

ZONEAMIENTO Y PATRONES DE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN EL DEPÓSITO DE ALTA SULFURACIÓN CERRO YANACOCOA DISTRITO MINERO YANACOCOA-CAJAMARCA PERU

Jakson Vilchez, Karin Dávalos, Richard Pilco y Jesús Reyes

Minera Yanacocha S.R.L. Av. Camino Real 348, Torre El Pilar – Piso 10, Lima 27, Perú.

Email: jakson.vilchez@newmont.com , karin.davalos@newmont.com , richard.pilco@newmont.com , jesus.reyes@newmont.com

RESUMEN

El yacimiento Cerro Yanacocha es el depósito con mayor contenido de onzas de oro dentro del Distrito Minero Yanacocha. Está emplazado en un complejo volcánico de edad miocénica (Turner 1997, Longo 2005) generado a partir de múltiples eventos de vulcanismo y actividad hidrotermal (reportes internos 1985-2009 MYSRL) que han generado diversos episodios y estilos de alteración hidrotermal del tipo ácido-sulfato. Durante los últimos años se han realizado estudios específicos para entender la distribución de los patrones de alteración hidrotermal, esto se ha efectuado con la ayuda de instrumentación como: PIMA®, Terraspec®, y XRD (X-ray diffraction). Los patrones de alteración hidrotermal encontrados en los sondeos, siguen el ejemplo clásico del estilo de alta sulfuración (White & Hedenquist, 1990, Panteleyev 2005) con algunas particularidades propias del yacimiento, especialmente en lo relacionado a la alteración argílica avanzada. El zoneamiento lateral y vertical se desarrolla desde un núcleo silíceo (masivo > vuggy > granular), pasando a una alteración argílica avanzada caracterizada por: sílice alunita dispuesta en la parte inferior y lateral de la alteración silícea, gradando verticalmente a sílice pirofilita y un núcleo de sílice diáspora en profundidad. Lateralmente, rodeando a las alteraciones antes mencionadas, se ha desarrollado la alteración argílica y en la parte más externa del sistema se tiene presencia de alteración propilítica. Las alteraciones presentan una relación espacial coincidente con las rocas huésped (afinidad química) y la distribución espacial de los ensambles mineralógicos que los constituyen evidencian una gradiente geotérmica y acidez fluctuante en el sistema.

UBICACIÓN

El distrito minero Yanacocha está ubicado a 20Km al norte de la ciudad de Cajamarca, en el distrito de la Encañada, provincia y departamento de Cajamarca en la sierra norte del Perú. El yacimiento Cerro Yanacocha se encuentra emplazado en la zona centro-este del Distrito Minero Yanacocha, abarcando un área de 2.5 km². (Figura 1)

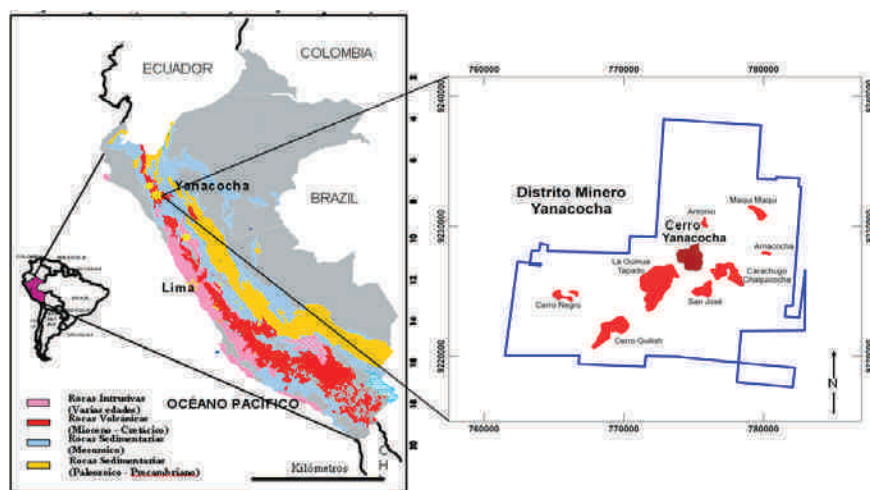


Figura 1. Mapa de Ubicación del Depósito Cerro Yanacocha.

GEOLOGÍA REGIONAL

El Distrito Minero Yanacocha está emplazado dentro de volcánicos terciarios del Grupo Calipuy, en el sector norte de la Cordillera Occidental en los andes peruanos. (Wilson, 1985). Se encuentra controlado por estructuras regionales de dirección NW-SE y NE-SW, correspondientes al lineamiento andino y al corredor estructural Chicama-Yanacocha (Quiroz, 1997) respectivamente.

GEOLOGÍA DEL DEPÓSITO CERRO YANACOCHA

La base de la secuencia volcánica está conformada por flujos de tufos líticos, lavas y lahares de composición andesítica denominada unidad **Lower Andesite**; sobreyaciendo a la anterior, se encuentra un flujo piroclástico andesítico rico en cristales, con ocasionales fragmentos de cuarcita y líticos milimétricos, esta unidad es denominada **Teut**. La parte superior de la secuencia lo conforma una unidad piroclástica, igualmente andesítica, caracterizada por presentar abundantes fragmentos líticos suspendidos en una matriz de cristales muy finos denominada **Usj**. Cortando a la secuencia volcánica se tiene: un Complejo de Intrusivos (dacíticos y andesíticos) y un Complejo de Brechas Intrusivas (generadas a partir de los Intrusivos dacíticos). Brechas hidrotermales generalmente se encuentran cortando las brechas freáticas preexistentes, a lo largo de grandes fallas (E-W, NE-SW), relacionadas a eventos tardíos magmáticos y a brechas intrusivas preexistentes (en los bordes de los intrusivos). En la zona norte del depósito, se emplaza un cuerpo de diatrema de composición andesítica. (Figura 2)

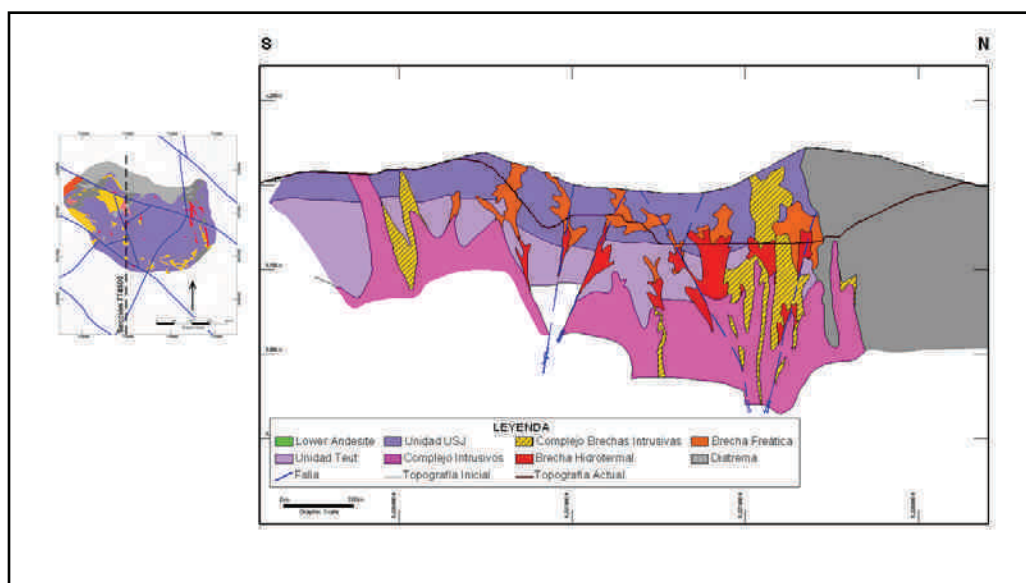


Figura 2. Sección Longitudinal 774500 (Mirando al W) Litología del Depósito Cerro Yanacocha

ZONEAMIENTO Y PATRONES DE ALTERACION HIDROTHERMAL

En la última década, se han realizado estudios específicos para identificar y cuantificar minerales de alteración hidrotermal con la ayuda de instrumentos como: PIMA®, Terraspec® y XRD. Con los resultados obtenidos e interpretaciones realizadas, los patrones y zoneamiento de alteraciones hidrotermales existentes en el depósito son (Figura 3):

ALTERACIÓN SILÍCEA

La alteración silíceo en el depósito tiene una extensión de 1500m x 750m en superficie, con un espesor de 250m en promedio. Debido al significativo volumen de esta alteración en el depósito se ha realizado una subdivisión en tres subtipos, los cuales de menor a mayor volumen, son:

Sílice Granular: de textura sacaroide, no muy desarrollada en el depósito. Se ubica en la parte alta del sistema, afecta mayormente a la unidad Usj en el sector N-NE del Cerro Yanacocha (Mirador).

Sílice Vuggy: como resultado de la lixiviación de cristales de la roca original provocada por circulación de soluciones ácidas en la fases de gases magmáticos (Hedenquist et al 2000, Arribas 2005, White 1991) en condiciones bajas de temperatura. Afecta a las unidades piroclásticas (Usj y Teut). Se la encuentra mayormente asociada a la textura masiva.

Sílice Masiva: El volumen de esta alteración (90% del depósito) hace sui generis al depósito Yanacocha, no comparable con los clásicos depósitos como Summitville (Steven & Rattle, 1960) o Rodalquilar (Arribas , 2005) donde se reporta la sílice de textura vuggy como textura predominante en sistemas de alta sulfuración . Esta alteración se encuentra debajo y bordeando a las texturas de sílice anteriores, geométricamente es tabular y en términos de volumen es la que predomina en el depósito. Es generada por múltiples eventos de ebullición y sobresaturación, conformando grandes volúmenes en el orden de centenas de MM de toneladas. Se emplaza preferentemente en niveles superiores asociada a las unidades Usj como Teut.

ALTERACIÓN ARGÍLICA AVANZADA (Cuarzo-alunita-pirofilita-diáspora)

Sílice Alunita (cuarzo+alunita+pirofilita+pirita): ocurre en la parte inferior y lateral de la alteración silícea, rellenando oquedades y espacios abiertos generados por la fase de lixiviación ácida. La presencia de alunita indica condiciones de pH ácido, ligeramente por encima de 2 a temperaturas cercanas a los 150-200 °C (Hedenquist & Arribas, 1996). Esta alteración guarda relación geométrica con la parte inferior de la unidad Teut y parte superior del complejo de intrusiones y brechas. La alunita esta mayormente relacionada a un nivel de 100-200 metros de espesor, sin embargo también se ha evidenciado existencia de alunita en venillas y brechas hidrotermales que se emplazan en niveles superiores

Sílice Pirofilita (cuarzo+pirofilita+alunita+pirita): el mayor volumen se ubica en la parte inferior del sistema, gradando a partir de la sílice alunita. La sílice pirofilita se la encuentra geométricamente relacionada con la parte superior y lateral del complejo de intrusiones y brechas intrusivas así como en el borde de la diatrema.

Sílice Diáspora (cuarzo+diáspora+pirofilita+alunita+pirita): El ensamble sílice diáspora ha sido identificado en profundidad (Figura 3), por debajo de la sílice pirofilita, concordante geométricamente con el complejo de intrusiones y brechas intrusivas (intrusiones dacíticas principalmente). La diáspora es un mineral que nos indica un ambiente de formación con pH cercano a 3.5 y con temperaturas superiores a los 250°C.

Los rangos de temperatura y pH considerados fueron estimados a partir del diagrama de: Estabilidad térmica de los diversos minerales hidrotermales que se producen en el entorno epitermal bajo condiciones ácidas y pH neutro, y la gama de temperaturas típicas de deposición de los minerales epitermales (White & Hedenquist, 1995).

ALTERACIÓN ARGÍLICA (caolinita+illita+muscovita+smectita+montmorillonita)

Esta alteración grada a partir de las zonas de alunita-pirofilita en forma lateral, pasando progresivamente a caolinita-illita-muscovita. Gráficamente se correlaciona con las intrusiones (parte lateral del complejo) y el cuerpo de diatrema.

ALTERACIÓN PROPILÍTICA (Clorita+epidota+calcita+pirita)

Se presenta en los márgenes del sistema, emplazada sobre el cuerpo de diatrema y débilmente sobre intrusiones dacíticas-andesíticas tardías.

Adicionalmente a lo antes descrito, cabe mencionar que en el sistema del Cerro Yanacocha se ha reportado coexistencia de fases minerales de diferente temperatura y pH de formación.

CONCLUSION

De las observaciones y resultados de análisis, se postula que los patrones de alteración en el depósito Cerro Yanacocha presentan una relación espacial coincidente con las rocas huésped (afinidad química) que sugiere un control litológico que a su vez está relacionado a unidades permeables y niveles de emplazamiento (relacionado a gradiente de temperatura), la distribución espacial de los ensambles mineralógicos que los constituyen muestran una gradiente geotérmica y pH fluctuante conformando cuerpos de alteración masivos en una disposición de cambio gradacional conformando un patrón de zoneamiento vertical y horizontal. No se observa una estrangulación de los cuerpos hacia profundidad que podría sugerir la presencia de “feeders”, sino un cambio de los ensambles mineralógicos con una continuidad del sistema hidrotermal hacia profundidad.

En la Figura 3 observamos la distribución de los ensambles de alteración predominantes interpretadas en base a medidas sistemáticas de XRD (medidas en cores), muestran un patrón de zoneamiento de alteraciones en el depósito, con un núcleo central compuesto por un cuerpo de “sílice masiva” gradando lateralmente a los ensambles de sílice alunita, sílice pirofilita y en el borde las alteraciones argílica y propilitica, en sentido vertical la sílice masiva grada a sílice alunita, sílice pirofilita y sílice diáspora en profundidad. Las curvas de temperatura graficadas se han establecido en analogía con los modelos propuestos para los depósitos de alta sulfuración (Hedenquist & Arribas, 2006) teniendo en cuenta la temperatura de estabilidad y formación de los ensambles mineralógicos descritos. Un aporte importante de esta presentación es mostrar la ocurrencia y disposición del ensamble sílice-diáspora-pirofilita que evidencia el agotamiento (escasez) de SiO₂ y un enriquecimiento de Al en niveles profundos del sistema (Hedenquist & Arribas 2006). Esta distribución de las alteraciones muestran al depósito “Cerro Yanacocha” con un patrón propio de alteración, información que contribuirá al mejor entendimiento de los depósitos epitermales de alta sulfuración. (VILCHEZ & DÁVALOS & PILCO & REYES, 2009).

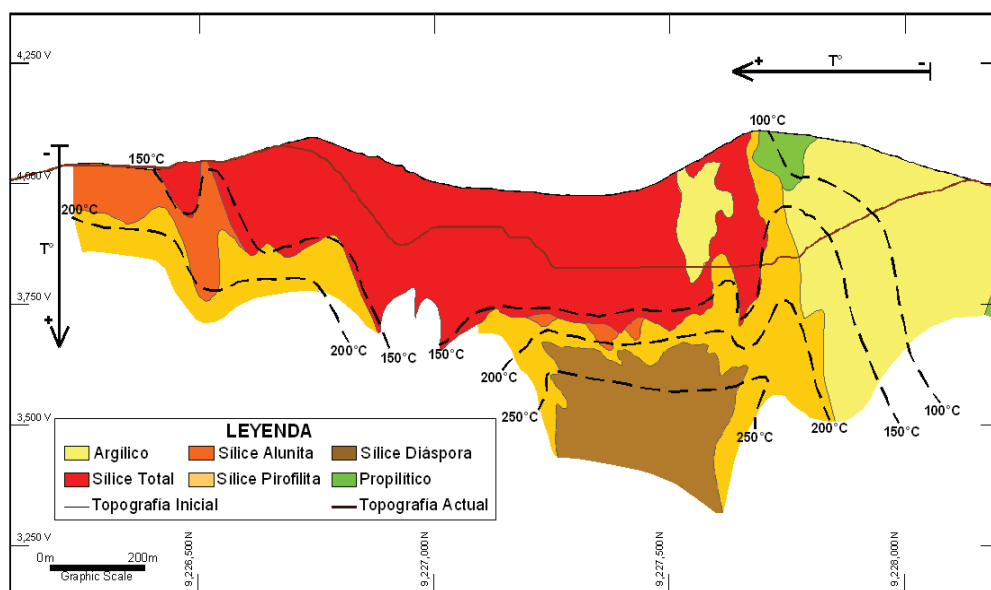


Figura 3. Sección Longitudinal 774500
Distribución de Ensamblas de Alteración Predominante y Gradientes Geotérmicas Asociadas (referenciales)

AGRADECIMIENTO

A todo el equipo de Geología de Minera Yanacocha SRL que durante los últimos 10 años han ido dando aportes importantes para el mejor entendimiento de las alteraciones hidrotermales en el Depósito Cerro Yanacocha, en especial para el grupo del Proyecto Yanacocha Verde que viene realizando trabajos de investigación adicionales para obtener el óptimo desarrollo del yacimiento.

REFERENCIAS

- Corbett, J. & Leach, T., 1997. "Southwest Pacific Rim Gold Copper Systems: Structure, Alteration and Mineralization" – Short Course Manual.
- Longo, A., 2005. "Evolution of Volcanism and Hydrothermal Activity in the Yanacocha Mining District, Northern Perú". PhD. Thesis, Oregon State University, U.S.A.
- Pilco, R. & Vilchez, J. & Davalos, K. & Reyes, J., 2009. "Reportes Mensuales - MYSRL". Reportes Internos – Geología de Mina – Proyecto Yanacocha Verde – Minera Yanacocha SRL.
- Quiroz, A., 1997. "El Corredor Estructural Chicama – Yanacocha y su Importancia en la Metalogénia del Norte del Perú". IX Congreso Peruano de Geología. Resúmenes extendidos. Sociedad Geológica del Perú, Volumen especial (Pág. 149-154).
- Sillitoe, R., 1996. "Comments on Geology and Exploration of The Yanacocha Gold District, Perú" – Reporte Interno Newmont Exploration Ltd.
- Staff De Geologia De Exploraciones Y Mina., (1985-2009). "Reportes Internos - MYSRL". Geología de Exploraciones y Mina – Newmont Perú Ltd. & Minera Yanacocha SRL.
- Turner, S.J., 1997. "The Yanacocha Epithermal Au Deposits, Northern Perú: High-Sulfidation Mineralization in a Flow Dome Setting". PhD. Thesis, Colorado School of Mines, Colorado, U.S.A.
- White, N., & Hedenquist, J., 1995. Epithermal Gold Deposits: Styles, Characteristics and Exploration. – Newsletter of Soc. Econ. Geol. 23: 9-13
- Hedenquist, J.W. & Izawa, E. & Arrivas, A. & White, N., (1996) "Epithermal gold deposits – Resource Geology Special Publication, Society of Resources Geology, Japan.
- Wilson, J., 1985. "Mapa Geológico del Cuadrángulo de Cajamarca". Sector Energía y Minas, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú. República del Perú.