

Hallazgo y Desafíos de un Nuevo Dominio Geológico: “Volcánico Mineralizado” y su Impacto en la Producción del Yacimiento Cerro Lindo

Alex Palpán¹

apalpan@nexaresources.com

<https://orcid.org/0009-0005-5503-6857>

Nexa Resources, Ica
Chincha, Perú

Maylin Mendoza

maylin.mendoza@nexaresources.com

<https://orcid.org/0000-0003-4877-8834>

Nexa Resources, Ica
Chincha, Perú

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar mediante las campañas de sondajes de perforación diamantina un nuevo dominio litológico, que hemos denominado- “Volcanico mineralizado” que sea económico y rentable para la producción, este volcanico mineralizado tiene características físicas, químicas y mineralógicas distintas a las que ya conocíamos cuya inclusión en los procesos de extracción y recuperación de mineral, significo un gran reto para los profesionales de Cerro Lindo, para esto fue necesario combinar varias herramientas geológicas para su caracterización (litológica, mineralógica, alteración y estructural), la estimación de las reservas así como la aplicación de las mismas en la Geometalurgia, para superar los desafíos encontrados. Los diversos estudios y ensayos nos permitieron caracterizar este nuevo dominio para incrementar los recursos y la vida útil en el yacimiento; pero esto conllevó a un reto aún más importante, cómo integrar de manera viable este nuevo dominio en nuestros procesos diarios, tanto de operaciones como de tratamiento de mineral. Se desarrollaron estrategias, metodologías, innovaciones tecnológicas y se establecieron conexiones entre las áreas de geología-metalurgia y mina, y así, se hizo factible la explotación de este nuevo dominio (Volcánico mineralizado). Definitivamente combinada la geología con la metalurgia nos permitió proponer estos nuevos mecanismos de trabajo en nuestros procesos operativos y de tratamiento de mineral, y lograr que un recurso geológico con características limitantes por su mineralogía que no se adaptaba a la ya conocida, cuyos diseños y parámetros de nuestra planta no estaban aun acondicionados para ello, se hiciera realidad sin perder de vista la mejor productividad , maximizar la producción, racionalizar los procesos y por ende mejor rentabilidad.

Palabras claves: yacimiento VMS; litología; modelo geológico; reservas

¹ Autor principal

Correspondencia: apalpan@nexaresources.com

Finding and Challenges of a New Geological Domain: “Mineralized Volcanic” and its Impact on the Production of the Cerro Lindo Deposit

ABSTRACT

The objective of this work was to determine, through diamond drilling campaigns, a new lithological domain, which we have called "Mineralized volcanic" that is economical and profitable for production, this mineralized volcanic has physical, chemical and mineralogical characteristics different from those which we already knew whose inclusion in the mineral extraction and recovery processes meant a great challenge for the professionals of Cerro Lindo, for this it was necessary to combine several geological tools for its characterization (lithological, mineralogical, alteration and structural), the estimation of reserves as well as their application in Geometallurgy, to overcome the challenges encountered. The various studies and tests allowed us to characterize this new domain to increase the resources and useful life in the deposit; but this led to an even more important challenge, how to viably integrate this new domain into our daily processes, both operations and mineral treatment. Strategies, methodologies, technological innovations were developed and connections were established between the areas of geology-metallurgy and mining, and thus, the exploitation of this new domain (mineralized volcanic) became feasible. Definitely combining geology with metallurgy allowed us to propose these new work mechanisms in our operational and mineral treatment processes, and achieve that a geological resource with limiting characteristics due to its mineralogy that did not adapt to the already known one, whose designs and parameters of our plant were not yet equipped for it, it became a reality without losing sight of the best productivity, maximizing production, rationalizing processes and therefore better profitability.

Keywords: VMS deposit; lithology; geological model; reserves

*Artículo recibido 20 septiembre 2023
Aceptado para publicación: 28 octubre 2023*

INTRODUCCIÓN

El área de estudio corresponde a la Unidad minera Cerro Lindo, Lo.

El objetivo de este trabajo fue determinar un nuevo “dominio litológico económico” con características físicas, químicas y mineralógicas distintas a las que ya conocíamos, esto gracias a la información de las campañas de perforación diamantina.

Con diferentes estudios y ensayos logramos caracterizar este nuevo dominio para incrementar los recursos y la vida útil en la Unidad Minera Cerro Lindo; pero esto conllevó a un reto aún más importante, cómo hacer frente a los desafíos que esto implicaba para integrar de manera viable este nuevo dominio en nuestros procesos diarios tanto de operaciones como de tratamiento de mineral. Se desarrollaron estrategias, metodologías que se detallan en el capítulo de resultados. Se establecieron conexiones entre las áreas de geología-metalurgia y mina, y así, se hizo factible la explotación de este nuevo dominio.

Actualmente como sabemos, la minería moderna es sinónimo de tecnología, mejora continua y seguridad, por ello en este informe se presenta una manera clara de “pensar fuera de la caja”, se muestra una forma de optimizar y tener una mayor recuperación de los elementos (Ag-Pb) sin afectar la calidad de nuestros concentrados, con nuevas tecnologías, frente a nuevos desafíos que se nos presentaron, los cuales fueron superados de la mejor manera y garantizamos la exactitud y confiabilidad de los resultados obtenidos con el fin de lograr mejoras en todo el proceso.

Problemática

Falta de información en las zonas de borde del yacimiento, solo se contaba con pequeños indicios de zonas aisladas con contenidos económicos principalmente de Ag y Pb; estas pequeñas áreas estaban espacialmente fuera de los emplazamientos de los cuerpos masivos reconocidos: sulfuro primario de pirita (SPP) , sulfuro primario de baritina (SPB) y semimasivos (SSM), y por ello se tomó la decisión de realizar campañas de perforación diamantina hacia estas zonas para hacer las debidas interpretaciones geológicas y hacer la evaluación económica de estas áreas.

Esta zona de borde se identificó en los logueos de los años 2019, la cual fue considerada dentro de las zonas económicas (SPP-SPB-SSM), esta zona presenta una matriz volcánica y con un contenido de sulfuro por debajo de 20%, lo cual era considerado como una zona estéril (Roca caja

Por otro lado, una problemática más que surgió, fue que esta mineralogía tenía características físico – químicas muy diferentes a las ya conocidas, sería un mineral completamente nuevo para nuestra planta de procesos.

Diagrama N° 1: Diagrama de problemática abordada.



Objetivos

- Identificar, zonificar y caracterizar el nuevo dominio en las zonas de borde, antes considerado como volcánico dacítico (Zona estéril), con la finalidad de implementar un modelo y estimación del nuevo dominio para poder incrementar los recursos y explotación en la operación.
- Realizar pruebas, ensayos mineralógicos y geometalúrgicos para proponer nuevos mecanismos de trabajo en nuestros procesos operativos y de tratamiento de mineral, que nos permitan incluir este nuevo dominio con nuevas características fisicoquímicas en la producción diaria y así incrementar la vida útil de la mina Cerro Lindo.

METODOLOGÍA

Se realizaron programas de perforación diamantina enfocados en estas zonas de borde; con esta información se realizó un logueo y relogueo detallado donde se adiciono una nomenclatura que nos permitió diferenciar este dominio con respecto a los demás, tanto en (mineralogía, alteración y estructural), para complementar esta caracterización geológica se utilizó información de (frentes de avance en mineral y de tajos en producción) , después de la toma de muestra tanto de diamantina como de mina se realizaron las correspondientes interpretaciones geológicas y se marcaron los controles de la mineralización de este nuevo dominio (Volcánico Mineralizado), así como su ubicación espacial dentro de los eventos de formación del yacimiento VMS.

Luego de definida la caracterización geológica se procedió a realizar la cuantificación y zonificación 3D del volcánico mineralizado mediante la generación del modelo geológico, y se consideró realizar análisis mineralógicos, petrográficos y geometalúrgicos (Diagrama 2).

Un punto importante para abordar los desafíos dentro del proceso de recuperación de mineral y disminuir la incertidumbre de lo que este dominio significaba para nuestra operación por su contenido de roca caja fue tomar muestras para ser analizadas en el laboratorio químico donde se formó un compósito (LDFC-03) para poder realizar estudios geometalúrgicos como conminución (dureza del mineral), flotación, análisis mineralógico en los concentrados y en el relave.

Para fines geometalúrgicos se tomaron 400 muestras de sondajes y comunes, teniendo en cuenta su distribución espacial. Finalmente, con estos resultados se validó el modelo del nuevo dominio (Volcánico mineralizado) y se ideó un nuevo modelo geometalúrgico.

Diagrama N° 2: Zonificación de Volcánico Mineralizado.

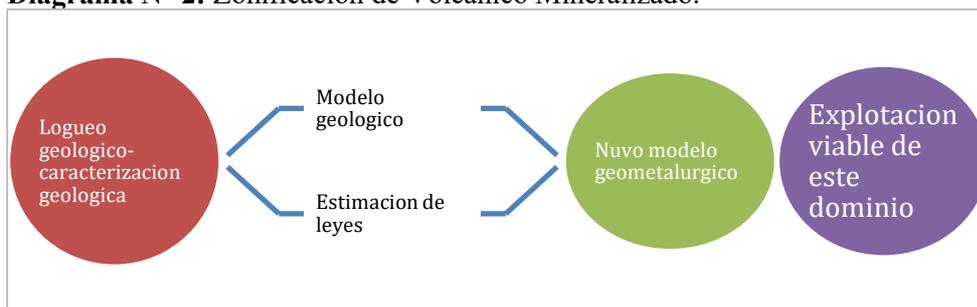
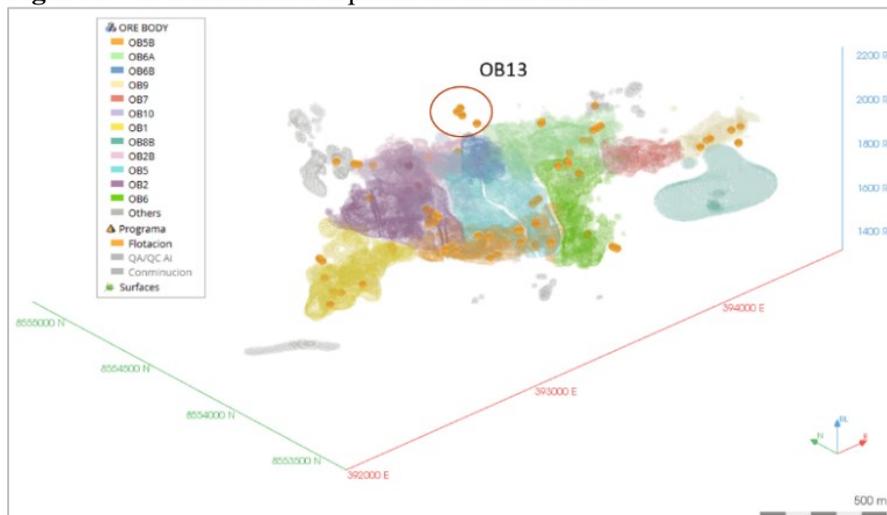


Figura N° 1: Distribución espacial de las muestras



Presentación de Resultados

Con las nuevas campañas de perforación, el logueo detallado y las leyes obtenidas de las muestras, se realizó una estimación a este dominio y nos dio un NSR interesante y empezamos a realizar más estudios (minerográficos, petrográficos, metalúrgicos), para disminuir la incertidumbre geológica y su impacto en el proceso de recuperación de mineral, ya que el contacto entre esta zona y la roca caja, es un contacto gradacional y poco definido; es ahí donde se marcó una pauta en los parámetros de logueo geológico y mapeo de labores en interior de mina; básicamente la diferenciación fue a nivel mineralógico y de alteración de los minerales primarios de la roca volcánica, sumado a esto, se zonificó dentro del modelo por su contenido alto en leyes de Zn-Pb-Ag, logrando diferenciar esta zona, denominándole Volcánico Mineralizado (VM) (Diagrama 1).

Se asumió el reto, y se realizaron una serie de ensayos y pruebas metalúrgicas, lo hicimos viable, propusimos metodologías, como determinar el contenido máximo de ingreso de este dominio a la producción, se trabajó una estrategia de planeamiento para secuenciar estos tajos paralelamente con zonas de sulfuro de alta ley, se creó una iniciativa de mineral marginal con alto contenido de Fe, para déficit que presenta este dominio, se adicionaron nuevos reactivos para optimizar el proceso de recuperación en este tipo de mineralización, se implementó el control del porcentaje de ingreso por dominio en los Blending diarios y se habilitó un stock en canchas para este dominio. Demostramos que se podía considerar como incremento de nuestras reservas y ponerlo en producción sin alterar la metalurgia ni la recuperación en nuestros concentrados.

Caracterización del nuevo dominio

En los sondajes de perforación diamantina, principalmente en las zonas de exploración del OB9 -OB13 se identificó una litología con potencial económico alto, que consiste macroscópicamente de roca volcánica silicificada y con moderada a fuerte alteración de clorita y sericita con parches por remplazamiento de esfalerita, galena y cobres grises; esta litología aparece como halos rodeando los bordes de la zona con mayor enriquecimiento económico (Figura 2 y 3).

Para este proceso se establecieron parámetros adicionales al logeo, principalmente en los contenidos de mineralización, ya que anteriormente era clasificado como roca caja. Luego se procedió hacer ensayo de microscopia para caracterización mineralógica y petrográfica para mejorar la definición de este nuevo dominio.

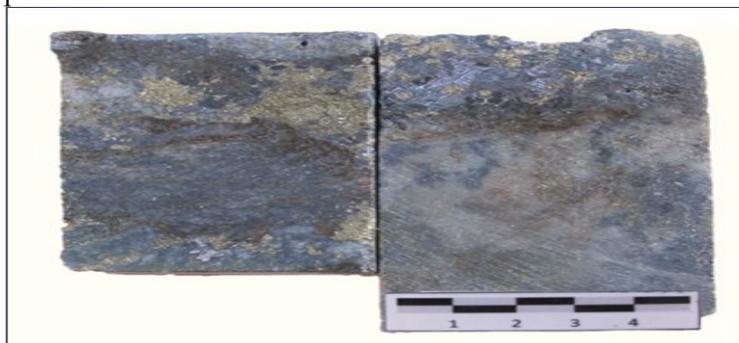
Se determinó que esta zona pertenece litológicamente a una roca caja félsica (riodacita) con texturas relíctica y de reemplazamiento, que corresponde al misma Cámara magmática, es decir corresponde al mismo evento hidrotermal de la mineralización metalífero de Cerro Lindo, a un evento primario influenciado por removilización de estructuras (Eficiente transporte) relacionado a (porosidad de caja, reemplazamiento y correlaciones geoquímicas-litogeoquímicas) que fueron condiciones favorables para el enriquecimiento principalmente de Cu Grises (Fase III) de la secuencia paragenética (M. Mendoza,2020).

Figura N°2: Ubicación espacial de las zonas de principal aporte de volcanico mineralizado.

ALTERACIONES		
Tipo	Intensidad	Ensamble de minerales
Sericitización	Intensa	Sericita y muscovita.
Cloritización	Moderada	Cloritas.
Argilización	Débil	Arcillas.
Carbonatación	Incipiente	Carbonatos.

La roca matriz presenta intensa alteración de sericita - muscovita potásica y una alteración moderada de clorita Fe y de manera incipiente argilización débil (M. Mendoza,2021)

Figura N°2: Muestra de DDH de volcanico mineralizado, se evidencia el tipo de mineralización en parches.



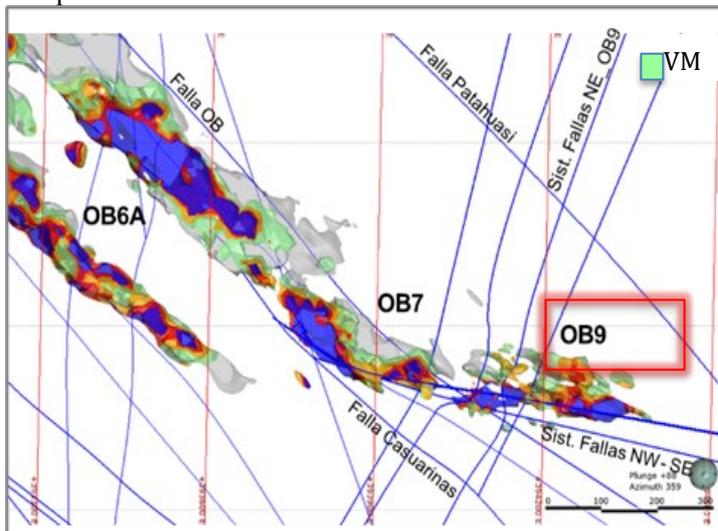
Estructural

La mineralización en Cerro Lindo obedece a controles litológico-mineralógico y sobre todo estructural, los cuales definen la geometría del yacimiento, presenta 4 alineamientos:

- **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**.

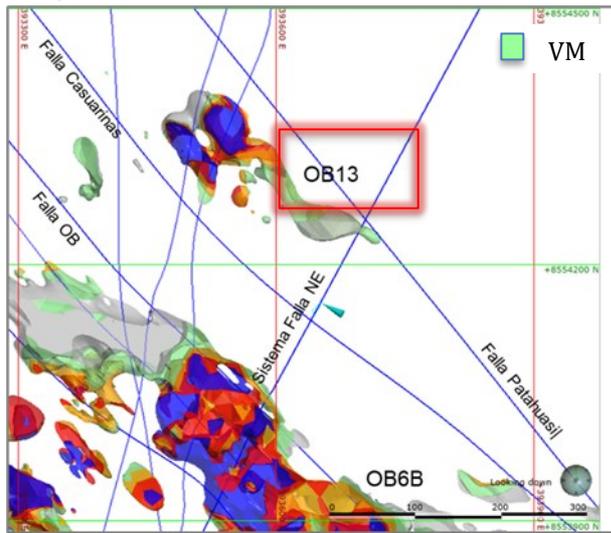
Las zonas importantes de VM están entre los corredores estructurales Patahuasi y Casuarinas influenciados por la cinemática de las fallas NE (Removilización). Según, análisis de permeabilidad y porosidad de los sondajes exploratorios se evidencia una correlación de la dirección de los sistemas principales con las tendencias de la porosidad y permeabilidad del OB-9, factor importante que marca el control estructural (Figura 4).

Figura N°4: Plano a nivel 1820, control estructural (NW-SE/NE (>°) en cuerpo OB9, VM al N del cuerpo.



En función de los tres sistemas de fallas principales asociadas a los eventos de mineralización y la distribución espacial de los cuerpos mineralizados, es posible generar un control estructural para las zonas de volcánico mineralizado, determinándose que en las zonas de OB9-OB13 tienen potencial lateral restringido al emplazamiento del intrusivo Catahuasi (Figura 5).

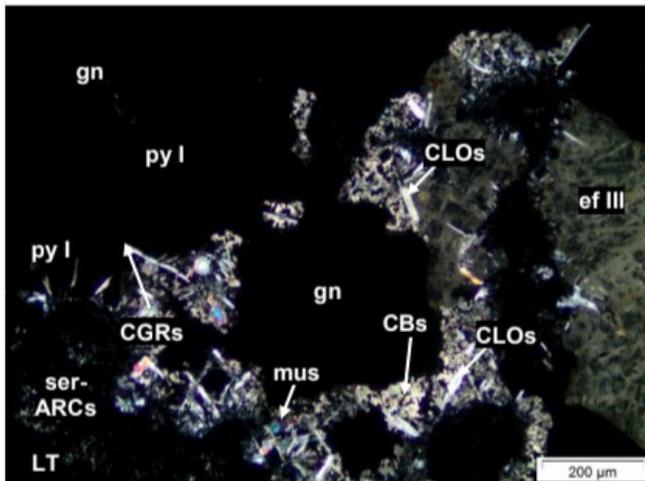
Figura N°5: Plano a nivel 1820. Control NW-SE y NE (<°) limitado por Falla Patahuasi, VM al S del OB13.



Mineralogía

El estudio mineralógico con microscopía electrónica de barrido y se determinó que la muestra posee constante remplazamiento de minerales primarios, los agregados de pirita (py), siendo esta reemplazada por galena (gn) y posteriormente este mineral es reemplazado por Ag_tetraedrita (Agitad), y es debido a esta mineralogía que se sustenta sus elevadas leyes de Pb-Ag (Zn) (Figura 6).

Figura N°6



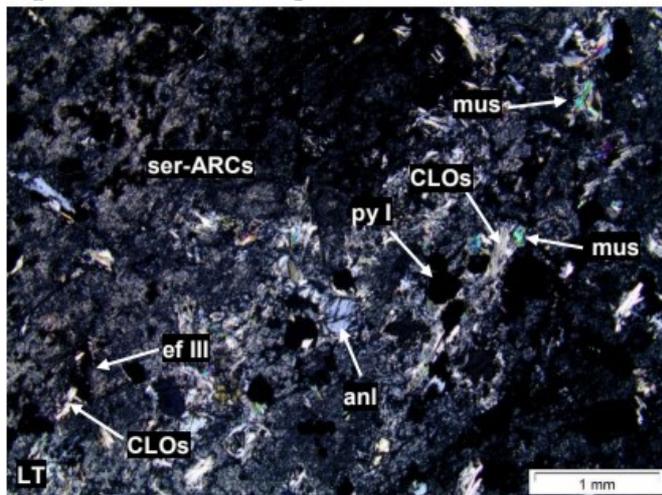
Cristales de pirita I (py I) y esfalerita III (ef III) reemplazados parcialmente por galena (gn), y esta última ha sido reemplazada por cobres grises (CGRs) (identificados por microscopía electrónica de barrido como tetraedrita con plata). Han sido cortados por cristales de muscovita (mus), cloritas (CLOs) y carbonatos (CBs). Posteriormente, han sido invadidos por agregados de sericita y arcillas (ser-ARCs).

Estudio Petrominerográfico

Se realizó el estudio petrominerográfico por microscopía óptica de muestras en volcánico mineralizado y se caracterizó de la siguiente manera: La muestra es una roca intensamente alterada con textura relíctica, de posible origen metamórfico. Se aprecian relictos de cristales de andalucita (intensamente alterados por agregados de sericita) que han sido cortados e invadidos por cristales de rutilo, pirita I, esfalerita III (reemplazada por galena, cobres grises y pirita II) y galena reemplazada por cobres grises (que han sido identificados por microscopía electrónica de barrido como tetraedrita con plata). Además, han sido cortados e invadidos por cristales de cuarzo, flogopita (con calcopirita III en sus intersticios), muscovita, cloritas y carbonatos.

Se evidencia en la roca caja agregados de sericita y arcillas (ser-ARCs) que han invadido y englobado a los relictos de cristales de andalucita (anl), pirita I (py I), esfalerita III (ef III), muscovita (mus) y cloritas (CLOs) (Figura 7).

Figura N° 7: Fotomicrografía de una muestra en volcánico mineralizado.



Geometalurgia del Volcánico Mineralizado

La Geometalurgia nos permite evaluar el comportamiento de los minerales frente a un tratamiento metalúrgico planeado, mediante herramientas de regresión estadística, microscopía óptica de opacos y el desarrollo de pruebas metalúrgicas de flotación (J. Meza et al., 2018). Debido a leyes muy altas de Ag-Pb que vienen relacionados a los Cu Grises ricos en plata, se evaluó de esta manera la performance del circuito de flotación en la etapa de separación Plomo/Cobre.

A nivel de planta para este nuevo dominio caracterizado por su aporte principal de Ag-Pb, en minerales englobados en una matriz volcánica silicificada, se logró una alternativa eficiente de separación Pb/Cu aumentando el número de celdas y con ello se pudo lograr hasta un 80% de recuperación de Pb -Ag. Por ello a nivel de recuperación y calidad de tratamiento este dominio está dentro del performance, lo cual se validó con los resultados de los ensayos metalúrgicos.

Conminución

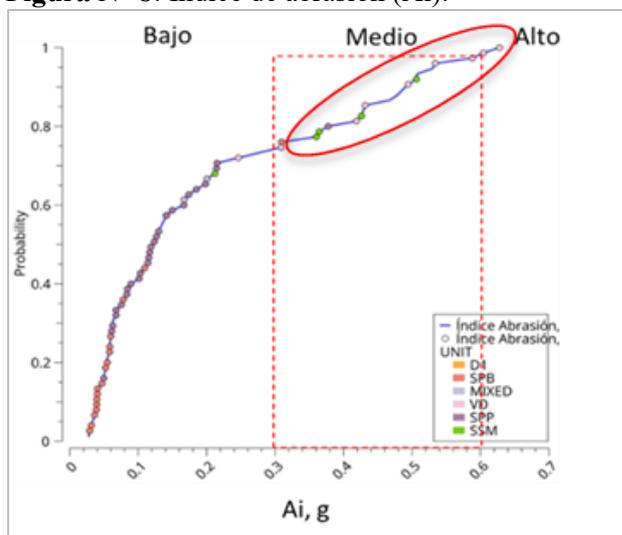
Se realizó el compósito LDFC-03 con las muestras representativas distribuidas en el yacimiento para realizar las pruebas de conminución, flotación y mineralogía.

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 (Figura 8).

Figura N° 8: Índice de abrasión (Ai).

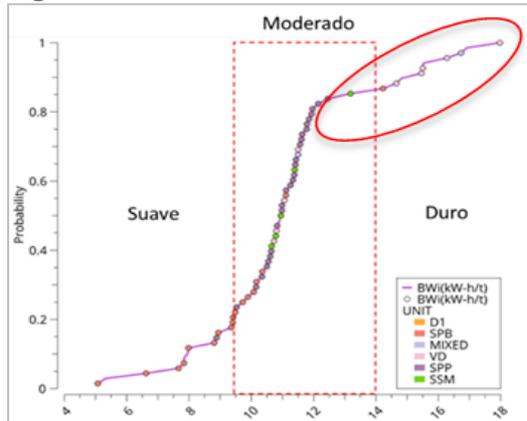


Distribución de índice de Trabajo (BWi)

Es la energía usada en la reducción de tamaño de partículas, usualmente expresada como el pasante bajo una malla específica como la 150 o la 200. (Metallurgist, s.f.).

Los resultados de BWi presentan mayor dureza respecto a los otros dominios (Figura 9).

Figura N° 9: Distribución de índice de trabajo (BW_i).



Flotación

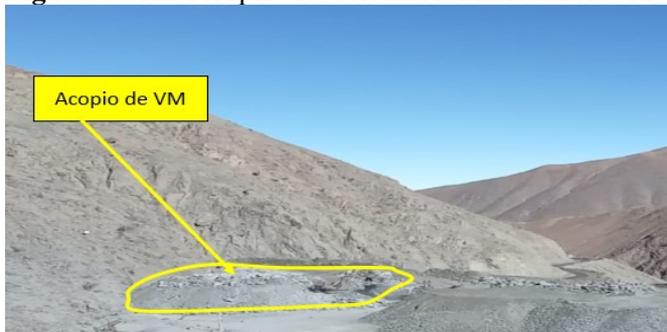
En las pruebas de flotación del compuesto LDFC-03 se puede observar que las recuperaciones de los elementos (Zn, Cu, Pb y Ag) están dentro de los estándares.

Espesamiento y filtrado de concentrados

En esta parte del proceso es donde si debemos tener mucho cuidado y dosificar muy bien el ingreso de este mineral en cantidades de acuerdo con los parámetros establecidos, respaldados en las series de pruebas y ensayos realizados.

El volcánico mineralizado aumenta el material segregado y silicatos (arcillas) que dificultan el nivel de sedimentación de estos espesadores, que al final podría causar la reducción en toneladas tratadas, y para esto se idearon iniciativas de soporte como incremento de zonas piritosas para balancear la falta de sulfuro de este dominio, se estableció un secuenciamiento adecuado de la salida, del mineral, de los tajos en los programas de producción, se realizó una caracterización de la alteración (arcillas), y se habilitaron espacios en las zonas de acopio en cancha para acumulación e ingreso de acuerdo al criterio del geólogo para no afectar la mineralogía requerida para un buen rendimiento de planta (Figura 10).

Figura N°10: Acopio de volcánico mineralizado en Cancha+100 Cerro Lindo, vista panorámica.



Modelamiento

El Volcánico mineralizado fue modelado en el software “Leapfrog Geo” mediante la herramienta de “Refined Geological Model”, acorde a los eventos de mineralización y su ubicación espacial dentro del yacimiento Cerro Lindo es el último dominio en interpolarse.

El VM se diferencia de los otros dominios por no contener sulfuros masivos, la mineralización se encuentra diseminada o en parches en la roca volcánica silicificada con alto contenido de micas agilizadas y sericitizadas, adicionalmente se tomaron estas consideraciones para su asignación (Figura 11).

VM = Rocas volcánicas %Fe <15%; Zn >=1% o Cu >=0.20% o Pb >=0.50% o Ag >=30ppm

El VM representa el 21% de las reservas actuales de Cerro Lindo.

Dominio	Tonelaje	%
SPB	8,607,563	24%
SPP	13,733,400	39%
SSM	3,397,746	10%
VM	7,557,192	21%
ENCL	196,919	1%
R.CAJA	671,249	2%
DIQUE	1,035,822	3%

Figura N°11: Sección de sondajes diamantinos con presencia de Volcánico mineralizado.

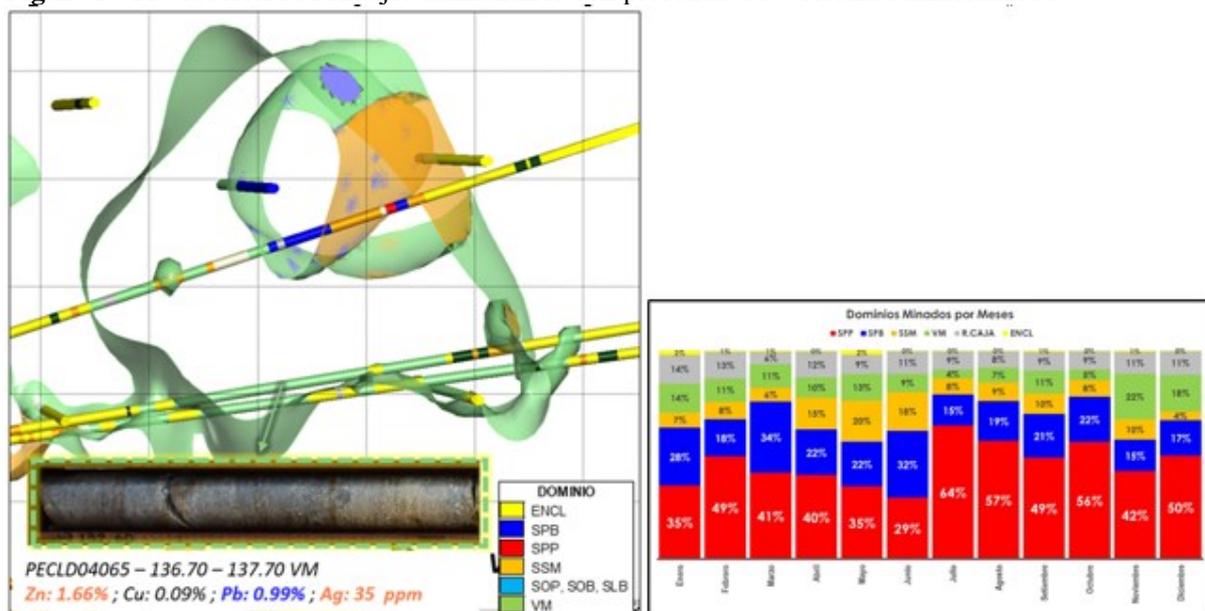
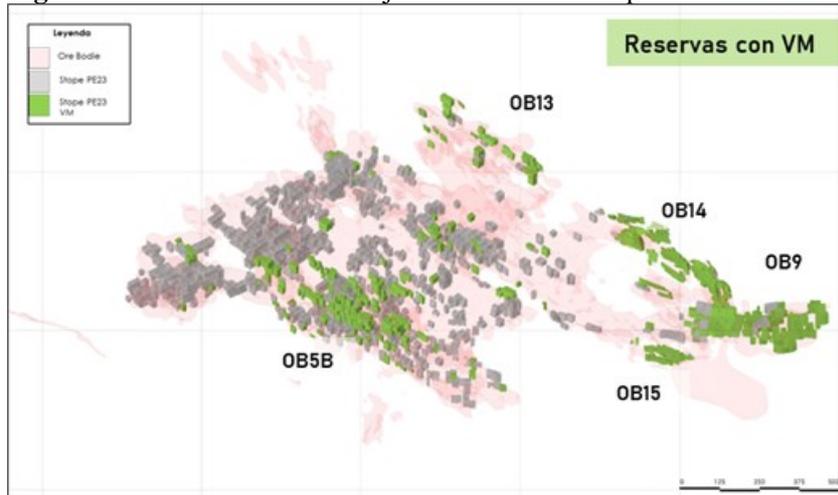


Figura N°12: Sección de sondajes diamantinos con presencia de Volcánico mineralizado.



Adicionalmente se ha logrado medir con eficiencia el porcentaje, tonelaje y leyes de los diferentes dominios geológicos y la clasificación por confiabilidad a la producción de Cerro Lindo. Con ello se marcó la pauta para una nueva metodología de trabajo, que fue agregar a nuestro Blending diario el reporte de ingreso por dominios y de esta manera prevenir a planta a que active sus parámetros para el ingreso de mayor mineral segregado y leyes altas de Ag y Pb evitando tener activaciones de Zn o inversión del ratio Cu/Pb, así como también controlar el ingreso racionalizado a un máximo de 20% de mineral de baja gravedad específica (VM) (Figura 12-13).

Figura N°13: De color verde son los tajos adicionados a las reservas en el dominio de volcánico mineralizado.

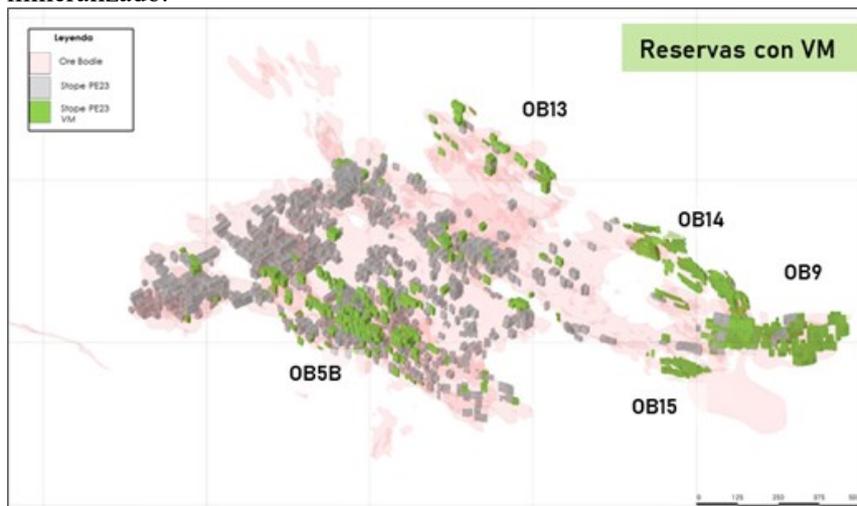


Figura N°14: Aporte de volcanico mineralizado TMH en la producción año 2021.

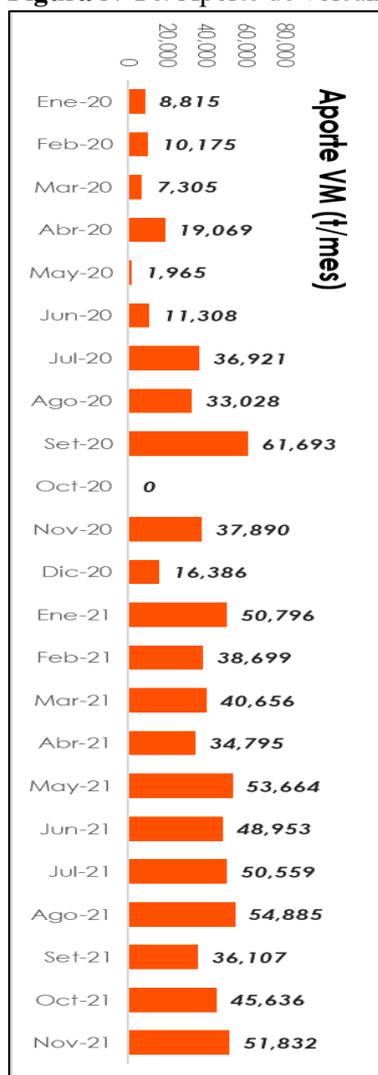


Figura N°15: Tajo de producción (Banco completo) diseñado en un 95% de volcanico mineralizado.

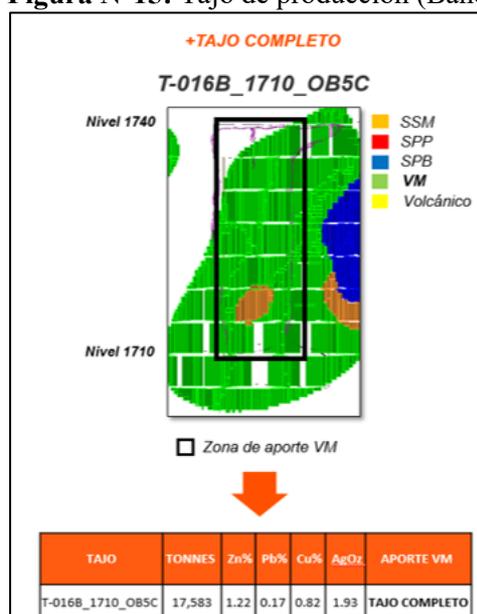
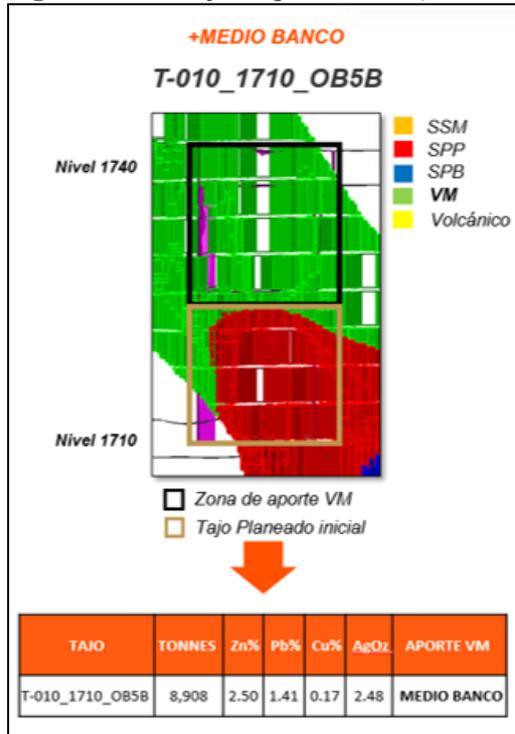


Figura N°16: Tajo de producción (Medio banco) diseñado en un 95% de volcanico mineralizado.



Desafíos y beneficios

Los principales desafíos fueron:

- Lidar con la alta dureza de esta litología, lo que genera mayor consumo de energía para el chancado e incluso el tiempo de sedimentación es mayor por su bajo contenido de sulfuro, pero se hicieron varias pruebas y se determinó que el ingreso máximo de un 20 % de VM en la producción diaria no tendría impacto negativo en los distintos procesos.
- El bajo contenido de sulfuros nos llevó a la generación de una nueva iniciativa de ingresar zonas de mineral marginal de frentes de avances piritosos que al combinarlo con el VM compensaría la falta de sulfuros, donde el mineral marginal compensado por el alto contenido en leyes del VM; así no afectaríamos nuestra recuperación y se mejoró el proceso de sedimentación. Esto fue sustentado con una serie de pruebas metalúrgicas con resultados comprobados.
- Por otra parte, cuando entraron en producción los tajos de VM, en coordinación con planeamiento se trabajó el correcto secuenciamiento de tajos en zonas de sulfuros masivos para compensar en nuestros programas diarios.

- El tema del ingreso de material de alta y baja gravedad específica como se viene mencionando debe ser controlado, y así no alterar los procesos de nuestra planta concentradora, este control se implementó a como una actividad rutinaria de Orecontrol más allá de las leyes, ahora hacemos seguimiento al porcentaje de dominios que entran al proceso, así fue como se crearon herramientas que nos permitir calcular el ingreso promedio de cada dominio y de esta manera poder prevenir a planta.
- Este nuevo dominio también implicó desafíos importantes en los procesos de Mina, como por ejemplo en relleno, que debido a su baja densidad , por debajo a los parámetros permisibles de planta, ha ocasionado limitantes en la separación de sólidos y líquidos y en la banda de filtrado, tomando más tiempo y disminuyendo el porcentaje de solidos requeridos en el proceso de relleno en pasta y por ende se veía afectado el ingreso de volumen a interior de mina , frente a ello se hicieron pruebas y se determinó que el máximo permisible de ingreso de VM no debía superar el 30% y en los espesadores se debía aumentar el floculante, a nivel de las bandas de filtros se implementará tecnologías para optimizar el resultado. Asimismo, se afectó el rendimiento de perforación y voladura por su alta dureza, en ambos procesos, el área de mina adecuó los Kpis para optimizar los resultados, y hacerlo viable (Diagrama 3).

Diagrama N° 3: Diagrama circular de los desafíos que significo el ingreso de VM en la producción.



En cuanto al **beneficio, éste es principalmente** económico se refleja en el incremento de los recursos minerales y el potencial mineralógico de Cerro Lindo, generando el incremento de 4 millones de reservas probadas, ampliando la vida útil de la mina por adición de masa de VM al modelo (37 Millones de TM), este hallazgo tiene un impacto con una ganancia económica de 15.9 millones dólares anuales, considerando además que la explotación de este dominio después de resueltos todos los desafíos se ha incluido de una manera regular y permanente en nuestra producción.

El impacto económico proyectado es de 224,676,033 \$ proyectado hasta el año 2031, definitivamente aumentando en promedio 4 años de la vida útil de la mina.

Figura N°17: Visto en planta de los cuerpos mineralizados sin Volcanico mineralizado.

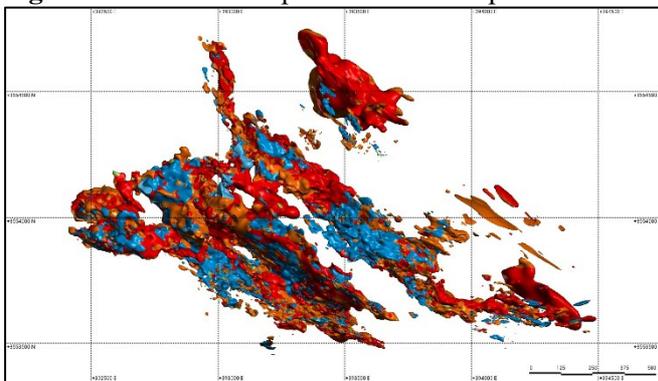
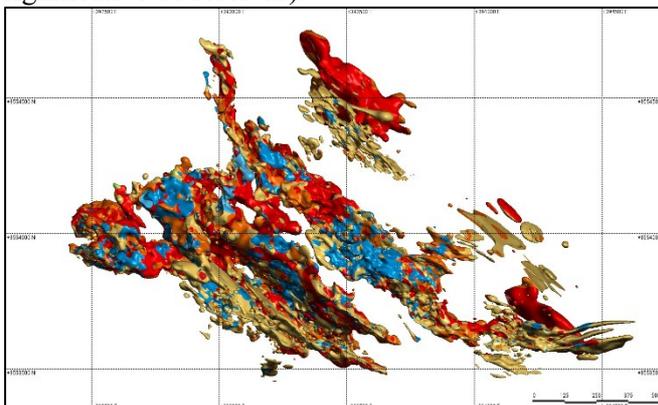


Figura N°18: Visto en planta de los cuerpos mineralizados Con Volcanico mineralizado (Aumento de significativo de reservas).



CONCLUSIONES

Con la correcta caracterización geológica (litológica, mineralógica, alteración y estructural) de este dominio, que aún no se le había reconocido ni determinado su potencial económico, se determinó que pese a estar dentro de roca volcánica silicificada, sus altos contenidos en Zn-Ag-Pb, su potencia y extensión al momento de cuantificar este dominio con el moldeamiento y estimación de reservas y leyes

se consideró vital adicionar como un nuevo dominio de mineralización dentro del yacimiento, ya que se convirtió en un foco rentable en la explotación y aumento de la vida útil de la mina; pero, así como su potencial económico es alto presenta características físicas como mayor contenido de arcillas, mayor dureza y abrasividad en comparación al sulfuro masivo que nos llevó a establecer nuevas metodologías de trabajo para no afectar nuestro proceso metalúrgico , pensar fuera de la caja y adaptarlo a nuestros parámetros de producción.

A nivel de planta los resultados en tratamiento fueron óptimos solo con, algunas variaciones como el aumento de las celdas de flotación para optimizar la recuperación de Pb-Ag sin afectar las leyes de cabeza, donde hubo mayor impacto en el espesamiento y filtrado de concentrado debido al aumento de mineral segregado y silicatos , superándose con el plan de trabajo basado en disciplina operativa.

Con los planes de acción establecidos nos permitió obtener recuperaciones y calidad de los concentrados los cuales están dentro de los estándares establecidos por planta concentradora.

Su potencial económico se refleja en el incremento de los recursos minerales y el potencial mineralógico de Cerro Lindo, generando el incremento de 4 millones de reservas probadas, ampliando la vida útil de la mina por adición de masa de VM al modelo (37 Millones de TM), este hallazgo tiene un impacto con una ganancia económica de 15.9 millones dólares anuales.

El impacto económico proyectado es de 224,676,033 \$ proyectado hasta el año 2031, definitivamente aumentando en promedio 2 años de la vida útil de la mina.

Se establecieron nuevos criterios de trabajo para poder hacer viable esta iniciativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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/>

UNCP. (2018). Estudio geometalúrgico para optimizar el circuito de flotación separación plomo-cobre en la planta concentradora U.M Cerro Lindo.

Metallurgist, 9. (s.f.). índice de Trabajo de Bond y su Procedimiento. Obtenido de <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/indice-trabajo-bond-procedimiento/>

- 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.
- 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). Lithochemical 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). Lithochemical 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