

Zoneamiento genético de la mineralización y su relación con la extracción y recuperación de minerales en el área del Yacimiento Corona

Genetic zoning of the mineralization and its relationship with the extraction and recovery of minerals in the area of the Corona Deposit

José Enrique Vereau Jave ¹

Recibido: Enero 2019 - Aprobado: Junio 2019

RESUMEN

En el depósito de cobre y oro de Cerro Corona es típica la mineralización de tipo pórfido, que comprende estructuras tipo *stockworks* de cuarzo-pirita-marcasita-calcopirita ± bornita ± hematita ± vetas de magnetita, alojadas en dos pulsaciones intrusivas alteradas de composición de diorita a dacítica. También presenta cuatro conjuntos de alteración hidrotérmica, clasificados en el yacimiento Corona, como: (a) alteración potásica, (b) sericita-clorita-arcilla, (c) cuarzo-sericita-pirita (QSP), (d) arcilla naranja (OC).

Como parte del desarrollo de las operaciones de la mina, se realizaron dos programas de perforación diamantina en los años 2010 y 2011, con la obtención de testigos o sondajes para su descripción e interpretación geológica, identificándose las alteraciones y dominios mineralógicos, a lo que se sometió un posterior muestreo geoquímico, que ayudó a definir e interpretar la geología y geoquímica de cada sondaje.

De esa manera es cómo se llegó a establecer que Corona era un típico yacimiento del tipo pórfido de cobre y oro, con una sobreimpresión de estructuras de sílice con altos valores de oro, pero también de contaminantes.

Palabras clave: Pórfido; yacimiento; oro; cobre; sobre impresión; alteración; dominios.

ABSTRACT

The Corona deposit is one of the 14 known Tertiary deposits of Cu-Au-Mo and one of the 19 epithermal deposits of gold and silver located on the eastern slope of the western cordillera of the Andes, in the metallogenic province of Cajamarca (CMP) of northern Peru.

Corona's copper and gold deposit is typical of porphyry-type mineralization that includes stockworks structures of: (a) Potassium alteration, (b) sericite-chlorite-clay, (c) quartz-sericite-pyrite, (d) Orange clay (OC).

As part of the development of the operations of the mine, two diamond drilling programs were carried out in 2010 and 2011 in the Corona pit, with the obtaining of witnesses or drill holes for their description and geological interpretation, where the alterations and mineralogical domains were identified. Each of the drillings that were extracted and with the subsequent geochemical sampling that helped to define and interpret the geology and geochemistry of each drill.

This is how the Corona deposit is defined as a typical copper and gold porphyry deposit with an overprint of silica structures with high gold values, but also with contaminants.

Keywords: Porphyry; deposit; gold; copper; occurrence; alteration; domains.

¹ Exploring Resources EIRL. E-mail: evereau@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

El depósito Cerro Corona está situado en el distrito minero de Hualgayoc, departamento de Cajamarca, en la sierra norte del Perú. La mineralización de cobre y oro está alojada en el pórfido Corona, que se divide en dos unidades intrusivas: una fase de pre o sin mineralización (cuarzo diorita 1) y una fase posterior a la mineralización (cuarzo diorita 2).

Las fases intrusivas son de composición muy similares a la intrusión de Cerro Corona, que se alojó a finales del Cretácico, incluyendo a la formación Pariatambo. Esta, se compone de calizas limosas cuya mineralización en *exo skarn* se limita a unos 20 metros de espesor en promedio, del contacto entre la diorita y los paquetes calcáreos, teniendo texturas porfiríticas de grano fino (James, 1998).

El objetivo principal de la investigación es desarrollar un modelo predictivo para la distribución de minerales de arcilla en la mina de oro y cobre de Cerro Corona, en Perú (Wilkinson y Wurst, 2011), que ayudará a optimizar la extracción, la eficiencia del procesamiento y la vida útil de la mina.

La propuesta es oportuna, pues Cerro Corona es un nuevo punto de extracción en donde la investigación puede servir para obtener información geológica que ayude a la optimización de los tratamientos metalúrgicos y la planificación a futuro.

En el procedimiento de convalidación de resultados o datos obtenidos con anterioridad, se realizó un relleno de sondajes verticales sobre los 3,840 m.s.n.m., en dos campañas de perforación diamantina sobre el *pit* del *stock* Corona, los años 2010 y 2011 (Figuras N°1 y N°2).



Figura N°1. Zonas del pórfido Corona con presencia de Alteración filica, con estructuras de tipo stockworks de Cuarzo y sílice.

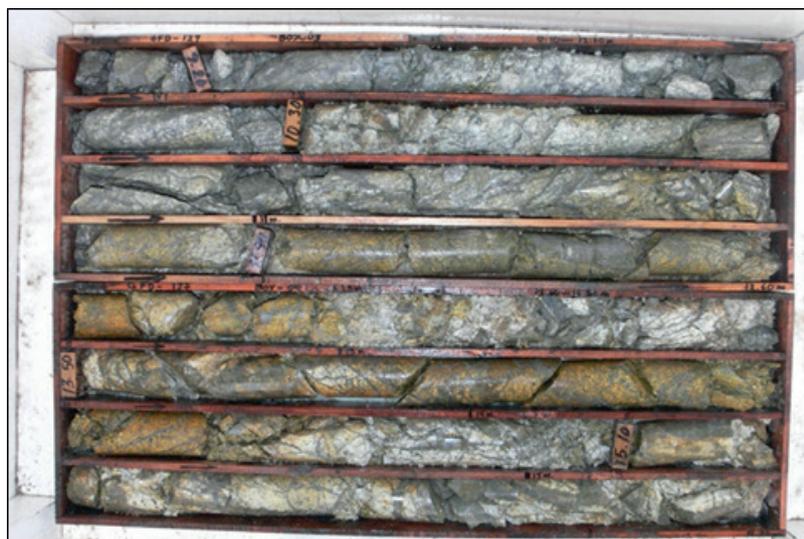


Figura N°2. Testigos de perforación HQ, realizaron en las campañas de perforación diamantina que se extrajeron en el área del pórfido Corona

Los resultados obtenidos en dichas etapas de validación tuvieron como principal característica la obtención de información de la génesis del yacimiento, así como de las estructuras geológicas principales, como el *stockworks* y su vetilleo; el ensamble de estructuras de naturaleza silíceas y de estructuras de cuarzo de tonos grises a rosados propias de un sistema porfirítico (Figura N°3), con su relación de litología y ensambles de alteración de naturaleza epitermal, de las del pórfido Corona, constituidas en sus distintos zoneamientos de alteración, mineralización, control estructural y geoquímica del modelo de recursos y del modelo metalúrgico, que tienen una clara incidencia en la recuperación de minerales.

Se iniciaron dos campañas sucesivas de relleno en los años 2010 y 2011, sobre el área del pórfido Corona (Figura N°4) en sus distintos niveles, constituidos por el zoneamiento de alteraciones que van desde los horizontes argílico y filico, hasta los niveles de alteración potásica débil y fuerte, teniendo cada uno presencia de mineralización económica de cobre, desde óxidos a cobre supergénico e hipógeno.



Figura N°3. Estructura de alteración epitermal en testigos o sondajes diamantinos, en el contexto del pórfido Corona.



Figura N°4. Testigo o Core de perforación diamantina, en que se muestran las alteraciones propias de un pórfido con estructuras de sílice de sobreimpresión teñidas de jarosita de tonos pardos a amarillos.

Durante la primera campaña de extracción de sondajes, se alcanzaron un total de 5,917 m. Estos fueron conformados de la siguiente manera: sondajes geológicos, 5,237 m.; y sondajes geotécnicos, 680 m; en donde se realizaron los trabajos principales de logueo geológico y geotécnicos, a la vez que se realizaron diversas pruebas de medición de control sobre dichos sondajes.

Este trabajo de descripción fue muy importante porque sirvió para realizar una propuesta de elaboración de unidades geometalúrgicas, que tenía como base las descripciones de los testigos de perforación y su logueo geológico, así como los resultados de ensayos geoquímicos obtenidos.

Al año siguiente se realizó una segunda campaña del relleno del pórfido Corona de 9,449.29 m sobre el área del pit Corona, donde también se realizaron trabajos de descripción geológica y geotécnica, pruebas de medición con giroscopio y pruebas de control de pozo, así como de densidad.

Todos estos estudios sirvieron para realizar los trabajos de descripción litológica, y el control de la mineralización de oro y cobre; cada uno con sus principales características.

Toda la información geológica obtenida se procesó en formatos nuevos de base de datos, decisión que recayó en la compañía propietaria del yacimiento Corona.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los resultados geoquímicos del muestreo de los sondajes diamantinos obtenidos en el yacimiento Corona se realizaron con un análisis geoquímico ICP- AES (técnica de espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado por inducción).

De ese modo, se procedió a hacer el diseño de los programas de perforación diamantina para la obtención de testigos sobre el pit Corona y obtener información de los datos geológicos y geoquímicos de dichas muestras, con la extracción y descripción de los sondajes de perforación, se logra confeccionar el mapa de dominios mineralógicos y de alteraciones.

Los trabajos de extracción de sondajes diamantinos que se realizaron, en la Unidad Minera Corona, fueron realizados con equipo de perforación diamantina montado sobre camiones, con un diámetro único HQ.

El muestreo geoquímico de los sondajes de perforación se realizó cada dos metros, sobre el total de los sondajes extraídos, a los que se insertaron muestras de control, blanca, estándar y duplicados, para el control de calidad.

2.1 Mapas de Alteraciones y Dominios Mineralógicos obtenidos:

• **Clasificación de las alteraciones en el yacimiento Corona:** Cuatro conjuntos de alteración hidrotermal se clasificaron en el yacimiento Corona (Figura N°5):

- Feldespato potásico (K-feldespato).
- Sericita-clorita-arcillas (SCC).
- Cuarzo-sericita-pirita (QSP).

- Arcillas naranjas (OC).

• **Clasificación de dominios mineralógicos en el yacimiento Corona:**

Los límites o contornos de los dominios geológicos se clasificaron en; difusos o gradacionales, y físicos. En el caso de los yacimientos gradacionales (cobre porfirico), los límites se definen sobre la base de una ley económica o *cutoff* (Figura N°6):

- Supergeno (sg) = cc, cv, cpy, bn, py, etc. (no óxidos).
- Hipógeno (hy) = cpy, bn, py (no óxidos).
- Mixtos (mx) = óxidos (he, go, ja) + sulfuros (cc, cv, cpy, bn, py, etc.).
- Óxidos (ox) = óxidos (he, go, ja).

III. RESULTADOS Y DISCUSION

Interpretación de la información: El yacimiento Corona presenta características comunes de un sistema porfirítico, en donde se describen las áreas mineralizadas en un sistema de dominios mineralógicos de oxidación, mixto y de enriquecimiento supérgeno e hipógeno (Figura N°6).

Es así como la caracterización de los tipos de ensamblajes de alteración y dominio mineralógico del yacimiento Corona fueron obtenidos con el logueo geológico de las campañas de perforación ya señaladas en el presente trabajo de investigación.

Por último, dichos ensamblajes de alteración son los que definen el zoneamiento genético y su ocurrencia pervasiva, selectiva, sobreimpresión, en venillas y fracturas, según los porcentajes de los minerales de alteración que lo conforman (Figura N°5).

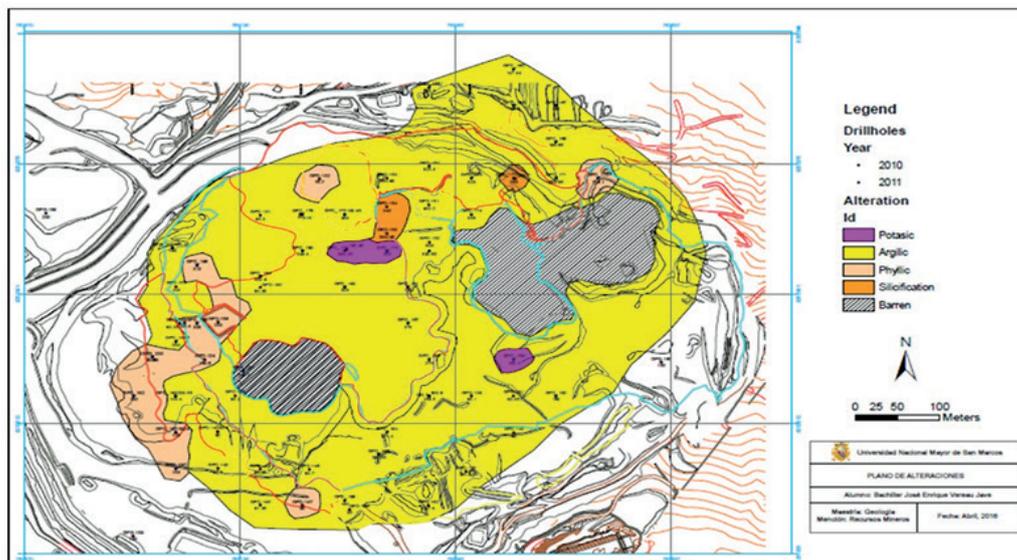


Figura N°5. Mapa de alteraciones hidrotermales.
Fuente: Elaboración propia.

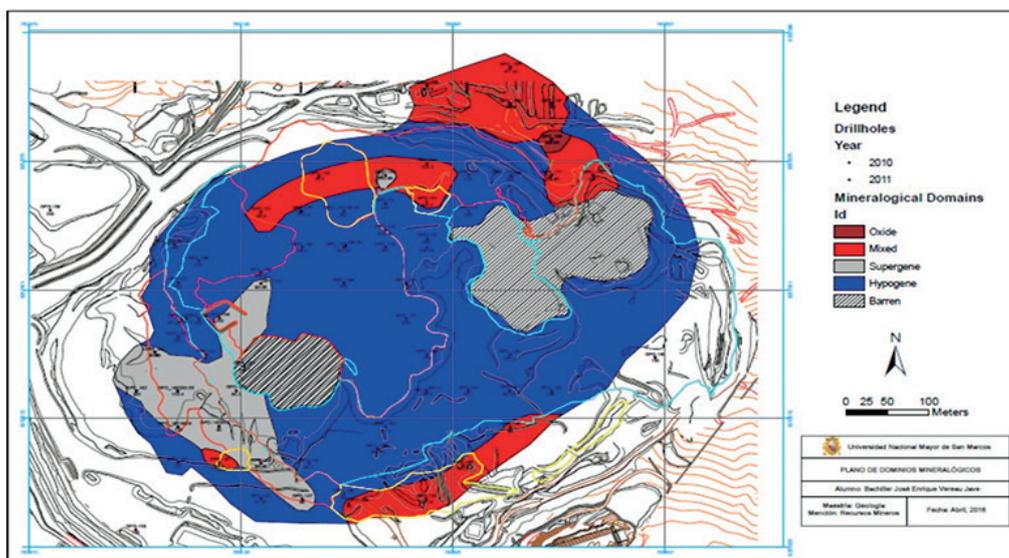


Figura N°6. Mapa de dominios mineralógicos.
Fuente: Elaboración propia.

3.1. Mapa de Ensamblajes de Alteración (Pervasiva, Selectiva, Sobreimpresión, Venillas y Fracturas)

Este mapa sirve para definir el tipo de alteración según los porcentajes de los minerales de alteración (Figura N°5).

Los ensamblajes de alteración (pervasiva, selectiva, sobreimpresión, venillas y fracturas) en el área del tajo Corona son descritos en los logueos geológicos realizados por geólogos con experiencia en su reconocimiento y correlación, tanto en cuerpos porfiríticos, como en estructuras epitermales, con altos contenidos de oro. Por ello, es aquí donde la descripción geológica que se realiza sobre los testigos de perforación sirvió para su correlación y lograr la elaboración de un mapa de alteraciones sobre los niveles descritos, a 3,840 m.s.n.m.

Con la obtención de los testigos diamantinos, se logró describir estructuras de sobreimpresión de naturaleza silícea, en cajas de alteraciones del pórfido Corona propiamente dichas. Es decir, se hallaron dos ocurrencias mineralógicas y de ensamblajes de alteración distintos, y a su vez con valores de oro distintos.

Ya habiéndose afirmado lo anterior, la discusión se centrará en los próximos años, en definir la ocurrencia de dos yacimientos con diferentes temperaturas de formación.

En la Figura N°5, que mostraba alteraciones muy importantes dentro del área del *pit* Corona, donde si bien es cierto que predominaban las de tipo pórfido sobre dicho nivel, se observaban también áreas con mayor concentración de estructuras epitermales de oro, junto con alteraciones propias de un sistema tipo pórfido de cobre-oro.

Por lo que la presente investigación expone y delibera sobre las ocurrencias de las alteraciones dentro del tajo Corona y sus beneficios implicados. Es decir, en los tipos de tratamiento a ensayar para optimizar la extracción de oro y evitar las mermas y/o castigos, con la elaboración de asociaciones mineralógicas implementadas dentro de un programa que dosifique y logre la optimización de dicho recurso y su rentabilidad.

La descripción de las alteraciones y de las estructuras silíceas con altos valores de oro, que se presentan entrelazadas en un complejo ensamble de estructuras de cuarzo propias de un sistema tipo porfirítico en el área del *pit* Corona con valores de cobre-oro, hace difícil su definición dentro del *yacimiento* Corona, tal como se observa en la Figura N°5 (Vereau, 2018).

3.2. Mapa de Dominios de Mineralización

Las zonas de dominio de mineralización son aquellas en donde la oxidación, el intemperismo, la lixiviación y el posterior enriquecimiento secundario, han llevado a la formación de cuatro dominios mineralógicos sobre el área del *pit* Corona (Figura N°6), con un comportamiento metalúrgico claramente distinto: el dominio superior y el dominio de óxidos, que se caracteriza por la remoción total de la mineralización de cobre debido a la oxidación y lixiviación.

La mineralización de oro, ubicado dentro del dominio de óxidos, si bien se caracteriza por contar con una ley

de oro un tanto mayor, que es fácil de procesar debido a la descomposición total de los minerales de sulfuros primarios; está relacionada con estructuras de naturaleza silícea propias de un ambiente epitermal, dentro del área del pórfido Corona.

Todo el mineral que yace debajo del dominio de óxidos comprende las partes de la zona de sulfuros, que a su vez está dividida en tres dominios principales. Estos, de arriba hacia abajo, son: el dominio mixto, el dominio supergénico, (manto de cobre enriquecido, compuesto por calcocita-covelita-calcopirita, con leyes en el rango de 1% de Cu), y el dominio hipogénico (zona de sulfuros primarios).

Las zonas de mineralización fueron determinadas por la predominancia en porcentajes de los minerales ya mencionados.

3.3. Control Estructural en el Área del Yacimiento Corona

El control estructural del norte del Perú generalmente ha sido estudiado por zonas locales, con muy pocas investigaciones que hayan tratado de hacer una correlación espacial y temporal.

La principal característica asignada es la de corredores estructurales, que controlan la disposición espacial de los depósitos minerales. La interpretación sugiere que todos estos corredores estructurales se originaron en las grandes fallas regionales de rumbo andino, que debido a la convergencia oblicua de las placas tectónicas, por lo general tienen un componente de rumbo asociado (*strike slip*).

El corredor estructural Michiquillay-Hualgayoc está relacionado con el sistema de fallas de rumbo andino Punre-Canchis (Rivera, 2008).

La intrusión del pórfido Corona se ha emplazado en la intersección normal andino (transandino) de estructuras andino-paralelas, que es una característica típica de la metalogía de la provincia de Cajamarca.

Un sistema de fallas dominante, con orientación noreste-suroeste, atraviesa el intrusivo y determina cómo la tendencia de la falla Mariela tiene una importante relación con la distribución de la mineralización.

Dentro del depósito, existen tres zonas mineralizadas distintas: la Zona Anillo, la Zona Norte y la Zona Sur.

En cada una de ellas se trata por separado el modelamiento geológico y el de recursos. Además de las zonas mineralizadas, el depósito se caracteriza por tener varios dominios que cumplen con el grado de oxidación y de erosión.

Procesos de oxidación y lixiviación supergénico en Corona han conducido al desarrollo de una débil a moderada capa de enriquecimiento de cobre, lo que ha permitido la subdivisión del depósito, desde la superficie hacia abajo; en una zona de óxido, una zona de óxido y sulfuro mixto, una zona secundaria enriquecida (supergénico), una zona de sulfuro y una zona hipogéna de sulfuros primarios.

- **El cinturón sedimentario alrededor del yacimiento Corona:** El pórfido Corona se encuentra instruyendo a una secuencia calcárea del Cretácico temprano a medio, y está relacionado a un fuerte control estructural, que tiene orientaciones de: Norte 55° al Este, y Norte 60° al Oeste; e hizo de esta una zona con debilidad estructural, idónea para el emplazamiento de cuerpos intrusivos, envueltos en rocas calcáreas (Figura N°7).

Estas rocas calcáreas presentan una alteración de *skarn* con mineralización de zinc y plomo, con temperaturas de formación 400°C a 600°C.

La intrusión en Corona se alojó a finales del Cretácico, instruyendo a la formación Pariatambo, constituida de calizas limosas, en donde la mineralización en *exo skarn* se limita a unos 20 metros de espesor en promedio, del contacto entre la diorita y los paquetes calcáreos (Goldfields, 2009).

3.4. Discusión

El presente trabajo de investigación sobre el yacimiento Corona toma importancia debido a que es uno de los 14 yacimientos de pórfido de cobre, oro y molibdeno conocidos del período Terciario; y uno de los 19 yacimientos epitermales de oro y plata que se encuentran en la provincia metalogénica de Cajamarca.

En donde se diseñó el programa de perforación diamantino o infill corona en donde se obtuvieron datos e información que sirvieron para la validación de las reservas potenciales entre el diseño del *pit* actual y las reservas sin restricciones.

Asimismo, se probaron las recuperaciones y grados de dureza entre los bancos ubicados a 3,620 m.s.n.m. y 3,500 m.s.n.m., y se exploraron los niveles de arcilla para la construcción de la planta de tratamiento de agua con CO₂ (TSF), la presa de relaves y el UCB (manta de contención de las aguas) de la presa de relaves.

También se mejoraron las categorías y medición de reservas, y se validó el potencial de las zonas oeste y norte del *pit* Corona, de acuerdo con los resultados obtenidos en cada una de las campañas de perforación diamantina realizadas.

Se concluyó que el tamaño y el grado de mineralización del yacimiento Corona son característicos de los depósitos tipo pórfido que se encuentran en todo el mundo.

De otro lado, la alteración y mineralización en el área del yacimiento representa un sistema magmático-hidrotermal que cambió a nivel químico y se desplomó en el tiempo, dando lugar a intensos ensambles de alteración de sobreimpresión y de mineralización relacionada a ella, así como a estructuras silíceas de características epitermales (Gustafson, Vidal, Pinto, & Noble, 2004).

A razón de los resultados obtenidos, se procedió a recomendar la conformación de unidades geometalúrgicas que ayuden a mejorar la recuperación de oro y cobre en la extracción sobre el área del *pit* Corona. Tales unidades geometalúrgicas se confeccionaron a partir de los ensambles de alteración y de dominios mineralógicos que se elaboraron con la descripción geológica de los testigos de perforación, que se obtuvieron en las campañas de extracción de sondajes diamantinos respectivamente.

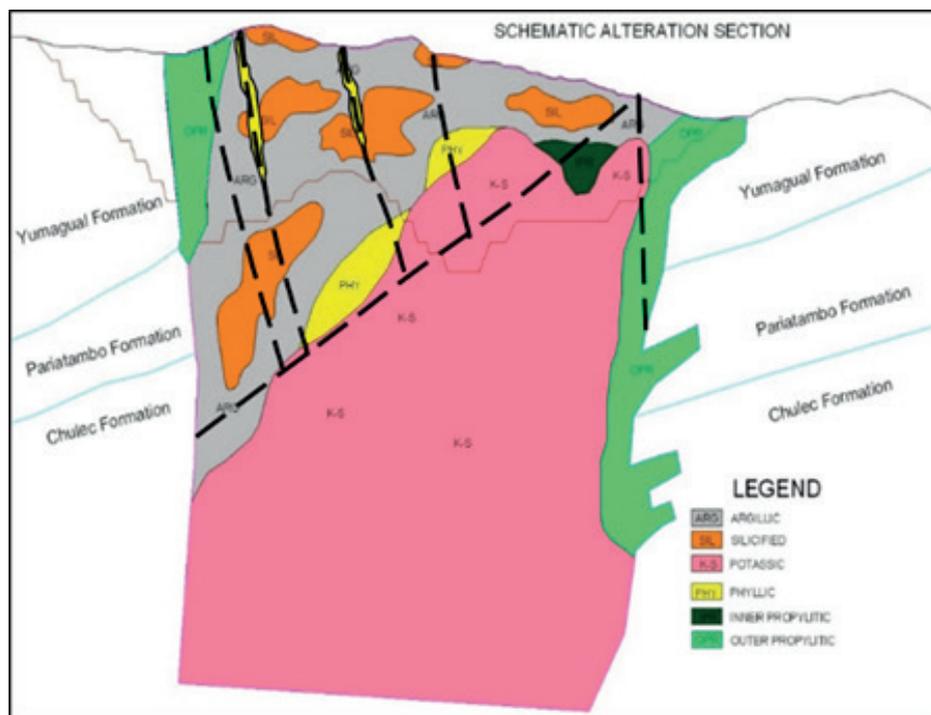


Figura N°7. Esquemización del zoneamiento lateral de las alteraciones en el yacimiento Corona. Geología del Pórfido de Cu – Au, de Cerro Corona, Gold Fields La Cima S.A

Con las unidades geometalúrgicas se logró identificar las zonas o áreas con características similares que ayudaban a mejorar la recuperación de los valores de oro y cobre en la mina. Aquello permitió, a su vez, mejorar los ingresos económicos de la operación minera, para que pueda ser distribuido en beneficio de sus accionistas y de la repartición de impuestos y regalías derivados, así como el beneficio a las comunidades aledañas.

Entonces, un acápite de interés dentro de los resultados obtenidos de la descripción geológica, en el presente trabajo, fue el hallazgo de dos ambientes de alteración y mineralización distintos en dimensión y valores; un ambiente porfirítico y otro estructural de naturaleza epitermal, con altos valores de oro, que muestran distintas épocas de formación y no de sobreimpresión.

IV. CONCLUSIONES

1. El área que involucra al *stock* Corona presentaba características de un sistema porfirítico de cobre y oro, correspondiente a una diorita y la existencia de estructuras de naturaleza silícea con altos valores de oro, relacionadas a un ambiente epitermal.
2. Dicho sistema porfirítico se encuentra emplazado e instruyendo a unidades calcáreas del Cretáceo inferior de la formación Pariatambo con un fuerte control estructural N55°E y N60°O.
3. Las estructuras de naturaleza silícea son reconocidas en su descripción; zoneamiento y mineralogía dentro del contexto del pórfido diorítico Corona.
4. Tomando como base fundamental la identificación y el reconocimiento de todas aquellas alteraciones que describen al pórfido Corona, así como la presencia de alteraciones de estructuras silíceas propias de un sistema de naturaleza epitermal, que las acompaña, pero de distintas temperaturas de formación, el pórfido Corona muestra características comunes de un sistema porfirítico, en donde se describen las áreas mineralizadas con un sistema de dominios mineralógicos de oxidación, mixto y de enriquecimiento supérgeno e hipógeno.
5. Hay una importante relación alteración-mineralización con altos valores de oro en las estructuras epitermales, que son presentadas en los trabajos de descripción geológica y mineralógica, así como alteraciones propias de un pórfido en el área del yacimiento Corona de carácter argílica, filica, potásica y potásica débil.
6. La identificación de cuerpos de naturaleza silícea es de vital importancia para la explotación, extracción y posterior beneficio en Corona, ya que esta se expone a manera de estructuras de sílice con altos valores de oro y contaminantes que se entrelazan con estructuras de venas de cuarzo de tonos grises a rosados, propias del pórfido de cobre del *stock* diorítico Corona. Estos deben ser evaluados para definir la rentabilidad del recurso económico de mayor valor, el oro (Au), así como de los contaminantes como el arsénico (As).
7. De igual modo, la identificación del zoneamiento genético de la mineralización dentro del área del *stock* Corona debe llevar a optimizar los recursos mineralógicos que de él se extraen, presentando zonas con estructuras silíceas y altos valores de oro; zonas con altos valores de cobre supérgeno, como la calcosina y zonas hipógenas de sulfuros de cobre, como calcopirita con pocos contaminantes.
8. También se hallaron estructuras de naturaleza silícea con altos valores de oro, caracterizadas por la destrucción total de la textura original, lo cual mostraba una textura obliterada, donde la roca se presenta como una masa silícea con alto grado de hidrólisis posible.
9. La textura generada por el paso de los fluidos con bajo pH, lixivian algunos minerales de la roca original, como los fenos. Esto genera una textura oquerosa, que se presentan en varias estructuras silíceas dentro del área del pórfido Corona.
10. La descripción o logeos de los testigos de perforación extraídos en el área del *pit* Corona es de vital importancia porque obliga a describir los pulsos de mineralización y alteración ocurridos en el área del pórfido Corona, así como a definir los eventos que involucran a estructuras que pertenecen a un ambiente epitermal de distinta presión y temperatura de formación, en un contexto porfirítico con alteraciones y mineralización propias de un pórfido.

V. AGRADECIMIENTOS

Me siento muy agradecido con Dios, con mis profesores que fueron mi ejemplo y grandes mentores en mi formación académica y espiritual, lo cual motivo a mi desarrollo académico.

A mi esposa por su comprensión y deseo de superación.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Gustafson, L.B., Vidal, C. E., Pinto, R., & Noble, D. C. (2004). Porphyry-Epithermal Transition, Cajamarca Region, Northern Peru. Society of Economic Geologists, *Geological; Andean Metallogeny: New Discoveries, Concepts, and Updates*, 11, pp. 279-300, ISBN 978-1-629496-29. Recuperado de <https://www.tib.eu/en/search/id/BLCP%3ACN054809267/Porphyry-Epithermal-Transition-Cajamarca-Region/>
- Rivera, R. (2008). *El corredor estructural Michiquillay-Hualgayoc*. VIII ProExplo Control Estructural Producción Reservas Franjas metalogenicas norte Perú. Recuperado de <https://laboratorio.ingemmet.gob.pe/documents/73138/202784/003>
- James, J. (1998). *Geology, Alteration and Mineralization of the Cerro Corona Porphyry Copper-Gold Deposit, Cajamarca*

Province (Tesis no publicada de Maestría en Ciencias). University of British Columbia. Vancouver, Canada. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2429/7739>

Vereau, E. (2018). *Zoneamiento genético de la mineralización y su relación con la extracción y recuperación de minerales en el área del yacimiento Corona, Perú* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). <http://www.sgp.org.pe/wp-content/uploads/20190206.Zonamiento-gen%C3%A9tico-de-la-mineralizaci%C3%B3n-y-su-relaci%C3%B3n-con-la->

[extracci%C3%B3n-y-recuperaci%C3%B3n-de-minerales-en-la-mina-Cerro-Corona-Cajamarca.pdf](#)

Wilkinson, J., y Wurst, A. (2011). *Control of the Clay Mineral and Gold Distribution at Cerro Corona Perú (Project PhD)*. Department Earth, Science and Engineering of Imperial College. London, United Kingdom. Recuperado de <https://studylib.net/doc/6893656/cerro-corona-phd-2011>

Goldfields (2009). *Geology of the Cerro Corona Porphyry Copper - Gold Deposit*. Lima, Perú. Recuperado de https://www.goldfields.com/reports/rr_2009/tech_cerro.php