

Jean Paul Bueno<sup>1</sup>, Jhonatan López<sup>2</sup>, Nickol Estrada<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Nexa Resources, Lima, Perú( [jean.bueno@nexaresources.com](mailto:jean.bueno@nexaresources.com))

<sup>2</sup> Nexa Resources, Lima, Perú( [Jhonatan.Lopez@nexaresources.com](mailto:Jhonatan.Lopez@nexaresources.com))

<sup>3</sup> Nexa Resources, Lima, Perú( [nickol.estrada@nexaresources.com](mailto:nickol.estrada@nexaresources.com))

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en la identificación de un nuevo dominio en el yacimiento tipo VMS de Cerro Lindo que hasta el dominio estaba considerado como roca caja y para incluir dentro del modelo era necesario reducir la incertidumbre y demostrar su beneficio en la planta. La metodología aplicada parte desde toma de datos logueo, mapeo subterráneo que posteriormente es usado en las interpretaciones geológicas y éstas a su vez son usados para elaboración de los sólidos geométricos de los diferentes dominios, luego en base a la data y los sólidos geológicos se aplica todo el análisis geoestadístico (EDA, capping, compositación y variografía) además de ello se aplicó un estrategia para mejorar la estimación, se trata de la anisotropía dinámica para la búsqueda de muestras en base a superficies de tendencia mineral que es una combinación de la geología estructural y interpretación de minerales de alta/baja temperatura (ratio de knuckey  $Cu/(Cu+Zn)$ ).

Además de ello se realizó todo el estudio metalúrgico para hacer viable el beneficio de este nuevo dominio (índice de abrasión, Work index, Flotación).

Con todo ello se demostró que este dominio es modelable y se puede obtener beneficio en la planta, de esta manera se incrementan los recursos y reservas. Y también se reconsideran nuevos targets para exploración.

## 1. Introducción

El área de estudio se ubica en la parte occidental del Perú, en la provincia de Chíncha, departamento de Ica, a 175 km al SE 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 20,000Tn/día.

El presente trabajo se realizó con el fin de dar a conocer al nuevo dominio que aportará nuevos recursos en la Unidad Minera Cerro Lindo. El nuevo dominio volcánico mineralizado era considerado en su totalidad una zona estéril ó como parte de la roca caja, pero al realizar el modelado y estimación de este dominio se obtuvo interesantes valores de Zn, Pb, Cu y Ag, sin embargo se tenía mucha incertidumbre sobre los valores obtenidos debido a la mineralización, se conocía que es muy errático, entonces se empezó a realizar estudios de malla de perforación, correcta identificación para logueo-mapeo, parámetros adecuados para su modelamiento y estimación, finalmente estudios geometalúrgicos todo esto con el fin de disminuir la incertidumbre y hacer viable su explotación.

Se pudo diferenciar la zona volcánica estéril de la zona volcánica con valores considerables ya sea de Zinc, Plomo, Cobre y/ó Plata, dándole el nombre de Volcánico Mineralizado (VM).

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. Aumentando así los recursos y reservas del yacimiento y por ende incrementando la vida útil de la mina.

## 2. 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 con la finalidad de implementar un modelo y estimación del nuevo dominio para poder incrementar los recursos y explotación en la operación.

Determinar la presencia de volcánico mineralizado en los cuerpos económicos existentes en el yacimiento,

mediante la perforación diamantina y el logueo de los sondajes.

Modelamiento y estimación del dominio Volcánico Mineralizado (VM) usando la data existente y la nueva perforación de las campañas orientadas hacia estos targets.

Realizar el estudio geometalúrgico del volcánico mineralizado para demostrar que existe la viabilidad para su explotación en la operación de Cerro Lindo.

### 3. Metodología

Se usaron los sondajes de grade control que se realizaban a los tajos de producción de los siguientes meses poster y los sondajes de conversión ó recategorización a los Orebodies con la finalidad de identificar, zonificar y cuantificar el Volcánico Mineralizado (VM), mediante el logueo geológico, interpretación, modelamiento y estimación de recursos respectivamente del dominio en mención.

Para hacer viable el paso final incluido en esta metodología son los estudios metalúrgicos con respecto a este dominio, para ello se realizaron varias pruebas que determinan Indice de Abrasión, Work Index, Flotación y Espesamiento-Sedimentación.

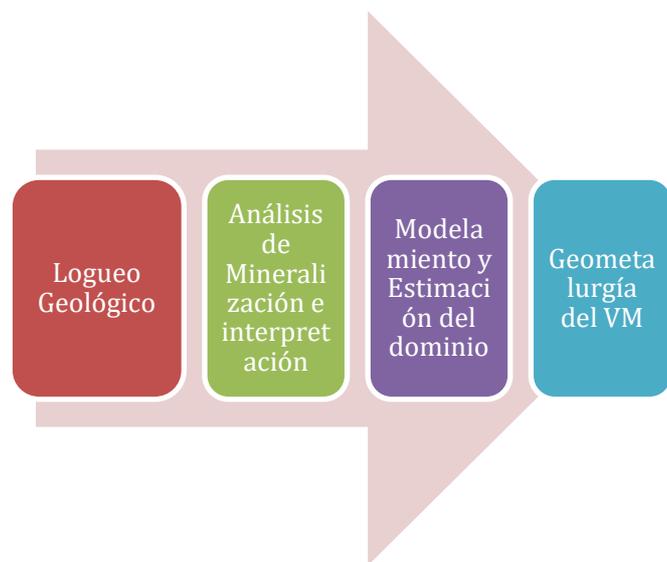


Figura 3.1. Secuencia de trabajo para el dominio VM.

## 4. Geología

### 4.1 Geología Regional

El distrito minero Cerro Lindo abarca un área de 23,471 has aproximadamente, caracterizado por una mineralización polimetálica Zn-Pb-Cu-Ag-Ba tipo sulfuro masivo, emplazado en la Formación volcánico sedimentaria Huaranguillo del Grupo Casma, de edad Albiano medio a Senoniano (Cretácico medio) que descansa como un posible un roof pendant sobre los intrusivos pertenecientes al Batolito de la Costa constituido por tres superunidades: Catahuasi, Incahuasi y Tiabaya con edades del Cretáceo superior que van de 95 a 80 ma.

Las unidades litológicas corresponden a secuencias volcánicas riolíticas-dacíticas a la base, secuencias volcánicas andesíticas en la parte media y secuencias vulcano-sedimentarias (intercalación de andesitas-limolitas-calizas) y sedimentarias (calizas-limolitas-lutitas calcáreas) en la parte superior; esta gruesa secuencia volcánica sedimentaria de  $\pm 2,350$  metros de potencia se emplaza en un área de  $\pm 10 \times 5$  Km de extensión en la dirección NO-SE.

Las estructuras fallas de carácter regional tienen rumbo NO-SE. Las fallas y diques de carácter local son de tendencia NNE-SSO, son frecuentes dentro del distrito en la zona de mina y alrededores, estas probablemente estarían relacionadas a la mineralización.

La Figura 4.1.1 es el mapa geológico regional, realizado por APT, el cual se detallará más adelante, también se consideró los mapas geológicos de Ingemmet a escala al 100,000 y 50,000, así como el mapa geológico a escala al 10,000 elaborado por los geólogos de la U.M. Cerro Lindo.

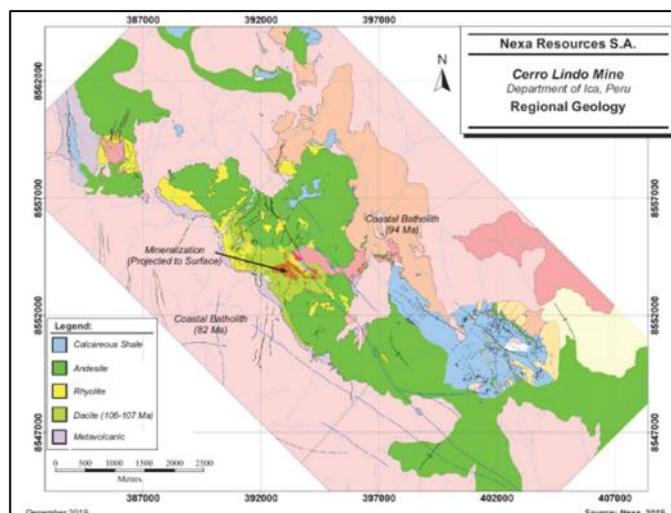


Figura 4.1.1. Mapa Geológico Regional de Cerro Lindo. Fuente: Technical Report on Cerro Lindo Mine 2020

### 4.2 Geología Local

La unidad minera Cerro Lindo esta caracterizada por rocas pertenecientes al miembro inferior de la Formacion Huaranguillo, esta formacion es parte del grupo Casma, del cretaceo inferior del Albiano, esta formacion esta dividida en tres miembros (inferior, superior y techo), la mineralizacion esta alojada en el miembro inferior.

compuesta por cuatro unidades litológicas: Riolitas, Dacitas, brechas volcánicas y Volcanoclasticas, siendo denominadas por J. Canales (2016) como volcánicas félsicas a las dos primeras unidades.

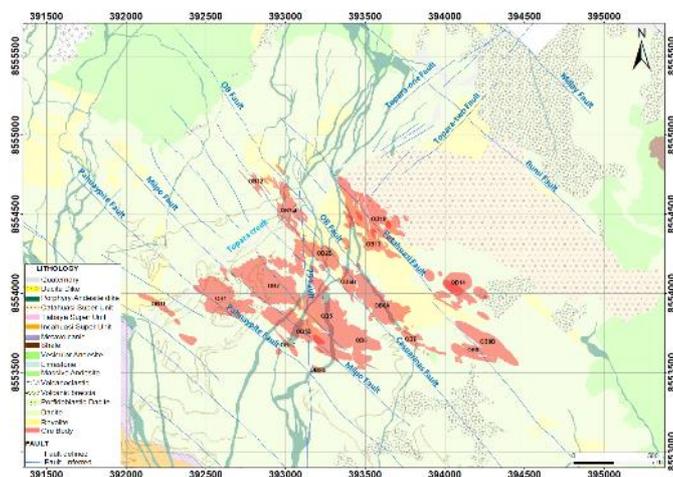


Figura 4.2.1. Mapa Geológico Local de Cerro Lindo. Fuente: Technical Report on Cerro Lindo Mine 2020

**Miembro superior:** Esta mejor apreciado a lo largo de la carretera UMCL hacia Chavín y en el Cerro Paltarumi, a altitud mayores de 2400 m.s.n.m., mostrando una anomalía de color rojiza en las imágenes satelitales. Este miembro consiste principalmente de una intercalación de lutitas con andesitas masivas y vesiculares que en algunos casos presentan textura porfírica. En la base del miembro, se aprecian estratos de lutitas-limolitas de potencias de hasta 2 metros, denominadas "Lutitas guías", siendo indicadores del contacto entre las secuencias ácidas e intermedias.

**Miembro Techo:** Se caracteriza por fases sedimentarias calcáreas, mostrando en su parte inferior niveles de margas-lutitas intercaladas con andesitas masivas, y en la parte superior de estratos de caliza con pequeños niveles de limolitas y hornfels.

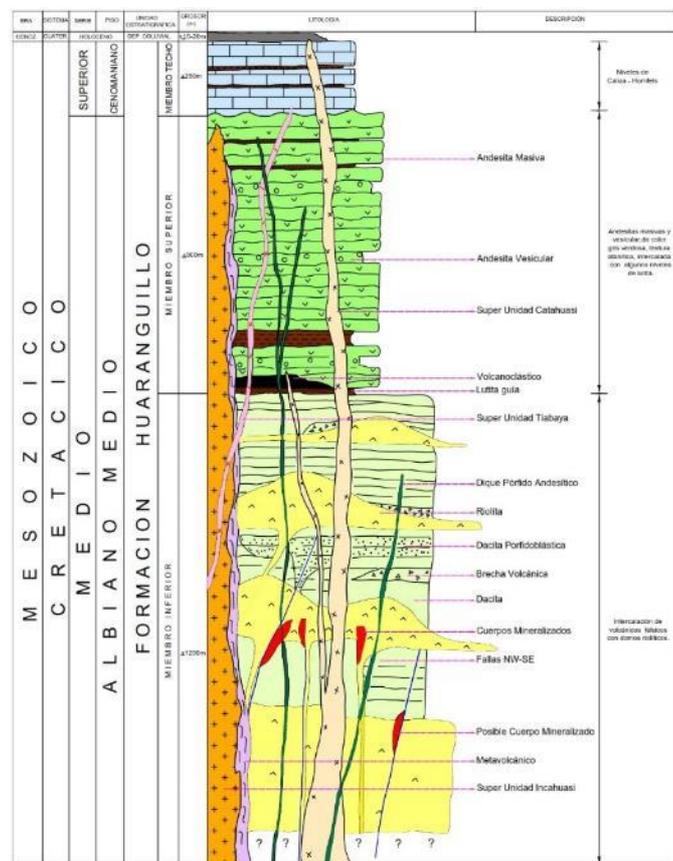


Figura 4.2.2. Colmuna Estratigráfica de Cerro Lindo. Fuente: Technical Report on Cerro Lindo Mine 2020

**Intrusivos:** Los principales intrusivos identificados que se encuentran cortando a la Formación Huaranguillo, entre las edades del Turoniano al Campaniano. Estos cuerpos se presentan como superunidades: Catahuasi, Incahuasi y Tiabaya.

**Dique - Pórfido Andesítico:** Son los más predominantes entre los diques, caracterizándose por su color gris verdoso, textura porfírica, isotrópica con moderado magnetismo y de composición andesítica. Su textura porfírica es marcada por la presencia de fenocristales euhedrales de plagioclasas y hornblendas de tamaños hasta de 5 mm englobados en una matriz verdosa de granulación fina. Su edad por el método U-Pb en zircón en LA-ICP-MS, es en promedio 73.89 Ma (Meffre & Thompson, 2016).

**5. Logeo y Base de datos del VM**

En base al conocimiento geológico de Cerro Lindo regional y local dentro de la zona mineralizada se tenía reconocido hasta 2019 los siguientes dominios:

- **Enclave**, Roca volcánica félsica rodeada por sulfuro, se presenta a manera islas de los sulfuros masivos (SPB y SPP).
- **SPB (Sulfuro Primario de Baritina)**, dominio asociado a mena de principalmente Zinc, Plomo y Plata, se caracteriza también por la

**Miembro Inferior:** Este miembro está

presencia de baritina (>10%). En muchos de los casos se encuentra bandeada producto del metamorfismo. Se puede apreciar desde grano fino a grueso.

- **SPP (Sulfuro Primario de Pirita)**, dominio asociado a mena principalmente de Cobre. Este dominio contiene  $\geq 50\%$  de sulfuros, la pirita se encuentra en diferentes tamaños de granos desde finos a gruesos, la calcopirita se encuentra principalmente intergranular. Existe una zona rica en Cu y otra zona pobre de sulfuro masivo en pirita pero con valores muy bajos en Cu.
- **SSM (Sulfuro Semimasivo)**, es dominio mixto mena de Zinc, Cobre y/o Plomo-Plata la característica principal es que se trata de una transición entre el sulfuro masivo y la roca caja, contiene sulfuros entre el 20% y 50% dentro de una matriz volcánica félsica. La mineralización está presente principalmente en venillos y parches.
- **Roca Caja**, consiste principalmente de Volcánicos Félsicos es decir dacitas, riolitas y riolodacitas. Es en este dominio que se halló la oportunidad de estudiarlo e incrementar recursos y/o reservas dependiendo de los resultados.
- **Dique andesítico**, es un dominio cuya composición es andesita cuerpos tabulares que van de SW-NE cortando toda la zona mineralizada, se podría considerar la roca más joven en el yacimiento.

El nuevo dominio de Volcánico Mineralizado (VM) consiste en una roca volcánico félsico con alteración principalmente sericitica con presencia de galena, esfalerita y/o calcopirita en diversas formas ya sea en disseminación, parches y/o venilleos. Este dominio se caracteriza estar presente como una aureola o costra entre el SSM/Sulfuro Masivo y la roca caja, aunque también se reconoció en algunos sectores de la roca caja sin estar en contacto de SPP, SPB ó SSM. Por lo general este dominio resulta ser más discontinuo respecto a los sulfuros masivos.

Luego del Logueo Geológico el gestor de base de datos se encarga de validar la información registrada, mediante el check de validación cómo códigos de muestra, código del dominio, overlaps, inserción de muestra del control (QAQC), entre otros, así mismo se

realiza visitas inopinadas y de rutinas para verificar que los geólogos de logueo realizan una correcta identificación de este dominio y su registro dentro del software.

## 6. Modelamiento del VM

En base a la información de logueo y mapeo subterráneo se realiza la interpretación geológica en un set de secciones que abarcan todo el yacimiento tanto de secciones en plantas y transversales, considerando los dominios ya conocidos (SPB, SPP y SSM) y este nuevo dominio (VM).

Luego de obtener los ensayos químicos (Zn, Pb, Cu, Ag y Fe) principales elementos analizados en la unidad minera, se realiza un filtro muy importante para modelar el dominio VM, se usa como cutoff modelable los siguientes valores:

Zn  $\geq 1\%$ ,  
Pb  $\geq 0.5\%$ ,  
Cu  $\geq 0.25\%$  ó  
Ag  $\geq 30\text{ppm}$

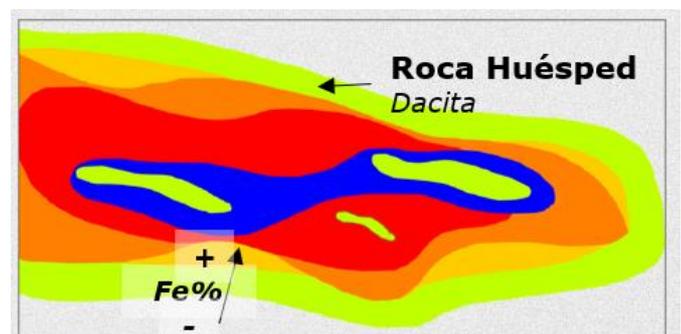


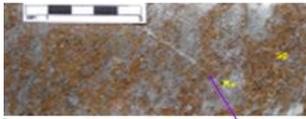
Figura 6.1. Esquema de secuencia de litologías modeladas en el software Leapfrog. El VM presente principalmente como aureola o costras.

Leyenda de litologías y fotografías representativas de los dominios:

 **Enclave**  
Volcánico rodeado de sulfuros, tiene la misma composición que la roca caja. Figura 6.2



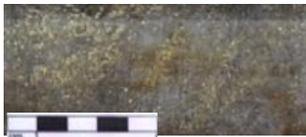
 **SPB**  
Sulfuro primario de barita. Figura 6.3



**SPP**  
Sulfuro primario de pirita. Figura 6.4



**SSM**  
Sulfuro semimasivo. Figura 6.5



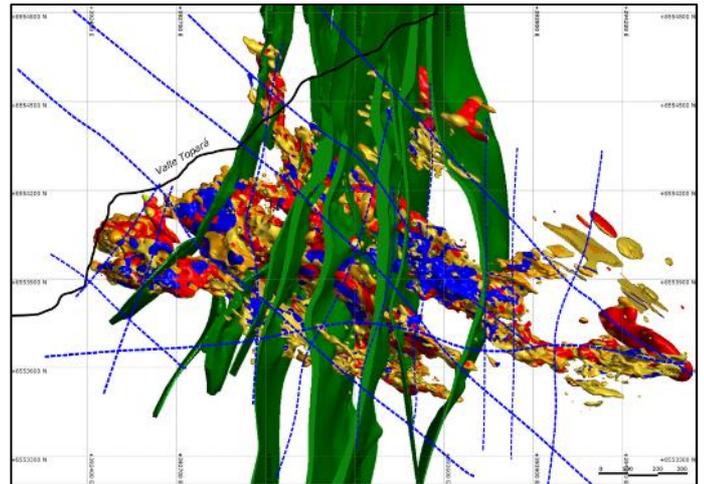
**VM**  
Volcánico Mineralizado. Figura 6.6



**D**  
Dique andesítico. Figura 6.7



Figura 6.8. Vista del Modelo Litológico de Cerro Lindo, ver leyenda anterior.



## 7. Estimación del VM

A continuación, se pasa a detallar los trabajos realizados en el dominio de VM para su correcta estimación:

### 7.1. Análisis Exploratorio de Datos:

Considerando que el VM es un dominio más discontinuo con respecto al SPB-SPP se debe tener mayor cuidado al definir los parámetros de estimación y clasificación de recursos.

DOMAIN	Grade	Nsamples	Minimum	Maximum	Mean	Variance	Std.Deviation	CV
SPB	Zn (%)	48604	0.005	66.92	5.364	27.995	5.291	0.986
VM	Zn (%)	22163	0.005	40.95	1.160	4.705	2.169	1.870

Tabla 7.1.1. Comparativa estadística básica del SPB vs VM en el elemento Zn, se puede apreciar que el VM es geológicamente es más discontinuo.

Se realizaron gráficos de histograma y curva de probabilidad con el fin de entender el comportamiento de los valores para cada elemento, en la siguiente figura se estudia el caso del Zn, se aprecia que para realizar una mejor estimación es necesario dividir al dominio en subdominio de ley de corte de 0.40%Zn, se nombrará VM High Grade para valores  $\geq 0.40\%$  y VM Low Grade para valores  $<0.40\%$ .

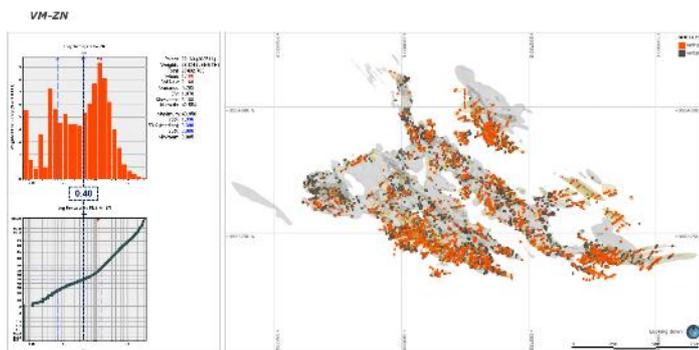


Figura 7.1.2. Vista del dominio VM por ley de Zinc y determinación del valor de corte para subdominio.

El mismo ejercicio se realizó para los elementos de Cu y Ag, en el caso del Pb al ser un elemento correlacionable en 70% con Ag se estimará dentro de este subdominio.

Leyes de Corte para Dominios por Elementos			
Dominio/Elemento	Zn (%)	Cu (%)	Ag (PPM)
VM	0.40	0.15	35

Figura 7.1.3. Valores de ley de corte para creación de subdominios de alta y baja ley dentro del VM.

## 7.2. Capping:

Para determinar el capping se elaboraron gráficos de histogramas y curvas de probabilidad, además de visualizar las muestras en el espacio y validar las muestras que están siendo capeadas.

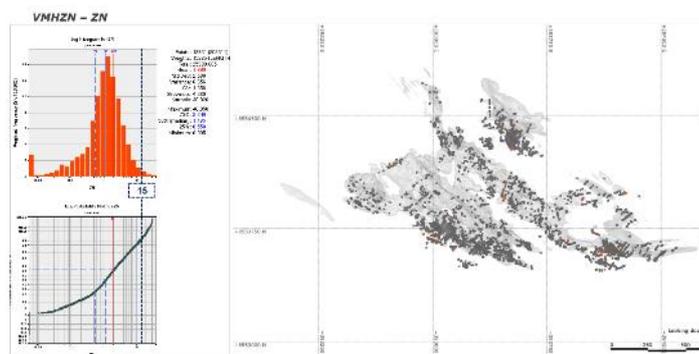


Figura 7.2.1. Vista del dominio High Grade VM por ley de Zinc y determinación del valor de capping.

El mismo ejercicio se realizó para todos los elementos y subdominios del VM.

Descript	ZNPCT	PBPCT	CUPCT	AGPPM
VMHG	15.00	7.50	4.00	600
VMLG	2.00	2.00	0.50	100

Figura 7.2.2. Valores de capping para los subdominios de alta y baja ley en el VM.

## 7.3. Análisis de Compósito:

Para determinar el tamaño del compósito adecuado se realizó un gráfico de sensibilidad entre la media sin pesar y pesado compositado a diferentes valores de compósito y se observa que el valor usado en Cerro Lindo de 2.5m es un valor de compósito adecuado (dentro del sesgo +-5%) para la estimación considerando un modelo de bloques de 5x5x5.

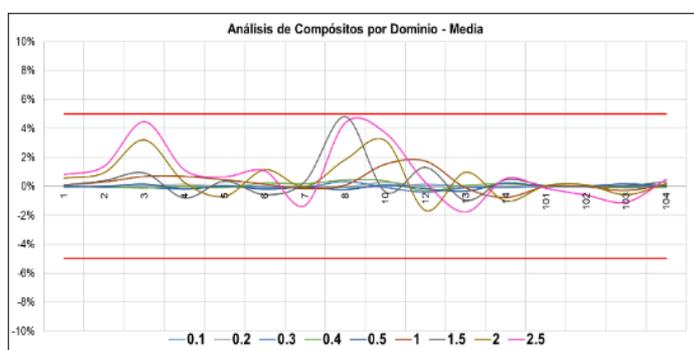


Figura 7.3.1. Gráfico de sensibilidad de la media entre muestra sin pesar y pesada por el compósito a diferentes valores.

## 7.4. Variografía:

Se realizaron variogramas para cada elemento considerando los más importante la información geológica de campo (geológica estructural, bandeamiento mineral) para respetar la continuidad mineral, a continuación, se observa el resultado de los variogramas para el Zinc.

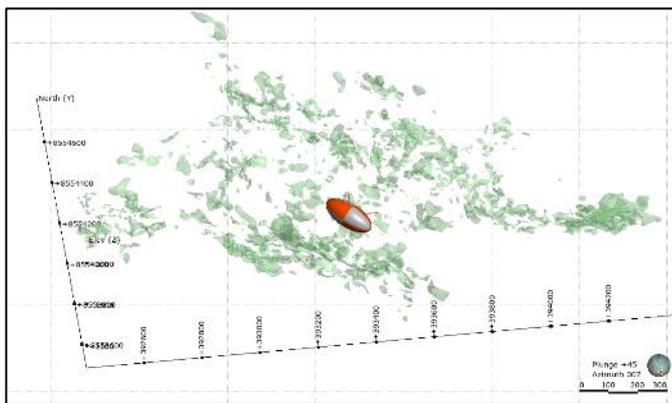
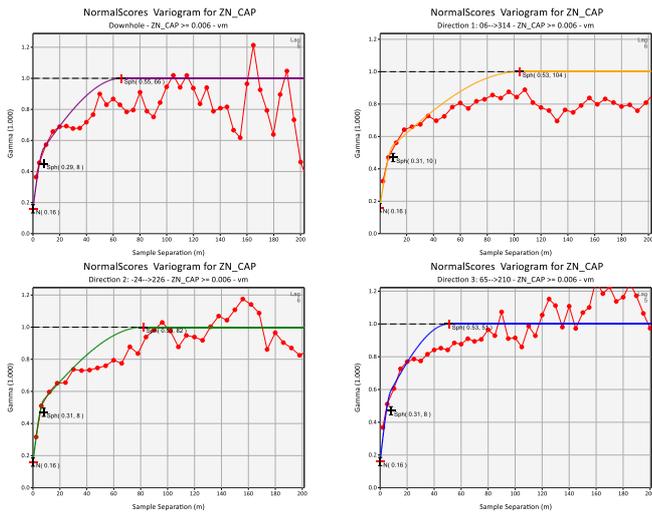


Figura 7.4.1. Gráficos de variogramas en las direcciones respectivas para el Zn en el VM, abajo, gráfico con el elipsoide que representa las direcciones del Variograma, es coherente con la geología y la continuidad mineral.

El mismo ejercicio se realizó para los demás elementos.

### 7.5. Modelo de Bloques:

El tamaño de bloques usado en Cerro Lindo es 5m x 5m x 5m y para representar muy bien los contactos geológicos entre los dominios y subdominios se realiza subbloqueo hasta 0.5m x 0.5m x 0.5m, de esta manera la diferencia entre el volumen del wireframe y el volumen del modelo de bloques es muy cercano a 0%.

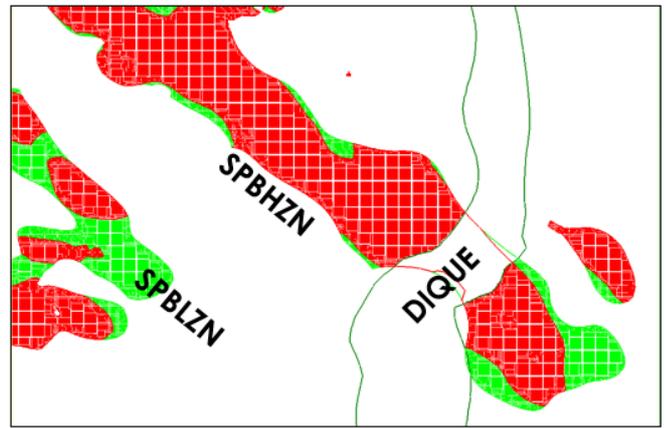


Figura 7.5.1. Vista del bloqueo y subbloqueo.

### 7.6. Estrategia de Interpolación:

El yacimiento está afectado por la tectónica del batolito de la costa, tiene bandeamientos, fallas, etc. Es decir, la tendencia mineral varía a lo largo de los cuerpos, es por ello que para mejorar la búsqueda de muestras durante la interpolación se aplicó anisotropía dinámica usando superficies de tendencia mineral elaboradas en base a la geología estructural y a la zonificación de minerales de alta temperatura (Cu) y de baja temperatura (Zn), en este caso se usó el ratio de Knuckey ( $Cu/(Cu+Zn)$ ).

Los valores de DIP, TRDIP de las superficies de tendencia son interpolados por NN (Vecino más cercano) dentro del modelo de bloques antes de interpolar las leyes.

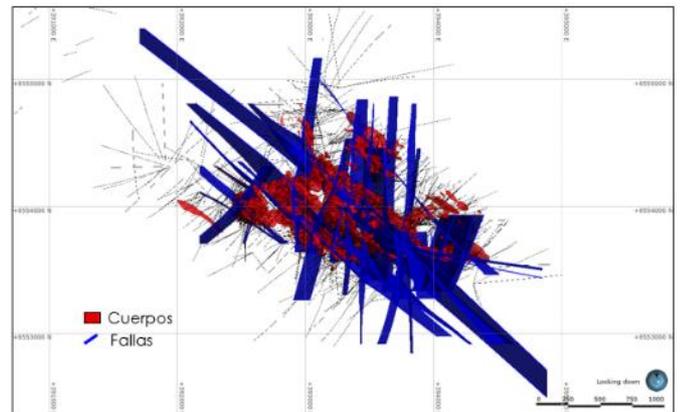


Figura 7.6.1. Vista del modelo estructural de Cerro Lindo.

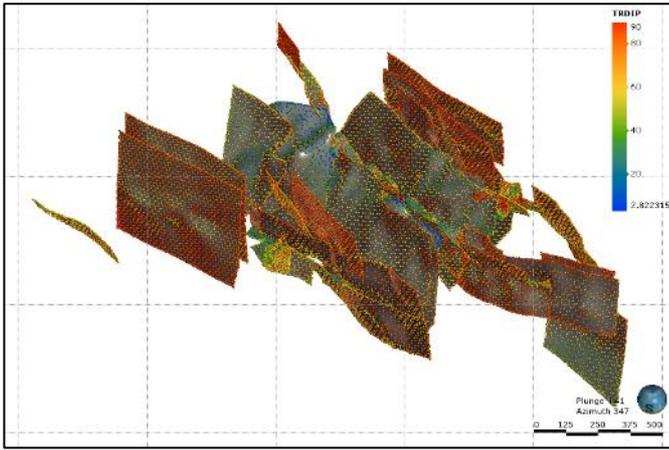


Figura 7.6.2. Superficies de tendencia mineral usadas para la anisotropía dinámica.

De esta manera se reduce considerablemente la incertidumbre en la estimación de leyes.

Se realizaron validaciones globales y locales, los resultados muestran una correcta estimación para efectos de la planificación y minado en este dominio.

VALIDACION GLOBAL - CERRO LINDO															
Dominio	Pase	ZN_NN				ZN_OK				Dif. Rel. de medias NN_OK(%)	ZN_IDW3				Dif. Rel. de medias NN_IDW3(%)
		Número de Bloques	Media	Cv		Media	Cv		Media		Cv				
VMHZN	1	430366	1.952	1.013	1.948	0.469		1.950	0.588	0.21%	1.892	0.577	0.38%	0.12%	
	2	864010	1.889	0.924	1.854	0.434		1.882	0.577	1.84%	1.892	0.577	0.38%	0.38%	
	3	832214	1.709	0.892	1.706	0.480		1.728	0.655	0.19%	1.728	0.655	-1.10%	-1.10%	
	Total	2126590	1.808	0.929	1.794	0.465		1.814	0.618	0.79%	1.814	0.618	-0.37%	-0.37%	
	PB										PB_IDW3				
			Número de Bloques	Media	Cv		Media	Cv		Media	Cv				
	1	111858	0.957	1.118	0.969	0.503		0.902	0.627	-1.29%	0.902	0.754	-2.44%	-0.95%	
	2	428703	0.880	1.140	0.879	0.579		0.902	0.754	0.13%	0.902	0.754	-2.44%	-2.44%	
	3	536302	0.765	1.062	0.787	0.606		0.773	0.798	-2.93%	0.773	0.798	-1.08%	-1.08%	
	Total	1076863	0.829	1.111	0.842	0.588		0.843	0.765	-1.49%	0.843	0.765	-1.63%	-1.63%	
	CU										CU_IDW3				
			Número de Bloques	Media	Cv		Media	Cv		Media	Cv				
	1	325830	0.526	0.886	0.525	0.307		0.526	0.524	0.32%	0.532	0.524	-1.06%	-1.06%	
	2	737200	0.507	0.846	0.511	0.409		0.518	0.565	-0.67%	0.518	0.565	-2.00%	-2.00%	
	3	488195	0.520	0.954	0.497	0.549		0.518	0.744	4.42%	0.518	0.744	0.45%	0.45%	
Total	1551234	0.515	0.892	0.509	0.456		0.521	0.622	1.22%	0.521	0.622	-0.99%	-0.99%		
AG										AG_IDW3					
		Número de Bloques	Media	Cv		Media	Cv		Media	Cv					
1	111858	98.489	0.767	98.209	0.359		98.888	0.448	0.28%	98.888	0.448	-0.41%	-0.41%		
2	428703	98.157	0.876	99.229	0.464		100.449	0.566	-1.09%	100.449	0.566	-2.31%	-2.31%		
3	536302	104.232	0.939	100.074	0.570		103.127	0.717	4.07%	103.127	0.717	1.07%	1.07%		
Total	1076863	101.288	0.902	99.555	0.513		101.654	0.641	1.73%	101.654	0.641	-0.36%	-0.36%		
FE										FE_IDW3					
		Número de Bloques	Media	Cv		Media	Cv		Media	Cv					
1	317138	12.142	0.622	12.217	0.388		12.134	0.444	-0.61%	12.134	0.444	0.07%	0.07%		
2	716155	13.330	0.596	13.350	0.366		13.323	0.450	-0.15%	13.323	0.450	0.05%	0.05%		
3	517941	14.155	0.595	13.559	0.385		13.858	0.471	4.30%	13.858	0.471	2.12%	2.12%		
Total	1551234	13.383	0.603	13.197	0.379		13.273	0.460	1.40%	13.273	0.460	0.82%	0.82%		

Figura 7.6.3. Validación Global del dominio VMHZN (Vm de High Grade de Zinc).



Figura 7.6.4. Validación Local del dominio VMHZN (Vm de High Grade de Zinc).

## 8. Geometalurgia del Volcánico Mineralizado

### 8.1. Conminución

Indica la reducción de tamaño de un material de dimensiones de partícula promedio a un tamaño de partícula inclusive más pequeño, mediante trituración, chancado, molienda y otros. (Camiper, 2019).

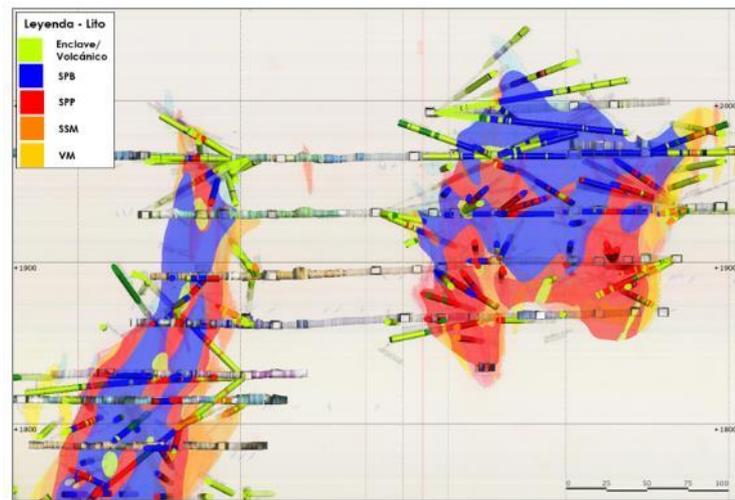


Figura 7.1.1: Zonificación de los dominios de sulfuros masivos (SPB, SPP), SSM y Volcánico Mineralizado para la toma de muestras.

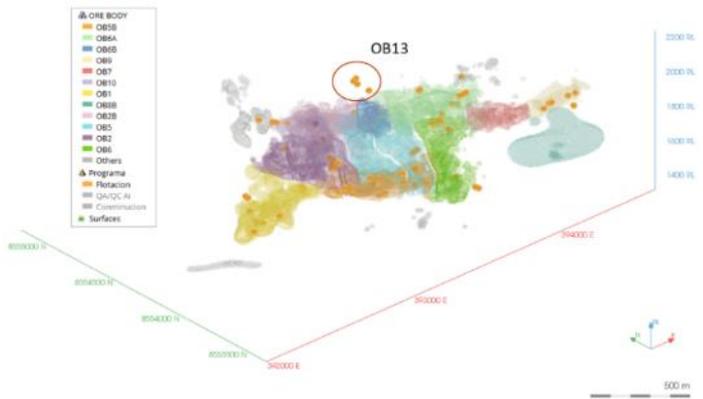


Figura 8.1.2: Distribución espacial de las muestras

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

#### 8.1.1. 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  $A_i$  que se obtuvieron de la mayor población de muestras se encuentran en rangos medios a altos.

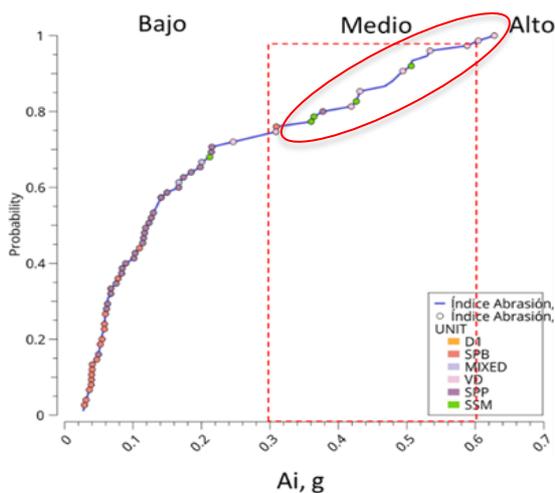


Figura 8.1.1.1: Índice de abrasión ( $A_i$ ) de dominios en Cerro Lindo

### 8.1.2. 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, usualmente expresada como el pasante bajo una malla específica como la 150 o la 200. (Metallurgist, s.f.).

Los resultados de  $BW_i$  de la mayor población de muestras presentan mayor dureza respecto a los otros dominios.

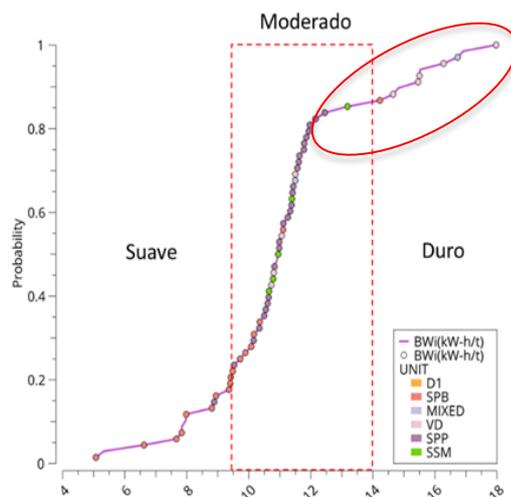


Figura 8.1.2.1: Distribución de índice de trabajo ( $BW_i$ ) de dominios en Cerro Lindo.

## 8.2. 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 oxígeno 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.)

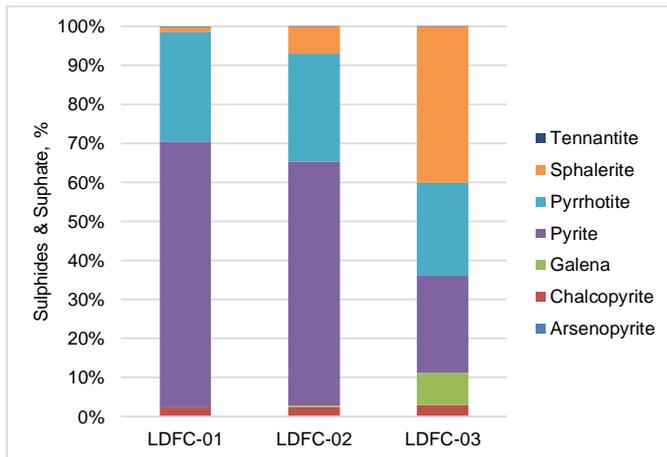
En las pruebas de flotación del compuesto LDFC-03 se puede observar que las recuperaciones de los elementos (Zn, Cu, Pb y Ag) están dentro los estándares.

## 8.3. Mineralogía

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

En la figura N°5 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; cabe resaltar que nuestro concentrado de Cu es de muy buena calidad.



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

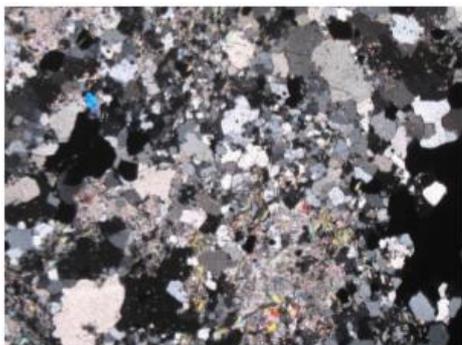
Figura 7.3.1: Mineralogía del compuesto LDFC-03

#### 8.4. Estudio Petrominerográfico

Se realizó el estudio petrominerográfico para poder reconocer los minerales de mena 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 pirita y esfalerita.

En la descripción microscópica 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. Calcopirita III se aprecian como relictos en esfalerita III. Galena ha reemplazado débilmente algunos cristales de pirita I.

Figura 8.4.1: Muestra microscópica del VM

#### 9. Beneficios y Riesgos

El gran beneficio inmediato al identificar este dominio es el incremento de Recursos y Reservas Minerales, y esto impacta directamente en la vida útil de la mina.

En cuanto a riesgos, considerando que este dominio tiene una dureza mayor al resto de dominios su chancado y molienda requerirá mayor energía, en la sedimentación del relave también se tendrá un tiempo mayor. Se realizó varias pruebas y se determinó que hasta un 10% de VM en la producción su impacto es poco o nulo en los diferentes procesos, en caso supere este porcentaje la planta si tendrá impactos en chancado primario – secundario y molienda requerirá mayor tiempo y los componentes tendrán mayor desgaste debido a su mayor dureza y abrasividad comparado con los sulfuros y en los espesadores requerirá mayor tiempo de sedimentación debido a su menor gravedad específica (3.0 t/m<sup>3</sup> del VM versus 4.3t/m<sup>3</sup> de los Sulfuros).

#### 10. Conclusiones

- Se determinó que la roca caja con presencia de esfalerita, galena y/o calcopirita en diseminación, parches y/o venillas es un Volcánico Mineralizado y de esta manera es logueado, modelado y estimado aplicando las buenas prácticas para que sean representativas el momento de planificar y minar, además sean auditables.
- El resultado de la estimación de leyes aplicando la metodología explicada disminuye considerablemente la incertidumbre y se obtiene una buena predicción para efectos de la planificación y el minado en este dominio.
- El volcánico mineralizado (VM) presenta mayor dureza y abrasividad en comparación al sulfuro masivo, así también posee baja gravedad específica (3.0 t/m<sup>3</sup> versus 4.3 t/m<sup>3</sup> de sulfuros)
- La recuperación de Zn depende del contenido de Zn en la cabeza y no de la cantidad del VM dentro del aporte en la producción.
- Con el aporte de 10% en la producción del VM las recuperaciones, calidad de los concentrados y tonelaje de tratamiento están dentro de los estándares establecidos por planta concentradora. Sin embargo, con aporte mayor a 10% se tendrá impactos principalmente en la chancado, molienda y sedimentación del relave.
- Los recursos y reservas del yacimiento aumentan considerablemente incluyendo este dominio.

## Agradecimientos

Agradecimientos a todos los colegas de la unidad minera Cerro Lindo que hicieron posible el desarrollo de este proyecto.

## Referencias

- Modelamiento Geológico Y Estimación De Recursos, Yacimiento La Niña, Tongoy, Cementos Melón SA. Año 2017. Oscar Ignacio Naranjo Cabello, p. 34-62.
- Fundamentos de la Estimación De Recursos Minerales, Año 2017. Heber Hernández Guerra. P 1-27.
- Transmin Metallurgical Consultants. Año 2020. Cerro Lindo Ph-3 GeoMet Testwork Report Rev C 2020-06-13. p. 92-115.
- Caracterización geometalúrgica en los yacimientos minerales. Año 2015. Jaime Yagua Padilla, Oscar Molina Galdós, Martin Prado Neira, Orlando Zevallos Del Carpio, Jesús Cadenas Zarate. P. 1-4
- Technical Report on the Cerro Lindo Mine, Department of Ica, NI 43-101. Año 2020. Qualified Persons: Rosmery J. Cárdenas Barzola, P.Eng. Normand L. Lecuyer, P.Eng. Lance Engelbrecht, P.Eng. Luis Vasquez, M.Sc., P.Eng. p. 64-230.

**Autor 1**

**Nombre del autor :** Jean Paul Bueno Carreon

**Empresa :** Nexa Resources- Cerro Lindo

**Cargo :** Gerente de Geología

**Celular :** 984615005

**Correo corporativo :** jean.bueno@nexaresources.com

**Coautor 1**

**Nombre del autor :** Jhonatan Lopez Alvarez

**Empresa :** Nexa Resources – Cerro Lindo

**Cargo :** Jefe de Modelamiento

**Celular :**964336628

**Correo corporativo :**

Jhonatan.lopez@nexaresources.com

**Coautor 2**

**Nombre del autor :** Nickol Estrada Ramos

**Empresa :** Nexa Resources – Cerro Lindo

**Cargo :** Geologo de mina

**Celular :** 915350479

**Correo corporativo :**

nickol.estrada@nexaresources.com