

---

## Caracterización de alteración sericita-clorita en el proyecto de Cu-Au-Ag Antakori, norte del Perú.

**David G. Portocarrero<sup>1</sup>, Kevin B. Heather, Cari L. Deyell-Wurst**

<sup>1</sup>Regulus Resources Inc., Av. Jorge Chávez No. 184, Oficina No. 1001, Lima, Perú  
(David.portocarrero@regulusresources.com)

---

### 1. Resumen

El proyecto Antakori está ubicado a 50 km al noroeste de la ciudad de Cajamarca y es parte de los depósitos de Cu-Au-Ag del Mioceno del norte del Perú. Se reconoce macroscópicamente una alteración de color gris verdosa asociada a fuerte mineralización Cu-Au en las partes profundas al norte y noreste del área de perforación, afectando a pórfidos de feldespato-hornblenda-biotita y brechas hidrotermales-freatomagmáticas. Estudios petrográficos, junto con análisis hiperespectrales, muestran un ensamble de alteración compuesto por mica blanca de composición muscovítica-fengítica junto con clorita, cuarzo, anhidrita y depositación asociada con óxidos de hierro hipógenos y subsecuente pirita-calcopirita-bornita, mostrando características transicionales entre la alteración potásica y filica. Las relaciones temporales registradas indican que esta alteración no guarda relación genética con los sistemas skarn, pórfido y epitermales reconocidos anteriormente en el proyecto, sugiriendo la manifestación de un segundo sistema tipo pórfido y constituyendo un vector de exploración.

### Abstract

The Antakori project is located 50 km northwest of the city of Cajamarca and is part of the Miocene cluster of Cu-Au-Ag deposits of northern Peru. A dark to pale green alteration associated with strong Cu-Au mineralization is recognized at depth in the central and northeast areas of the project and affects both feldspar-hornblende-biotite porphyries and hydrothermal-phreatomagmatic breccias. Petrographic studies, together with short-wave infrared hyperspectral core imaging technology

show an alteration assemblage of texturally destructive muscovitic to phengitic white mica, chlorite, quartz, anhydrite and associated deposition of hypogene iron oxides and latter pyrite-chalcopyrite-bornite, showing transitional features between potassic and phyllic alteration assemblages. Furthermore, crosscutting relations reveal that this alteration doesn't have genetic link with the skarn, porphyry and epithermal systems recognized before in the project, suggesting a reactivation of the hydrothermal system at Antakori that can be used as a vector for exploration.

### 2. Introducción

El proyecto Antakori está ubicado a 50 km al noroeste de la ciudad de Cajamarca y es parte de los depósitos de Cu-Au-Ag del Mioceno del norte del Perú, contando con recursos de 250 Mt con 0.48% Cu, 0.29 g/t Au y 7.5 g/t Ag en la categoría de indicados, y 267 Mt con 0.41% Cu, 0.41 g/t Au y 7.8 g/t Ag en la categoría de inferidos, aplicando un cut-off de 0.3% Cu (Eggleston et al., 2019).

La geología del proyecto consiste del basamento cretácico de cuarcitas, arcosas, lutitas calcáreas y calizas de las Formaciones Farrat, Inca y Chúlec, que son intruidas por diversos diques y stocks porfíricos de feldespato-hornblenda-cuarzo formando halos termales y alteración metasomática tipo skarn. El skarn generado comprende una fase prograda de granates rojos y verdes, piroxenos y vesuvianita, seguido de una fase retrógrada intensa de epidota y clorita asociada a mineralización de Cu-Au-Ag-(Zn) en forma de cuerpos de reemplazamiento masivos de magnetita-calcopirita-pirita. La secuencia cretácica está cortada por numerosos diques porfíricos de feldespato-hornblenda-biotita

y cuerpos de brechas hidrotermales y freato-magmáticas que se superponen al skarn formado previamente. Los diques contienen mineralización débil de Cu-Au-Ag-(Mo) en forma de diseminaciones de pirita-calcopirita-(bornita) y vetillas tipo B y D (Gustafson & Hunt, 1975), con extenso desarrollo de alteración fílica, dejando solo relictos de alteración propilítica y potásica temprana. A su vez, tanto los diques y brechas son afectados por tres eventos hidrotermales: (1) venillas de anhidrita-especularita-(magnetita) con la introducción de molibdeno asociada, (2) mineralización de calcopirita-bornita en forma de cemento de brechas y venillas de cuarzo, y (3) alteración sericita-clorita y mineralización calcopirita-pirita en forma de venillas tipo C (Gustafson & Quiroga, 1995); siendo los tres eventos de tipo pórfido, pero con intrusivos asociados aún desconocidos.

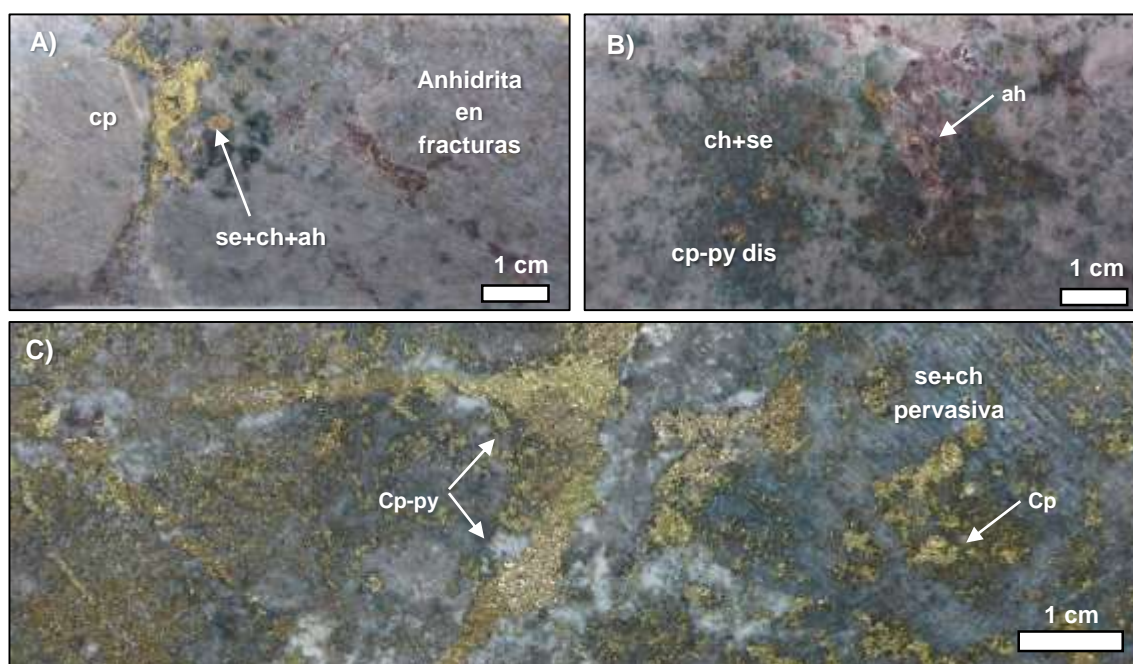
Las secuencias sedimentarias cretácicas son sobreyacidas en forma discordante por rocas volcánicas piroclásticas miocénicas del Grupo Calipuy, y son subsecuentemente intruidas por diversos cuerpos subvolcánicos de feldespato-hornblenda-cuarzo, generando la intensa alteración argílica avanzada de pirofilita-alunita-kaolinita y mineralización de Cu-Au-Ag de tipo epitermal de alta sulfuración asociada a estructuras subverticales de enargita-pirita masiva. Diques hipabisales

riolíticos y domos de flujo locales cortan las secuencias volcano-sedimentarias del Calipuy, y presentan mineralización de Au-Ag-Zn-Pb-Cu de tipo epitermal de intermedia sulfuración "Base Metal Carbonate" en forma de vetas con alteración sericítica asociada. Una serie de diques de feldespato-biotita-cuarzo post-minerales cortan toda la geología descrita, representando el último evento geológico del sistema Antakori.

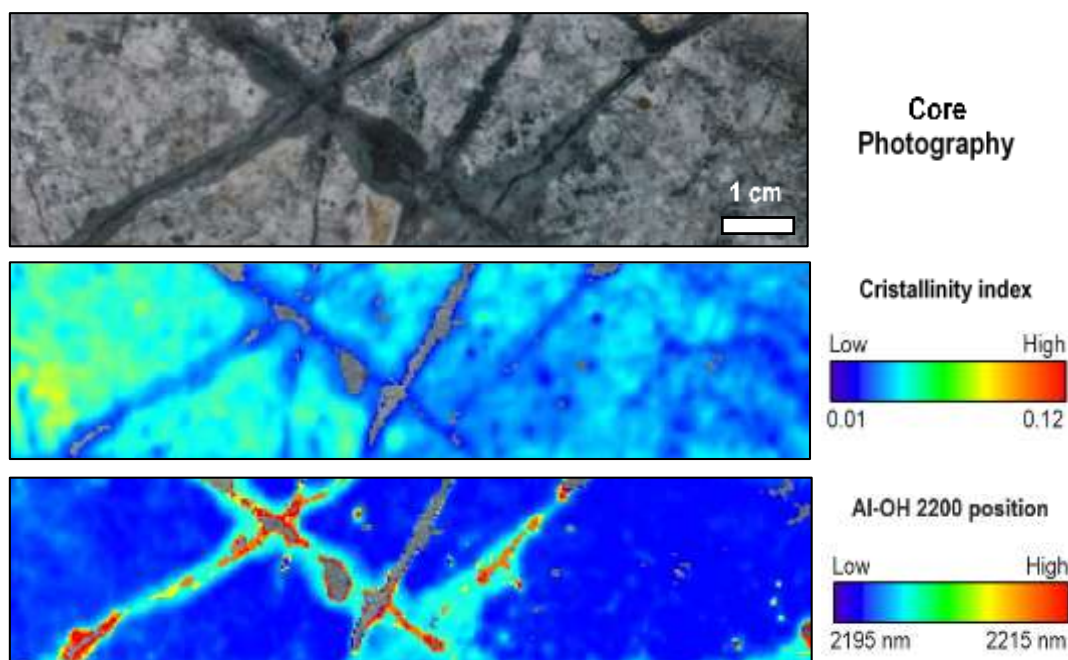
### 3. Alteración sericita-clorita

La alteración sericita-clorita en el proyecto Antakori está afectando a pórfidos de feldespato-hornblenda-biotita y brechas hidrotermales en forma pervasiva, reemplazamiento selectivo, halos de vetillas, como inyecciones en la roca caja y cemento de brechas. Estudios petrográficos e hiperespectrales de las muestras de brechas y pórfidos revelan un ensamble de alteración de mica blanca (sericita), clorita y cuarzo como minerales principales, con cantidades variables de anhidrita y ocurrencias raras de turmalina en trazas.

La mineralización se presenta en forma diseminada, venillas y cemento de brechas. La cantidad y tipo de sulfuros depositados varían en cada sondaje, reconociéndose dominios de specularita-magnetita, specularita-calcopirita, calcopirita-pirita y pirita.



**Figura 1.** Alteración sericita-clorita pervasiva en pórfidos de feldespato-hornblenda-biotita (A y B) y brecha hidrotermal (C) con mineralización en forma de diseminaciones y cúmulos de calcopirita-pirita.



**Figura 2.** Fotografía de testigo de perforación y mapas mineralógicos (500  $\mu\text{m}$  resolución espacial, 3.5 nm resolución espectral) producidos por el espectrómetro HCI-3 de Corescan. Muestra de pórfido de feldespato-hornblenda-biotita con venilla de calcopirita-anhidrita y halo de alteración sericita-clorita cortando alteración filica anterior. Notar las diferencias en índices de cristalinidad (profundidad/área del rasgo Al-OH) y la posición de absorción de las longitudes de onda del Al-OH en ambos estilos de alteración.

Según estudios petrográficos, existe una secuencia paragenética clara con una primera fase de óxidos hipógenos de hierro (magnetita y hematita), seguida por una fase de sulfuros con pirita y posteriormente, calcopirita y bornita en trazas formando texturas de intercrecimiento, y finalmente una última fase con sulfuros y sulfosales de cobre hipógenos de alta sulfuración (bornita, covelita, calcocina, enargita y tenantita).

#### 4. Geoquímica de mica blanca

El análisis de composición de mica blanca usando el rasgo de absorción de Al-OH en la longitud de onda 2200 nm muestra una mica blanca de composición muscovítica con rasgo de absorción de Al-OH entre 2200–2207 nm en su mayoría, con una tendencia a composición más fengítica (aumento de Fe) cuando está asociado a clorita, llegando a tener rasgos de absorción de Al-OH entre 2209–2214 nm. La cristalinidad de la mica blanca se calcula usando la relación profundidad/área del rasgo de absorción Al-OH en la longitud de onda 2200 nm, y constituye el rasgo más distintivo de esta alteración con valores entre 0.01–0.03 que contrastan con otros eventos de alteración presentes en la roca caja.

#### 5. Interpretación

La mica blanca de composición fengítica se forma por reemplazamiento de silicatos en condiciones de pH más altas que la muscovita (Cohen, 2011; Halley 2012) y está asociada a la introducción de Cu, mientras que la mica blanca de composición muscovítica está más relacionada a alteración filica y reemplazamiento de calcopirita por pirita (Benavides et al., 2019). La mica blanca de la alteración sericita-clorita en Antakori presenta características transicionales entre estos patrones, sin embargo, constituye un evento mineralizante con introducción de Cu, diferenciándose de la alteración filica muscovítica típica.

Las relaciones de corte registradas en el proyecto indican que la alteración sericita-clorita no guarda relación genética directa con el sistema skarn, eventos relacionados a los pórfidos de feldespato-hornblenda-biotita y los sistemas epitermales de alta e intermedia sulfuración, sin embargo, si comparte relaciones temporales cercanas con otros dos eventos magmático-hidrotermales: (1) venillas de anhidrita-especularita-(magnetita) y (2) mineralización de calcopirita-bornita siendo los tres eventos posteriores a las brechas hidrotermales y anteriores al sistema epitermal de alta sulfuración. La ocurrencia de anhidrita en depósitos tipo pórfido

es común y está relacionada principalmente a la fase potásica junto con biotita y feldespato potásico, con magnetita-especularita, zonas de bornita-calcopirita e introducción de Mo (Russin, 2008; Vry et al., 2010), y relacionada a alteración sericita-clorita (Uribe-Mogollón & Maher, 2018 y 2020; Sillitoe et al., 2019). De esta manera, el evento de venillas de anhidrita en Antakori y anomalía de molibdeno asociada puede ser interpretado como un evento perteneciente a etapas tardías y distales de una fase progradada con condiciones oxidantes de un sistema porfirítico. De manera similar, el evento de mineralización de calcopirita-bornita en brechas hidrotermales presenta un ensamble característico de las partes centrales de los sistemas porfiríticos (Sillitoe, 2010). Así, ambos eventos junto con la alteración sericita-clorita podrían indicar una transición y zonación entre las fases potásicas y fílicas de un sistema porfirítico.

A su vez, varios de los interceptos de alteración sericita-clorita cortan a una alteración fílica más temprana (ver Figura 2), es decir, un orden inverso a la secuencia normal de alteración en un sistema tipo pórfido (Sillitoe, 2010), lo que sugiere que la alteración sericita-clorita en Antakori es la manifestación de un segundo sistema porfirítico o una reactivación del mismo.

## 6. Conclusiones

El evento de alteración sericita-clorita en Antakori coincide con la alteración chlorite-sericite del modelo de Sillitoe (2010) y “Early green phyllic alteration” de Uribe-Mogollón & Maher (2018) y (2020), mostrando características transicionales en la composición de mica blanca y ensamble de óxidos a sulfuros, indicando un cambio en condiciones de pH, estado de oxidación y temperatura en un fluido hidrotermal derivado de un pórfido aún no interceptado. Este evento de alteración se ubica después de la alteración potásica y antes de la alteración fílica, constituyendo una guía de exploración en el proyecto Antakori.

## Agradecimientos

Un agradecimiento especial a la compañía Regulus Resources Inc. por el apoyo y facilidades para la realización del presente trabajo, así como al equipo de geólogos de exploraciones del proyecto Antakori.

## Referencias

- Benavides, S., Cooke, D. R., Ireland, I., Zhang, L., Thompson, J., Belousov, I., 2019, Caracterización de alteración sericitica en Taca Taca Bajo, Argentina. Resúmenes Extendidos proEXPLO 2019.
- Cohen, J.F., 2011, Mineralogy and geochemistry of hydrothermal alteration at the Ann Mason porphyry copper deposit, Nevada: Comparison of large-scale ore exploration techniques to mineral chemistry: MSc thesis, Corvallis, Oregon State University, 111 p.
- Eggleston, T., Reid, D. & Colquhoun, W., 2019: Antakori Project, Cajamarca Province, Peru. NI 43-101 Technical Report: Informe de Amec Foster Wheeler (Perú) SA para Regulus Resources Inc., 15 abril 2019, 191 p.
- Gustafson, L.B., and Hunt, J.P., 1975, The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile: *Economic Geology*, v. 70, p. 857–912.
- Gustafson, L.B., and Quiroga G., J., 1995, Patterns of mineralization and alteration below the porphyry copper orebody at El Salvador, Chile: *Economic Geology*, v. 90, p. 2–16.
- Halley, S., 2012, Calculating spectral scalars to map hydrothermal mineral systems: Mineral Mapping Internal Report, 68 p.
- Russin, D., 2008, Hypogene alteration and mineralization in the Dos Pobres porphyry Cu(-Au-Mo) deposit, Safford District, Arizona: A gold- and magnetite rich variant of Arizona porphyry copper systems: University of Arizona, Thesis Dissertation
- Sillitoe, R.H., 2010, Porphyry copper systems: *Economic Geology* 105, p. 3–41.
- Sillitoe, R.H., Devine, F.A.M., Sanguinetti, M.I., and Friedman, R.M., 2019, Geology of the Josemaría porphyry copper-gold deposit, Argentina: Formation, exhumation, and burial in two million years: *Economic Geology*, v. 114, p. 407–426.
- Uribe-Mogollón, C. & Maher, K., 2018, White mica geochemistry of the Copper Cliff porphyry Cu deposit: Insights from a vectoring tool applied to exploration: *Economic Geology*, 113, p. 1269–1295.
- Uribe-Mogollón, C. & Maher, K., 2020, White Mica Geochemistry: Discriminating Between Barren and Mineralized Porphyry Systems: *Economic Geology* 115, p. 325–354.
- Vry, V.H., Wilkinson, J.J., Seguel, J., Millán, J., 2010. Multistage intrusion, brecciation, and veining at El Teniente, Chile: evolution of a nested porphyry system. *Economic Geology* 105, 119–153.