

Controles Estructurales como guía de exploración de los cuerpos de borde (OB13 y OB9) del Yacimiento Cerro Lindo.

Sheyla Pinto Amaro¹, Nils Sarmiento², Peter Cerna³

¹ Nexa Resources S.A.C, Lima, Perú (sheyla.pinto@nexaresources.com)

² Independiente, Lima, Perú (nsvgeology@hotmail.com)

³ Independiente, Cajamarca, Perú (peter.cerna@hotmail.com)

1. Abstract

Cerro Lindo is a volcanogenic massive sulphide deposit (Kuroko Type) with Zn, Cu, Ag and Pb mineralization hosted in a volcano- sedimentary sequence of Huaranguillo Formation (Albian) limited by the intrusion of the Coastal Batholith. This deposit is composed by 14 ore bodies with a clear alignment in a NW-SE. These ore bodies are configured in 4 principal trends along the volcanic basin.

The mineralization is controlled by 2 faults system. A NW-SE extensional system which generated the basin configuration and presented several reactivations during the mineralization emplacement, and N-S system as feeders of the Zn, Cu, Pb and Ag mineralization. A post mineralization intrusion of porphyritic andesitic dikes with an orientation NNE-SSW that cross-cut all the mineralization. Additional to these systems there are NE structures associated to ore remobilization at the Eastern of the deposit that are considered as small ore bodies with high economical grades as new targets.

2. Introducción

El yacimiento Cerro Lindo está definido como un VMS de tipo Kuroko (Zn, Cu, Pb y Ag) con un potencial de 200 Mt de mineral, ubicado en el distrito de Chavín, Provincia de Chíncha, departamento de Ica, a 175 km al SE de Lima.

Este VMS se encuentra emplazado en secuencias volcánicas dacíticas - riodacíticas de la formación Huaranguillo (Grupo Casma), dentro de la cuenca Cañete; los cuerpos mineralizados (OB) presentan una dirección NW-SE asociados a 4 direcciones

principales con una longitud de 1.25 Km, 600 m de ancho y 500 m de profundidad aproximadamente.

El yacimiento está controlado por dos sistemas de fallas principales, el sistema NW-SE y N-S con diferentes reactivaciones que han generado el emplazamiento de sulfuros masivos de Zn, Cu, Pb y Ag dentro de una ganga de baritina y de pirita. El sistema NW-SE de carácter regional generó la configuración de la cuenca y presenta múltiples eventos tectónicos cuyas reactivaciones favorecieron el desarrollo de la mineralización primaria en la parte central del yacimiento definiendo la geometría de los cuerpos mineralizados que actualmente se encuentra en explotación. Cabe mencionar la ocurrencia de valores anómalos de oro, el cual presenta buena correlación con Sb-Ag en la parte central del yacimiento. Las fallas del sistema N-S permitieron la migración y la re-movilización de fluidos mineralización hacia roca caja (zonas de borde al NE). Esta zona enriquecida fue posteriormente emplazada por diques tardíos de composición andesítica estériles que cortan los cuerpos mineralizados con una orientación NNE- SSW y como último evento estructural se presentan sistemas post mineralización en sentido E-W.

3. Contexto Geológico

3.1. Geología Local

Localmente, el yacimiento se encuentra dominado por una secuencia volcánico-sedimentaria de composición intermedia – félsica (dacíta-riodacíta) de la formación Huaranguillo del Albiano -106.9 Ma (CODES, 2016) donde se emplazan sulfuros

masivos de Zn, Cu, Pb y Ag. Las zonas periféricas del yacimiento presentan intrusiones de domos riolíticos - 105.7 Ma (CODES, 2016) cortando la secuencia dacítica. El emplazamiento de estos domos presentan un alineamiento NW-SE, los cuales se encuentra cubiertas por niveles volcanoclásticos de composición andesítica hacia el techo.

Esta secuencia volcáno-sedimentaria se encuentra flanqueada por intrusivos de composición granodiorítica. Hacia el Este se tiene la superunidad de Catahuasi - 93.7 Ma (CODES, 2016) con dirección SE-NW de alto ángulo compuesto por granodioritas que genera un metamorfismo de contacto y favorece el emplazamiento de diques dioríticos post mineralización (89.87 Ma). Hacia el Oeste se emplaza la superunidad del Incahuasi (82.35 Ma) con rumbo general NW-SE con componentes N-S de bajo ángulo que generó un fuerte metamorfismo dinámico produciendo un halo de metavolcánico con fuerte foliación y biotización. La distribución y orientación de estos intrusivos dejan la secuencia volcáno-sedimentaria como un roof pendant. Finalmente cortando toda la secuencia mineralizada se emplazan diques porfiríticos andesíticos tardíos - 73.89 Ma (CODES, 2016) con dirección NNE-SSW que se postula como una reactivación estructural tensional, aprovechando zonas de debilidad preexistente.

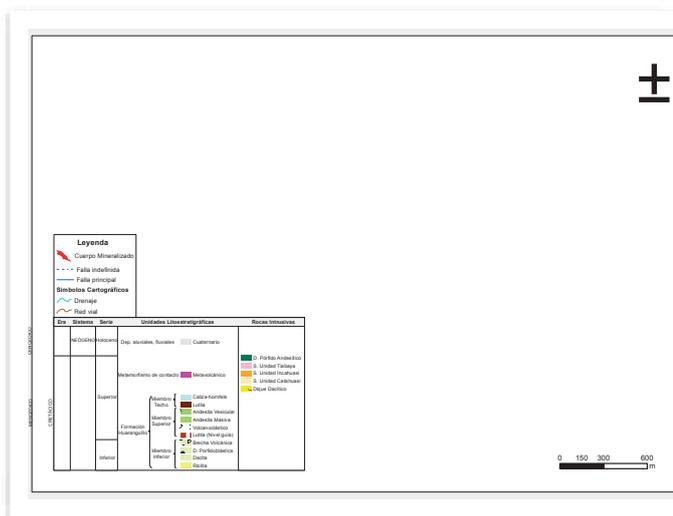


Figura 1.- Mapa de Geología Local Cerro Lindo

4. Mineralización

4.1. Eventos de mineralización

4.1.1. Paragénesis

En base a estudios minerográficos y petrominerográficos de las muestras tomadas a lo largo de todos el yacimiento (Bizalab, 2019) se ha podido generar una asociación de las secuencias paragenéticas de los eventos que han favorecido el zoneamiento de la mineralización económica. Dentro de estas secuencias tenemos una correlación de un primer evento rico en hierro con ocurrencias de pirita – magnetita - pirrotita y localmente rutilo con estructuras NW-SE. Así mismo se tiene la ocurrencia de apy zonal como evidencia de una reactivación del sistema de fallas NS y NW-SE que marca una transición al segundo evento.

Como segundo evento se produce un reemplazamiento de cpy I – sph sobre py-po, mgt desde los bordes al centro, siendo este evento continuo hasta llegar a cpy III y sph III, con disminución gradual de T° precipitando finalmente Gn.

El tercer evento corresponde a los minerales de intermedia a baja temperatura con sulfosales de Pb, Ag y Cu las cuales podrían estar asociadas a un sistema de estructuras tensionales.

Un último evento se presenta con una moderada a fuerte correlación de volátiles Sb y Bi, con valores anómalos en Au (electrum), esta tiene mayor importancia en la zona del OB2B y OB5B.

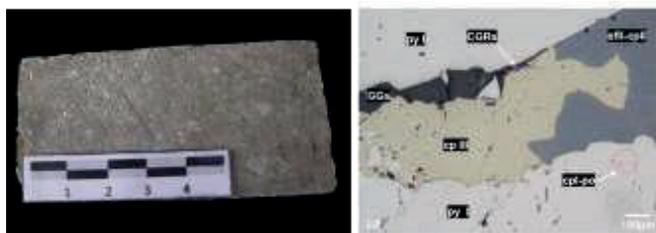


Figura 2.- Muestra OB-9 con la secuencia paragenética principal con la presencia de CGs.

5. Control Estructural

La mineralización en Cerro Lindo obedece a controles litológico-textural y netamente estructural, los cuales definen la geometría del yacimiento, el yacimiento presenta 4 alineamientos de dirección NW-SE asociado a fallas principales:

- **Lineamiento Pahuaypite:** OB1
- **Lineamiento Milpo:** OB2, OB5, OB5B, OB5C, OB5D, OB6.

- **Lineamiento Casuarinas-OB:** OB12, OB3-4, OB2B, OB6B, OB6A, OB7.
- **Lineamiento Patahuasi:** OB10, OB13, OB6C, OB8A, OB8B, OB9.

Posterior a la configuración del yacimiento, un sistema de fallas N-S se asocia con la removilización de fluidos mineralizantes en múltiples activaciones.

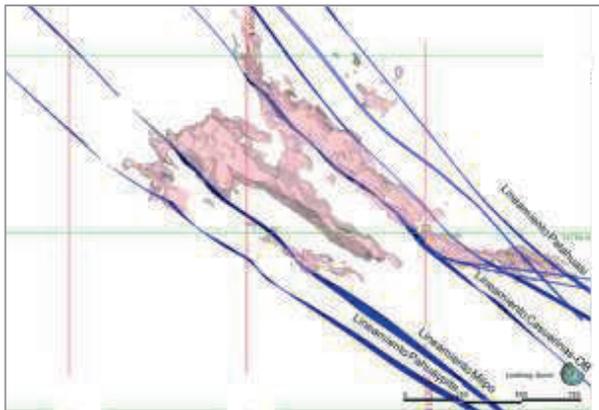


Figura 3.- Vista en planta 3D de los principales Trends estructurales que controlan la extensión de los Cuerpos Mineralizados del Yacimiento.

6. Control Estructural de Cuerpos de Borde

6.1 Control Estructural del OB-9

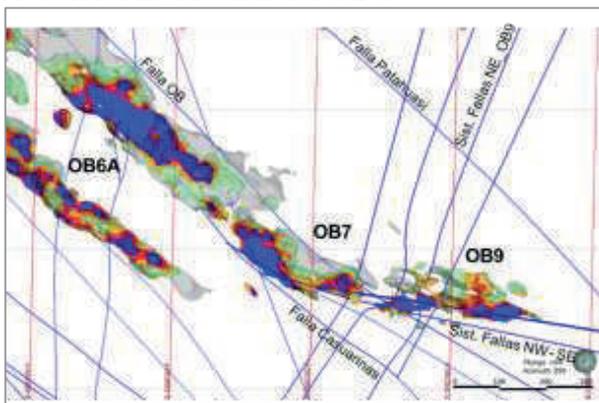


Figura 4.- Plano a nivel del control entre sistema NW-SE y NE en el cuerpo de borde OB-9.

El control estructural y el paleo relieve muestran una estrecha relación con la formación y geometría de los cuerpos mineralizados, en especial en los cuerpos de borde en los cuales se evidencia un cambio textural y mineralógico de manera

gradacional y que podrían explicar la extensión restringida de estos.

Hacia la zona sur del yacimiento se observa un cambio en la orientación de la mineralización entre el lineamiento Casuarinas-OB y el lineamiento Patahuasi, específicamente entre los OB9 y OB7 (Figura4). En esta zona el patrón estructural predominante son los sistemas NW-SE y NE-SW y con menor ocurrencia el sistema N-S de extensión local. Según, análisis de permeabilidad y porosidad de los sondajes exploratorios se evidencia una correlación de la dirección de los sistemas principales con las tendencias de la porosidad y permeabilidad del OB-9. La mineralización se presenta con una ocurrencia en bandas de SPB (sp-py-gn) con orientación N115°, cortado por cuerpos de py-cpy con rumbo NE-SW, esta particularidad se da por la presencia de fallas profundas con dicha orientación. El sistema de fallas NE-SW han sido los conductos favorables para el proceso de removilización, dando origen a un dominio distinto a los sulfuros masivos que son las zonas de volcánicos mineralizado, descritos como volcánicos dacíticos con reemplazamiento de sulfuros diseminados y parches sin una orientación evidente (Cu 0.25 %, Zn 1%, 0.5% Pb, 30 ppm Ag). Este dominio se desarrolla mejor a partir del nivel 1800 tanto lateral como verticalmente, en profundidad son principalmente piritosos y que se han estudiado debido a la explotación de estos niveles.

6.2. Controles Estructural del OB-13.

El OB-13 se encuentra en el borde Este del yacimiento al límite con el intrusivo granodiorítico de la superunidad Catahuasi. Existe una zona de mineralización controlada por el sistema NW-SE (falla Patahuasi) y las N-S, generando cuerpos distales de baritina (menor volumen) y cuya raíz evidencian py-po y cpy puntual. También se observa fallas menores de rumbo NE con buzamiento hacia el NW que generan una zona favorable para albergar mineralización por reemplazamiento compuestos principalmente por sulfuros de Zn, Cu y Ag propios del dominio del volcánico mineralizado. De acuerdo a las correlaciones realizadas en este Cuerpo, el Cu y Ag presentan una fuerte correlación, que podría indicar la asociación de minerales de intermedia temperatura sobreimpuestos a la roca caja. De la misma manera que el OB-9 el emplazamiento del intrusivo desde el Nivel 1820 también genera una restricción para su extensión.

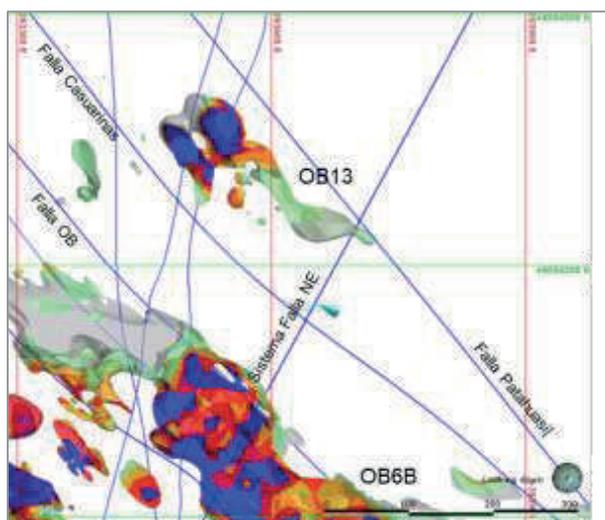


Figura 5.- Plano a nivel del control entre sistema NS y NW-SE limitado por Falla Patahuasi al Norte del OB13

7. Potencial Exploratorio

Teniendo en consideración los tres sistemas de fallas principales asociadas a los eventos mineralizantes y su distribución espacial de los minerales económicos, es posible generar un patrón estructural para los cuerpos distales y definir nuevos targets de exploración.

En la zona del OB-13 la mineralización está asociada a sistemas NW-SE y N-S.

En el sector del OB9, presenta una variación en cuanto al control estructural ya que predomina el NW-SE y NE-SW, y su desarrollo se da a partir del nivel 1800.

Ambos OB-9 y OB-13 tienen potencial lateral restringido al emplazamiento del intrusivo Catahuasi.

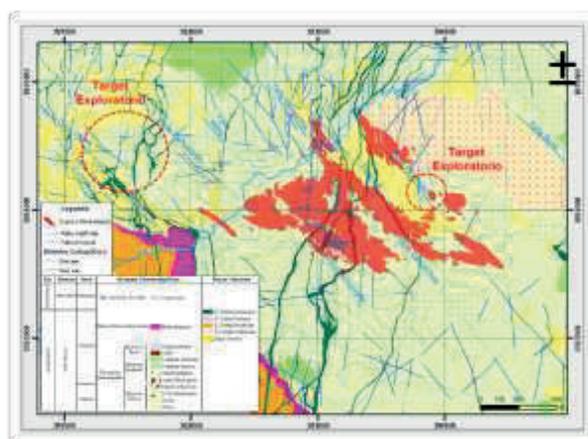


Figura 6.- Plano de ubicación de posibles targets exploratorios en relación a su configuración estructural.

El potencial geológico de estos volcánicos mineralizados y cuerpos distales asociados a estos sistemas de fallas es de 10 a 12 Mt.

8. Conclusiones

El potencial geológico de Cerro Lindo, está ligado a su edad (106.7 Ma) los demás yacimientos de la cuenca Casma están entre 68 y 62 Ma. .

Los controles de mineralización principal son litológicos y estructurales. En tal sentido se ha definido los principales lineamientos que han favorecido la mineralización de la cuenca marcando direcciones principales del reemplazamiento de la roca caja por sulfuros masivos y posteriormente generando una mineralización tardía del volcánico mineralizado.

El zoneamiento y estilo de mineralización, sea de sulfuros masivos o diseminado se generan debido a consecuentes activaciones tectónicas.

En la actualidad se están teniendo más hallazgos sobre el potencial de ampliación considerando los pequeños cuerpos periféricos y los volcánicos mineralizados.

Agradecimientos

Agradecemos a Nexa Resources – Cerro Lindo S.A. el apoyo y autorización del uso de la información para publicar esta contribución, en especial a la Gerencia de Geología y la constructiva revisión del Ing. Jean Paul Bueno.

Referencias

Acosta, J., Santisteban, A. & Huanacuno, D. 2015. Principales franjas metalogenéticas y tendencias

de la dotación plomo y zinc en el Perú. Trabajo presentado en PERUMIN 32 Convención Minera. Arequipa, Perú, 21-25 setiembre 2015, p. 10

Bizalab, Estudio Mineagráfico, petromineragráfico y petrográfico de 72 muestras, para Nexa Resources, Diciembre 2019

Bueno, J.; Herramientas de exploración aplicadas a la generación de nuevos targets en el yacimiento VMS Cerro Lindo. Resúmenes extendidos PROEXPLO 2019, Lima, Perú, p. 332-340.

CODES Technology services, Milpo Report U-Pb August 2016

Doyle, M.G., and Allen, R.L., 2003, Subsea-floor replacement in volcanic- hosted massive sulfide deposits: Ore Geology Reviews, v. 23, p. 183-222.

Ly, Percy, 2000. VMS Deposits of Latin America. Cerro Lindo Project, p.407-422

Monecke, T.; Volcanic Host-Rock Succession of the Cerro Lindo VHMS Deposit, Peru. Workshop Nexa Resources, cerro lindo, August 2019.

Romero, D., Carlotto, V., Tassinari, C. & Quispe, J. 2008. Los depósitos de la cuenca Maastrichtiano-Daniano: relación con los yacimientos tipo sulfuros masivos volcanogénicos de Pb-Zn-Cu; Perú central. Resúmenes extendidos XIV Congreso Peruano de Geología.

Sarmiento, N., Cerna, P., Palma, R. "CERRO LINDO - CONTROL ESTRUCTURAL Y ZONEAMIENTO DE MINERALIZACIÓN". Resúmenes extendidos I CIVGEO, 23-25 julio 2020

Vidal, C. 1987. Kuroko-type deposits in the Middle Cretaceous marginal basin of central Peru: Economic Geology, p. 1409-1430.