

CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL (SWIR) Y MODELAMIENTO 3D DE LOS MINERALES DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL, EN EL DEPÓSITO PÓRFIDO CU-AU DE CERRO CORONA, CAJAMARCA – PERÚ

Alex Santos¹, Lucia Torres² y Paul Gomez³

¹Gold Fields Chile S.A., Rosario Norte 110, Oficina # 1601, Las Condes, Santiago, Chile

^{2,3}Gold Fields La Cima S.A., Av. El Derby 055 Torre 1, Oficina # 901, Santiago de Surco, Lima, Perú

INTRODUCCIÓN

El estudio está enfocado en la caracterización espectral (SWIR - Short Wave Infrared) y modelamiento tridimensional de los minerales de alteración hidrotermal, relacionado a ensambles de alteración de tipo argílica (avanzada e intermedia) y fílica del depósito Cerro Corona. Los espectros fueron identificados aplicando espectrometría de onda corta (Terraspec[®]) colectados en muestras de superficie (afloramientos), perforación diamantina (DD) y aire reverso (RC).

La distribución espacial de los diferentes tipos de minerales es interpretado por separado y también por asociaciones mineralógicas en secciones verticales y vistas en planta, los cuales sirven de base para construir el modelo tridimensional (3D) de los minerales de alteración y asociaciones. También se realizó un análisis estadístico para entender su relación con las leyes de Au – Cu, la litología y la zona mineral.

Cerro Corona es un depósito mineral de tipo pórfido de Cu – Au, con recursos minerales (M+I+I), 3.3 Moz @ 0.82 g/t Au y 1,124 Milb @ 0.43 % Cu, y reservas minerales (P+P) 2.02 Moz @ 0.94 g/t Au y 712 Milb @ 0.48 % Cu, actualizados a Diciembre del 2013. La mina actualmente produce alrededor de 317,000 onzas de Au-Eq anuales, (Gold Fields, reporte anual de recursos y reservas año 2013).

GEOLOGÍA DISTRITAL Y REGIONAL

El depósito Cerro Corona está ubicado en el Departamento de Cajamarca, en el extremo Norte de la Cordillera Occidental de los Andes Peruanos, es un yacimiento de tipo pórfido Cu - Au, que forma parte del Distrito Minero de Hualgayoc (DMH) y regionalmente de la franja de depósitos tipo pórfidos y epitermales de la Provincia Metalogénica de Cajamarca (PMC).

La geología regional, está controlado por una secuencia de rocas sedimentarias de edad Mesozoica, cubierto por secuencias volcánicas e intruida por pulsos de intrusión de edad Cenozoica. Los eventos tectónicos de la Orogenia Andina deformaron las secuencias sedimentarias formando pliegues y fallas, además estos eventos tectónicos están estrechamente relacionadas con la actividad magmática e hidrotermal que dieron origen a los depósitos minerales en el distrito Minero de Hualgayoc.

GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO CERRO CORONA

La geología del depósito, se caracteriza por la presencia de un stock intrusivo de composición diorítica, emplazado en la secuencia sedimentaria calcárea del cretáceo inferior a superior de las Formaciones Chulec, Pariatambo y Yumagual (Wilson, 1984). Se distinguen dos eventos de intrusión pórfido diorítico, datado en 14.4 Ma método U/Pb (Macfarlane, A.W., 1994), la Fase temprana de intrusión (DI) hospeda la mineralización de Cu-Au y la Fase tardía estéril (DIB) post-mineralización (Figura 1).

En el contexto estructural, el depósito, se encuentra delimitado por dos fallas mayores, fallas Hualgayoc y Tingo de orientación transandina NE-SO, con movimiento siniestral, como resultado de este movimiento se formaron fallas tensionales de orientación NNO-SSE, las cuales generaron zonas de debilidad estructural y controlaron el emplazamiento de intrusivo diorítico de Cerro Corona y la actividad hidrotermal relacionadas a esta fase intrusiva.

En el depósito, se diferencian los siguientes tipos alteración hidrotermal: potásica, propilítica, argílica intermedia, fílica, argílica avanzada y localmente en los bordes skarnificación presente en las secuencias carbonatadas (James, J., 1998 y Cerro Corona Mine Technical Short Form Report 2012).

La mineralización en el depósito es Cu-Au. El cobre principalmente consiste de calcopirita, bornita, calcosina, covelita, digenita, además trazas de molibdenita acompañados de pirita y magnetita. Los sulfuros ocurren diseminados y en vetillas. El oro ocurre libre asociado con hematita, goetita y jarosita

(zona de óxidos) y en la zona de sulfuros en forma de inclusiones dentro de la calcopirita y la pirita. Las zonas de mineralización están divididas de acuerdo a los ensambles mineralógicos; zona de óxidos (encape lixiviado), mixtos, sulfuros secundarios (enriquecimiento supérgeno) y sulfuros primarios (hipogena). La distribución espacial de la mineralización de Cu - Au tiene una geometría anular dentro del intrusivo temprano (DI) y borde de las intrusiones tardías (Cerro Corona Mine Technical Short Form Report 2012).

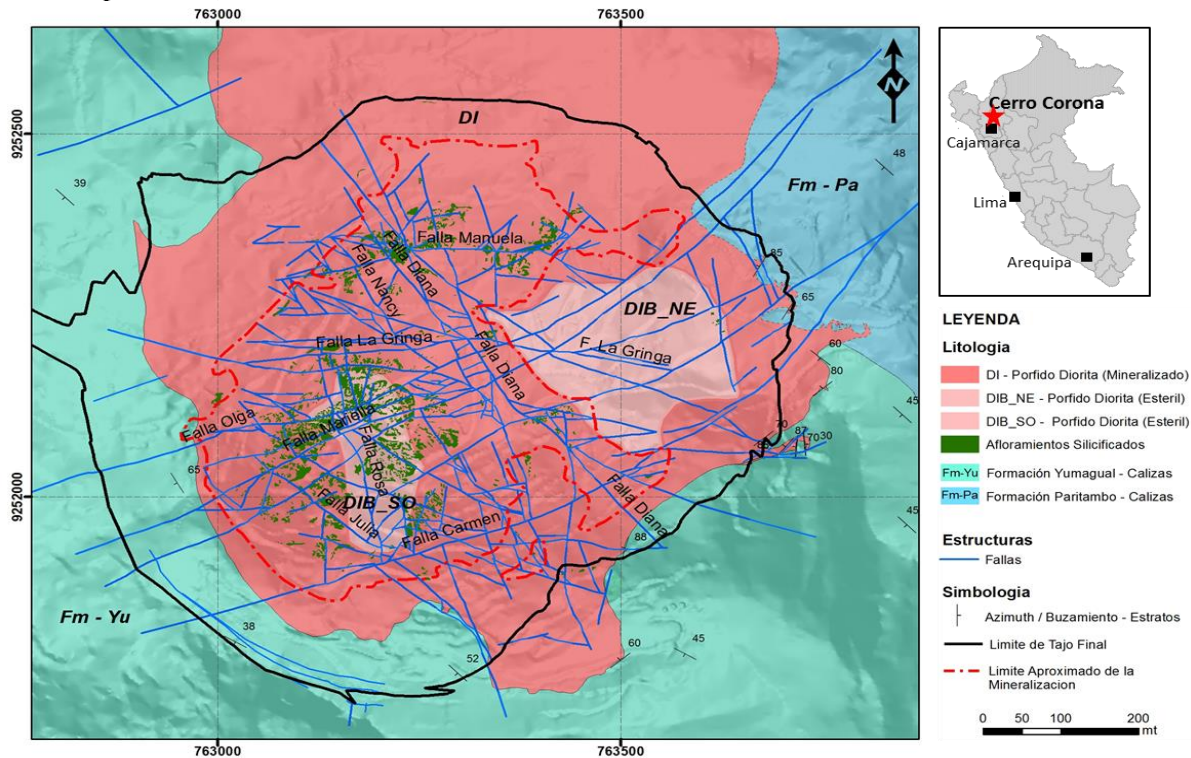


Figura 1. Mapa geológico del depósito Cerro Corona

CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL (SWIR) DE LOS MINERALES DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

La aplicación de la espectrometría de reflectancia de onda corta SWIR (Short Wave Infrared) permite determinar los minerales de alteración hidrotermal, asociado a ensambles mineralógicos de tipo argílica (avanzada e intermedia) y fílica.

La espectrografía de onda corta del infrarrojo (SWIR) detecta la energía generada por las vibraciones de los enlaces moleculares, los rasgos espectrales de cada mineral y sus formas típicas son función de los enlaces moleculares presentes en el mineral. Los minerales pueden ser distinguidos no solamente en base a sus características distintivas y las posiciones de sus ondas sino también por la forma del perfil de su espectro (Thompson et al. 1999).

Se utilizó el espectrómetro Terraspec[®] que permitió caracterizar los minerales de alteración hidrotermal, adicionalmente se estimó la intensidad de absorción de agua en la longitud de onda 1,900 nm para cada uno de los espectros el cual permite obtener una estimación semi-cuantitativa de la capacidad de absorción de agua de los minerales de alteración almacenadas en su estructura molecular. Se colectaron en el depósito un total de 24,576 espectros provenientes de muestras de sondajes diamantinos (15,494), aire reverso (7,881) y de superficie (1,201), para ser interpretados y determinar los minerales de alteración.

Los minerales de alteración identificados en el depósito son; illita/esmectita 50%, montmorillonita 24%, illita 14%, caolinita 10%, dickita 2% y en menor proporción calcita y clorita (Figura 2 y 3).

La estimación semi-cuantitativa de la capacidad de absorción de agua permitió identificar zonas dentro del depósito, con mayor capacidad de absorción de agua, que están principalmente asociadas a minerales de tipo montmorillonita e illita/esmectita, esta información puede ser usada para el proceso metalúrgico (optimizar recuperación de mineral) y en la geotecnia (mejorar la estabilidad de taludes).

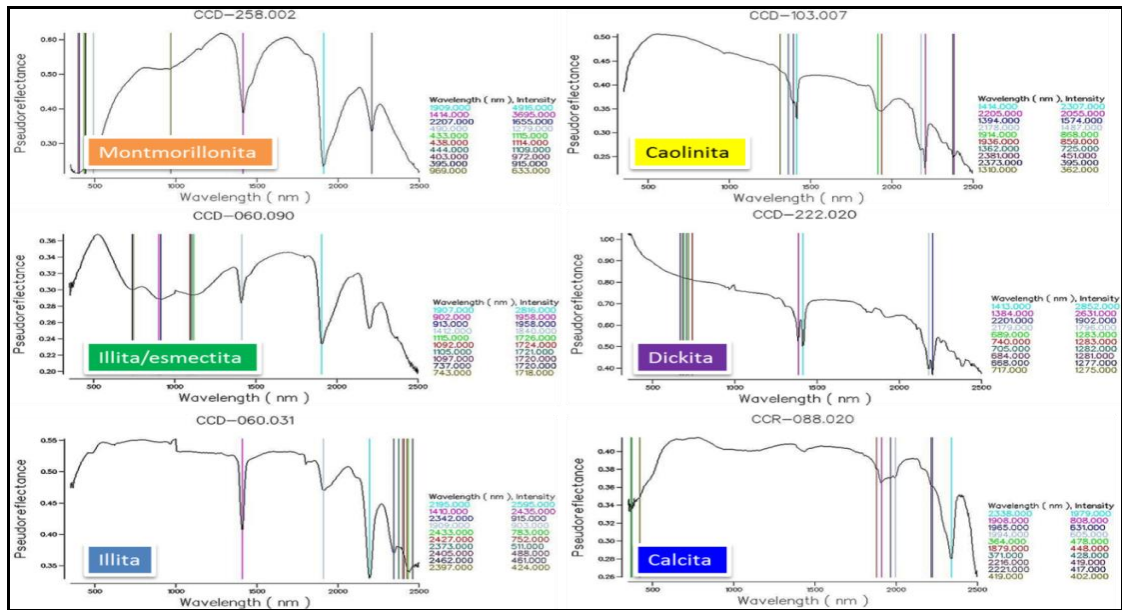


Figura 2. Principales espectros de minerales de alteración identificados en el Deposito Cerro Corona.

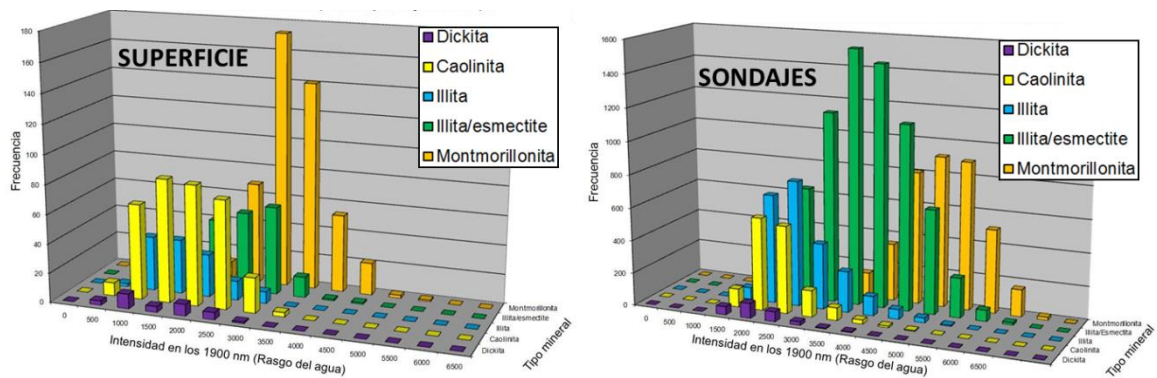


Figura 3. Estadística simplificada (histogramas) de los minerales de alteración determinados en muestras de superficie y sondajes diamantinos.

INTERPRETACIÓN Y MODELAMIENTO 3D DE LOS MINERALES DE ALTERACIÓN

Con la información de los minerales de alteración identificados, se realizó la interpretación geológica utilizando secciones verticales y vista en planta, en base a la interpretación se construyó el modelo tridimensional 3D de los dominios de los minerales de alteración hidrotermal (montmorillonita, illita-esmectita, illita, dickita, caolinita). Este modelo de minerales de alteración espectralmente identificados permitió redefinir los ensambles de alteración argílico avanzado e intermedio, el cual fue integrado con el modelo de alteración potásica y silicificación (ambos construidos con la información de logeo geológico).

La distribución en horizontal de los dominios minerales de tipo caolinita, dickita e illita muestran un patrón anular dentro del intrusivo temprano (DI) desde parte central hacia los márgenes, mientras la illita/esmectita se encuentra ampliamente distribuida en el intrusivo temprano (DI) y asociado a la zona de sulfuros primarios, el intrusivo tardío (DIB_SO y DIB_NE) están predominantemente dominado por la presencia de montmorillonita y localmente caolinita, illita, illita/esmectita.

La distribución en vertical muestra la caolinita y dickita desde la cota 3,960 m (cumbre de Cerro Corona) hasta la cota de 3,600 m.

La mineralización de Oro y Cobre, muestra una buena relación con los minerales de alteración de dickita, caolinita e illita, como se demuestra comparando con el grade shell (envolventes) Au>1g/t, en

cambio el dominio de montmorillonita se encuentran en los bordes indicando una débil relación con la mineralización (Figura 4).

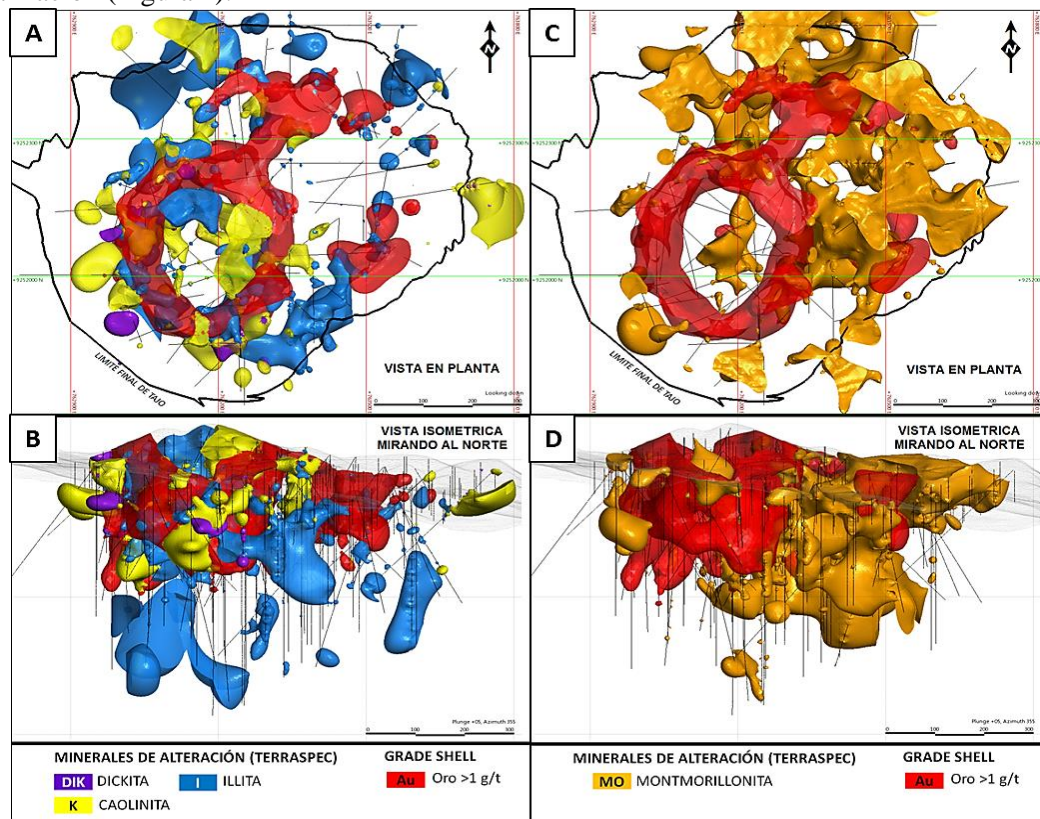


Figura 4. Distribución espacial 3D de los minerales de alteración y su relación con el grade shell de Oro > 1g/t. A-B) distribución de la dickita, caolinita e illita, y C-D) distribución de la montmorillonita.

CONCLUSIONES

- El análisis estadístico muestra que los minerales de alteración identificados espectralmente asociado a ensambles de alteración de tipo argílica y fílica son; illita/esmectita 50%, montmorillonita 24%, illita 14%, caolinita 10% y dickita 2%.
- La distribución de los minerales, muestra un zoneamiento anular dentro del intrusivo de diorita porfírica mineralizado (temprano - DI), del centro hacia los márgenes, illita, caolinita, dickita, illita/esmectita, y en los márgenes dominado por la montmorillonita.
- La mineralización de Cu-Au, muestra una relación directa con los minerales de alteración de dickita, caolinita e illita, a diferencia de la montmorillonita que se presenta en los márgenes.
- La presencia de dickita y caolinita por debajo del encape lixiviado, hasta la profundidad 460 m. (cota 3,600 m.s.n.m.) es inusual en este tipo de depósitos pórfido, se interpreta que el sistema pórfido fue sobrepuesto (telescoping) por un sistema del epitermal tardío, el cual enriqueció el depósito con valores de oro.

REFERENCIAS

1. Cerro Corona Mine Technical Short Form Report (Gold Fields), 31 December 2012: 21p
2. James, J., 1998, Geology, alteration, and mineralization of the Cerro Corona porphyry copper-gold deposit, Cajamarca Province, Peru: Unpublished M.Sc. thesis, The University of British Columbia, 249p
3. Macfarlane, A.W., 1994, Isotope and fluid inclusion Studies of geological and hydrothermal process, Northern Perú: International Geology Review. Harvard University, USA: 645-677.
4. Thompson, A. J. B., Huff, P. L. y Robitaille, A. J. 1999. Alteration mapping in exploration: Application in Short-Wave Infrared (SWIR) Spectroscopy. SEG Newsletter. Society of Economic Geologists, 39: 15-27p
5. Wilson, J., 1984, Geología de los Cuadrángulos Cutervo 13-f, Chota 14-f, Celendin 14-g. Boletín de la Carta Geológica Nacional, INGEMMET. N ° 38: 104p.