

---

## GENERANDO VALOR EN EL YACIMIENTO TIPO VMS EN LA UNIDAD MINERA CERRO LINDO A TRAVÉS DE LA BÚSQUEDA DE NUEVOS DOMINIOS GEOLÓGICOS (VOLCÁNICO MINERALIZADO)

Jean Paul Bueno Carreón<sup>1</sup>, Nickol Ivan Estrada Ramos<sup>2</sup>, Jhonatan Lopez Alvarez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Nexa Resources S.A.A., dirección, Lima, Perú (jbueno@nexaresources.com)

<sup>2</sup> Nexa Resources S.A.A., dirección, Lima, Perú (nickol.estrada@nexaresources.com)

<sup>3</sup> Nexa Resources S.A.A., dirección, Lima, Perú (jhonatan.lopez@nexaresources.com)

---

### 1. Abstract

The mineralized volcanic is a new domain with economic value in the VMS-type deposit which is located between the sterile box rock and the massive sulfide; characterized by containing high values in Ag, Pb (Argentine Galena) and acceptable values in Zn (Sphalerite) and Cu (Chalcopyrite).

This new domain is being recognized by means of diamond drilling and mining work where a sufficient number of samples are obtained to be able to carry out a geometallurgical study that corroborates the viability of the exploitation of the mineralized volcanic in daily production.

Based on the results obtained, it is concluded that by exploiting this new domain it will not affect any process of the operation, obtaining good results in the recovery and quality of the mineral treatment.

El volcánico mineralizado es un nuevo dominio con valor económico en el yacimiento tipo VMS, que se emplaza entre la roca caja estéril y el sulfuro masivo; caracterizado por contener valores altos en Ag, Pb (Galena argentífera) y valores aceptables en Zn (Esfalerita) y Cu (Calcopirita).

Este nuevo dominio está siendo reconocido por medio de sondajes diamantinos y laboreo minero donde se obtiene la suficiente cantidad de muestras para poder realizar un estudio geometalúrgico que corrobore la viabilidad de la explotación del volcánico mineralizado en la producción diaria.

En base a los resultados obtenidos, se llega a la conclusión que al explotar este nuevo dominio no afectará a ningún proceso de la operación, obteniendo buenos resultados en la recuperación y calidad en el tratamiento del mineral.

### 2. Introducción

El área de estudio se ubica en la parte Sur occidental del Perú, en la provincia de Chincha, departamento de Ica, a 175 kmSE de Lima. El depósito de Cerro Lindo es caracterizado por una mineralización polimetálica Zn-Pb-Cu-Ag-Ba tipo sulfuro masivo vulcanogénico (VMS) de clase mundial con una producción promedio de mineral de 21,500Tn/día.

El presente trabajo se realizó con el fin de dar a conocer al nuevo dominio geológico que aportará nuevos recursos en la Unidad Minera Cerro Lindo. El dominio volcánico era considerado en su totalidad una zona estéril, pero al realizar una estimación a este dominio nos dio un NSR interesante y se empezó a realizar estudios para disminuir la incertidumbre y hacer viable su explotación. Para diferenciar esta zona estéril con la que tiene mineral, se le denominó Volcánico Mineralizado (VM) por tener leyes considerables.

El VM es un dominio Geológico que no fue considerado en modelos anteriores al 2019, por lo tanto no estaba incluido en los recursos ni en las reservas, debido a que se tenía una alta incertidumbre en tonelaje y leyes debido a su naturaleza; sin embargo, los estudios realizados demuestran que existe viabilidad para su explotación.

### 3. Objetivo

Identificar, zonificar y caracterizar el nuevo dominio considerado como Volcánico Mineralizado (VM) en el yacimiento tipo sulfuro masivo vulcanogénico (VMS) en la Unidad Minera Cerro Lindo, así como



muestra la ubicación de los cuerpos mineralizados en la Figura N°1, con la finalidad de implementar un modelo y estimación del nuevo dominio para poder incrementar los recursos y explotación en la operación.

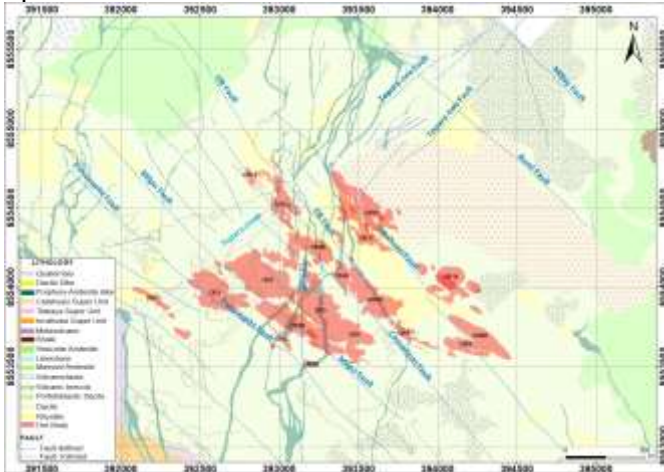


Figura N° 1: Ubicación de los cuerpos del Yacimiento Tipo VMS de la Unidad Minera Cerro Lindo

Para lo cual se va a determinar la presencia de volcánico mineralizado en los cuerpos mineralizados existentes en el yacimiento mediante la perforación diamantina y el logeo de los sondajes, donde nos brindarán información valiosa para poder identificar este nuevo dominio que fue considerado como estéril. Por último, se va a realizar el estudio geometalúrgico del volcánico mineralizado para demostrar que existe la viabilidad para su explotación en la operación de Cerro Lindo.

#### 4. Metodología Aplicada

Se aprovecharon los sondajes infill que se realizaban a los tajos que entrarán en producción en meses posteriores y los sondajes para realizar la recategorización de los cuerpos mineralizados con la finalidad de poder cuantificar y zonificar al volcánico mineralizado (VM), mediante el logeo geológico. Véase en la Figura N°2

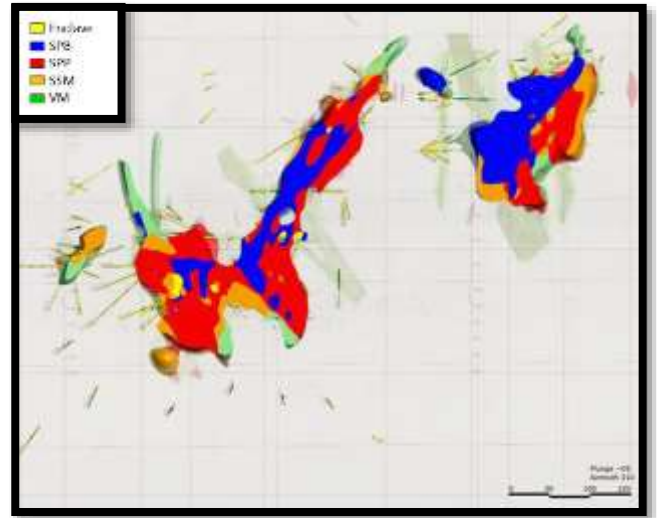


Figura N° 2: Zonificación de Volcánico Mineralizado.

Macroscópicamente se notó con características totalmente diferentes a las muestras de mineral que contienen sulfuro; es decir, presentaba una matriz volcánica con parches de esfalerita, calcopirita, galena y cobres grises, dando un valor económico rentable para su explotación. Este dominio es caracterizado por sus altos valores de plata y plomo. Cabe resaltar que en ciertas ocasiones se puede observar la esfalerita como material fino en la matriz volcánica.

Se sacaron muestras para ser analizadas en el Laboratorio de Certimin S.A. donde se formó un compuesto (LDFC-03) para poder realizar estudios geometalúrgicos como conminución (dureza del mineral), flotación, análisis mineralógico en los concentrados y en el relave.

En total se tomaron 400 muestras entre sondajes y muestra de comunes (frentes de avance en mineral y de tajos en producción), que fueron analizadas y distribuidas en el yacimiento como se muestra en la Figura N°3.

Finalmente se realizó un modelamiento del nuevo dominio volcánico mineralizado (VM) al finalizar los estudios geometalúrgicos.

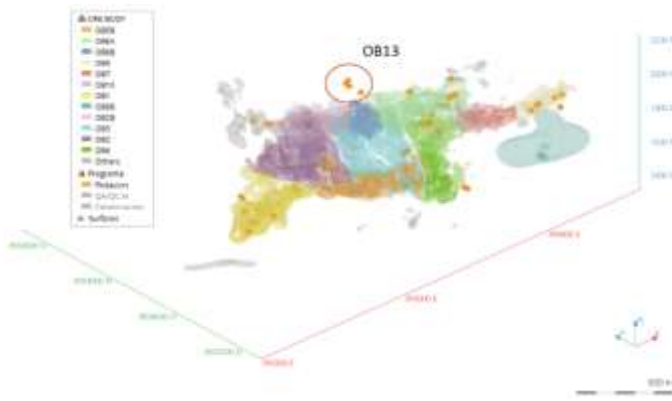


Figura N° 3: Distribución espacial de las muestras.

## 5. Geometalurgia del Volcánico Mineralizado

### 5.1. Conminución

Indica la reducción de tamaño de las partículas de mineral, mediante trituración, chancado, molienda y otros. (Camiper, 2019).

Se realizó el compósito LDFC-03 con las muestras representativas distribuidas en el yacimiento para realizar las pruebas de conminución, flotación y mineralogía. Véase en la Tabla N°1

SAMPLE ID	DDH	Desde (metros)	Hasta (metros)
LDS-01	PECLD04120	137.60	143.60
LDS-02	PECLD04120	163.10	168.90
LDS-03	PECLD04168	84.35	93.65
LDS-04	PECLD04168	195.70	209.20
LDS-26	PECLD04339	190.4	200
LDS-27	PECLD04339	10.5	20.9
LDS-28	PECLD04339	29.9	39.3

Tabla N° 1: Algunos sondajes representativos que forman parte del compósito LDFC-03.

#### 5.1.1. Índice de Abrasión (Ai)

El índice de abrasión se usa para determinar el desgaste de las brocas en la perforación, tubos y medios de acero en trituradores, molinos de barra y de bolas. (SGS, 2020).

Los resultados de Ai que se obtuvieron de la mayor población de muestras se encuentran en rangos medios a altos, como se muestra en la Figura N°4.

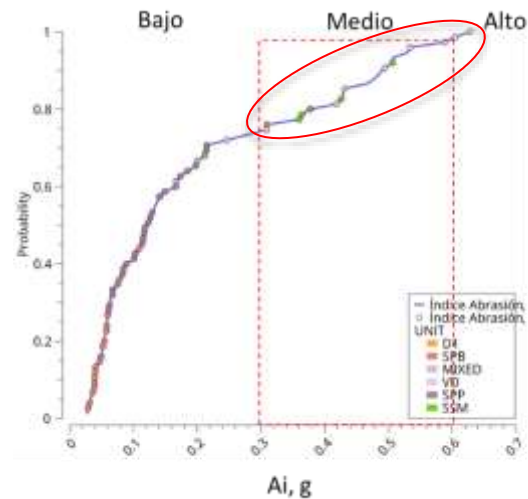


Figura N°4: Índice de abrasión (Ai)

#### 5.1.2. Distribución de Índice de Trabajo (BW<sub>i</sub>)

Es la energía usada en la reducción de tamaño de partículas, como en el caso para determinar el consumo de energía de un molino de bolas para obtener un tamaño de partículas deseado. (Metallurgist, s.f.).

En la Figura N°5 podemos observar que los resultados de BW<sub>i</sub> de la mayor población de muestras presentan mayor dureza respecto a los otros dominios.

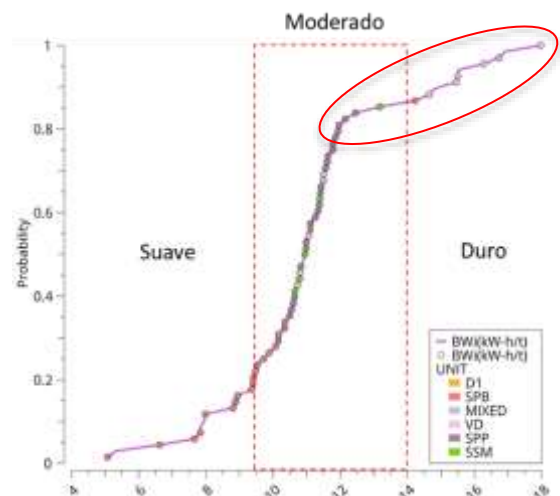


Figura N°5: Distribución de índice de trabajo (BW<sub>i</sub>)

## 5.2. Flotación

Es el procedimiento que permite concentrar el mineral de la pulpa de material mineralizado que viene del proceso de molienda. En las celdas de flotación se hacen burbujear aire desde el fondo de manera que las partículas de mineral presentes en la pulpa se adhieren a las burbujas de aire y así suben con ellas y se acumulan en una espuma. La espuma rebasa hacia canaletas que bordean las celdas y que la llevan al proceso de decantación. (Chile, s.f.)

En las pruebas de flotación del compuesto LDFC-03 se puede observar que las recuperaciones de los elementos (Zn, Cu, Pb y Ag) están dentro los estándares (Véase en la Tabla N°2 y N°3).

AD. Cabeza	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Hg	Cu_SS	Cu_CN	(CuSS+CuCN)/CuT
ID	g/t	%	%	%	%	%	ppm	%	%	%
LDFC-03	334	0.38	2.44	8.90	12.4	0.003	22.6	0.00	0.02	5

Tabla N° 2: Análisis Químico del compuesto LDFC-01

PRODUCTOS	PESO		LEP (%)													RECUPERACIÓN (%)								
	g	kg	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Hg	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Ag	Cu	Pb	Zn	Fe	As	Hg	Ag	
Bulk Concentrate 01	48.1	8.86	1.079	8.05	33.6	130.2	151.2	29.3	0.016	39.8	80.3	73.9	4.81	2.98	8.89	1.09	1.09	22.6	12.8	13.1	6.08	18.9	1.09	1.09
Bulk Concentrate 02	71.2	13.02	1.635	14.65	28.1	136.2	20.1	18.7	0.015	88.3	16.0	86.7	6.70	12.6	13.1	6.08	18.9	22.6	12.8	13.1	6.08	18.9	1.09	1.09
Bulk Concentrate 03	101	18.2	1.910	17.05	22.6	8.84	20.8	20.8	0.011	89.8	83.1	20.7	8.89	17.4	10.4	8.11	43.8							

Tabla N° 3: Resultados preliminares de flotación.

## 5.3. Mineralogía

Se realizó el estudio mineralógico del compuesto LDFC-03 que pertenece al dominio Volcánico Mineralizado (VM).

En la figura N°6 observamos que su composición contiene el 38.8% de silicatos comprobando la alta dureza de este dominio, seguido de los sulfuros con un 39.9% que nos corrobora el contenido de mineral en el volcánico mineralizado (VM).

La presencia de tenantita es muy poco en el compuesto realizado.

Composites	Carbonates	Others	Oxides & Hydroxides	Phosphate	Silicates	Sulphides & Suphate
LDFC-03	1.45	0.84	18.9	0.13	38.8	39.9

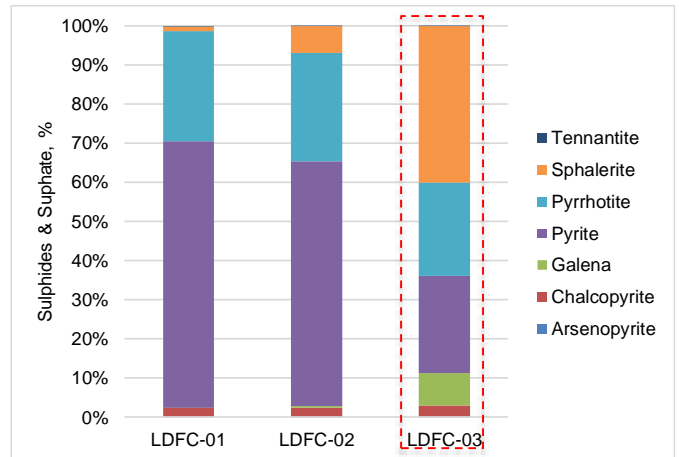


Figura N°6: Mineralogía del compuesto LDFC-03

## 5.4. Estudio Petromineralográfico

Se realizó el estudio petromineralográfico para poder reconocer los minerales de mena y ganga en el dominio Volcánico Mineralizado en base a una descripción macroscópica, microscópica, descripción de minerales primarios y secundarios, probable secuencia paragenética, textura y alteraciones.

En la muestra macroscópica podemos ver que es una roca metamórfica compacta de color gris pardusco. Presenta una textura granoblástica con agregados de blastos de cuarzo y muscovita, presenta relictos de andalucita y moldes de porfidoblastos alterados. Con una invasión de cuarzo posterior asociado con piritita y esfalerita. Véase en la Figura N°7.



Figura N°7: Muestra macroscópica

En la descripción microscópica por luz transmitida la muestra corresponde a una roca corneana con textura granoblástica. Formada por relictos de porfidoblastos de andalucita y moldes de porfidoblastos (totalmente alterados por sericita, muscovita I, muscovita II y cloritas). Han sido invadidos y englobados por agregados de blastos



de cuarzo I con muscovita I y sericita en sus intersticios. Posteriormente, la roca ha sido invadida por agregados de cuarzo II (de tamaños mayores) que presentan a pirita I, esfalerita III, muscovita II y cloritas entre sus intersticios. En la descripción microscópica por luz reflejada tenemos que la Calcopirita III se aprecian como relictos en esfalerita III. Galena ha reemplazado débilmente algunos cristales de pirita I.

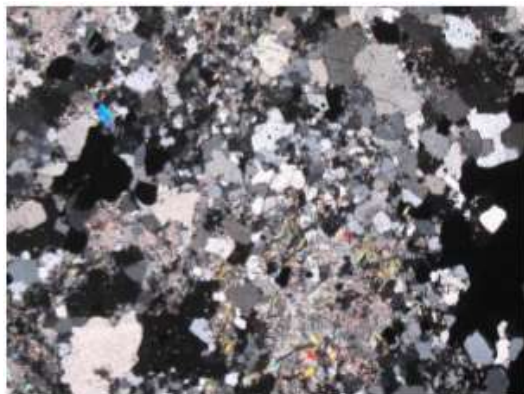


Figura N°8: Muestra microscópica

La muestra presenta una textura granoblástica, con una textura moderada de sericitización y una textuta débil de cloritización. La probable secuencia paragénetica en esta muestra es: anatasa, pirita I, Calcopirita III, esfalerita III, Galena.

### 5.5. Modelamiento

El Volcánico mineralizado fue modelado en el software Leapfrog Geo mediante el Refined Geological model. Cronológicamente es último dominio en interpolarse por su disposición y contacto con la roca caja. Véase en la Figura N°9.

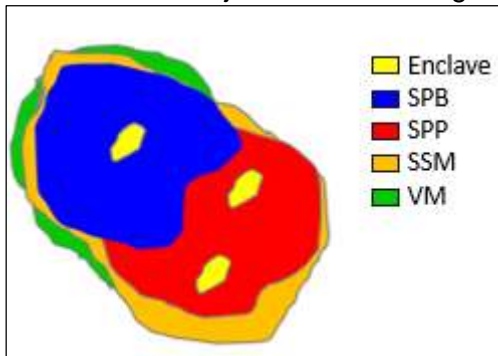


Figura N°9: Cronología usada para el modelamiento geológico en Cerro Lindo, se evidencia que el Volcánico mineralizado es el último dominio en interpolarse.

El VM se diferencia de las otras litologías por no contener sulfuros masivos, la mineralización se encuentra diseminada o en parches en la roca volcánica, adicionalmente se tomaron estas consideraciones para su asignación. VM = Rocas volcánicas %Fe <15%; Zn >=1% o Cu >=0.25% o Pb >=0.50% o Ag >=30ppm (Véase en la Figura N°10)

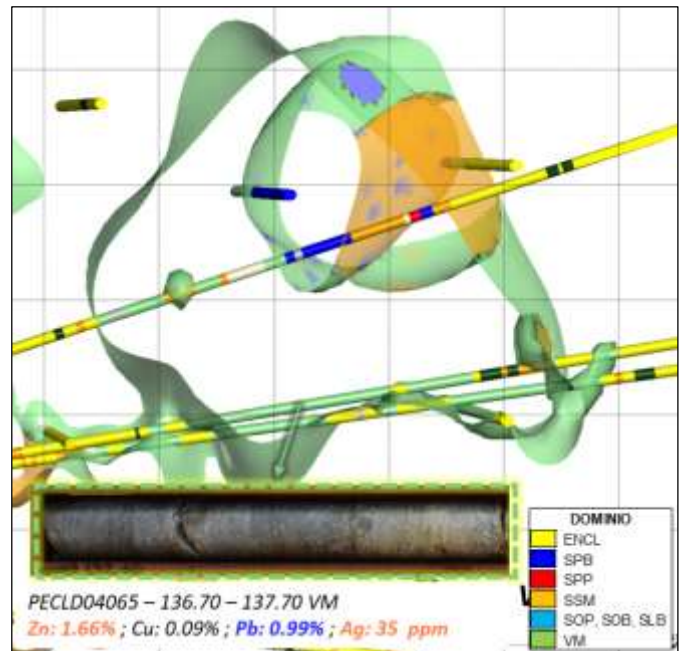


Figura N°10: Sección de sondajes diamantinos con presencia de Volcánico mineralizado.

### 6. Conclusiones

Se identificó que el mineral de caja adyacente a la mineralización, es decir el volcánico mineralizado (VM) presenta mayor dureza y abrasividad en comparación al sulfuro masivo.

Las recuperaciones y calidad de los concentrados están dentro de los estándares establecidos por planta concentradora.

Se debe realizar ensayos de densidad ya que este dominio contiene mayor contenido de volcánico, posiblemente su densidad se a menor a la de los sulfuros masivos.

### Agradecimientos

A la empresa Nexa Resources Peru por facilitarnos usar la información requerida para realizar este presente trabajo y al equipo de Geología de Cerro Lindo por incondicional apoyo.



## Referencias

- Bizalab. (2020). Estudios Petrográficos y Petrominerográficos - Informe III. Lima.
- Camiper. (2019). ¿Qué es la Conminución de Minerales en Metalurgia? Lima: Redacción Tiempo Minero.
- Chile, M. d. (s.f.). Flotación. Obtenido de <http://www.minmineria.gob.cl/glosario-minero-f/flotacion/>
- Metallurgist, 9. (s.f.). Índice de Trabajo de Bond y su Procedimiento. Obtenido de <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/indice-trabajo-bond-procedimiento/>
- SGS, M. (2020). Servicios metalúrgicos y operaciones de unidades - Pruebas de abrasión.