afecta a la dacita pre-mineral y está asociada a la alteración argílica avanzada. Ambas alteraciones están sobreimpuestas a la alteración potásica de la diorita pre-mineral.

2.3.5. Propilitización

Esta alteración afecta principalmente a la dacita y constituye el halo periférico del sistema. Presenta zoneamiento con un halo externo constituido por clorita-epidota y uno interno caracterizado por epidota-clorita, ambas zonas presentando diseminación de pirita.

2.3.6. Brechas de turmalina

Se encontraron dos tipos de brechas de cuarzo-turmalina: una brecha de craquelamiento, y una brecha de descompresión.

La mayor parte de los afloramientos de brechas se ubican en los límites SE y el NE del sistema Chipispaya. Las brechas de descompresión se ubican al NNE y NE de la zona de base de lithocap, y alrededor de la brecha de craquelamiento donde se detectó la presencia de sericita y vetillas "D" con los típicos halos de sericita.

3. Dataciones

El pórfido Chipispaya ha sido datado con tres métodos, proporcionaron edades muy consistentes, en torno al límite Oligoceno-Mioceno (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados geocronológicos obtenidos sobre el pórfido Chipispaya.

tipo de muestra	latitud	longitud	método	mineral datado	edad (Ma)	año
superficie	17°27'38.89"S	70°13'24.96"W	K-Ar	sericita	23.0 ± 0.8	2006
superficie	17°27'25.05"S	70°13'26.81"W	Ar-Ar	alunita hipógena	22.46 ± 0.07	2010
testigo	17°27'43.37"S	70°13'10.83"W	Re-Os	molibdenita	24.11 ± 0.10	2010

4. Litogeoquímica de los intrusivos de Chipispaya

En las últimas décadas se ha usado las concentraciones de REE para identificar la fuente mineralógica que controla un sistema magmático (Mamani et al., 2010), siendo éste una variable importante para los magmas formadores de depósitos minerales que se emplazaron durante el engrosamiento cortical de los Andes (Kay & Mpodozis, 2001). La litogeoquímica de REE ha permitido diferenciar genéticamente el sistema Cu-Au de Chipispaya, de edad Mioceno inferior, de los importantes sistemas Cu-Mo del Paleoceno del sur de Perú.

Para el estudio litogeoquímico se consideraron 29 muestras provenientes de intrusivos relacionados al pórfido Chipispaya, las cuales fueron analizadas por ICP-MS por el ensayo fusión Borato de Litio en los laboratorios de ALS Global. Los valores de las concentraciones de REE

fueron normalizados a los de la condritas (Sun & McDonough, 1989), y se compararon luego con los perfiles de REE de los pórfidos Cu-Mo del Paleoceno (Simmons, 2013).

El perfil de REE de Chipispaya se diferencia del perfil de Toquepala por la fuerte anomalía negativa de Eu que presenta este último (indicando magmas húmedos, favoreciendo la incorporación de Mo en el sistema); los minerales residuales son clinopiroxeno y plagioclasa.

La diferencia que presenta Chipispaya con Cuajone y Quellaveco consiste en concentraciones bajas de tierras raras pesadas (HREE), lo que indica que en estos dos pórfidos el mineral residual fue anfíbol, y que genéticamente estuvo relacionado con la mineralización de Cu-Mo.

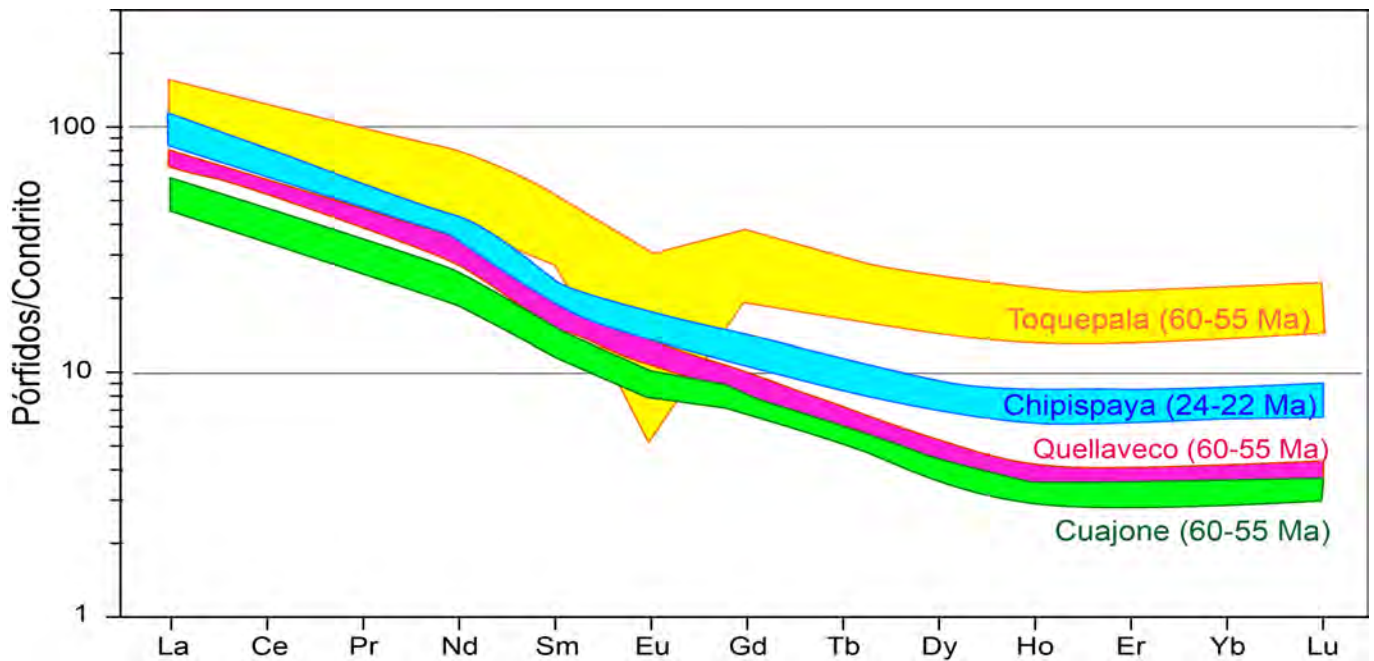


Figura 6. Diagrama del perfil de concentraciones de REE para los intrusivos del pórfido Cu-Au de Chipispaya. También se muestra los perfiles de concentración de los pórfidos de Cu-Mo más importantes del sur de Perú. Claramente resalta que el perfil de Chipispaya es diferente de los de Cuajone, Quellaveco, y Toquepala.

5. Conclusiones

Chipispaya es un pórfido telescopeado con cobertura pre-mineral y escasas evidencias en superficie de vetillas de tipo "A" y "D" (Sillitoe, 2006). El control estructural ejercido por el sistema de fallas Incapuquio y sus secundarias fue determinante en la ubicación de los intrusivos. También se tiene el sistema de fallas NE-SW que originaron fallamiento en bloques, provocando diferentes niveles de erosión.

En base a las concentraciones de REE, se destaca el papel jugado por dos minerales residuales (clinopiroxeno y anfíbol) que influyeron sobre el sistema magmático de Chipispaya, más un ligero empobrecimiento en Eu. Todo esto favoreció la cristalización de magnetita, y resultó en las ocurrencias de Cu-Au.

Chipispaya representa la primera evidencia de un pórfido de Cu-Au con una edad de ~24 Ma. Esta edad se puede correlacionar con las de los pórfidos de una de las subfranjas de la de Maricunga en Chile, Esperanza-Santa Cecilia (Mpodozis et. al. 1995), mostrando que los pórfidos de esta edad no se restringen al sur de Perú.

Referencias

Mpodozis, C., Cornejo, P., Kay, S., Titler, A. 1995. La franja Maricunga: Síntesis de la evolución del frente volcánico

oligoceno-mioceno de la zona sur de los Andes Centrales. *Revista Geológica de Chile*, v. 21, p. 273-313.

Mamani, M., Wörner, G., Sempere, T. 2010. Geochemical variations in igneous rocks of the Central Andean Orocline (13° to 18°S): Tracing crustal thickening and magma generation through time and space. *Geological Society of America Bulletin*, v. 122, p. 162-182.

Quang, C.X., Clark, A.H., Lee, J.K.W., Hawkes, N. 2005. Response of supergene processes to episodic Cenozoic uplift, pediment erosion, and ignimbrite eruption in the porphyry copper province of southern Peru. *Economic Geology*, v. 100, p. 87-114.

Sillitoe, R. 2006. Comments on the Chipispaya porphyry copper prospect, southern Peru. Report for AAEP.

Simmons, A.T. 2013. Magmatic and hydrothermal stratigraphy of Paleocene and Eocene porphyry Cu-Mo deposits in southern Peru. Ph.D. dissertation, University of British Columbia, 359 p.

Sun, S.S., McDonough, W.F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in the Ocean Basins*, vol. 42 (A. D. Saunders & M. J. Norry, eds.), The Geological Society, p. 313-345.

Terán J.C. 2012. Reporte geológico, campaña de perforación 2012, Proyecto Chipispaya. Reporte interno, AAEP, 57 p.

Toro, J.C., Valdivia, V. 2008. Prospecto Chipispaya. Reporte interno, AAEP, 5 p.

Valdivia, V. 2005. Visit to the Chipispaya Prospect - August 8-13, 2005. Reporte interno, AAEP, 5 p.