

## **Caracterización litogeoquímica y modelo de alteración para determinar su implicancia en los controles de la mineralización del yacimiento VMS Cerro Lindo**

**Maylin Marisel Mendoza Mondragon**

[maylin.mendoza@nexaresources.com](mailto:maylin.mendoza@nexaresources.com)

Universidad Nacional Mayor De San Marcos.

Nexa Resources, Lima, Perú

**Cristina Palacios Allca**

[cristina.palacios@gmail.com](mailto:cristina.palacios@gmail.com)

Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Explomin del Perú, Lima, Perú

### **RESUMEN**

El presente estudio tiene como objetivo caracterizar mediante el uso de la litogeoquímica, la serie magmática y la roca encajonante que tuvieron lugar en la formación del VMS de Cerro Lindo; a la vez se realizó litogeoquímica de alteración para determinar la relación entre mineralogía, litogeoquímica e intensidad de alteración, obteniendo como resultado, vectores hacia el centro del sistema. La finalidad primordial es llevar esa información 2D de los diagramas litogeoquímicos a un enfoque 3D, y así establecer correlaciones con otros controles de la ocurrencia mineral (estructurales, geofísicos, geoquímicos y litológicos). Del análisis e interpretaciones se determinó que Cerro Lindo pertenece a una serie magmática calcoalcalina con alto contenido de K, la roca caja definitivamente corresponde a volcánico félsico con grado de diferenciación de andesita a riolacita según el grado de proximidad a las zonas económicas; es decir el yacimiento está emplazado en el nivel bimodal félsico más antiguo de la cuenca Casma, y son estas primeras etapas de la rotura que suele estar mejor enriquecida en contenidos de mineralización económica principalmente de elementos base seguido de la presencia de Ag<sup>\*</sup>-Au, es justo esta ubicación que lo hace mucho más potente que los demás VMS de la zona. El halo de alteración SerK+ChlFe (Py) tiene mayor potencia y dominio en fallas profundas de menor ángulo, que han traído mineralización económica de Zn -Cu (NW-SE y NE-SW), fallas relacionadas a los cuerpos de alta ley y a zonas de alta cargabilidad; mientras que las fallas poco profundas NW-SE, de mayor ángulo, que traen mineralización de baja ley y relacionadas a cuerpos de borde de baja cargabilidad corresponderían a la alteración Ser-Chl y hacia las zonas más distales del sistema, aparece la alteración SerNa-Chl Mg.

**Palabras clave:** litogeoquímica, modelo de alteración, yacimiento VMS, elementos mayores, tierras raras.

**Lithogeochemical characterization and alteration model  
to determine its implication in the controls of the mineralization  
of the VMS Cerro Lindo deposit**

**ABSTRACT**

The objective of this study is to characterize, using lithogeochemistry, the magmatic series and the enclosing rock that took place in the formation of the Cerro Lindo VMS; At the same time, alteration lithogeochemistry was performed to determine the relationship between mineralogy, lithogeochemistry and intensity of alteration, obtaining as a result, vectors towards the center of the system. The primary purpose is to bring this 2D information from the lithogeochemical diagrams to a 3D approach, and thus establish correlations with other mineral occurrence controls (structural, geophysical, geochemical, and lithological). From the analysis and interpretations it was determined that Cerro Lindo belongs to a calc-alkaline magmatic series with high K content, the box rock definitely corresponds to felsic volcanic with degree of differentiation from andesite to rhyodacite according to the degree of proximity to economic zones; that is to say, the deposit is located in the oldest bimodal felsic level of the Casma basin, and it is these first stages of rupture that are usually better enriched in economic mineralization contents, mainly of base elements, followed by the presence of Ag<sup>\*</sup>-Au, It is precisely this location that makes it much more powerful than the other VMS in the area. The SerK+ChlFe (Py) alteration halo has greater potency and dominance in deep, lower-angle faults, which have brought economic Zn-Cu mineralization (NW-SE and NE-SW), faults related to high-grade bodies and to high chargeability areas; while the shallow NW-SE faults, with greater angles, which bring low-grade mineralization and related to low chargeability edge bodies, would correspond to the Ser-Chl alteration and towards the most distal zones of the system, the SerNa-Chl alteration appears. Chl Mg.

**Keywords:** lithogeochemistry, alteration model, VMS deposit, major elements, rare earths.

Artículo recibido: 20 marzo 2022

Aceptado para publicación: 15 abril 2022

Correspondencia: [maylin.mendoza@nexaresources.com](mailto:maylin.mendoza@nexaresources.com)

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

## 1. INTRODUCCIÓN

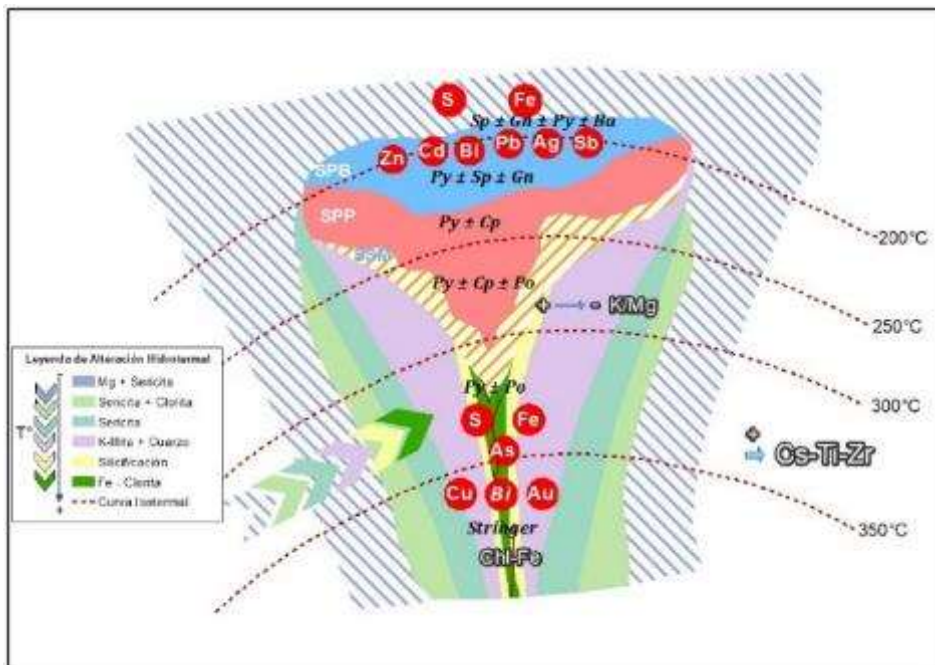
El área de estudio se ubica en la parte occidental del Perú, en la provincia de Chincha, departamento de Ica, a 175 km al SE de Lima. Cerro Lindo es un depósito de sulfuro masivo vulcanogénico VMS de Zn-Cu (Ag-Pb), 52 Mt de Reservas (P+P) con 1.44 %Zn, 0.61%Cu, 0.20%Pb, 0.68 oz/t Ag (2020), y está compuesto de varios cuerpos subverticales.

El yacimiento está emplazado en la cuenca back-arc cretácica en rocas félsicas que gradan de composición andesítica, dacítica a riódacítica; siendo las rocas proximales las que presentan mayor relación con la mineralización (riódacitas).

Cerro Lindo posee una geometría peculiar de cono invertido con gradientes geotérmicos que van desde 200° a 350°C los cuales guardan relación con el Zonamiento de la mineralización y de la alteración; la zona de alta temperatura (Po-Py) y zona de baja temperatura (Sp-Gn-Py-Ba) (Figura 1).

**Figura 1.**

*Modelo esquemático de alteración hidrotermal en Cerro Lindo (Informe de Exploraciones Cerro Lindo, 2018).*



## **2. METODOLOGÍA**

Se realizó un muestreo selectivo de rocas volcánicas alteradas en sondajes DDH que fueron seleccionados teniendo en cuenta la variabilidad de la roca caja y su intercepto con los distintos cuerpos mineralizados (orebodies).

Luego se clasificó las muestras por su grado de cercanía al cuerpo mineralizado: proximal si se encuentran a menos de 20 m (roca piso), intermedia de 20 a 30 m y distales cuando sobrepasan los 30 m de distancia con respecto al cuerpo mineralizado (roca techo).

Macroscópicamente se notó que las rocas proximales al cuerpo eran más félsicas que las rocas distales y que los minerales constituyentes presentaban mayor intensidad de alteración (J. Bueno & M. Mendoza, 2019).

Estas muestras se analizaron en laboratorios por el tipo de análisis ICP-MS por los métodos MA200 (digestión multiácida que determina 45 elementos trazas) y por LF200 (fusión en metaborato de litio), para caracterización de roca total más 32 elementos trazas). En los diagramas de este trabajo se han utilizado preferentemente los resultados por el método de fusión total LF200.

Primero de manera general se realizó una caracterización litogeoquímica de la roca caja y posteriormente se realizó caracterización litogeoquímica de alteración, para complementar nuestro análisis e interpretación.

Para el modelo de alteración tridimensional se tomó como referencia las interpretaciones de los diagramas litogeoquímicos de Alteración Box Plot (Large et al., 2001) e índice de alteración de Hashimoto (AI, Ishikawa et al., 1976), para este análisis se incluyó 500 muestras de sondajes diamantinos en zonas de roca caja (roca techo-roca piso).

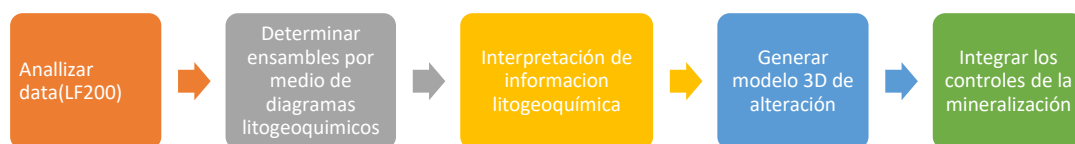
En base a los resultados obtenidos se establecieron ensambles de alteración los cuales se plotearon en los sondajes diamantinos y se realizaron secciones transversales para poder generar un modelo de alteración, en base a las interpretaciones.

Al ser el OB1 y el OB2, los cuerpos con más información litogeoquímica, lo cual permite establecer un mejor análisis y por ende un modelo 3D mejor sustentado, y considerando que el OB1 y OB2 presentan un comportamiento de la mineralización diferenciado entre sí, por ser de diferentes eventos (justificado con secuencias paragenéticas) y tener controles estructurales asociados a diferentes sistemas de fallas (Figura 2).

El modelo de alteración en el OB1 y OB2, esta alimentado de 27 sondajes diamantinos que fueron muestreados de manera puntual solo en la roca caja volcánica y de forma sistemática en función de las profundidades del sondaje diamantino. A partir de esto se elaboró el modelo de alteración, tomando como referencia los cuerpos mineralizados, lo que nos permitió determinar el vector guía de alteración para la búsqueda de nuevos cuerpos mineralizados; al establecer correlaciones con los controles estructurales, geofísicos y geoquímicos de la mineralización estudiados en Cerro Lindo, para complementar esta interpretación se planteó la geoquímica de Zn-Cu, para poder tener delimitados las zonas con mayor ley para estos elementos y finalmente se elaboró el mapa isovalórico (AI/CCPI) de todo el yacimiento para poder correlacionarlo con los coeficientes metálicos de los elementos base.

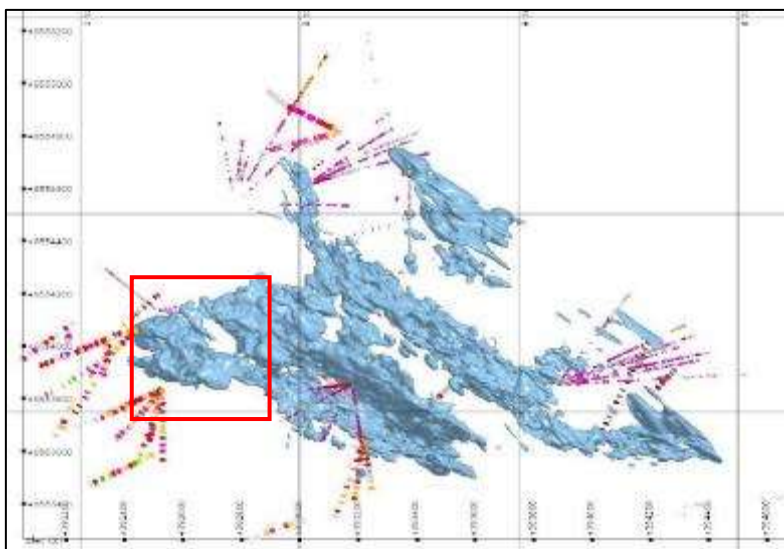
**Diagrama 1.**

*Proceso de la metodología aplicada.*



**Figura 2**

*Distribución espacial en planta de los sondajes diamantinos con ensambles de alteración*

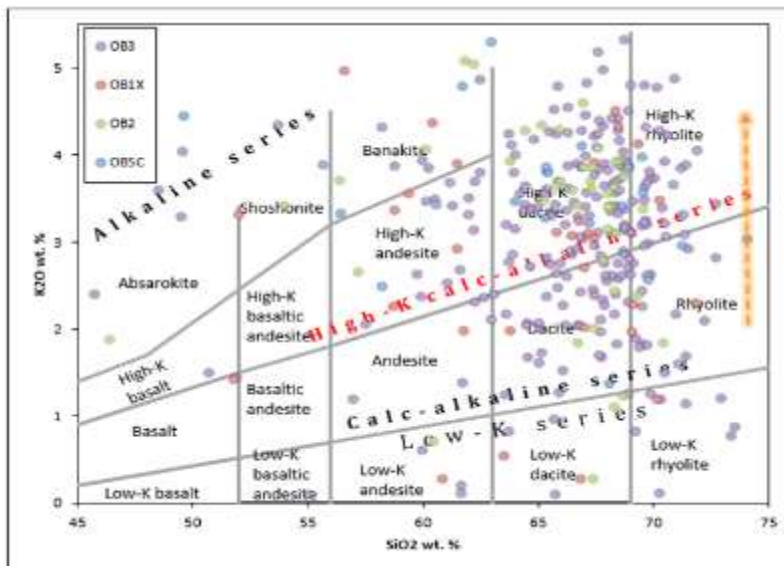


### 3. Caracterización Litogeoquímica de la roca caja

Para la clasificación litogeoquímica de la roca caja que presenta fuerte alteración es conveniente utilizar estos diagramas: SiO<sub>2</sub> vs K<sub>2</sub>O (Grafico 1), Nb/Y vs Zr/TiO<sub>2</sub> (Gráfico 2) y TiO<sub>2</sub> vs Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (Grafico 3), del cual deducimos que la roca encajonante presenta diferenciación que gradua desde rocas andesíticas a riolíticas, correspondiente de las rocas más distales a las más proximales del yacimiento, además presentan fuerte grado de alteración y ubican a Cerro Lindo dentro de un yacimiento bimodal félsico correspondiente a una serie calcoalcalina enriquecida en potasio.

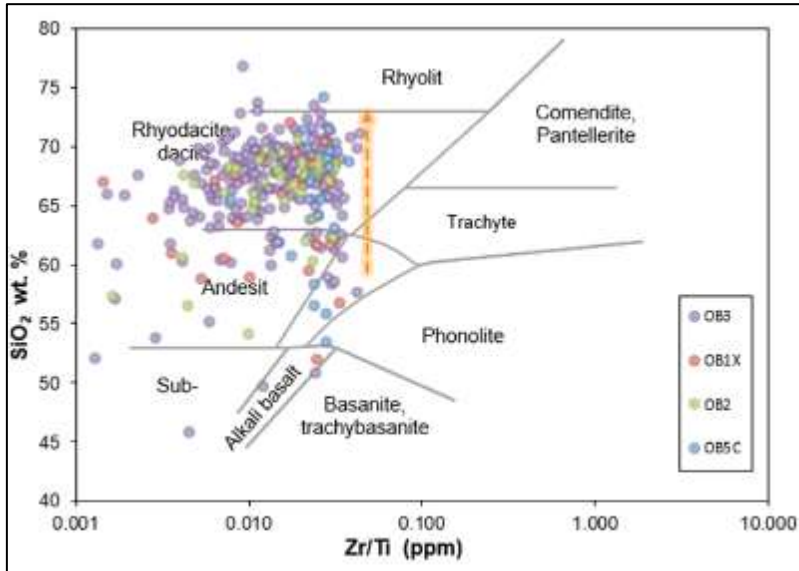
#### Gráfico 1.

SiO<sub>2</sub> vs K<sub>2</sub>O determina serie félsica - calcoalcalina; enriquecida en K (Tomado de Ewart, Anthony, 1982)

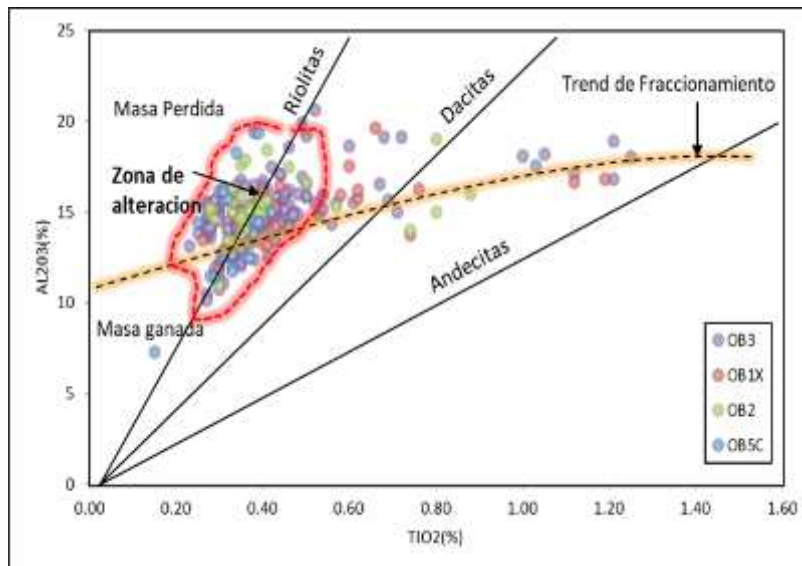


**Gráfico 2:**

*Zr/Ti vs SiO<sub>2</sub> para clasificación de rocas volcánicas de Cerro Lindo; tendencia calco alcalina, predominancia de Riodacita//dacita (Tomado de Winchester, J. A., and P. A. Floyd, 1977)*

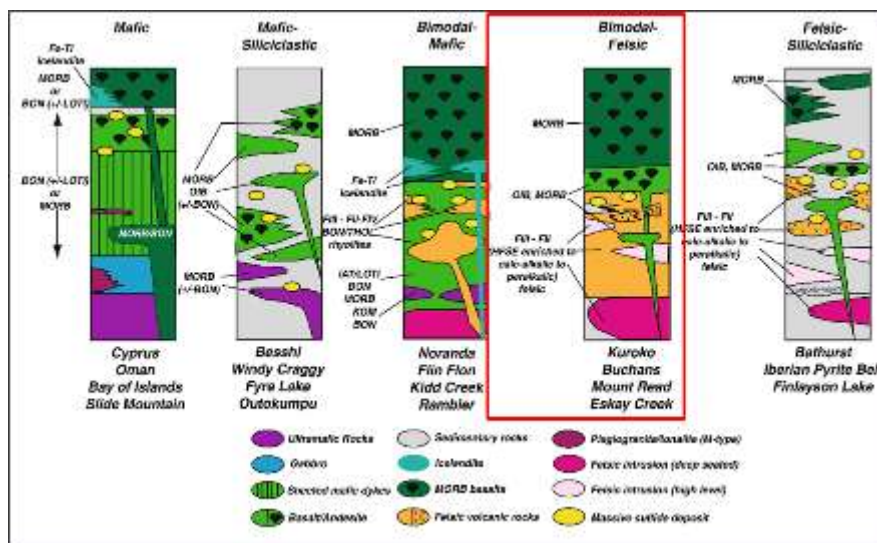


**Gráfico 3.** *TiO<sub>2</sub> vs Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, resalta la predominancia de litologías félsicas que incurrieron en alteración hidrotermal fuerte (Tomado de Barret and McLean, 1997).*

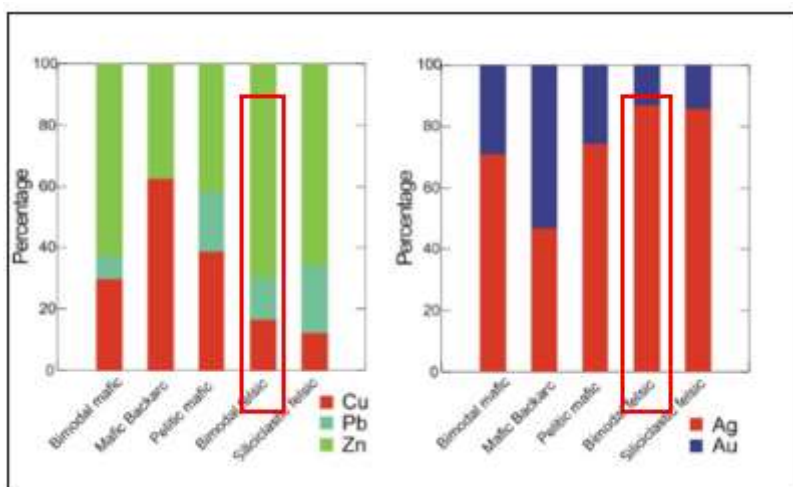


Por lo tanto, los conductos permeables están en contacto con roca muy favorable por ser bimodal félsica (emplazamiento de metales base (Zn-Cu-Pb) –(Ag\* y puntualmente Au), es esta característica que le da gran potencial económico al VMS de Cerro Lindo con respecto a los demás VMS colindantes de la cuenca Casma, la porosidad de este tipo de volcánico y ser parte de los primeros eventos de rotura de la cuenca Casma (Figura 3). Cerro Lindo como logramos visualizar según roca caja, es un yacimiento con mayor contenido de Zn-Pb-Cu y con respecto a metales preciosos mayor contenido de Ag y puntual Au (Figura 4).

**Figura 3:** Relación estratigráfica de las diferentes asociaciones litológicas (Tomado de Piercey 2011).



**Figura 4:** Contenido relativo de metales en depósitos VMS (Tomado de Franklin 2005).





#### **4. Caracterización de la Alteración Hidrotermal**

La alteración principal en Cerro Lindo es la sericitación en todo el yacimiento y se extiende lateralmente cientos de metros más allá de los sulfuros masivos, esta alteración se encuentra generalmente en la caja piso (Trujillo,2012).

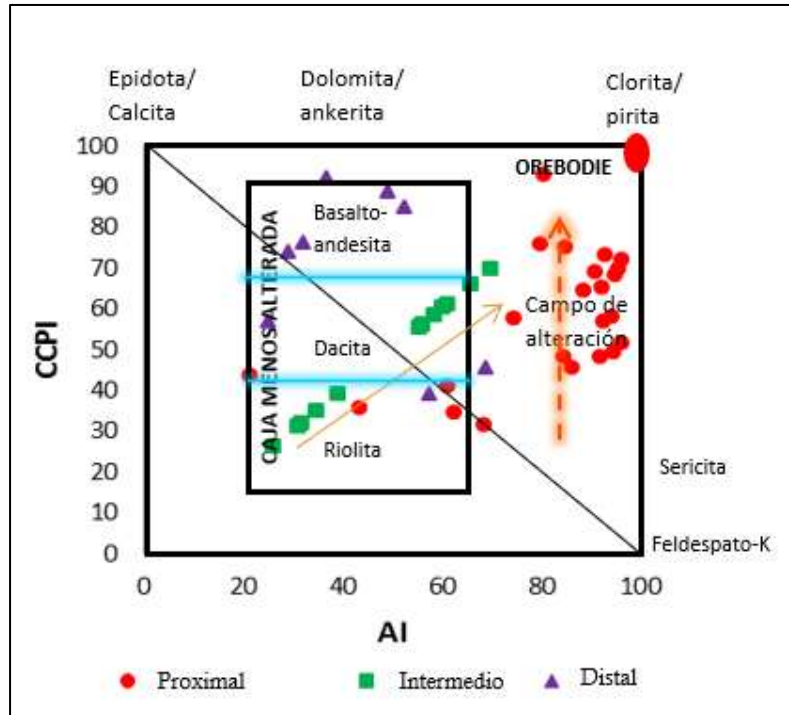
El índice CCPI vs AI (Ishikawa et al., 1976) presenta un vector hacia la mineralización, en el centro del sistema se observa sericita potásica más clorita con contenido elevado de Fe (clorita-pirita); y en las partes más distales clorita magnésica, calcita y epidota (Bueno & Mendoza, 2019) (Gráfico 4).

El emplazamiento de los sulfuros masivos del depósito refleja un fuerte control estructural en su formación y preservación, ya que los cuerpos mineralizados se alinean en bloques estructurales delimitados por fallas que actuaron como conductos de mineralización con rumbo (NW-SE). (Hinostroza, 2009).

Por medio de diagramas litogeoquímicos se establecieron los ensambles de alteración (Bueno & Mendoza, 2019). Se ploteó estos ensambles en los sondajes diamantinos y se generó un modelo de alteración en 3D para el ore bodies 1 y 2 (OB1 y OB2), con la finalidad, de determinar las tendencias de alteración y establecer una correlación con otras guías de la mineralización (estructural, geofísica, geoquímica) en el contexto espacial. Con este set de información se buscó sustentar la creación de un modelo de alteración que complementado con otras herramientas de exploración sirvan para generar nuevos targets en la Unidad Minera Cerro Lindo.

**Gráfico 4**

Cuadro de alteración con el índice de alteración de Hashimoto (AI) (Ishikawa et al., 1976) frente al índice de clorita – carbonato - pirita (CCPI, Large et al., 2001) para rocas volcánicas según su proximidad al cuerpo mineralizado.

**5. Modelo 3D de alteración**

Se consideró realizar el modelo del OB1 y el OB2 debido a las diferentes características que poseen; el OB1 pertenece a un primer evento de la mineralización (evento primario), es de baja ley de Cu y Zn, con litología principalmente de SSM (mineralización en bandas sobre roca volcánica, y controlado por fallas de poca profundidad NW-SW, las cuales transportaron mineralización de tipo Cpy1, además se ubica hacia la zona de Borde del yacimiento; mientras que el OB2 es un cuerpo de sulfuros masivos de alta ley de Cu y Zn, relacionado a eventos posteriores de la mineralización, con dominio de SPB (sulfuro primario de Baritina) y SPP (sulfuro primario de pirita), está controlado por fallas profundas NW-SE y que pertenece al corredor estructural principal que nos permitirá definir mejor los vectores de alteración (Canales, 2015).

En base a los ensambles de alteración determinados por la interpretación del diagrama CCPI/AI, se llevó esta información a los sondajes diamantinos y se generaron e

interpretaron secciones que establecieron los siguientes dominios relacionados al mismo evento de mineralización: (Figura 5)

**Figura 5**

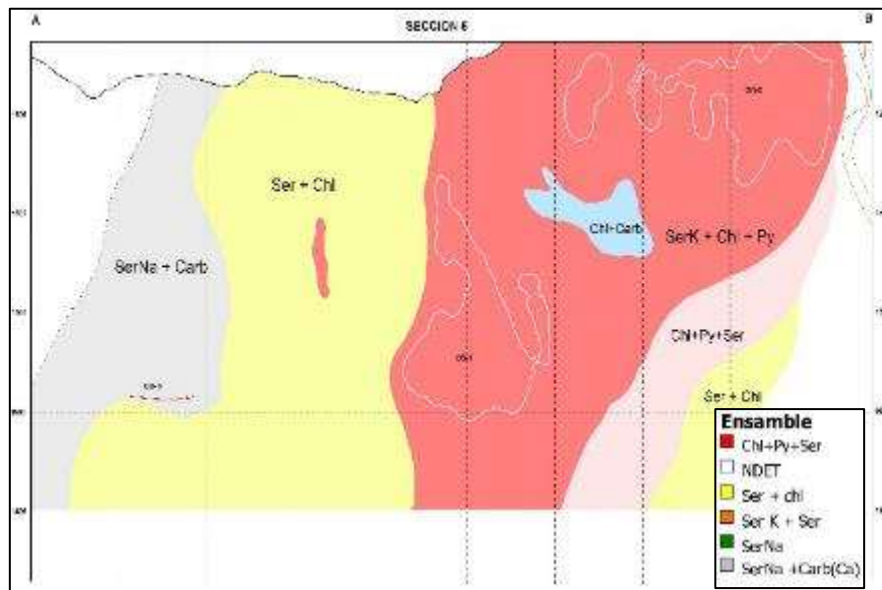


Figura 5 : Sección transversal N° 6, dominios de alteración según ensamble del gráfico CCPI vs Al.

El ensamble más cercano a la zona mineralizada está determinado por SerK+ChlFe [0.8-1] (zona caliente). Hacia la zona más distal se observan finos halos de Ser-Na [0.4-0.6] y de manera muy aislada a los bordes ChlMg [1-1.6] (zona fría) (Figura 4)

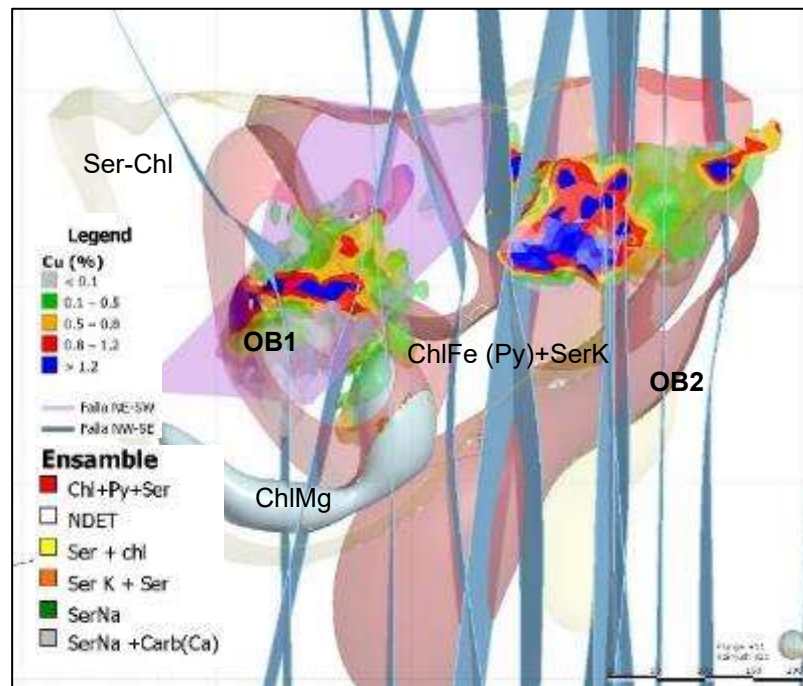
- **SerK+ChlFe (Py) [0.8-1] (zona caliente)**, es el halo de alteración más cercano a la zona mineralizada que abarca en su mayor potencia 500 m de ancho por 600m de profundidad, es el halo más extenso y pervasivo que abarca tanto la roca techo como la roca piso. Esta zona está marcada por la pérdida del Na<sub>2</sub>O y CaO, pero enriquecimiento en K. La piritización se produce como diseminaciones, parches y venillas enriqueciendo en Fe a la clorita de alteración de esta zona.
  - La zona SerK+ChlFe (Py) está relacionada principalmente a la zona de debilidad (fallamiento). Esta alteración se hace más potente hacia los cuerpos de sulfuros masivos de alta ley (OB2), segundo evento de mineralización (Figura 6).
- **Ser+Chl [0.8-0.4]** zona de intermedia temperatura, son delgados halos que se presenta de forma puntual y se emplaza en las zonas donde se observa contactos entre

riodacitas y riolitas. En esta zona empieza a marcar la presencia de mineralización, pirita diseminada y en parches con presencia puntual de Calcopirita (SSM). Se evidencia la pérdida de Fe en la clorita, y K en la sericita. Se extiende con mayor proporción hacia cuerpos de baja ley (primeros eventos de mineralización) (Figura 6).

- **Ser - Na [0.4-0.6]- zona fría**, son halos de poca dimensión, esta alteración es no pervasiva, relacionadas a rocas menos diferenciadas andesita-dacita. Disminución marcada del K y aumento del Na en las micas (Figura 6).
- **ChlMg [1-1.6] (zona fría)**, esta alteración es puntual, relacionada en zonas de intrusivo y diques andesíticos, que corresponde a los eventos más tempranos de alteración, enriquecimiento de Mg principalmente en la clorita y Calcita en venillas (Figura 6).

**Figura 6.**

*Modelo de alteración 3D en el Yacimiento Cerro Lindo con la geoquímica de Cu (OB1-OB2).*



De la misma manera con las ratios de AI/CCPI, se elaboró el mapa isovalórico de todo el yacimiento teniendo en cuenta los ensambles de alteración: SerK-ChlFe, Ser-Chl y SerNa-ChlMg de acuerdo con la proximidad de la zona mineral.

## 6. Correlación de la litogeoquímica con otros controles de la mineralización

### 6.1 Litogeoquímica-Geoquímica Vs Geología Estructural

El yacimiento de Cerro Lindo está hospedado en una secuencia volcánica félsica con afloramientos expuestos en una franja de dirección NW-SE. Este nivel volcánico presenta grandes halos de alteración con diferentes mineralogías e intensidad de alteración, los cuales han sido afectados por las variaciones térmicas y por los grandes sistemas de fallas NW-SE y fallas posteriores N-S.

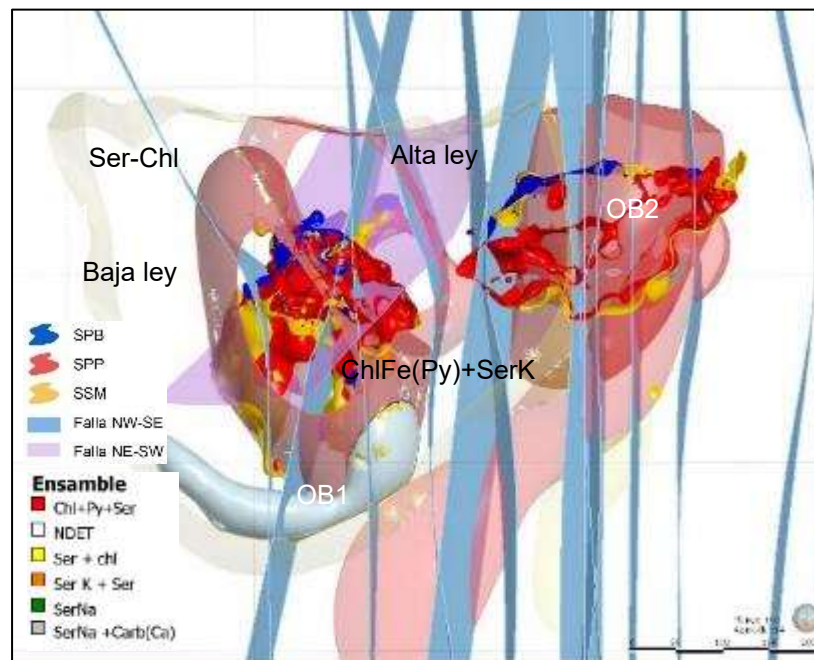
El OB1 cuyo control ha sido marcado por fallas poco profundas NW-SW de mayor ángulo y con mayor espaciamiento entre sí, son de borde con poco arrastre de mineralización económica, relacionadas a la alteración Ser –Chl y las fallas NE-SW las cuales han sido los conductos de las zonas puntuales de alta ley en el OB1, estas zonas presentan un fuerte halo de alteración SerK+ChlFe (Py) (Figura 7)

En el OB2 se observa un gran sistema de fallas profundas NW-SE, las cuales traen mineralización económica y se acercan hacia la zona de SerK+ChlFe (Py) (Figura 7).

Al existir el control estructural profundo con sistemas de fallas (NW-SE) cuyos esfuerzos han sido continuos y el dip de menor ángulo, son las más favorables para formar zonas económicas y presentaran la relación con la alteración guía hacia el centro del cuerpo.

**Figura 7**

*Modelo de alteración Vs Estructural Vs Litología*

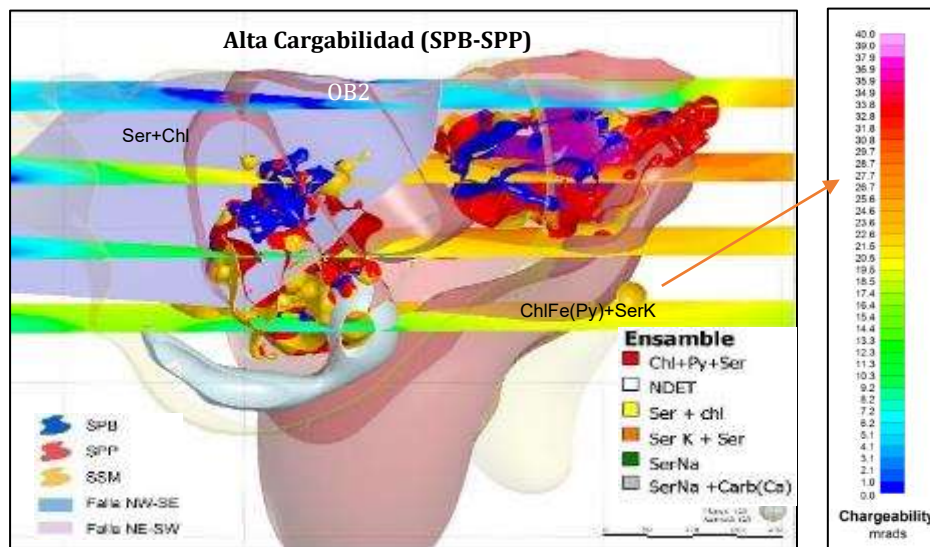


## 6.2 Litogeoquímica-Geoquímica Vs Geofísica

Según los trabajos de geofísica PI realizados en el año 2017 se detecta anomalías de baja resistividad (40ohm-m) y alta capacidad de cargabilidad (40mrad). Esto podría indicar una continuación de mineralización de la unidad minera (Figura 8).

### Figura 8 :

*Geofísica (Cargabilidad) Vs Alteración Vs Litología.*



El OB1 presenta baja cargabilidad debido al tipo de litología (SSM), con contenido del 20 al 50 % de sulfuros. Esta zona guarda relación con la zona de baja ley (parte inferior del cuerpo) donde se extiende el halo Ser+Chl y de manera puntual aparece la ChlMg (Figura 8).

El OB2 presenta alta cargabilidad debido al emplazamiento masivo de sulfuro >50% (SPP-SPB) y guarda relación con la zona de alteración que es la guía al centro de los cuerpos mineralizados (Figura 8).

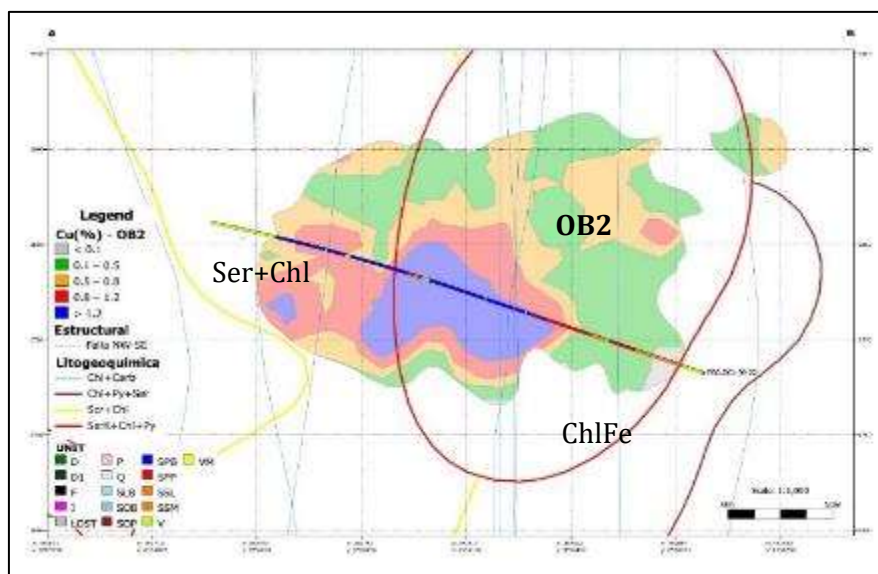
## 7. RESULTADOS

El modelo de alteración para el OB1 y OB2 sugiere que la alteración SerK+ChlFe (Py) forma el halo proximal que bordea la mineralización. Este halo varía su potencia en función de la profundidad y temperatura. A mayor temperatura la alteración se torna más extensa y se relaciona a (zona de Cpy-Po) mientras; en la zona superior del sistema VMS

la potencia disminuye (zona de Sp-Gn-Ba), y aumenta la potencia de la alteración Ser+Chl.

En la sección A-A' tomada a un sondaje diamantino vemos que la zona de alta ley comprende justamente a la alteración ChlFe (Py) + SerK y a menos de 20 metros de esta zona mineralizada donde las leyes empiezan a decrecer está el predominio de Ser + Chl, tener en cuenta que muy cerca de la zona de alta ley se forma un delgado halo de Ser K justo hacia el Este donde se evidencia los demás emplazamientos de los cuerpos mineralizados del yacimiento (Figura 9)

**Figura 9** : Sección A-A', Sondaje diamantino de exploración, con Caracterización de alteración y geoquímica del Cu en el OB1,



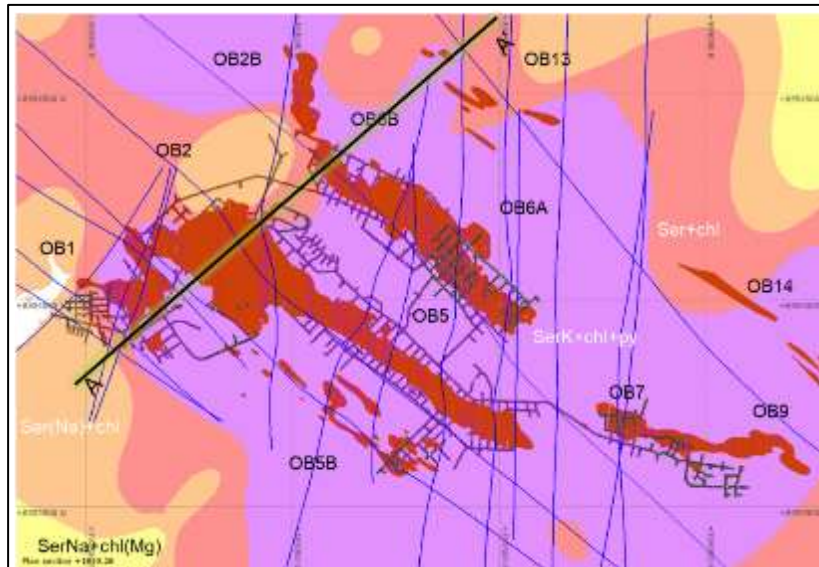
### Mapas isovalóricos de alteración:

Se elaboró el mapa isovalórico en función de las ratios de alteración AI/CPPI, donde se evidencia que la zona de cuerpos masivos de los corredores centrales de mineralización (sulfuro primario de pirita y sulfuro primario de baritina), estarían englobados por el halo de alteración de SerK+ChlFe, mientras que los Cuerpos de Borde que corresponden a litologías de Semimasivos y volcánico mineralizado se encuentran dentro del halo Ser+Chl.

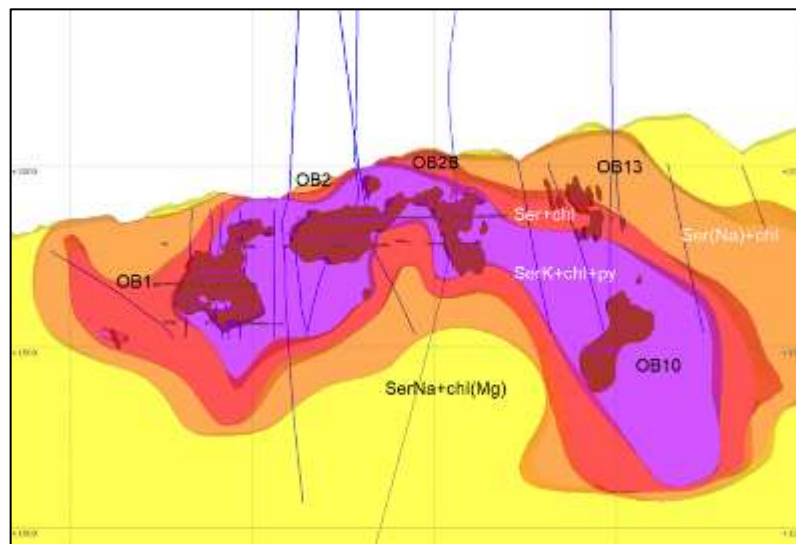
Por otra parte, cabe mencionar que las zonas de volcánicos de andesitas con contenido de K que gradan a dacitas vemos que se asocian a zonas intermedias que corresponden a la alteración Ser +Chl, mientras que las rocas más máficas menos porosas y más distales de

la influencia del control estructural, se evidencia en una alteración menos pervasiva de Ser Na +Chl (Mg).

**Figura 10.** Vista en planta de mapa isovalórico por ensamble de alteración.



**Figura 11 :** Sección A-A', de los halos de alteración.





## **8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

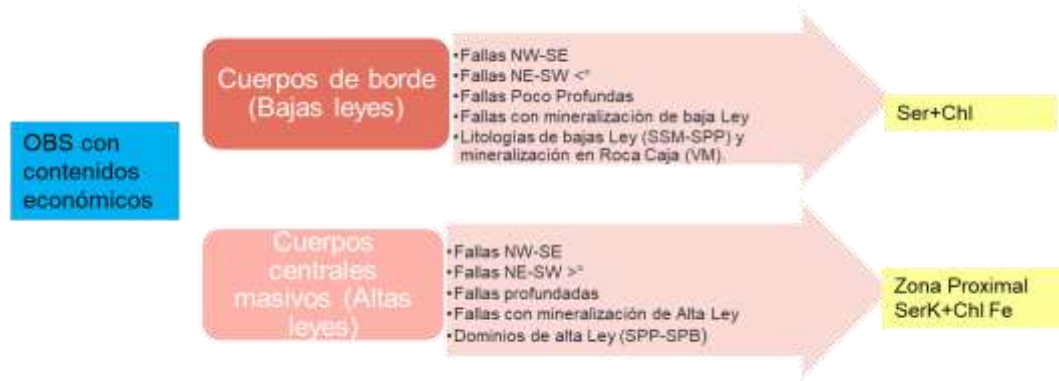
De la Litogeoquímica se dedujo que Cerro Lindo está ligado a una serie magmática calcoalcalina enriquecida en K, la serie volcánica se caracteriza por horizontes de andesitas – dacitas-Riodacitas y puntuales riolitas emplazadas a manera de domos, y teniendo en cuenta las características petrográficas y de contenido químico es que presentan bastante afinidad para el emplazamiento en grandes de lentes de cuerpos mineralizados, por su alta porosidad y por encontrarse la roca caja cerca de las fallas transportadoras tienen gran potencial en tamaño y leyes dentro de los VMS.

Cerro Lindo está emplazado en el nivel bimodal félsico más antiguo de la cuenca Casma, y son estas primeras etapas de la rotura que suele estar mejor enriquecida en contenidos de mineralización económica principalmente de elementos base seguido de la presencia de Ag\*-Au, es justo esta ubicación que lo hace mucho más potente que los demás VMS de la zona.

Al llevar la data litogeoquímica generalmente usada en diagramas de interpretación a un modelo tridimensional ha permitido tener una mejor correlación con el control litológico, geofísico, geoquímico y estructural, y se logró establecer un vector definido de la siguiente manera (riolita-riodacita + fallas NW-SE (mineralizadas)+ SerK+ChlFe (Py) + cargabilidad alta). Este vector que combina todos los controles de la mineralización llevaría a acercarnos de manera más certera zonas con potencial económico en un yacimiento tipo VMS.

Del modelo de alteración se concluye que hacia los cuerpos masivos con altas leyes en Zn –Cu como el OB2 prevalece el dominio el ensamble (Serk+ChlFe (Py)) y hacia los cuerpos piritosos con escasa calcopirita y remanentes de roca caja, el halo con mayor predominio es Ser (K)+Chl.

El halo de alteración SerK+ChlFe (Py) tiene mayor potencia y dominio en fallas profundas que han traído mineralización económica de Zn –Cu (NW-SE y NE-SW), fallas relacionadas a los cuerpos de alta ley; mientras que las fallas poco profundas NW-SE, que traen mineralización de baja ley se relacionan a la alteración Ser-Chl.

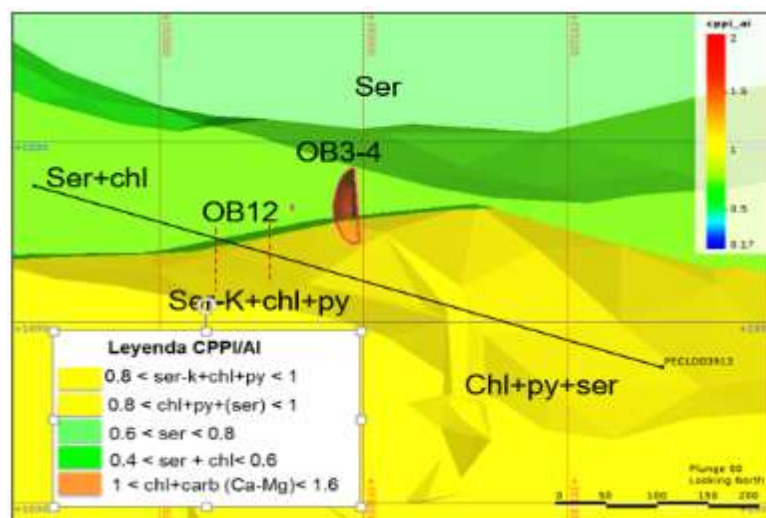


La geofísica nos indica que la alta cargabilidad está relacionada a los cuerpos masivos. Por ende, el OB1 es un cuerpo conformado principalmente por litología de SSM (volcánico con piritita diseminada), por lo cual presenta poca cargabilidad; en cambio el OB2 es un cuerpo masivo de sulfuros (Py-Cpy-Sp), lo que le da mayor cargabilidad. Determinamos que la alteración SerK+ChlFe (Py) está limitada a las zonas de alta cargabilidad (zonas potencialmente económicas).

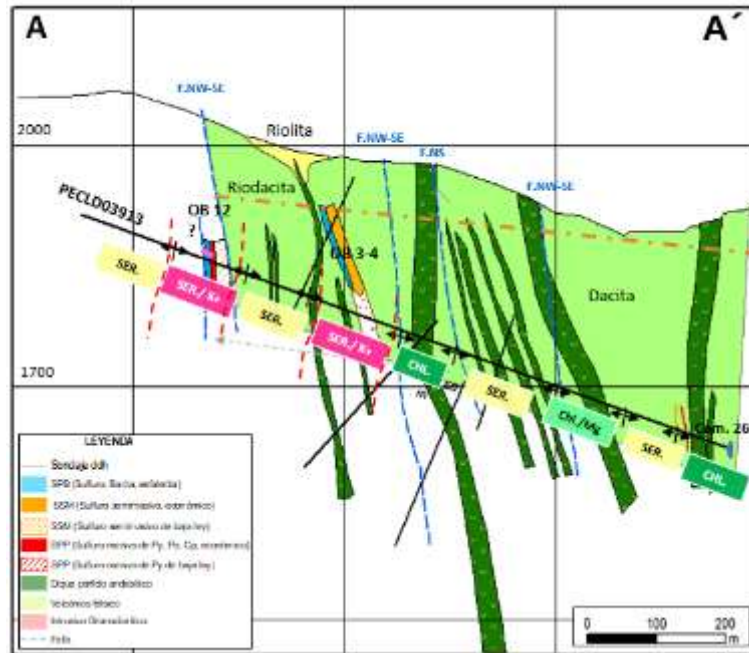
La metodología utilizada en este trabajo puede extenderse para la obtención de modelos de exploración similares para los otros sectores del distrito (Chavín del Sur, Pathuasi Millay, etc.).

En base a esta tendencia de alteración, usamos estos criterios en conjunto con el control estructural y litológico, y el resultado obtenido en la exploración del OB12 (Exploraciones Cerro Lindo, 2019), nos llevó a concluir que en otras partes del sistema mineralizado de Cerro Lindo se observa similares vectores de alteración hacia cuerpos de sulfuros masivos. (Figuras 12 & 13).

**Figura 12 :** Sección A-A', Sondaje diamantino de exploración, con Caracterización de alteración en el OB12 y OB3-4.



**Figura 13 :** Sección A-A', Sondaje diamantino de exploración con halos de alteración OB12 y OB3-4.



Se recomienda incrementar la data en otros cuerpos referenciales con las tendencias ya determinadas para corroborar los vectores y establecer firmas de alteración.

### AGRADECIMIENTOS

A la compañía minera Nexa Resources por facilitar la información requerida para la elaboración del presente trabajo y a los geólogos de la Unidad Minera Cerro Lindo, por el apoyo constante y el trabajo en equipo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bailes, A.H. and Galley, A.G. (2001). Geochemistry and tectonic setting of volcanic and intrusive rocks in the VMS-hosting Snow Lake arc assemblage, Flin Flon Belt, Manitoba: A preliminary release of the geochemical data set; Manitoba Geological Survey, Open-File Report OF2001-6.
- Bueno, J. & Mendoza, M. (2019). Caracterización litogeoquímica en el Yacimiento VMS-Cerro Lindo y su relación con la mineralización para determinar vectores guías en la exploración. Lima, Perú. Proexplo2019.
- Canales, J. (2015). Informe de Cartografiado geológico-estructural y muestreo geoquímico -litogeoquímico Cerro lindo.

- Galley, A.G. (1995). Target vectoring using lithogeochemistry: Applications to exploration for volcanic-hosted massive sulfide deposits; Canadian Institute of Mining and Metallurgy Bulletin, v. 88, p. 15-27.
- Galley, A.G., Watkinson, D.H., Jonasson, I.R., and Riverin, G. (1995). The subsea-floor formation of volcanic-hosted massive sulfide; evidence from the Ansil Deposit, Rouyn- Noranda, Canada; Economic Geology, v. 90, p. 2006-2017.
- Galley, A.G., Hannington, M.D., and Jonasson, I. (2007). Volcanogenic massive sulphide deposits, in Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods, (ed.) W.D. Goodfellow; Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5, p. 141-161.
- Harker, A. (1909). The natural history of igneous rocks. Methuen, London.
- Hart, W.K., Wolde, G., Walter, R.C., Merezcan, S.A. (1989). Basaltic volcanism in Ethiopia: constraints on continental rifting and mantle interactions: Journal of Geophysical Research, 94, 7731-7748.
- Hinostroza de la Cruz, J.H. (2009). Proyecto Cerro Lindo. Geología y Zonamiento Cu-Zn. Tesis para Optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica. Lima, Perú.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A. (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, Canadian Journal of Earth Sciences, 8, p: 500–520.
- Ishikawa, Y., Sawaguchi, T., Ywaya, S., and Horiuchi, M. (1976). Delineation of prospecting targets for Kuroko deposits based on modes of volcanism of underlying dacite.
- Large, R.R, Gemmel, J.B., Paulick, H., and Huston, D.L. (2001). Hidrotermal alteration and volatile element haloes for the Rosebery K lens volcanic-hosted massive sulfide deposit, western Tasmania; Economic Geology, v. 96, p. 1055-1072.
- Lentz, D.R., and Goodfellow, W.D. (1996). Intense silicification of footwall sedimentary rocks in the stockwork alteration zone beneath the Brunswick No. 12 massive sulfide deposit, Bathurst, New Brunswick; Canadian Journal of Earth, v. 33, p. 284-302.

- MacLean, W.H. and Barrett, T.J. (1993). Lithogeochemical techniques using immobile elements; *Journal of Geochemical Exploration*, v. 48, p. 109-133.
- McConnell, B. (1991). Geochemistry and mineralogy of volcanic host rocks as indicators of massive sulfide genesis at Avoca, Southeast Ireland; *Irish Journal of Earth Sciences* v. 11, p. 43-52.
- Rivera, H. et al., (2016). Caracterización litogeoquímica de los volcánicos de las formaciones la Bocana y San Lorenzo en departamento de Piura, *Revista del instituto de investigación (RIIGEO), Universidad Mayor de San Marcos*, v.19, p 85-96.
- Ríos, A.M. et al (2008). Los sulfuros masivos volcanogénicos de la Cuenca Lancones (Perú), *Revista GEOGACETA*, v.44, p. 47-50.
- Salazar, J.C. et al. (2013). *Boletín de Geología Vol. 35, Petrografía y Geoquímica de las rocas volcánicas del cerro la Teta y el arroyo Jurarein, alta guajira colombiana.*
- Stanley, C.R. and Madeisky, H.E. (1994). Litogeochemical exploration for hydrothermal ore deposits using Pearce Element Ratio analysis, in *Alteration and Alteration Processes Associated with Ore-Forming Systems*, (ed.) D.R. Lentz; Geological Association of Canada, Short Course Notes, V. 11, p. 193-211.
- Sun, S. and McDonough, W.F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes, in *Magmatism in the Ocean Basins*, (eds.) A.D. Saunders and M.J. Norry; Geological Society of London, Special Publication No. 42, p. 313-345.
- Trujillo, A. (2012). *Geología del yacimiento Cerro Lindo, Artículo Técnico*, p. 1-3.