



Boletín de la Sociedad Geológica del Perú

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

## MANIFESTACIONES DE LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL POTÁSICA-FÍLICA EN LA MOVILIDAD DE REEs Y LA “FIRMA ADAKÍTICA”

Williams Mata<sup>1</sup>

### RESUMEN

En la exploración de sistemas tipo pórfido, el análisis litogeoquímico de intrusivos es una herramienta petrotectónica útil que permite identificar probables targets asociados a magmas fértiles. La denominada “firma adakítica” se suele asociar con frecuencia a sistemas con una tasa de fertilidad alta, no obstante, estas interpretaciones pueden ser sesgadas por el fraccionamiento de minerales residuales como feldspatos y plagioclasas, así mismo, efectos de la actividad hidrotermal pueden influir en la removilización de elementos de tierras raras (REEs) y, en consecuencia, en su patrón de REEs normalizadas al condrito.

Para poder evaluar la movilidad de los elementos de tierras raras (REEs), Sr e Y bajo los efectos de la actividad hidrotermal en sistemas porfiríticos, se recopilieron datos geoquímicos de los intrusivos inter-minerales de los pórfidos Cu-Mo de Quellaveco y Yanac, Cu-Au de Cerro Corona, como también, intrusivos fértiles asociados a sistemas Pórfido-skarn como Antamina y Coroccohuayco. Las muestras de estudio particularmente corresponden a alteraciones potásica, fílica y silicificación (Stockwork de Qz) como también, a muestras con mínimos efectos hidrotermales.

Los intrusivos relativamente inalterados de los depósitos de estudio exhiben patrones de REEs normalizadas al condrito definidos, permitiendo ser empleadas de manera objetiva como herramienta petrotectónica. La alteración potásica principalmente influye en la disminución general de Sr y REEs. La alteración fílica por su

lado influye en mayor medida en la disminución de Y y REEs. El efecto de la dilución durante el análisis geoquímico por una muestra no representativa (silicificada), también deprime considerablemente la concentración de REEs. Un aumento general de la concavidad del patrón de REEs normalizadas al condrito es el efecto más resaltante que se manifiesta de ambos tipos de alteración hidrotermal.

Palabras Clave: Adakita, pórfido, geoquímica hidrotermal, movilidad de REEs

### ABSTRACT

In the exploration of porphyry-type systems, the lithogeochemical analysis of intrusives is a useful petrotectonic tool that allows the identification of probable targets associated with fertile magmas. The so-called “adakitic signature” is often associated with systems with a high fertility rate, however, these interpretations can be biased by the fractionation of residual minerals such as feldspars and plagioclase, likewise, effects of hydrothermal activity can influence the the remobilization of rare earth elements (REEs) and, consequently, in their pattern of REEs normalized to chondrite.

In order to evaluate the mobility of the rare earth elements (REEs), Sr and Y under the effects of hydrothermal activity in porphyritic systems, geochemical data of the inter-mineral intrusives of the Cu-Mo porphyries from Quellaveco and Yanac were collected, Cu-Au from Cerro Corona, as well as fertile intrusives associated with porphyry-skarn systems such as Antamina and Coroccohuayco. The study samples particularly correspond to potassium, phyllic and silicification

(Qz Stockwork) alterations as well as samples with minimal hydrothermal effects.

The relatively unaltered intrusives of the study deposits show defined patterns of REEs normalized to the chondrite, allowing them to be used objectively as a petrotextonic tool. The potassium alteration mainly influences the general decrease in Sr and REEs. The phyllic alteration, on the other hand, has a greater influence on the decrease in Y and REEs. The effect of dilution during geochemical analysis by a non-representative (silicified) sample also considerably depresses the concentration of REEs. A general increase in the concavity of the pattern of REEs normalized to the chondrite is the most striking effect that manifests itself in both types of hydrothermal alteration.

Keywords: Adakite, porphyry, hydrothermal geochemistry, REEs mobility

## **EFFECTOS DE LA ACTIVIDAD HIDROTHERMAL**

Las muestras representativas con mínimo efecto hidrotermal de los depósitos de Antamina (Mrozek, 2018), Corocchohuayco (Maher, 2010 y Chelle-Michou, et al., 2015), Quellaveco (Simmons, 2013), Yanac (Collado, 2014) y Cerro Corona (James, 1998) exhiben patrones de REEs normalizados al condrito bien definidos (Figura 3) que recaen dentro del campo adakítico con Sr/Y entre 30-120 (Figura 1), datos que en su mayoría se encuentran en el campo para sistemas porfíricos fértiles de Sr/Y entre 50-150 (Chiaradia & Caricchi, 2017). Esta calidad de datos permite ser empleada de manera objetiva como herramienta petrotextónica tal como se detalla en Richards & Kerrich, 2007.

La alteración potásica identificada en una muestra del Pórfido Quellaveco se encuentra muy enriquecida en  $K_2O$  y deprimida en  $Na_2O$  (Simmons, 2013). La razón Sr/Y y los REEs normalizado al condrito (Figuras 1 y 3C) también disminuyen, este último efecto influye principalmente en un incremento de la concavidad del patrón de elementos de tierras raras pesadas (HREEs).

El incremento del grado de alteración filica identificado en el Pórfido Yanac evidencia una sustitución progresiva de K por Na asociado a la formación de sericita (Figura 2). El patrón de REEs de la alteración filica débil sobreimpuesta

a la potásica reportada en el Pórfido Yanac no difiere significativamente con el intrusivo inter-mineral; esto puede deberse a bajos porcentajes de hornblenda como se reporta en Radomiro Tomic (Rabbia, et al. 2012) u otras fases minerales portadoras de REEs con baja destrucción hidrotermal; no obstante, se observa una anomalía negativa de Eu en solo una muestra probablemente asociada a la destrucción de plagioclasas. La alteración filica fuerte afecta en una disminución significativa de Y y REEs en hasta un orden y con un incremento de la concavidad del patrón de HREEs principalmente (Figura 3D).

En Cerro Corona los REEs se encuentran deprimidos debido a que corresponde a una muestra con muchas venillas de Qz (tipo Stockwork), cuyo efecto inmediato es la dilución durante el análisis geoquímico con algunos REEs por debajo del límite de detección (Figura 3B). Su efecto también se extiende a la relación Sr/Y alejándolo del campo adakítico.

## **DISCUSIÓN**

Los efectos de la alteración hidrotermal manifestadas en los depósitos de estudio de Quellaveco, Yanac y Cerro Corona muestran comportamientos similares en el patrón de REEs; por ejemplo, la disminución de REEs puede atribuirse, al menos en parte, a la desaparición de la monacita, provocando una disminución significativa de P, Y y La (Ej. Pórfido de Cu-Au Ok Tedi; Van Dongen, et al., 2007), del mismo modo, visible movilidad de REEs, principalmente MREEs y HREEs se observan con el incremento del grado de alteración, como la alteración filica y argílica, mientras que las LREEs relativamente no varían debido a la preservación del apatito huésped de estos elementos traza (Ej. Pórfido de Cu Asarel; Hikov, 2011). La proporción Hornblenda/Biotita y el índice de color durante la caracterización litológica puede también verse reflejado en el patrón de REEs (Pórfido de Cu Radomiro Tomic; Rabbia, et al., 2012) debido a que la hornblenda es en parte, un mineral portador importante de REEs.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Los efectos de la alteración hidrotermal potásica y filica en los depósitos de estudio evidencian principalmente una disminución de Sr e Y respectivamente alejándolos del campo adakítico. El patrón de REEs normalizadas al condrito también se ve afectado por un incremento general

de la concavidad siendo más notorio en las HREEs. Finalmente, la comprensión detallada de los efectos hidrotermales en la movilidad del Sr, Y y REEs puede evitar forzar interpretaciones petroectónicas precipitadas.

Este análisis preliminar del comportamiento de REEs, Sr e Y puede ser mejorado replicándolo en otros depósitos, tomando en consideración los trabajos anteriormente documentados y acompañado de una caracterización litológica detallada para establecer los principales minerales huésped de REEs y sus efectos frente a la actividad hidrotermal.

## REFERENCIAS

Chelle-Michou, C., Chiaradia, M., Béguelin, P., & Ulianov, A. (2015). Petrological Evolution of the Magmatic Suite Associated with the Corocochuayco Cu(-Au-Fe) Porphyry-Skarn Deposit, Peru. *Journal of Petrology*, 56, 1829-1862.

Chiaradia, M. and Caricchi, L. Stochastic modelling of deep magmatic controls on porphyry copper deposit endowment. *Sci. Rep.* 7, 44523.

Collado, C. (2014). Geología, Geocronología, Petrología y Metalogénesis del Prospecto Cu-Mo Yanac, Ica, Perú; Tesis para optar Título de Maestría, Universidad de Brasilia.

Hikov, A. (2011). Rare earth element mobility during hydrothermal alteration in Asarel porphyry copper deposit, Central Srednogie. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des sciences.* 64. 1163-1170.

James, J. (1998). Geology, alteration, and mineralization of the Cerro Corona porphyry copper-gold deposit, Cajamarca province, Peru. Master's Thesis, The University of British Columbia.

Maher, K. (2010). Skarn Alteration and Mineralization at Corocochuayco, Tintaya District, Peru. *Economic Geology*, 105 (2): 263-283.

Mrozek, S. (2018). The giant Antamina deposit, Peru: intrusivesequence, skarn formation, and mineralisation. PhD Thesis, James Cook University.

Rabbia, O. M., Hernández, L. B., Cabrera, J. M., Ulrich, T., Bissig, T. y Parra, A. (2012). Evidencias de movilidad de las REE en depósitos tipo pórfido de cobre durante la alteración hidrotermal. XIII Congreso Geológico Chileno, (págs. 90-92). Antofagasta, Chile.

Simmons, A. T. (2013). Magmatic and Hydrothermal Stratigraphy of Paleocene and Eocene Porphyry Cu-Mo Deposits in Southern Peru. Tesis Doctoral. Vancouver: The University of British Columbia.

Van Dongen, M., Tomkins, A. G., & Weinberg, R. F. (2007). Trace element remobilization at the Ok Tedi porphyry Cu-Au deposit, Papua New Guinea. 427 - 430. Abstract from Society for Geology Applied to Mineral Deposits Biennial Meeting 2008, Dublin, Ireland.

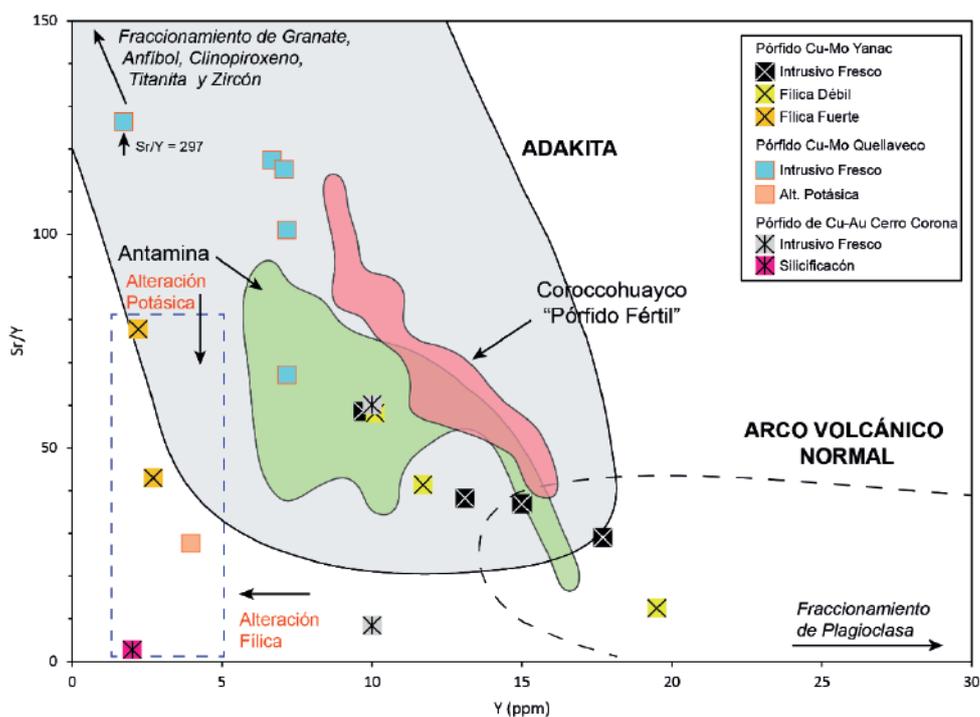


Figura 1. Relación Sr/Y vs. Y de los depósitos de Antamina, Corocochuayco, Quellaveco, Yanac y Cerro Corona. (Campo de adakita tomado de Richards and Kerrich, 2007)

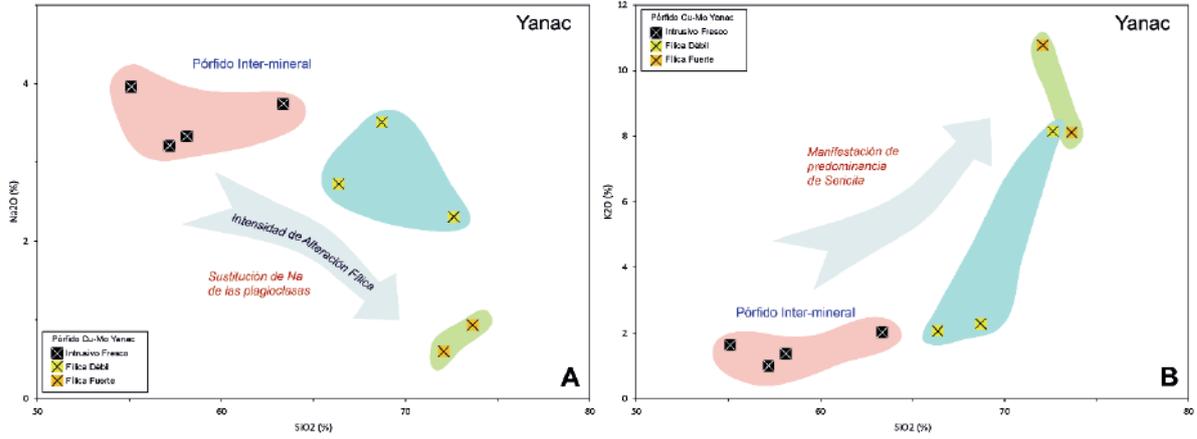


Figura 2. Relación  $SiO_2$  vs.  $Na_2O$  (A) y  $SiO_2$  vs.  $K_2O$  (B) para el depósito porfírico Yanac.

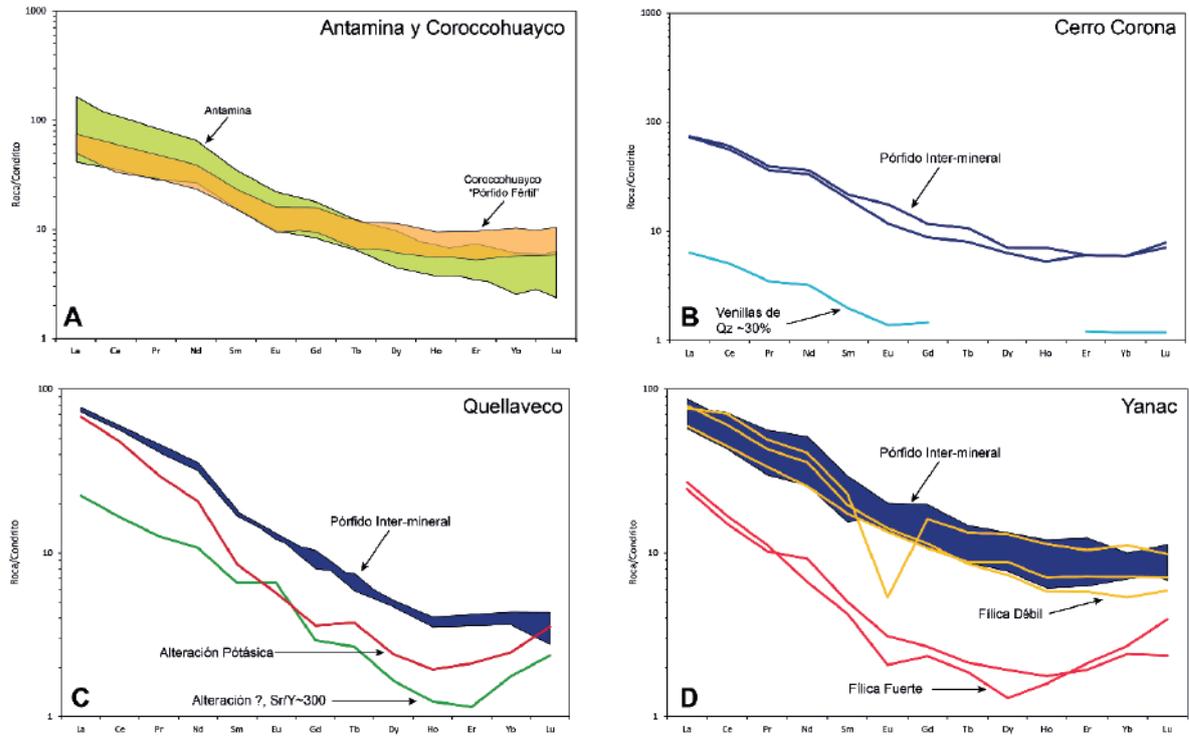


Figura 3. Patrones de REEs normalizados al condrito (según Sun and McDonough, 1989) para los depósitos de Antamina y Corocochuayco (A), Cerro Corona (B), Quellaveco (C) y Yanac (D).