

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“APLICACIÓN COMPARATIVA DE ESTIMACIÓN DE
RECURSOS MINERALES ENTRE EL MÉTODO CLÁSICO
Y EL MÉTODO GEOESTADÍSTICO, PARA UN MANTO
POLIMETÁLICO EN UN SKARN UBICADO EN EL NORTE
DEL PERÚ”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO GEÓLOGO**

**ELABORADO POR
CARLOS EDUARDO ESCOBAR CALDERÓN**

**ASESOR
ING. MARCELO RICAARDO BARZOLA ESTEBAN**

LIMA –PERU

2022

DEDICATORIA:

Este trabajo se lo dedico a mis padres Milagros y Abraham por su perseverancia en mi educación y su ejemplo en mi formación personal. También a mi tía Clara, que en paz descansa, por velar por mi formación profesional con su ejemplo y consejos.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a mis asesores de tesis quienes me brindaron la oportunidad de recurrir a su conocimiento científico y capacidad, así como también dedicaron parte de su tiempo con paciencia y perseverancia para guiarme durante el desarrollo de la tesis. Sin ustedes y sus virtudes, este trabajo no hubiera sido posible. Sus consejos fueron siempre útiles cuando no salían de mi pensamiento las ideas para escribir lo que hoy he logrado. Gracias por sus orientaciones”

Agradezco también al personal que labora en Mina Pallca, principalmente quienes me permitieron realizar mi trabajo de suficiencia y disponer de la información necesaria para culminarla. Entre todos, una especial consideración al Ing. Miguel Pequeño y al Sr. Pablo Albornoz quienes fueron responsables directos de mi formación profesional y desenvolvimiento en el área de trabajo.

Y para culminar agradezco a la Universidad Nacional de Ingeniería por haber abierto las puertas nuevamente para los egresados mediante el curso de titulación por suficiencia laboral, que permitió brindar los conocimientos metodológicos y técnicos suficientes para culminar el presente trabajo.

RESUMEN

En todo proyecto minero, mientras menor sea el grado de conocimiento del yacimiento mineral, la incertidumbre en múltiples etapas está presente, y se manifestará de forma significativa en la evaluación geoeconómica de sus recursos minerales. En la actualidad, la estimación de recursos minerales posee métodos individuales para cada tipo de yacimiento que se ajustan a la interpretación geológica de la estructura o cuerpo que engloba la mineralización económica.

El presente trabajo de suficiencia profesional, tiene como propósito, estimar los recursos minerales para un manto polimetálico subvertical, utilizando el modelo de bloques unitario e información geoestadística y posteriormente contrastarlo con un método de estimación tradicional. Para lograrlo se recopiló datos de sondajes anteriores en la zona de estudio. Luego se procedió al modelamiento del manto, cuyo nombre asignado es "M3T" mediante software geológico y mediante métodos estadísticos (kriking ordinario, vecinos más cercanos e inverso de la distancia), estimando de esta forma la ley de los bloques unitarios dentro del cuerpo mineralizado.

El soporte fundamental y valoración de todo este proceso, estuvo en el tratamiento analítico cuantitativo de los reportes de la ley de cabeza promedio durante el minado del M3T, contrastados con la estimación de los resultados del muestreo del mineral extraído, que finalmente ha otorgado la mayor confiabilidad al método utilizado, tal como se muestra en la discusión e interpretación de resultados.

ABSTRACT

In every mining project, the less level of knowledge, the greater the uncertainty level of the mining deposit can be. And it will be significantly present in the geoeconomically evaluation of its mineral resources. These days the estimated mining resources have a great deal of methods for every kind of deposit that can be adjusted to the geological interpretation of the structure or body that comprises economical mineralizing.

This professional sufficiency work paper has the mining resources estimation from a subvertical polymetallic mantle as a goal. Using unitary block as a model and contrasting it with a traditional estimation method afterwards. To achieve this, historical data from already drilled probes holes in situ will be gathered. Following this, there will be a M3T model of the mantle made with geological software and with statistical methods (Ordinary Kriging, close neighborhood and inverse distance) the block unit of the mining body will be estimated.

The fundamental support and estimate of this whole process relays in the analytic and quantitative treatment reports from the average mill head grade during the M3T mining, compared with the results estimate of the extracted mineral sampling. Which finally has given the highest reliability to the applied method, as it is show in the discussion and interpretation of results.

PRÓLOGO

El presente informe de suficiencia tiene como aporte formular la estimación de recursos del manto subvertical polimetálico de nombre "M3T" mediante el método de bloques unitarios.

El contenido de la investigación se ha estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo I, se aborda las generalidades de la investigación, la descripción de la situación problemática en la zona de estudio, se establece el objetivo y los antecedentes investigativos. Se cierra este capítulo describiendo la ubicación, fisiografía, clima y vegetación.

En el capítulo II, se presenta las bases teóricas que sustentan las variables en investigación, en el marco conceptual se describe el significado de algunos términos técnicos con significado propio en la geología minería y desarrollo operativo.

En el capítulo III, se describe la geología regional de la zona de estudio, también se aborda de forma resumida la evolución tectónica y estructural para la génesis del yacimiento. A escala más local se detalla las litologías presentes en la unidad minera, las características de sus mantos y comportamientos estructurales de los mismos.

En el Capítulo IV, se realiza el desarrollo del trabajo de investigación, en primera instancia se aborda detalladamente el proceso de muestreo en la unidad minera. Se describe el registro geológico y sus resultados finales y por último se profundiza en la estimación de recursos por el método tradicional usado actualmente y el método

geoestadístico. En ambos casos se llegan a resultados que deben discutirse en el siguiente capítulo.

En el Capítulo V, en la discusión e interpretación de los resultados, se argumenta y demuestra finalmente mediante las tablas comparativas entre el método tradicional y el método de bloques unitarios para la estimación de recursos, la funcionalidad y aceptación de los resultados de la investigación aplicando el método apropiado.

En el Capítulo VI, se aborda la propuesta de ingeniería planteada por el autor de la presente investigación, donde se ha estructurado primero mostrando la situación actual en que se encuentra el departamento de geología y en segunda instancia hace una comparación entre lo que se desea implementar, finalmente se presenta un presupuesto tentativo para la ejecución del proyecto. El trabajo concluye con las respectivas conclusiones y recomendaciones, el cual se presenta en el ítem correspondiente.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

PRÓLOGO

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

CÁPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 GENERALIDADES	12
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2.1 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.3 OBJETIVOS DE ESTUDIO	20
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	20
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1.4 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	21
1.4.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	21
1.4.2 ANTECEDENTES NACIONALES	22
1.5 GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO	24
1.5.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD.....	24
1.5.2 FISIOGRAFÍA.....	25
1.5.3 CLIMA Y VEGETACIÓN	26
CÁPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	29
2.1 MARCO TEÓRICO	29
2.2.1 MODELO GEOLÓGICO.....	29
2.2.2 ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINERALES.....	32
2.2 MARCO CONCEPTUAL	36
2.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	38
2.3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	38
2.3.2 UNIDAD DE ANÁLISIS	39
2.3.3 MATRIZ DE CONSISTENCIA	40
2.4 HIPÓTESIS GENERAL.....	41
2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	41
CÁPITULO III: MARCO GEOLÓGICO.....	42
3.1 GEOLOGÍA REGIONAL	42
3.1.1 GEOMORFOLOGÍA.....	42
3.1.2 ESTRATIGRAFÍA.....	43

3.1.3	EVOLUCION TECTONICA Y ESTRUCTURAL	48
3.2	GEOLOGÍA LOCAL	50
3.2.1	ESTRATIGRAFÍA.....	50
3.2.2	ROCAS ÍGNEAS.....	51
3.2.3	GEOLOGÍA ECONÓMICA	54
3.2.4	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	64
CÁPITULO IV: DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....		67
4.1	MUESTREO GEOLÓGICO.....	67
4.1.1	IMPORTANCIA DEL MUESTREO	68
4.1.2	MUESTREO POR CANALES	70
4.1.3	MUESTREO DE CARGAS.....	73
4.1.4	MUESTREO DE TESTIGOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA	75
4.1.5	METODOLOGÍA DEL MUESTREO	76
4.1.6	ERRORES EN EL MUESTREO.....	84
4.2	REGISTROS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA	89
4.2.1	REGISTRO GEOLÓGICO.....	89
4.2.2	PROCEDIMIENTO DE REGISTRO GEOLÓGICO	90
4.2.3	INTERPRETACIÓN Y SECCIONES.....	91
4.3	ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINERALES	91
4.3.1	MÉTODO TRADICIONAL	93
4.3.2	MÉTODO DE BLOQUES UNITARIOS	95
4.3.3	VALIDACIÓN DEL MODELO.....	99
CÁPITULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		103
CÁPITULO VI: PROPUESTA DE INGENIERIA.....		108
6.1	IMPLEMENTACION DE SOFTWARE	108
6.1.1	FLUJO DE TRABAJO EN EL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA	109
6.1.2	DISPONIBILIDAD DE HERRAMIENTAS	110
6.1.3	IDENTIFICACIÓN DEL SOFTWARE CON APLICACIÓN EN MINERIA	113
6.2	JUSTIFICACION DE LA INVERSIÓN.....	116
6.2.1	REGISTROS GEOLÓGICOS DIGITALES.....	116
6.2.2	MODELAMIENTO DE MANTOS.....	117
6.2.3	MODELO DE BLOQUES Y PLANEAMIENTO	120
6.3	PRESUPUESTO	120
CONCLUSIONES		124
RECOMENDACIONES.....		127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		129
ANEXOS		133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Principales organizaciones profesionales reconocidas responsables por el desarrollo de los códigos y guías para declaración de recursos y reservas minerales	13
Figura 1.2: Múltiples interpretaciones para el modelamiento geológico de un único depósito	16
Figura 1.3: Mapa de ubicación y acceso hacia la Unidad Minera	24
Figura 1.4: Vista en El Mirado hacia la Cordillera de Huayhuash	26
Figura 3.1: Columna Estratigráfica de la Mina Huanzala	47
Figura 3.2: Geología Regional del área de Huanzalá y Pallca	49
Figura 3.3: Geología local de la zona de estudio	50
Figura 3.4: Mapeo Geológico en el tajo S450	58
Figura 3.5: Sección Geológica de la zona de estudio	65
Figura 3.6: Mapeo estructural de fallas en TJ S450	66
Figura 4.1: Marcado de canales en frente mineralizado	72
Figura 4.2: Recolección de muestras mediante pozos en Cancha de Mineral del Nv. 4000	75
Figura 4.3: Fotografía del tramo de muestreo para sondajes BQ	76
Figura 4.4: Esquema de muestreo por zanjas en ruma de mineral	80
Figura 4.5: Diagrama de flujo para la preparación de la muestra de cancha	81
Figura 4.6: Esquema de muestreo por pozos en ruma de mineral	82
Figura 4.7.: Recursos en TJ S450 – Sección Longitudinal	94
Figura 4.8: Envolvente del manto M3T en TJ S450 – Vista Planta y Perfil	96
Figura 4.9: Histograma de los sondajes del elemento Zn	97
Figura 4.10: Variograma para el elemento Zn	98
Figura 4.11: Modelo de bloques para el elemento Zn	99
Figura 4.12: Swath Plot de Zn para el Modelo de Bloques vs DDH	101
Figura 4.13: Curva tonelaje – ley para el zinc en el modelo de bloques	102
Figura 6.1: Organigrama interno del Departamento de Geología de la Unidad Minera Pallca	109
Figura 6.2: Hoja de Logueo – Perforacion Diamantina (DDH)	116
Figura 6.3: Registro Digital de Logueo (Mina Raura)	117
Figura 6.4: Recursos Mineral en Planta – Mina Culebra	118
Figura 6.5: Envolvente o Wireframe representando al Manto M3T en la Mina Culebra	119
Figura 6.6: Comportamiento de la inversión total en USD durante el primer semestre 2022	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Temperatura mensual promedio en la zona de estudio	27
Tabla 2.1: Matriz de consistencia	40
Tabla 2.2: Operacionalización de variables	41
Tabla 4.1: Peso de la muestra según ancho de canal de muestreo	78
Tabla 4.2: Peso de la muestra según tonelaje de la ruma de mineral	81
Tabla 4.3: Inventario de Recursos Minerales para la zona de estudio	95
Tabla 5.1: Inventario de Recursos por leyes según modelo de bloques	104
Tabla 5.2: Reportes de producción y leyes por block en Mina Culebra	105
Tabla 5.3: Reportes de producción y leyes según modelo de bloques	106
Tabla 5.4: Resumen de canales de muestreo para V3T Block 49AZ Tj S450	106
Tabla 6.1: Relación de softwares y sus aplicaciones en minería	115
Tabla 6.2: Presupuesto primer semestre Geología 2022	122

CÁPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Los resultados de la exploración geológica en todo depósito mineral incluyen una serie de datos e información que se genera por los programas de computador. Estos resultados analíticos y de ensayo se deben reportar utilizando el método que se considere más adecuado según la experiencia del geólogo que realiza la estimación de recursos y el conocimiento total del yacimiento. La ubicación espacial, los límites del cuerpo mineralizado, los contenidos metálicos y su variabilidad son datos de entrada para este proceso. Sin embargo, interpretaciones geo evaluativas imprecisas pueden conducir a adoptar métodos evaluativos inadecuados, con resultados finales distanciados del margen de confiabilidad esperado.

A pesar de la gran demanda de la industria minera para lograr establecer estándares internacionales de estimación y clasificación de recursos. Ninguno de los principales sistemas de clasificación empleados (Figura 1.1) en las diversas

minas a nivel mundial, muestra claramente como el error o nivel de confiabilidad asociado a la estimación podría ser calculado. Los códigos para declaración de recursos actualmente empleados se basan en numerosos criterios cualitativos y cuantitativos, tales como la calidad de los datos y la continuidad geológica de los contenidos metálicos. De-Vitry (2003) discute algunas razones para no aplicar criterios o reglas preestablecidas (considerando para quien las aplica), por los siguientes motivos: (i) En razón a que cada yacimiento mineral tiene sus propias particularidades geológicas, no se puede generalizar la aplicación de conocimientos geo evaluativos en la estimación de recursos minerales, pues difícilmente estas condiciones técnico científicas visto de forma generalizada se ajustará a cada yacimiento en investigación, como es el caso de los distintos métodos a utilizar en la explotación de un depósito mineral económico: (ii) Utilizar esas reglas indiscriminadamente sin una clara comprensión de su conveniencia, precisión o correcta aplicación para la obtención de un beneficio económico, conllevará a un estudio de prefactibilidad o factibilidad con resultados erróneos.



Figura 1,1: Principales organizaciones profesionales reconocidas responsables por el desarrollo de los códigos y guías para declaración de recursos y reservas minerales.

Fuente: Comisión Brasileña de Recursos y Reservas [CBRR]. (2016). Como Definir y Reportar Recursos y Reservas Minerales.

En este sentido, esta investigación no tendrá un alcance a nivel general para toda la unidad minera, pero si por lo menos para las estructuras mineralizadas similares dentro de la zona de estudio o fuera de ésta. El propósito específico es investigar y comparar dos métodos para la estimación de recursos para un manto en particular, donde los métodos de estimación tradicionales no alcanzan los valores de confiabilidad aceptables. Como parte metodológica se requiere desarrollar un análisis cualitativo de la incertidumbre del método tradicional y un contraste cuantitativo con el método de los bloques unitarios. Para ello se requiere la implementación computacional de software geominero con parte de la información que se maneja dentro del departamento de geología; así mismo respetando las cláusulas de confiabilidad y de ética dentro de la empresa.

La conclusión satisfactoria de esta investigación responderá a la pregunta fundamental que toda mina se hace en cuestión a sus recursos, y esta es: ¿Cuál es la cantidad de mineral económico que existe en M3T? ¿Cuál es la ley promedio y el grado de certeza asociado con la estimación?

Grandes y pequeñas empresas mineras intentan responder a estas cuestiones utilizando todas las herramientas disponibles ligadas a la geología económica. Algunas unidades mineras optan por los métodos geoestadísticos, aplicando los últimos avances tecnológicos disponibles y aceptados por los estándares internacionales (De Souza et al., 2009). Por otra parte, las pequeñas empresas utilizan métodos tradicionales perdiendo precisión y hasta eficiencia empresarial, pero optimizando costos y beneficios para el nivel de exploración requerido; vale mencionar también la dependencia del grado de financiamiento disponible.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La dificultad en la cuantificación del grado de incertidumbre asociado con el modelamiento y la estimación de recursos minerales, ha ocasionado el desarrollo de una gama de metodologías, términos y definiciones. Esto ha permitido que cada compañía minera desarrolle y aplique una metodología particular de estimación y clasificación de dichos recursos.

Los métodos más ampliamente utilizados por las empresas del sector minero, para clasificación de sus recursos son de manera general: (a) Densidad de muestras para vecinos más cercanos a los bloques estimados, (b) Alcance del semivariograma o inverso de la distancia de correlación y (c) Variabilidad del kriging.

Sin embargo, aún existen empresas trabajando con métodos tradicionales de estimación o también llamado métodos clásicos como lo son: (a) Continuidad geológica, (b) Densidad de muestras (c) Interpolación y extrapolación, (d) Métodos geométricos (e) Isolíneas y (f) Área de influencia. También en múltiples casos dentro de este grupo, existen también la unión de dos o más métodos tradicionales (De Souza et al., 2009).

En general cuando se desea estimar recursos se utiliza únicamente información proveniente de sondajes, lo que corresponde a leyes de minerales de interés económico, dejando fuera otras variables que podrían mejorar potencialmente la calidad de la estimación así también ayudar a explicar la mineralogía.

Producto de esta metodología a veces inadecuada, durante el procesamiento de la información y desarrollo de la estimación de forma unidimensional, se generan problemas complejos. Estos problemas originan una interpretación limitada (Figura 1.2) de la distribución real del mineral dentro del depósito y bloques geológicos con una gran incertidumbre de menor validez y sustento.

La identificación y estudio de los problemas complejos que se desarrollan durante la estimación y modelamiento de un yacimiento han permitido la incorporación de otras variables o métodos que predigan de mejor manera el comportamiento del modelo mineral, así como las tendencias y variabilidad en los contenidos metálicos del mismo.

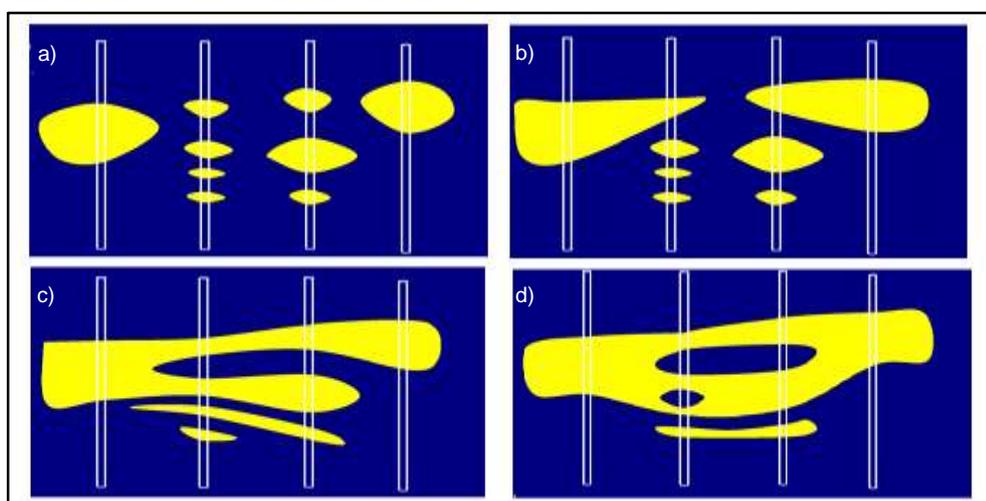


Figura 1.2: Múltiples interpretaciones para el modelamiento geológico de un único depósito. No se dispone de información en los límites del cuerpo mineral: a) Modelamiento muy conservador, b) conservador, c) optimista, d) muy optimista

Fuente: Cameron, R. (2015), Mineral Resources and Ore Reserves – Thoughts and Observations [Recursos y Reservas Minerales – Ideas y Observaciones].

En todo modelo adecuado de estimación de recursos los bloques son precisos y con la menor incertidumbre posible, para lograrlo según De Souza (2009), “es

necesario recopilar información básica indispensable que sustenten una clara interpretación". Lo citado anteriormente **aplicado en la presente investigación** se refiere a: (a) **los límites** (cajas: techo y piso, estratos guía o *keybed* entre mantos) para cada cuerpo mineralizado, (b) **radios de influencia de muestra** basados en zonas del yacimiento ya explotado, dejando de lado la parte probabilística en una unidad minera que ya tiene casi 20 años en proceso de explotación, (c) los **controles** estructurales y litológicos que dominan los parámetros espaciales del manto subvertical: potencia, longitud, zonas de estrangulamiento y clavos de enriquecimiento. La entrega de esta información sobre la distribución mineral servirá para la creación de un modelo de bloques que minimizará el riesgo económico y beneficiará el plan de minado.

En la unidad minera donde se ejecutará este proyecto de investigación, se tienen dos sectores de mineralización con características geológicas diferentes. Se ha realizado estimación de recursos con el método tradicional (leyes ponderadas y radio de influencia) y se ha comprobado que la estimación realizada bajo un mismo método en el sector Culebra conlleva un margen de error significativo, mientras que en el sector Berlín es aceptable, dentro del margen de error permisible.

En la zona de Culebra existe una sobreestimación de los bloques debido en parte a la falta de caracterización geológica, relacionada a la paragénesis, control estructural, y estratos guías que determinan los dominios finales entre mantos. Sin embargo, el problema principal de la sobre estimación es la heterogeneidad y discontinuidad de la mineralización dentro de un mismo manto.

El método tradicional de estimación de recursos minerales en toda la unidad minera no considera la geoquímica de los elementos. Es importante tener el control de los cocientes metálicos de Fe con respecto al Pb y al Zn, puesto que la aparición de magnetita y pirrotita en abundancia, empobrecen su tratamiento metalúrgico. Así mismo, respecto a la presencia de marmatita en coexistencia paragenética con pirrotita. Hideki et al. (1985), menciona que en algunas muestras en sección pulida de pirrotita asociado a esfalerita observó coloides de magnetita; en otros especímenes, dentro de los cristales de pirita se tenían venillas de pirrotita que carecían de magnetismo. Estas observaciones concluían que la formación de estos minerales, no estaba claro en una línea de tiempo dentro de la secuencia paragenética, pero se les atribuyó un proceso contemporáneo para ambos casos.

El envío de mineral diariamente hacia planta, requiere de una ley adecuada y ser de calidad, es decir, libre de contaminantes; así como también condiciones mínimas para su tratamiento. Entre ellas no contener elevados porcentajes de Fe debido a la presencia de pirrotita y magnetita, también se debe evitar la presencia de material arcilloso (por alteración o zonas de brechas).

Considerar como parte de la problemática dentro de la zona de Culebra la falta de reinterpretación de los mantos subverticales; en la unidad minera se realizó una primera interpretación con los sondajes de exploración, sin embargo, al ingresar mediante labores mineras los mapeos proporcionan mayor información, principalmente acerca de las fallas asociadas al control mineralógico, los estratos guías entre mantos y zonas de enriquecimiento dentro de la misma. Esta información es relevante para la reformulación de las secciones de planta en las diferentes cotas.

En base a los expuesto anteriormente nos planteamos el siguiente problema:

¿En qué medida la aplicación de un método geoestadístico para la estimación de recursos minerales, difiere con una estimación realizada mediante el método tradicional para el manto polimetálico formado en un Skarn ubicado en el Norte del Perú?

1.2.1 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La estimación de recursos para el manto subvertical M3T en la zona de estudio será reformulada utilizando métodos geoestadísticos y contrastados con muestreos sistemáticos insitu, así también, con muestreos del mineral acarreado hasta la cancha donde son enviados mediante volquetes hacia la planta de tratamiento. Todo lo descrito anteriormente con la finalidad de obtener información real que sustente o invalide el nuevo método de estimación que se aplicará en la presente investigación.

El resultado final del modelamiento y la estimación geoestadística de los recursos se sustentan en los planos de muestreo sistemático de los cortes actuales y la información brindada por los sondajes disponibles en campañas de exploración de años anteriores. Este desarrollo permitirá tener una zonificación económica del cuerpo mineralizado, así como el correspondiente tonelaje y ley para el conjunto de bloques.

El Departamento de Geología de la Unidad Minera debe evaluar que el personal implicado en la estimación de recursos también reciba un determinado número de horas de capacitación a cargo de la empresa que brindará las herramientas tecnológicas para realizar la estimación.

1.3 OBJETIVOS DE ESTUDIO

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Comparar la estimación de recursos minerales entre el método tradicional y el método geoestadístico para el manto polimetálico M3T formado en un Skarn al norte del Perú.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Crear el sólido envolvente en software de modelamiento, que represente al manto mineralizado M3T utilizando los registros geológicos antiguos en la zona de culebra.
- Generar el modelo de bloques y estimar los recursos mediante un método geoestadístico que nos ofrezca el software geológico minero optado para la presente investigación.
- Justificar la estimación realizada mediante las herramientas de validación que nos ofrece el software geológico minero y mediante los reportes operativos de producción.

1.4 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1.4.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

De Souza et al. (2009) en su artículo publicado en la Revista Escuela de Minas con título “Alternativas para clasificación de recursos minerales: métodos geoestadísticos tradicionales” propone desarrollar una metodología que permita un análisis cuantitativo y cualitativo de los recursos minerales estimados por medio de la incorporación de la incerteza como parámetro medible, así como la adecuada definición de riesgo o error asociado a la estimación.

El estudio fue elaborado con un banco de datos de un yacimiento de hierro, permitiendo una comparación entre los diferentes sistemas de clasificación y los parámetros clave de cada uno de ellos. Los resultados obtenidos permitieron resaltar las limitaciones específicas de cada metodología, además de demostrar la naturaleza empírica de los métodos tradicionales, debido a su carácter subjetivo.

Lara M. (2020), en su informe de memoria a título con el nombre de “Estimación de recursos minerales en dominios geometalúrgicos”, realiza la estimación de 100 depósitos simulados previamente divididos en dominios geometalúrgicos donde las variables son simuladas. Como segunda parte de la investigación, utiliza la información de un yacimiento polimetálico bajo los mismos algoritmos.

Como conclusión de la investigación. Logra estimar a través de dominios geometalúrgicos simulados en un 99% de los casos de forma efectiva. Disminuye el error de estimación entre 5 a 10% particularmente en cada método utilizado. Adicionalmente producto de la menor variabilidad la clasificación de recursos tiende a entregar bloques con menor incertidumbre y por lo tanto la proyección del beneficio económico es más confiable.

Alva y Rodríguez (2019), en la tesis titulada “Modelamiento geológico para el cálculo de recursos mineros de la veta Murciélagos de la mina Paredones, Chilete 2018”. Se determina el modelo geológico para luego realizar el cálculo de recursos minerales de la veta descrita en líneas anteriores. La veta Murciélagos se explotaba mediante Shrinkage Stopping hasta el año 1950, luego fue abandonada. En 2017 su proceso extractivo fue retomada por una microempresa minera, quienes de manera empírica depredaron el yacimiento sin planificación ni protocolos de seguridad.

La aplicación del software Minesight 9.5 permitió modelar la veta, estimando 87 400 toneladas de mineral con contenido de 5,11% Pb; 7,01% Zn y 224,17 g/t Ag. Así mismo creo una fuente de información para empezar con el proceso de minado, planeamiento e implementación de una política de seguridad.

1.4.2 ANTECEDENTES NACIONALES

Castillo V. (2018), en la tesis titulada “Estimación de Recursos y Reservas del Yacimiento Aurífero FIDAMI, Sancos – Lucanas – Ayacucho” caracterizó la geología, estructuras y mineralogía de las diferentes vetas en la zona de

estudio; luego estimó los recursos y las reservas de las estructuras mineralizadas en la Mina FIDAMI.

La investigación concluye en una primera caracterización de las vetas Ana, Perico, Escorpión y Mónica las cuales son catalogadas como tipo rosario, también, se logra conocer su extensión longitudinal, potencias y profundidades (según alcance del estudio); así mismo, estructuralmente se logra estudiar el sistema de fracturamiento pre y post mineralización, así como la cinemática del mismo. Como segunda parte de la investigación se realiza el inventario de recursos, teniendo como resultado final recursos minerales en toneladas métricas y leyes; Medidos 43 858 t con 17,9 g/t Au; Indicados 41 432 t con 17,34 g/t Au e Inferido de 128 155 t con 6.29 g/t Au.

Cornejo (2017), en la tesis titulada “Control de Calidad y Modelamiento Geológico del Proyecto óxidos de Ag – Au en la empresa administradora Cerro S.A.C. Compañía Minera Volcán”. El trabajo de investigación está orientado a generar un modelo de recursos para la zona de óxidos según el código de JORC, para ellos utiliza el Software de modelamiento Datamine en conjunto con ensayos de gravedad específica y análisis geoestadístico.

Como conclusiones finales de la investigación, se definió límites espaciales del cuerpo de óxidos, zonas de ensanchamiento y estrangulamiento. Adicionalmente se caracterizó la mineralización de oro y su asociación paragenética con los minerales en la zona del gossan y lixiviación. Se logró estimar recursos medidos e indicados de 7 719 toneladas con 1,4 g/t Au y recursos inferidos 3 357 toneladas con 0,83 g/t Au.

Espinoza (2018), en su tesis titulada “Estimación de recursos minerales en la mina Santa Fe Buenavista Alta – Casma – Ancash” realiza un estudio para validar el potencial económico y estimar los recursos de las de las vetas Colorada, Hierro y Carolina utilizando los estándares del código de JORC. También caracterizó el yacimiento como un depósito vetiforme de cuarzo – oro de origen mesotermal asociado a minerales polimetálicos de plomo – plata – zinc de tendencia NE-SW. Así mismo realizó el estudio mineralógico para cada veta de forma independiente.

Mediante 1 319 muestras geoquímica en superficie e interior mina, 08 pruebas metalúrgicas y 06 muestras para gravedad específica, logró cubicar como recursos (medidos + indicados) en total 64 117 t con 0,23 oz Au/t y reservas (probadas y probables) 79 598 t con 0,27 oz Au/t y 1,65 oz Ag/t. Así también mediante planos de recomendaciones, definió los lineamientos para continuar con la explotación y a largo plazo definió la zona de recategorización de recursos.

1.5 GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO

1.5.1 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La zona de estudio se ubica en el distrito de Pacllón, provincia de Bolognesi, departamento de Ancash a una distancia de 210 km al norte de Lima y a 40 km al sur del distrito de Huallanca, entre los 3 800 y 5 000 msnm en el flanco oeste de la cordillera del Huayhuash.

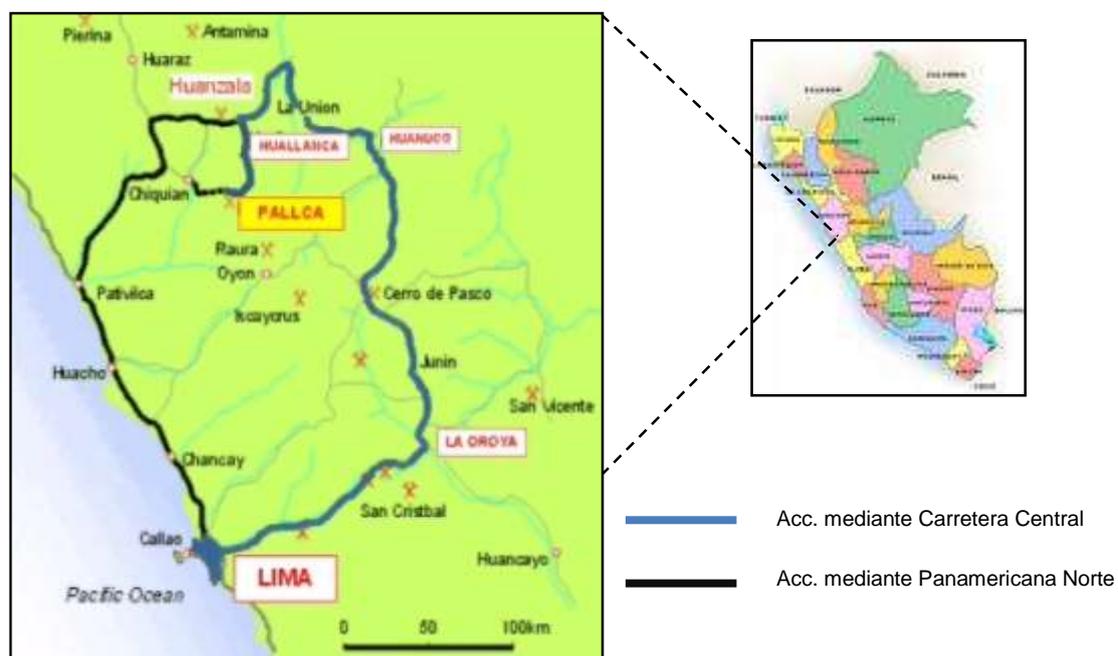


Figura 1.3: Mapa de ubicación y acceso hacia la Unidad Minera Pallca

Fuente: Yamanaka et al., (2007). Progreso de Exploración y Geología del Yacimiento de Pallca.

1.5.2 FISIOGRAFÍA

Las características superficiales y origen de las formas del relieve que se observa en la zona del Proyecto han sido resultado de la incidencia pasada, las acciones erosivas del aire, agua, hielo y viento; así como de una sucesión de eventos tectónicos.

El área del estudio se encuentra en la Hoja 21-i, presenta una superficie variada; que abarca desde los 3 500 hasta los 4 700 msnm, llegando a niveles mayores en los picos montañosos y en los alrededores de la Unidad Minera, siendo el más conocido la Cordillera de Huayhuash.



Figura 1.4: Vista en “El Mirador” hacia la Cordillera de Huayhuash

Fuente: Carlos Escobar (2021). Para la presente investigación.

Los picos invariablemente muestran una apariencia angular peñascosa que es debido al hielo y a los depósitos de morrenas laterales y frontales. Estos depósitos morrénicos constituyeron recientemente colinas y lomadas de los cuales se desprendieron y actualmente muestran en sus crestas, la mayoría frescas de bordes agudos.

1.5.3 CLIMA Y VEGETACIÓN

El clima de la zona es muy frío con temperaturas que varían desde 9 a 11°C grados durante todo el año (Tabla 5.2). En verano ocurren intensas precipitaciones, llegando hasta los 250 mm; por el contrario, en invierno (color

verde) se hace bastante caluroso con casi nula presencia de lluvias. En el mirador de la unidad minera, ubicado sobre los 4500 msnm es posible apreciar algunos de los nevados más imponentes de la cordillera blanca como el Yerupajá (6 635 msnm), Yerupajá Chico (6 121 msnm) y el Jirishanca (6 126 msnm).

A continuación, se presenta un cuadro con la información climática descrita anteriormente.

Tabla 1.1: Temperaturas mensuales promedio en la zona de estudio

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
9°C	9°C	10°C	10°C	11°C	11°C	10°C	11°C	11°C	10°C	10°C	9°C
242 mm	206 mm	250 mm	175 mm	83 mm	32 mm	24 mm	36 mm	86 mm	188 mm	195 mm	238 mm

Fuente: SENAMHI - PERÚ

Por encima de los 4 000 m la temperatura baja a menos de 0°C, la vegetación se reduce a especies robustas de poca altura constituidas mayormente de gramíneas y

arbustos. En las zonas de ciénaga de fondos de valle crecen pastizales de hojas gruesas (llamado comúnmente "grarnalote") utilizado como alimentación del ganado, y en las partes más altas y secas se desarrolla la conocida especie "ichu". Bajando en altitud, las quebradas son más abrigadas desarrollándose queñuales (polilepsis); árboles verdes de tronco retorcido que desarrollan hasta los 5 m. Asimismo al SE de Recuay (río Pumapampa) la "Puya Raymondi" se desarrolla en gran extensión, existen otros lugares en las Cordilleras Negra y

Huayhuash donde también se le ha observado, (Pachapaqui, Coris), Entre los 4 000 y 5 000 m se desarrollan musgos ralos y especies arriñonadas duras y resistentes al intenso frío (Cobbing J. et Al, 1946 – Geología de los Cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca, Boletín, 76, 10-17 p.).

CÁPITULO II

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 MARCO TEÓRICO

2.2.1 MODELO GEOLÓGICO

LONGITUD Y PROFUNDIDAD DE UNA VETA

Mackintry H. (1961). Las longitudes de los filones son variados de acuerdo a las dimensiones de las rocas que las albergan, es decir un filón tiene por lo general desde decenas hasta centenares de metros, pero son pocos los que llegan a tener dimensiones superiores al kilómetro, esto quizá debido a la competencia de la roca que recibe la mineralización, por lo tanto muchos filones pueden estar en forma paralela y desaparecer uno antes del otro o estar limitados por fallas locales que rompen su secuencia de emplazamiento. La longitud de los filones presenta profundidades que sobrepasan los centenares de metros, esto es debido o acorde con los buzamientos que se presentan en superficie, de tal modo que mientras tengan mayor buzamiento se desarrollan a grandes profundidades, pero solo hasta cierto límite.

La relación de longitud y profundidad de los filones es de vital importancia económica para los prospectores de yacimientos en general, los filones de fisura largas y fuertes suelen extenderse a grandes profundidades, en cambio los cortos y débiles suelen tener poca profundidad, sin embargo no existe ninguna relación exacta entre longitud y profundidad, generalmente al inicio se conoce mucho más la longitud que la profundidad, puesto que es más fácil de comprobar y con menor costo mientras que su verdadera profundidad pocas veces se determina, por cuanto, en general se agota el mineral antes que las labores alcancen el fondo de la fisura y la realización de nuevas pruebas de profundidad implican una costosa exploración, con frecuencia se cita la antigua regla, la cual establece, que la profundidad será del mismo tamaño que la longitud, sin embargo si se tomara en cuenta en el sentido de que la profundidad es aproximadamente igual a la mitad de la longitud, resulta ser más próxima a la verdad en los que se refiere a la mayoría de las vetas por cuanto la longitud del afloramiento es generalmente una función de la profundidad de erosión y el tiempo que estuvo expuesto a este proceso.

MUESTREO

Cia. Minera Buenaventura (2016). El muestreo en minería se define como un conjunto de trabajos que se realizan con el objetivo de determinar la calidad y cantidad de las sustancias útiles. Por ello la recolección de las muestras son una de las actividades fundamentales en los trabajos mineros de prospección, exploración y explotación de los yacimientos de minerales.

El muestreo de minerales consiste en tomar o extraer mediante una técnica los incrementos de una parte o porción de mineral de un volumen mayor, los cuales

conformarán la muestra. De tal forma que las características que se desea estudiar representen al lote y sean utilizados de manera confiable, por ello esta extracción debe ser equi-probabilística, es decir que los fragmentos que constituyen el lote de mineral, tienen la misma probabilidad de ser elegidos para la constitución de la muestra. Los errores en el muestreo, pueden manifestarse con frecuencia en la determinación de cuerpos mineralizados, los cuales conducirán a conclusiones erróneas respecto al valor del yacimiento, es decir se podría sobredimensionar o subestimar el depósito.

La selección de las muestras permite determinar la calidad de las menas; por intermedio de esta actividad se estudia la composición química y mineralógica, características texturales, estructurales, propiedades físicas de los minerales que componen el yacimiento mineral, los cuales serán útiles en la extracción y los tratamientos metalúrgicos.

La muestra, es una porción de material, tomada de acuerdo a normas y destinada para análisis o pruebas, cuyos resultados permitirán determinar la calidad y eventualmente la cantidad de sustancia útil del mineral. El proceso de muestreo, es un conjunto de trabajos encaminados a determinar la composición (cuantitativa y cualitativa) de los componentes útiles e impurezas del mineral.

LOGUEO GEOLÓGICO

Ancalle F. (2020). El logueo geológico es un proceso fundamental en la exploración y explotación geológica, es por ello que se debe tener cuidado en su preparación y ejecución, encargándose a personas entrenadas y capacitadas para realizar dicha tarea.

El objetivo principal del logueo geológico de testigos, es registrar la información de manera descriptiva y la más exacta posible a distintas profundidades, sobre las características de la roca extraída (tipo de roca, alteración, mineralización, fallas y estructuras menores que presente), se utilizan códigos, abreviaciones, colores, números y símbolos que sirven para describir un depósito mineral, de tal forma que la información obtenida sea útil en el estudio y modelamiento del depósito.

2.2.2 ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINERALES

RECURSOS MINERALES

Código de JORC (2012). Recurso Mineral' es una concentración u ocurrencia de material solido de interés económico dentro o sobre la corteza terrestre en tal forma, ley (o calidad) y cantidad que hay expectativas razonables para una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, ley (o calidad), continuidad y otras características geológicas de un Recurso Mineral son conocidas, estimadas o interpretadas a partir de evidencia y conocimiento geológico específico, incluyendo muestreo. Los Recursos Minerales se subdividen en orden de creciente confianza geológica en las categorías Inferido, Indicado y Medido.

Un 'Recurso Mineral Inferido' es aquella parte de un Recurso Mineral en la que la cantidad y ley (o calidad) se estima sobre la base de evidencia geológica y

muestreo limitados. La evidencia geológica es suficiente para suponer, pero no verificar la continuidad geológica y de ley (o calidad). Se basa en información de exploración, muestreo y pruebas recogidas a través de técnicas apropiadas de ubicaciones tales como afloramientos, trincheras, excavaciones, labores y sondajes.

Un Recurso Mineral Inferido tiene un nivel de confianza más bajo que el que se aplica a un Recurso Mineral Indicado y no se debe convertir a Reserva de Mena. Es razonable esperar que la mayoría de los Recursos Minerales Inferidos pudieran ser elevados a la categoría de Recursos Minerales Indicados como resultado de exploración continuada.

Un 'Recurso Mineral Indicado' es aquella parte de un Recurso Mineral por el cual la cantidad, ley (o calidad), densidades, forma y características físicas se estiman con suficiente confianza para permitir la aplicación de Factores Modificadores en suficiente detalle para sustentar el planeamiento de minado y evaluación de la viabilidad económica del depósito.

La evidencia geológica se deriva de exploración adecuadamente detallada y confiable, muestreo y pruebas recogidas a través de técnicas apropiadas de lugares tales como afloramientos, trincheras, pozos, labores y sondajes y es suficiente para asumir la continuidad geológica y de ley (o calidad) entre los puntos de observación donde se recogen los datos y las muestras.

Un Recurso Mineral Indicado tiene un menor nivel de confianza que el que se le aplica a un Recurso Mineral Medido y sólo puede ser convertido a una Reserva Probable.

Un 'Recurso Mineral Medido' es aquella parte de un Recurso Mineral para la cual la cantidad, ley (o cantidad), densidades, forma y características físicas se estiman con confianza suficiente para permitir la aplicación de factores modificadores para sustentar un planeamiento de minado detallado y la evaluación final de la viabilidad económica del depósito.

La evidencia geológica se deriva de exploración detallada y confiable, muestreo y pruebas recogidas a través de técnicas apropiadas de lugares tales como afloramientos, trincheras, pozos, labores y sondajes y es suficiente para confirmar la continuidad geológica y de ley (o calidad) entre los puntos de observación donde se recogen los datos y las muestras.

Un Recurso Mineral Medido tiene un mayor nivel de confianza que el que se aplica tanto a un Recurso Mineral Indicado como a un Recurso Mineral Inferido. Puede ser convertido a una Reserva de Mena Probada o bajo ciertas circunstancias a una Reserva de Mena Probable.

MODELAMIENTO GEOLÓGICO

Zevallos V. (2020). El modelamiento geológico, se realiza aplicando el módulo de geología del software minero, el modelamiento se realiza en secciones verticales que siguen la ubicación de la malla de sondajes. En cada sección se

toma la información de sondajes que contienen los estudios e interpretación de los tipos de litología y mineralogía de cada tramo de muestra.

El modelamiento consiste en definir mediante polígonos, en cada sección vertical, la forma y tamaño del comportamiento de la roca que presenta cierta característica litológica de interés por su contenido metálico. Una vez que se realiza esta definición de los contornos litológicos (mediante polígonos) en todas las secciones paralelas, se procede a construir una superficie envolvente a todos los polígonos construidos, que darán lugar a la conformación de un sólido litológico que sería la forma del cuerpo mineralizado de interés económico

ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINERALES

Godoy M. (2009). La estimación de recursos se define como la obtención de leyes, volúmenes y tonelajes, así como la cantidad de metal o mineral que se puede obtener de determinado recurso minero. La estimación es dependiente de dos parámetros los cuales son: la calidad de datos y calidad del modelo geológico.

Este proceso se limita por el número de muestras disponibles para la estimación. Durante el proceso de exploración se debe anticipar este resultado. La cantidad de sondajes, el correcto espaciamiento de los mismos. Por otra parte, el número de muestras recolectadas, el protocolo de obtención de las mismas y el control de calidad realizado para la validación de la data. Se debe

tener en claro que luego de la estimación de recursos, esta información tendrá más relevancia que las muestras solas por sí mismas.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

- **Blendear**

Corresponde a un término técnico españolizado de la palabra de origen inglés “*Blending*”, con la cual se designa a la actividad de mezclar el mineral de distintas procedencias (por ejemplo: de tajos diferentes) de acuerdo a su contenido metálico para obtener otro con características más adecuadas para el proceso metalúrgico.

- **Carga**

Material fragmentado producto de la voladura de roca y/o mineral, controlada en las distintas labores en interior mina.

- **Encapsulado**

Término aplicado para los minerales que se encuentran dentro de otro que generalmente dificulta su proceso de separación metalúrgica.

- **Evento**

Suceso en el tiempo relacionado con la génesis para determinado yacimiento o depósito mineral, este puede ser antes (pre-evento), durante y después (post-evento) del proceso de formación.

- **Canal**

Es el trazo realizado en la estructura mineralizada representando su potencia y sirve de control para la obtención de la muestra. Generalmente nos referimos a canal en interior mina: frentes, coronas o paredes.

- **Cancha**

Zona de acumulación final del material acarreado desde interior mina. El material de interés dispuesto en cancha, tiene que ser mineral y considerado lo suficientemente económico para ser enviado hacia la planta de tratamiento mediante una flota de volquetes.

- **Manto**

Estructura mineralizada concordante con la estratificación, se puede utilizar este término cuando el eje mayor de la estructura mineralizada es paralela a la estratificación independiente de la caja piso o techo.

- **Potencia**

Es el ancho de una estructura mineralizada, medido desde la caja piso hacia la caja techo de forma perpendicular, generalmente para una veta, manto o cuerpo de mineral con un eje principal.

- **Rosario**

Término utilizado para designar vetas que tienen constantes zonas de aperturas con presencia de relleno mineral y estrangulamientos con poca o ninguna presencia del mismo, ya sean por controles estructurales o litológicos.

- **Stockwork**

Stockwork son vetillas entrecruzadas que se emplazan y mineralizan una zona fracturada de la roca. Existen varias formas de simetrías y tamaños. El relleno se compone de mena especialmente de minerales de origen hidrotermal.

- **Tenor**

Concentración o ley de un elemento metálico determinado por ensayos químicos de laboratorio.

2.3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.3.1 TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación es de tipo aplicada, y se ha centrado en el tratamiento técnico científico de los resultados analíticos, cuantitativos e interpretaciones, utilizando software geominero, a fin de resolver el problema existente dentro de la unidad minera respecto a la certeza en la estimación de los recursos minerales de forma tradicional que se viene ejecutando hasta la actualidad.

El alcance de la investigación es descriptivo, puesto que se limitó a la descripción de las características de las variables que se utilizaron para la elaboración del modelo geológico del manto M3T.

El diseño de la investigación es no experimental. Las variables están conformadas por datos históricos de perforación diamantina para la estimación de recursos y por datos de muestreos sistemáticos, para contrastar ambos modelos. Estos datos no son manipulables por naturaleza y vale mencionar que los valores obtenidos son inmutables a lo largo del tiempo (periodos relativos).

Las características de las variables que se encuentran son en principio descritas y procesadas para poder relacionarlo al contexto de la investigación.

2.3.2 UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis para la presente tesis corresponde al manto de nombre M3T del sector Culebra. Este manto forma parte de una de las estructuras mineralizadas dentro de la zona de estudio. La unidad minera se ubica a 428 km al norte de la ciudad de Lima, en el distrito de Pacllón, provincia de Bolognesi, departamento de Ancash.

El manto M3T, es una de las estructuras con mineralización económica de mayor importancia, dentro de la zona de Culebra, según los datos de exploración del departamento de geología hasta el año 2020, se establecen los límites de esta estructura mineralizada en 350 metros de longitud y 150 metros de profundidad extendiéndose entre las cotas de 4650 hasta 4800 sobre el nivel del mar.

La población de muestras investigadas es de 84, que corresponden a muestras de núcleos de roca, distribuidas en 17 sondajes de exploración brownfield pertenecientes a Campañas de Perforación 2012 – 2013, de conservación histórica por ser parte los inicios de la exploración brownfield del yacimiento. Esta importante población de muestras, servirán para el modelamiento geológico del manto M3T.

2.3.3 MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 2.1: Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA		
PROBLEMA		¿En qué medida la aplicación de un método geoestadístico para la estimación de recursos minerales, difiere con una estimación realizada mediante el método tradicional para el manto polimetálico formado en un Skarn en el Norte del Perú?
OBJETIVO		Comparar la estimación de recursos minerales entre el método tradicional y el método geoestadístico para el manto polimetálico M3T formado en un Skarn al norte del Perú.
HIPÓTESIS		Al desarrollar el modelamiento geológico por medio de software geominero se logrará una mejor estimación de recursos minerales aplicando métodos geoestadísticos para el manto M3T en un yacimiento skarn en el norte del Perú.
VARIABLES	DEPENDIENTE	Estimación de recursos minerales
	INDEPENDIENTE	Modelo Geológico
INDICADORES		<ul style="list-style-type: none"> - Potencia (m) - Longitud (m) - Profundidad (m) - Ancho de canal de muestreo (m) - Potencia compositada de veta (m)
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS		<ul style="list-style-type: none"> - Talonario de muestreo - Hoja de registro geológico de perforación diamantina

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

2.4 HIPÓTESIS GENERAL

Al desarrollar el modelamiento geológico por medio de software geominero se logrará una mejor estimación de recursos minerales aplicando métodos geoestadísticos para el manto M3T en un yacimiento skarn en el norte del Perú.

2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2.2: Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	PREGUNTAS
VARIABLE INDEPENDIENTE	Dimensiones de la veta	Potencia (m) Longitud (m) Profundidad (m)	¿Cuáles son las dimensiones del cuerpo según mapeos interior mina?
Modelo Geológico	Muestreo	Ancho de canal de muestreo (m)	¿Cuáles son los anchos de muestreo para la veta?
	Registro Geológico	Potencia compositada de veta (m)	¿Cuál es la potencia real compositada según los registros de sondajes?
VARIABLE DEPENDIENTE	Volumen de mineral	Metros cúbicos (m ³)	¿Cuál es el volumen de mineral estimado?
Estimación de recursos minerales	Tonelaje de mineral	Toneladas (t)	¿Cuál es el tonelaje del mineral estimado?
	Ley de mineral	Ley de Zinc (% de Zn)	¿Cuál es el contenido metálico del elemento Zinc según la estimación?

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

CÁPITULO III

MARCO GEOLÓGICO

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

3.1.1 GEOMORFOLOGÍA

A.- RELIEVE CORDILLERANO:

Presentan relieves moderados y con fuerte pendiente que fluctúan por encima de los 45°, pudiéndose observar en superficies accidentadas. La topografía de la zona está condicionada tanto al control estructural, litológico como a procesos de erosión a los que están sometidos constantemente y los diferentes procesos meteorológicos.

En su mayoría aún conservan su modelado glaciar (valles en forma de U), con crestas algo irregulares a alargados, con afloramientos de rocas en las crestas irregulares, dificultando la formación de suelo y vegetación en las irregularidades. En dirección de las laderas presentan pendientes de diversa configuración, puntualmente abruptos.

B.- FONDO DE VALLE:

Constituye unidades de relieves muy suaves, cuyas pendientes oscilan entre los 2° y 4° de pendiente, están constituidos por material cuaternario aluvial a manera de bancos constituidos de conglomerados inconsolidados, presentando un grado de erosión muy bajo. Los ríos formados en este relieve tienden a ser de tipo meándricos.

3.1.2 ESTRATIGRAFÍA

Estratigráficamente en la región predominan rocas sedimentarias del mesozoico pertenecientes al cretácico inferior (Figura 3.1) que a continuación de describen.

GRUPO GOYLLARISGUISGA**FORMACIÓN CHIMÚ (Valanginiano Inferior a Medio)**

Estratigráficamente es la formación más antigua de la región. Está constituida por ortocuarcitas de color gris claro a blanco, de grano medio, compacta y masiva con intercalaciones de lutitas de color negro en los niveles inferiores presenta horizontes de carbón que es característica de esta formación (Benavides, 1956)

La ocurrencia de carbón en la parte inferior ha sido registrada por Wilson (1967). El espesor aproximado de esta formación es de 685m en la localidad de Baños Chimú del valle Chicama, departamento de La Libertad.

FORMACIÓN SANTA (Valanginiano Medio Superior a Hauteriviano Inferior)

Esta formación yace concordantemente sobre la formación Chimú. Consiste de sedimentos marinos fosilíferos conformadas por caliza gris azulada, el espesor de sus estratos varía desde de 0,1 m hasta 1,0 m; algunas veces pueden presentar concreciones de Chert. No está definida como una unidad fosilífera, pero contienen fragmentos de valvas, es notorio también la presencia de pequeños estratos de lutitas negras y areniscas grises.

Los fósiles de las calizas Santa no son estratigráficamente característicos de acuerdo a Wilson (1963). Pero definitivamente son de edad Valanginiano Medio Superior.

El espesor total de la formación Santa en la ribera del río Santa cerca de la localidad de Carhuaz, departamento de Ancash, es de 341 m. En la mina Huanzalá, esta formación tiene un espesor de 160 m y 153 m.

FORMACIÓN CARHUAZ (Hauteriviano – Barremiano)

La formación Carhuaz, y las otras unidades del grupo Goyllarisquizga, se encuentran en las cuencas Chavín - Santa y en parte de la cuenca del Huarmey descritas por Cobbinng (1978). La formación yace concordantemente sobre la formación Santa y es seguida en igual relación por la formación Farrat. Consiste principalmente de sedimentos alterados de lutitas arenáceas laminadas de color gris oscuro a marrón mientras que las areniscas presentan una coloración gris pálido a marrón de grano fino a medio. En la parte superior de la formación

Carhuaz (150 m – 200 m) predomina las lutitas arenáceas rojas a parduscas. En la base de la formación hay un enriquecimiento fosilífero marino, calizas grises de capas delgadas intercaladas con arcillas.

El espesor total de esta formación es de 1300 m en la Provincia de Carhuaz, departamento de Ancash, en el área de exploración del proyecto Pallca tiene un espesor de 700 m.

FORMACIÓN FARRAT (Aptiano)

Esta formación representa el tope del grupo Goyllarisguizga y constituye la unidad más discreta cuyo grosor es mínimo, yace directamente sobre la formación Carhuaz conformada por cuarcitas y areniscas laminadas de color gris pálido a blanco de grano medio a grueso con algunas intercalaciones de lutitas arenáceas.

El espesor total de esta formación es de 300 m en su localidad típica, la hacienda Farrat, provincia y departamento de Cajamarca. En el área de Pallca alcanza un espesor de solo 35 m.

GRUPO MACHAY

FORMACIÓN PARIAHUANCA O INCA (Aptiano – Albiano Inferior)

Esta formación está constituida por calizas macizas compactas de grano medio a fino, presenta una coloración gris azulado en estratos de 1 a 2 m de espesor algunas veces presentan una ligera apariencia rugosa y cuando esto sucede

puede asemejarse a las calizas de la formación Santa, también se pueden observar intercalaciones delgadas de areniscas, lutitas y cuarcitas.

El espesor de esta formación es de 400 m (Borkowski, 1975) en la localidad de Pariahuanca, provincia de Huari, departamento de Ancash. En el área de estudio esta formación tiene un espesor de 280 a 330 m.

FORMACIÓN PARIATAMBO (Albiano Medio)

Esta formación está conformada mayormente de sedimentos alterados de lutita negra y caliza bituminosa de color gris oscuro a negro con contenidos de fósiles. Son frecuentes las intercalaciones de las calizas en estratos delgados

Su espesor es de 120 m en la localidad de Pariatambo (Benavides, 1956)., Provincia de Yauli, departamento de Junín. En la zona de estudio llega a tener un espesor de 100 m.

FORMACIÓN JUMASHA (Albiano Superior)

Está constituida de sedimentos marinos, calizas que gradan a calizas dolomíticas masivas, de colores que van desde marrón-naranja a marrón-amarillento y gris.

En la localidad típica de Jumasha (lago Purum), departamento de Pasco tiene un espesor de 800 m (J. Wilson, 1963).

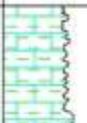
		AGE	FORMATION	COLUMN	THICKNESS	LITHOLOGY
LOWER CRETACEOUS	ALBIAN	MACHAY GROUP	PARIATAMBO F.		200+	LIMESTONE AND SHALE ALTERNATION THIN-BEDDED DARK GRAY, FINE GRAINED FOSSILIFEROUS LIMESTONE AND DARK GRAY, FINE GRAINED SHALE.
			PARIAHUANCA F.		240 - 330	LIMESTONE MEDIUM BEDDED MEDIUM GRAY TO DARK GRAY, VERY FINE-GRAINED FOSSILIFEROUS INTERBEDDED WITH SANDSTONE, SHALE AND QUARZITE. RECRYSTALLIZED NEAR INT.RUSIVES
	APTIAN		FARRAT F.		26-36	ORTHOQUARTZITE INTERBEDDED WITH SHALE
	BARREMIAN	GOYLLARISQUIZGA GROUP	CARHUAZ F.		750 - 1400	SANDSTONE AND SHALE ALTERNATION THIN-TO MEDIUM : BEDDED LIGHT TO MEDIUM LIGHT GRAY FINE-TO MEDIUM GRAINED CROSS BEDDED SANDSTONE.
						UPPER 150 - 200 M : THIN- BEDDED, REDDISH BROWN AND PALE GREN GRAY SIKTY SHALE.
	HAUTERIVIAN					LOWER 100 M : INTERBEDDED WITH MEDIUM-LIGHT TO MEDIUM-DARK GRAY VERY FINE - GRAINED LIMESTONE.
	VALANGINIAN		SANTA F.		137 - 167	LIMESTONE MEDIUM-BEDDED, MEDIUM-LIGHT TO MEDIUM DARK GRAY, VERY FINE-GRAINED TO MICRO GRANULAR FOSSILIFEROUS INTERBEDDED WITH GRAY SHALE.
	BERRIASIAN		CHIMU F.		400+	ORTHOQUARTZITE MEDIUM-TO THICK BEDDED, LIGHT GRAY TO WHITE MEDIUM-TO COARSE GRAINED INTERBEDDED WITH DARK GRAY SHALE.

Figura 3.1: Columna estratigráfica de la mina Huanzalá

Fuente: Departamento de Geología de la Unidad Minera Huanzalá

3.1.3 EVOLUCION TECTONICA Y ESTRUCTURAL

En la zona afloran rocas sedimentarias Cretácicas con intensa deformación estructural, conformando desde la más antigua a la más reciente, las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat del Grupo Goyllarisquisga; y las formaciones Pariahuanca, Pariatambo y Jumasha del Grupo Machay. Estas rocas han sido intruidas y perturbadas por un conjunto de rocas ígneas en forma de stock y diques, que se les ha denominado Complejo de Culebra y está constituido por 4 Stock: cuarzo porfirítico, granodiorita, tonalita y granito porfirítico.

Las rocas sedimentarias han sido sometidas a intensos movimientos y deformaciones estructurales de las fases orogénicas post-neocomianas del Ciclo Andino. Forman pliegues de rumbo NNO-SSE y sistemas de fallas ENE-OSO. Los anticlinales y sinclinales se presentan con intervalos entre sus crestas de 2 a 4 km.

La principal actividad tectónica – magmática en la zona ocurrió en el Mioceno (Fase Quechua I y II). Durante este período al menos cuatro fases de intrusivos se emplazaron cortando la secuencia sedimentaria (Figura 3.2).

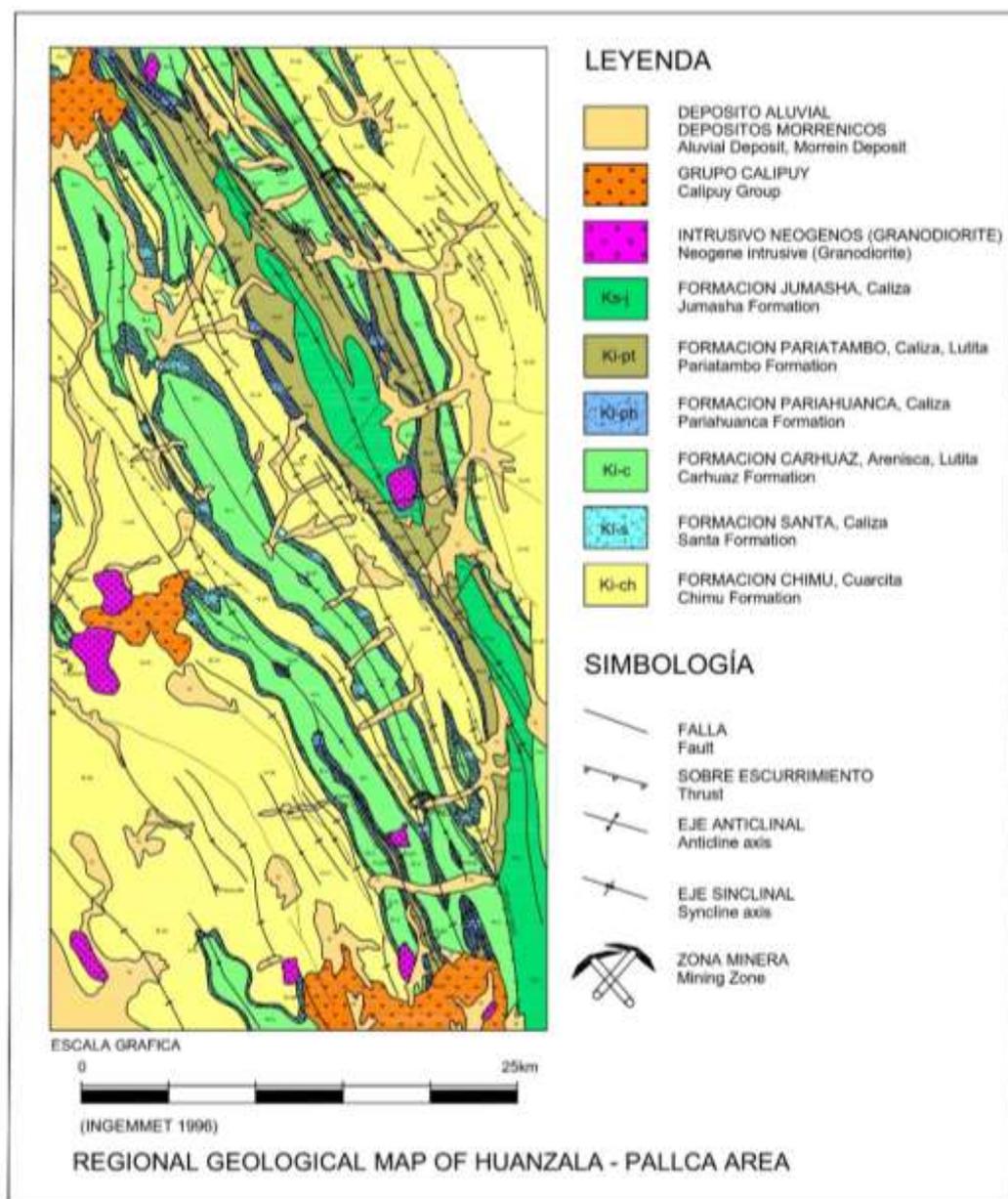


Figura 3.2: Geología Regional del área de Huanzala y Pallca

Fuente: Yamanaka et al., (2007). Progreso de Exploración y Geología del Yacimiento de Pallca. Biblioteca Virtual de INGEMMET.

Nota: Ver detalle en imagen a escala en el Anexo 06

3.2.2 ROCAS ÍGNEAS

ROCAS VOLCÁNICAS

Las diversas rocas volcánicas en la zona de estudio corresponden al grupo Calipuy, encontrándose ampliamente distribuidas y erosionadas. Estas rocas volcánicas comprenden derrames lávicos y brechas de andesitas, dacitas y tobas de coloración muy variable (gris, pardo, marrón, etc).

El espesor de estas rocas volcánicas es de 2000 m y sus edades geológicas están comprendidas entre los 14 a 15 millones de años.

ROCAS PLUTÓNICAS

En diversas áreas de la zona, se ha reconocido cuerpos intrusivos tipo stock, diques y sills. Cuya composición química y mineralógica corresponden a intrusiones plutónicas que se clasifican como granodiorita, tonalita pórfido granítico y pórfido cuarcífero. A este conjunto de rocas plutónicas que se emplazó entre el Anticlinal de Palca y el Sinclinal de Culebra se le denomina Complejo Culebra.

El área total que expone el afloramiento del Complejo Culebra es aproximadamente de 800 x 1,700 m². Según las pruebas radiométricas (H. Imai) de K – Ar, las edades absolutas en millones de años (Ma.) determinadas para las rocas plutónicas descritas son las siguientes:

Granito Porfirítico:	12,6 + - 0,4 Ma.
Tonalita:	13,7 + - 0,4 Ma.
Granodiorita:	16,6 + - 0,4 Ma.

Falta aún determinar la edad del cuarzo porfirítico pero por observaciones de su relación espacial en campo con los otros intrusivos y de la observación macroscópica en la paragénesis de su mineralogía, se presume que tiene una edad geológica mayor que la granodiorita.

La descripción petrográfica de S. Williams permitió mejorar la caracterización de las texturas de intrusivos y sus alteraciones.

CUARZO PORFIRÍTICO

El primer evento intrusivo está representado por un color crema-rosado de cuarzo porfirítico hipabisal del que se reconocen dos fases:

- La primera fase está representada por fenocristales de cuarzo, plagioclasa, biotita y hornblenda, con una matriz dominante de ortosa microcristalina y menor cuarzo.
- La fase tardía del cuarzo porfirítico es el más voluminoso y se caracteriza por su contenido mineralógico; esta unidad contiene pequeños fenocristales (0 a 10%) de cuarzo y ortoclasa, con una fuerte matriz desvitrificada.

La fase retrógrada muestra una de débil propilitización que altera los fenocristales de la siguiente manera:

- Hornblenda --> Epidota + calcita + biotita

- Biotita --> Clorita
- Plagioclasa --> Epidota + calcita (5%>) ± sericita.

Este intrusivo se encuentra cortando en forma de diques de tendencia NE y NO a una roca cuarcífera intensamente fracturada. Producto del emplazamiento se formaron vetas de molibdenita proximal al contacto y claramente da lugar al stockwork de la mineralización por Mo en la zona de Culebra.

TONALITA - DIORITA

Al noreste de la intrusión de Cuarzo Porfírico, un gran stock (1100 x 300 m²) corta con dirección NE la formación Carhuaz.

El stock de tonalita (Sal y Pimienta, nominada por su apariencia en muestra de mano) tiene una granulometría media a fina equigranular de color marrón oscuro, con abundante plagioclasa cálcica primaria. Presenta moderada a fuerte alteración potásica, caracterizada por tener una masa vidriosa de plagioclasa alterada a ortoclasa; la biotita reemplaza a la hornblenda. Esta unidad ígnea contiene de 1 a 3 % de pirita finamente diseminada y en venillas.

GRANODIORITA

Al sur del Stock de Tonalita, se encuentra un cuerpo intrusivo denominado el Stock de Granodiorita que mide 800 x 300 m². La textura de esta roca es homogénea, el 75 - 90% de fenocristales son de cuarzo, biotita y plagioclasa cálcica. El cuarzo granular y la ortoclasa son los que dominan la matriz. La roca está localmente cortada por venillas de cuarzo-pirita con limitada sericitización.

GRANITO PORFIRÍTICO

Es la roca más reciente de la zona de estudio, es un intrusivo leucocrático o roca ígnea de color claro, compuesto con 65% cuarzo + ortoclasa + plagioclasa, ocasionalmente presenta fenocristales siendo el 10% de plagioclasa y hornblenda. El stock mide 630 x 200 metros, esta alargado en dirección NE y presenta una débil alteración propilítica que afecta la mayor parte del granito porfirítico, en la que los feldespatos han sido alterando a calcita + sericita, la hornblenda a clorita + calcita, con una menor y fina disseminación de pirita en la matriz.

3.2.3 GEOLOGÍA ECONÓMICA

Este yacimiento polimetálico (Zn-Pb-Ag) encaja geológicamente dentro de un Skarn formado por metasomatismo de contacto emplazado dentro de las formaciones Santa, Carhuaz y Pariahuanca (Díaz E., 2008).

En la zona de Culebra se ha determinado mediante estudios mineragráficos por lo menos tres eventos de mineralización (Díaz E., 2008), y para una mejor interpretación geológica, el yacimiento de Pallca se ha dividido en dos unidades genéticamente diferentes, denominadas Zona Berlín y Zona Culebra.

En la zona de Berlín ubicada hacia el norte del área, se manifiesta una intensa mineralización causada por la infiltración de los fluidos de sílice y elementos polimetálicos, formando mantos mineralizados en el skarn.

En la zona de Culebra ubicada hacia el sur, predominan los mantos polimetálicos de reemplazamiento en los bordes del skarn, formado dentro de la formación Pariahuanca.

El skarn se formó por acción pirometasomática, originada por el contacto de rocas carbonatadas y fluidos silicatados a altas temperaturas. La mineralización económica ocurrió después de la formación del Skarn mediante un estado hidrotermal tardío. Los fluidos hidrotermales al migrar reemplazaron al Skarn como también rellenaron fracturas preexistentes (Bodelon y Ericksen, 1987).

Los mantos de Zn, Pb, Cu, Ag son considerados de origen hidrotermal originados por reemplazamiento y relleno de fractura en litología formada por metasomatismo de contacto (exoskarn), de los niveles calcáreos de las formaciones Santa, Carhuaz y Pariahuanca en las cuales se encuentran localizados importantes cuerpos mineralizados. En la zona mineralizada de Berlín solo dentro de la formación Santa y Carhuaz se han localizados 8 horizontes mineralizados y para la zona de Culebra se tiene 3 horizontes mineralizados en la formación Pariahuanca (Díaz E., 2008).

3.2.3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS

El yacimiento pertenece al grupo de los pirometasomáticos o metamorfismo de contacto (Lindgren) las que se originaron por cambios metasomáticos en las rocas calcáreas principalmente calizas en contacto con los intrusivos los que trajeron consigo las soluciones mineralizantes (Yamanaka et al. 2007).

En la unidad minera el skarn está zoneado y consiste de un granate rosado (grosularia/andradita) cerca al cuarzo porfirítico para luego pasar a un granate marrón (andradita) y con una mayor fase distal a hendenbergita y skarn de epidota, parcialmente en forma masiva, pirrotita, pirita y skarn de magnetita.

La mineralización de Culebra yace al oeste del complejo, con skarnización de calizas de la formación Pariahuanca. En el flanco oriental del sinclinal Culebras, se observa la presencia de un stockwork de vetillas entrecruzadas de molibdenita con diseminación de oro en pequeña escala asociado a la formación del cuarzo porfirítico.

En la zona de Culebra se observa la mineralización dentro de los límites del skarn en las calizas de Pariahuanca. Apreciándose tres mantos denominados M1, M2 y M3. Según la última estimación de recursos minerales también se ha reconocido en algunos sectores la presencia del manto M4 (Departamento de Geología de la Unidad Minera). Estos mantos se extienden hasta los límites del skarn generando un contacto irregular con la caliza hacia su caja techo en los límites de la formación Pariahuanca.

En la zona de Culebra los rumbos de las estructuras mineralizadas varían entre N20°W y N50°W con buzamientos de 60° a 80° SW. La potencia de los mantos mineralizados, varían entre 0,3 y 12,0 metros, su extensión en dirección al rumbo en promedio para todas las estructuras es de 150

metros, y en dirección al buzamiento unos 200 metros (límites obtenidos hasta la fecha por el Área de Exploración).

En la zona de Culebra, donde se desarrolla la investigación, se encuentra el manto M3T que es la estructura mineralizada de mayor importancia e interés actual por su contenido de metales económicos. tiene como horizonte principal de mineralización económica al manto de nombre sistemático M3T. El cual se describe a continuación:

MANTO-M3T

Es el horizonte mineralizado más importante, ya que comprende el 63% de los recursos en este sector del yacimiento (Departamento de Geología - Revisión diciembre 2013). Se aplica la estimación en el TJ S450. Este tajo tiene 50 metros de longitud con mineralización económica en dirección a su rumbo N30°W, estrangulándose hacia el NW y engrosándose hacia el SE alcanzando hasta 15 metros de ancho (Figura 3.4).

La infiltración de los fluidos hidrotermales en este sector, circularon y rellenaron las fallas transversales que se extienden y atraviesan los ramales del intrusivo de granodiorita porfirítica al NE de la zona de estudio. En toda la caja piso se observan solo relictos del intrusivo tardío de cuarzo porfirítico debido al proceso de formación del skarn bastante intenso.

Los frentes máximos de depósito evidencian un control estructural principal en caja piso que está directamente ligado al espaciamiento y apertura de fallas. Otro factor en la mineralización en este sector es el control litológico de los horizontes calcáreos de mayor favorabilidad química dentro de la formación Pariahuanca.

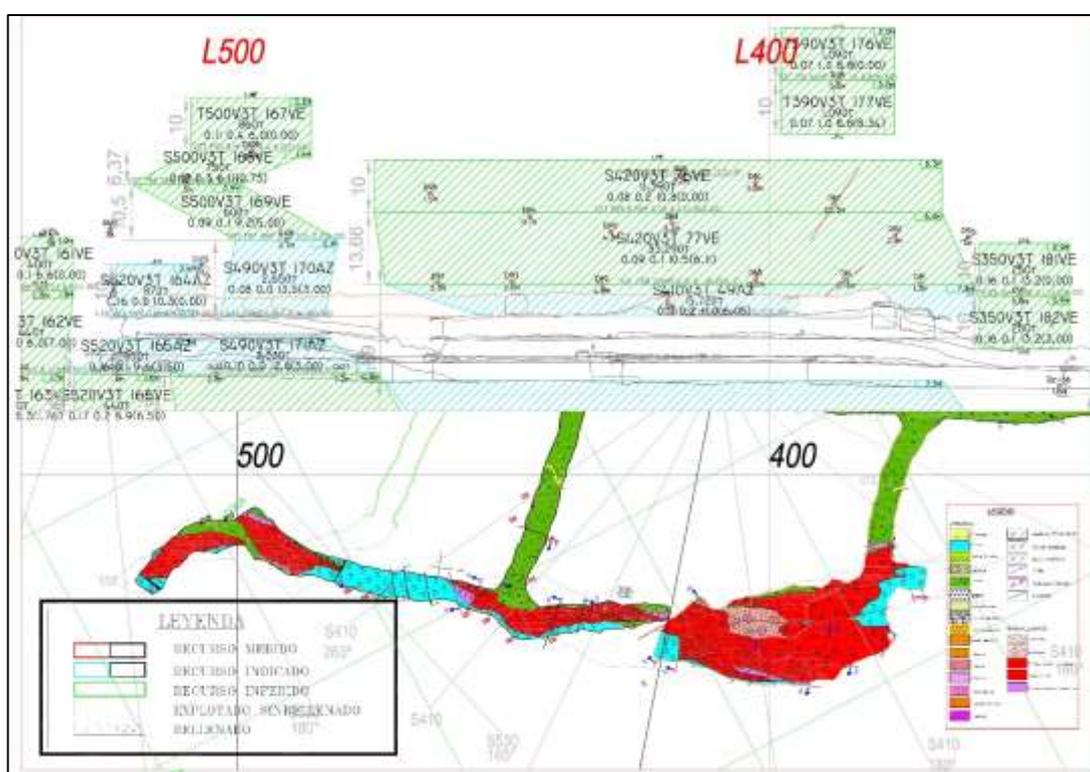


Figura 3.4: Mapeo Geológico en el tajo S450

Fuente: Departamento de Geología de la Unidad Minera Pallca, 2021.

NOTA: Ver detalle en imagen a escala en el Anexo 02

3.2.3.2 DESCRIPCION DE LA MINERALIZACIÓN

Los mantos mineralizados de Pb-Zn, se presentan en forma estratiforme y lenticular, las que se desarrollaron después que produjo la skarnización y probablemente representan el primer evento de mineralización, en

respuesta al emplazamiento del stock del cuarzo porfirítico. Los mantos se formaron cerca al contacto skarn-caliza, lejano del cuarzo porfirítico, con un rango muy variable en espesor y con una ley promedio de 10% de Zn (Díaz E., 2008).

MINERALES DE MENA

ESFALERITA (ZnS)

De acuerdo a su contenido de Zinc, ocurren tres variedades de esfalerita.

- a) Esfalerita marrón oscura: Se encuentra incluyendo agregados de pirrotita y galena, con leyes de 30% hasta 36% de Zn.

- b) Esfalerita marrón pálida a amarillenta: Este tipo se usualmente pálida y transparente y se estima que contiene menos Fe. La esfalerita es reconocida en finas suturas y disseminaciones. Presenta leyes mayores al 40% de Zn según muestreos en sectores específicos debido a su irregular ocurrencia.

- c) Esfalerita marrón oscuro a negro: Incluye magnetita, pirrotita, se les encuentra especialmente en la zona de Culebra con alto contenido de Fe. Este tipo de esfalerita presentan leyes menores al 30%.

El tamaño de los granos de la esfalerita es relativamente variable: 0,05 – 0,5 mm. cuando mayor sean los granos de esfalerita disminuye el

contenido metálico del mismo. La dureza varía de 3,0 a 3,5 en la escala de Mohs.

GALENA (PbS)

La galena se presenta de forma euédrica y en todo el yacimiento se le encuentra bien cristalizada con granulometría bien definida por lo general de 0,01 – 1 mm. Presenta una exfoliación perfecta, brillo metálico color y raya gris plomo su dureza es de 2,5 – 3,0 mm. Generalmente se presenta asociada a la esfalerita.

En la zona de Culebra no es frecuente encontrar galena, solo existen clavos puntuales donde por enriquecimiento secundario se forma este mineral preferencialmente pegado hacia caja techo acompañado de marmatita y pirrotita, por lo general cuando aparece, el agregado mineral es de baja cohesión y muy deleznable.

CALCOPIRITA (CuFeS₂).

Es anhedral se presenta como inclusión, en la pirita y pirrotita, bien cristalizada posee un brillo metálico y color amarillo latón. La raya es negra, su dureza está comprendida entre 3,0 – 3,5; ocasionalmente está asociado a la esfalerita y frecuentemente se encuentra diseminado en pirrotita masiva en los niveles inferiores y medios de la unidad minera.

No se presenta ocurrencia significativa de este mineral en la zona de estudio.

MINERALES DE GANGA

PIRROTITA (FeS₂)

Es el sulfuro más abundante y ampliamente distribuido en la zona de estudio, se presenta generalmente en forma masiva y compacta; frecuentemente se halla asociado a la esfalerita y ocasionalmente contienen inclusiones de oro (zona de Culebra), brillo metálico es el más abundante en el yacimiento.

PIRITA (FeS₂)

Se presenta en diversos tamaños y formas, principalmente hexagonales, en menor proporción son pentagonales (piritoedros) y más escasos son cuadrados cuadriláteros y triangulares. Existen esporádicos cristales de pirita que presenta estrías. Por lo común mayormente se encuentra diseminada. Especialmente junto a los Skarn de granates zona de Berlín.

MAGNETITA (FeO.Fe₂O₃).

Se presenta en estado masivo de color negro se caracteriza por ser magnético y un alto peso específico 5,2 a 6,3 ocasionalmente se halla asociado a minerales de mena.

Su presencia debe ser considerado un indicador de elevados porcentajes de hierro en las cargas que son evaluadas como mineral. Se debe solicitar un muestreo antes de ser acarreadas hacia superficie.

GROSULARIA. Ca₃Al₂(SiO₄)₃

Es el más abundante, se presenta en cristales isomórficos del sistema cúbico de color rojo oscuro a pálido. Está asociado a otros minerales de granate como andradita. Este mineral frecuentemente está acompañando a los minerales económicos en las dos zonas del yacimiento de Pallca también se le usa como control mineralógico.

CLORITA (Si_4O_{10}) $\text{Mg}_3(\text{OH})_2$ $\text{Mg}_3(\text{OH})_6$

Es un silicato de Magnesio, se caracteriza por la forma que presentan sus cristales tabulares prismáticos de color verde se les encuentra generalmente junto a los minerales de Pb y Zn en fuerte asociación con pirrotina. Se le utiliza como control mineralógico para encontrar los cuerpos de mineral.

EPIDOTA (Si_2O_7) (SiO_4) (Al, Fe) ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}(\text{OH})$)

Es muy abundante, especialmente en la zona de skarn junto a los minerales de Zn – Pb siendo más abundantes en la zona de Berlín se caracteriza por presentar sus cristales en forma de masas fibrosas y de una coloración verde claro - oscuro. También se le usa como control mineralógico

AUGITA (Al, Si) $_2$ O $_6$ Ca(Mg, Fe, Al)

Por lo general se encuentra asociado a los granates clorita y epidota se caracterizan por presentar cristales prismáticos y una coloración negro verdoso.

DIOPSIDO ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$)

Al igual que la augita se le encuentra asociado a los granates, clorita y epidota se caracteriza por presentar algunos cristales bien desarrollados, su tonalidad es verde claro.

CALCITA (CaCO_3)

Es muy abundante especialmente en la formación Santa se presenta en forma de venas, venillas y vetillas. De color blanco de grano fino a grueso; en algunas partes se hallan silicificados. En algunos mantos la calcita actúa como matriz de los minerales de mena. Por lo general en cristales bien definidos.

LIMONITA ($2\text{FeO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

Es predominantemente abundante en casi toda la zona de exploración especialmente en la formación Carhuaz por la zona de Berlín donde se puede apreciar el “sombrero de fierro”. Se halla especialmente en las fisuras y fallas que presentan las rocas. La limonitización en la formación Carhuaz se debe a la gran abundancia de diseminación de pirita que se altera y transforma en óxido de fierro.

HEMATITA.

Frecuentemente se le encuentra junto con la limonita, pero en menor proporción

3.2.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La secuencia sedimentaria presente en el área de estudio ha sufrido una fuerte deformación debido a la orogenia Andina, formándose pliegues, fallas, fracturas, etc.

3.2.4.1 PLEGAMIENTOS

Esfuerzos comprensiones de rumbo NE – SW produjeron fuertes plegamientos en el área de estudio formando anticlinales, sinclinales con rumbos paralelos NW – SE (E. Díaz, 2008. Pág. 04).

Los sedimentos cretácicos son plegados y girados bruscamente en el lado oriental de la formación Jumasha. En la parte NE de la mina se encuentra la cordillera del Huayhuash formada por sedimentos del cretáceo, plegados y fallados durante la orogenia andina.

El buzamiento promedio de los ejes de los ejes de los sinclinales y anticlinales es de 15° hacia al Sur. En el Sinclinal de Culebra los estratos tienen un buzamiento comprendido entre los 60° – 80° hacia el SW. La formación Pariahuanca (Albiano), sobre yace subverticalmente a la zona de skarn en este sector (Figura 3.5).

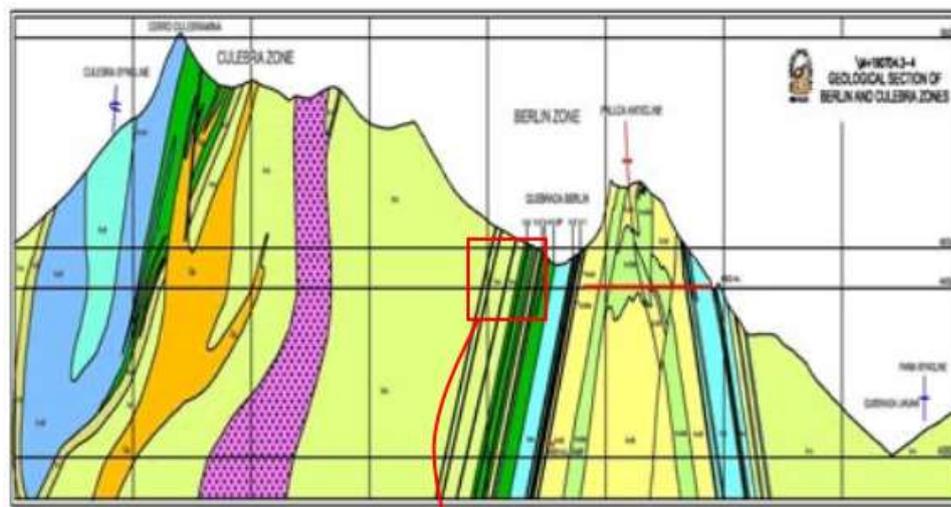


Figura 3.5: Sección Geológica de la zona de estudio

Fuente: Yamanaka et al., (2007). Progreso de Exploración y Geología del Yacimiento de Pallca. Biblioteca Virtual de Ingemmet.

3.2.4.2 FALLAS

Los múltiples movimientos ocurridos durante la Tectónica Andina han generado en la zona de estudio una secuencia de fallamientos y fracturamientos en las rocas, en las que se pueden diferenciar dos sistemas de fallas inversas en orden cronológico (del más antiguo al más reciente) que son: (Ver figura 3.5)

- 1) Fallas longitudinales de salto vertical paralelo al rumbo de los estratos y con buzamiento fuertes entre 80° – 90° . Particularmente en el área de estudio este sistema de falla está relacionado al engrosamiento de la veta en el SE. Tienen gran apertura, con presencia de panizo o “gouch” frecuentemente con minerales de la fase prógrada (skarn). Particularmente se evidencia formación de calcita en cristales euhedrales en forma de drusa.

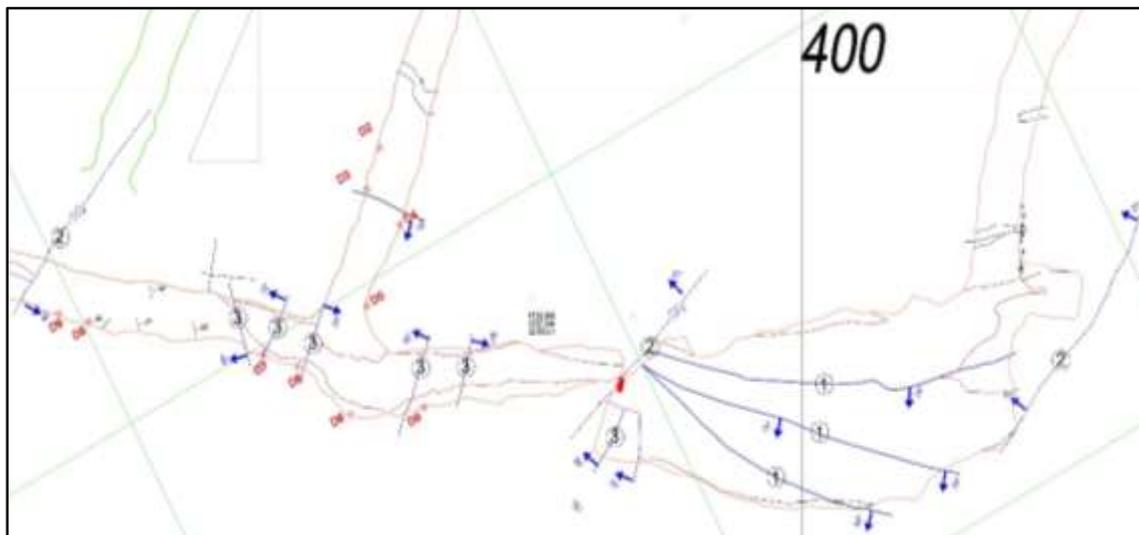


Figura 3.6: Mapeo estructural de fallas en TJ S450

1) Fallas longitudinales de salto vertical paralelo al rumbo de los estratos y con buzamiento fuertes entre 80° – 90° . 2) Fallas transversales de rumbo NE – SW y buzamiento al NW entre 70° – 85° con desplazamiento alto 10 – 15 m. 3) Fallas transversales de rumbo NE – SW de postmineralización, buzamientos entre 65° – 75° .

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

2) Fallas transversales de rumbo NE – SW y buzamiento al NW entre 70° – 85° con desplazamiento de 10 a 15 m, controlando la mineralización. Es frecuente encontrar aquí inversión del buzamiento localmente. Tienen gran apertura y el relleno tiene relictos de mineralización en forma de diseminado que se puede observar en el panizo o “*gouch*”. Temporalmente su ocurrencia está relacionado a la fase hidrotermal posterior a la formación del skarn.

3) Fallas transversales de rumbo NE – SW de postmineralización, buzamientos entre 65° – 75° . Los saltos son de niveles centimétricos, es decir, no poseen un desplazamiento significativo de la veta para ocasionar un problema estructural. Son de poca abertura y escaso relleno de limonita - hematita.

CÁPITULO IV

DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

4.1 MUESTREO GEOLÓGICO

El área de Control de Calidad en la Unidad Minera, cumple un papel fundamental en la extracción del mineral de interés económico, evitando así que otro tipo de material (desmonte o mineral de muy baja ley) sea transportado hacia la cancha de mineral. La determinación de la condición del material es una tarea indispensable que se realiza diariamente.

Los procedimientos y actividades implicadas dentro del área de control de calidad están ligadas directamente al muestreo; dentro y fuera de mina este proceso debe realizarse de forma sistemática y con el conocimiento y la experiencia de personal especializado. Por ello vamos a definir el concepto de muestra.

Desde el punto de vista geológico una muestra es una porción representativa y proporcional de la población, tomada en una estructura mineralizada, de la

cual mediante su análisis se obtiene su composición de elementos e información relacionada (contenido metálico, densidad, etc.); para ello, se utiliza un proceso sistemático de obtención, a la parte o porción que el geólogo considera representativa para su lote en cuestión, esto puede ser esquirlas de roca, detritos de perforación, sondajes cortados, etc., además el proceso de extracción debe ser factible y su estudio sea económicamente viable (Buenaventura 2016).

4.1.1 IMPORTANCIA DEL MUESTREO PARA EL CONTROL DE MINERAL

El muestreo para el control de mineral en la unidad minera se desarrolla en varias etapas del proceso productivo las cuales son:

- **Muestreo Sistemático de Frentes**, este se desarrolla después de la voladura, limpieza y sostenimiento en los diferentes tajos de producción o subniveles.

- **Muestreo Sistemático de Pared**, al atravesar mantos mineralizados, zonas de alteración, fallas o brechas durante el avance o preparación de las labores mineras, estas estructuras tienen que ser muestreadas para conocer la proporción del contenido metálico.

- **Muestreo de Carga de Disparo**, si la evaluación de la carga de mineral disparado no se puede definir visualmente por alguna discrepancia entre el material fragmentado y la estructura

mineralizada en la corona, hastiales y frente, esta carga debe ser muestreada.

- **Muestreo de Cámara de Acumulación**, si el mineral no se traslada de manera inmediata a las canchas en superficie, estos son acumulados en cámaras que tienen una capacidad entre 250 hasta 1500 toneladas, posteriormente son muestreadas.

- **Muestreo de Bancos**, si de la voladura no se obtuvo la fragmentación esperada los bancos son almacenados en labores cercanas a los tajos de producción para ser fragmentados (*blasteados*) posteriormente. Si el muestreo previo no arroja resultados económicos, estos son acarreados como desmonte.

- **Muestreo en Cancha de Mineral**, antes del envío de mineral a planta de tratamiento se obtiene información de la ruma de mineral de determinado tajo en la cancha, solo si, no se cuenta con ninguna información previa de la procedencia del material.

Con los diversos tipos de muestreos establecidos se genera un gran sustento para que el área de control de mineral ejecute sus actividades y recomendaciones finales para la combinación o mezcla de minerales (*blending*) según los requerimientos de programa mensual de envío de mineral a planta, así como para una disminución de costos en el acarreo evitando que se traslade material estéril o de muy baja ley hacia los echaderos u *ore pass*.

4.1.2 MUESTREO POR CANALES

Las labores que se desarrollan como subniveles o galerías de exploración requieren toda la información posible de manera sistemática. Para ello el geólogo tiene que tener actualizados los planos topográficos y mapeos geológicos a la par con el avance diario, esto permitirá coordinar con el personal de muestreo que subniveles, tajos y galerías de exploración deber ser muestreadas.

El muestreo sistemático por canales debe ser diferenciado, consiste en extraer en una porción de la estructura mineralizada según la intensidad de su mineralización (estructura mineral, cajas mineralizadas o alteradas) mediante canales en sus diferentes variaciones (Canal por Puntos, Canal Punteado y Canal Completo). Este se ejecuta para frentes, coronas e incluso hastiales según sea requerido.

Para la zona de estudio, en los subniveles que se encuentran en desarrollo siguiendo el manto mineralizado, los cuales serán los primeros accesos para iniciar el corte y relleno ascendente, el muestreo sistemático se realiza después de cada disparo (espaciados cada 4,3 metros o 14 pies, aproximadamente), tratando de abarcar como mínimo la potencia completa de la estructura de caja a caja. En algunas labores la estructura es mayor a la dimensión de la labor. En estos casos el muestreo se realizará en la corona y posteriormente se esperará el desquinche o ensanche en retroceso de la galería para completar los canales de muestreo en las zonas donde es requerido.

En el caso de tajos de producción el muestreo se realiza para recalculas las leyes de los bloques en la estimación de recursos que se entrega anualmente. Durante el corte y relleno ascendente cuando ocurre un cambio de bloque inferior a superior, el último corte del bloque inferior debe ser muestreado de forma sistemática como si se tratara de un subnivel.

Para el caso de los cruceros de exploración y accesos a tajos de producción, los cuales tienen una dirección promedio perpendicular a los rumbos preferenciales de las vetas en la unidad minera, con mucha frecuencia se corta mineralización significativamente económica, generalmente relacionada con vetas que no se encuentran registradas en la interpretación del proyecto, por diversos factores geológicos. Cuando sucede esta particularidad, también se realiza muestreo sistemático por canales.

En la Figura 4.1 se observa el frente con los canales de muestreo marcados de hastial a hastial. Los “caballos” o roca estéril que queda englobado en la mineralización, también deben ser muestreados para conocer el contenido metálico. Es muy común la ocurrencia del proceso de infiltraciones por porosidad primaria y/o secundaria en la zona de estudio.



Figura 4.1: Marcado de canales en frente mineralizado

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

Los planos de muestreo sistemáticos son actualizados y presentados con regularidad y se utilizan en la elaboración del inventario anual de recursos minerales. La variación de leyes de un mismo bloque estimado mediante el modelo tradicional utilizando las leyes del mineral obtenido según los sondajes diamantinos, siempre varía con respecto a las leyes del muestreo sistemático, con variaciones promedio de $\pm 1,50\%$ en la ley de Zn y con porcentajes no significativos en los otros elementos.

Este tipo de muestreo permite también conocer con gran aproximación la ley de la carga rota después del disparo; material que muchas veces se encuentra en la cancha después del acarreo y el conocimiento de su contenido metálico permitirá tomar decisiones rápidas en el Área de Geología. Por lo expuesto anteriormente se define al muestreo sistemático como el más importante de todos los procesos en el control de calidad.

4.1.3 MUESTREO DE CARGAS

El muestreo de cargas en la unidad minera se aplica a todo material fragmentado del cual se tiene dudas de su procedencia, contenido metálico e incluso señales de contaminación con algún material estéril o de baja ley. En interior mina se muestrea cargas de disparo en el frente, también bancos de forma independiente, cargas en cámaras de acumulación y excepcionalmente en cámaras de desmonte cuando se tiene algunos reportes dudosos de acarreo. En superficie tenemos el muestreo en canchas de mineral siendo este último el más importante. El muestreo de carga de disparo se realiza principalmente cuando se ha tenido una variabilidad marcada en el mapeo de coronas y en el frente.

Las cámaras de acumulación son espacios que permiten almacenar el mineral temporalmente, es decir cuando no se requiere de esta carga de manera inmediata en la cancha de mineral por diversos factores (contenido metálico, espacio insuficiente en superficie, reportes en planta, etc.) o por que se desea aumentar el stock en interior mina. El muestreo aquí se realiza sobre la carga y es referencial puesto que no es posible acceder a la totalidad de la misma por temas operativos y de seguridad.

El material fragmentado en mina de acuerdo a sus estándares muchas veces experimenta problemas operativos, principalmente por cambios en el terreno de índole geológica, creando una rotura no deseada y generando bancos grandes que no pueden ser alimentados al conducto de extracción de carga (*ore pass*) ya que podrían bloquear el conducto y campanear la carga. Por ello

la única solución es fragmentar estos bancos; sin embargo, como ocurre la mayoría de veces el material banqueado resulta ser estéril o de muy baja ley (casi siempre skarn de granates de grano grueso). Finalmente, el muestreo de bancos se aplicará para apoyar la resolución final del geólogo y así evitar costos de voladura y acarreo innecesario.

En las operaciones se utiliza el corte y relleno ascendente como método de explotación para ello se requieren espacios donde se puede almacenar una determinada cantidad de desmonte o material detrítico para posteriormente utilizarlo como relleno hidráulico (previa preparación) o detrítico; Sin embargo, excepcionalmente se reporta por parte del jefe de guardia, material utilizado como relleno, con supuesta evidencia de mineralización que es trasladado por el operador de *Scoop o Dumper*, en la mayoría de casos por falta de coordinación; rara vez se solicita el muestreo en estos casos, sin embargo, cuando a solicitud de la jefatura de geología, el muestreo es ejecutado por el personal de muestreo.

En superficie se tiene en el Nivel 4000 la cancha de acumulación de mineral el cual tiene una capacidad de 3000 toneladas aproximadamente. Este muestreo es el más importante dentro de todas las cargas y es el que tiene mayor representatividad. La fragmentación es bastante regular ya que durante su recorrido por el conducto de traslado (*Ore Pass*), desde el punto de inicio hasta el final del echadero, el mineral sufre colisión entre sí, regulando su fragmentación. En la figura 4.2 se muestra la etapa de recolección de muestras mediante pozos de 30 a 50 centímetros en orden sistemático por toda la ruma de mineral de un mismo tajo.



Figura 4.2: Recolección de muestras mediante pozos en Cancha de Mineral del Nv. 4000

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

4.1.4 MUESTREO DE TESTIGOS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA

La perforación diamantina en la unidad minera, permite al Área de Geología hacer el cálculo de recursos anuales, información que se traslada al Área de Planeamiento para empezar con la preparación de accesos y rampas para acceder a bloques económicos.

Es el muestreo más importante realizado dentro del Área de Geología de Exploración Mina, ya que permite descubrir nuevos horizontes de mineral dentro de nuestro sector de producción, así como validar los bloques que ya se tienen según el cálculo de recursos.

La toma de muestra se realiza una vez, fotografiado, definido los contactos geológicos. Este proceso es ejecutado por el personal de muestreo con supervisión constante del geólogo, quien realiza el registro geológico, fotografía, verifica y supervisa el plan y ejecución del muestreo de cada tramo (Figura 4.3) para tener un respaldo que contraste la ley de laboratorio.



Figura 4.3: Fotografía del tramo de muestreo en sondaje BQ

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

4.1.5 METODOLOGÍA DEL MUESTREO

- MUESTREO DE FRENTES

El muestreo de mineral de los frentes en interior mina, se realiza con un espaciamiento sistemático cada disparo, aproximadamente cada 4,3 metros o 14 pies, teniendo inconvenientes por la eficiencia del mismo después de la voladura.

Para proceder con este muestreo se requiere un plano topográfico actualizado con el último avance del tajo o subnivel y de los sectores que se plantea muestrear. El muestrero ubica el canal a partir de una referencia topográfica, luego procede a delimitarlos manteniendo una dirección según estándar, es decir, si la estructura se encuentra de Norte a Sur los canales son trazados de Este a Oeste de esta forma también se designará el orden entre canales con la nomenclatura establecida en letras mayúsculas.

En campo, para tomar las muestras se siguen los pasos del procedimiento de “Muestreo Sistemático de Frentes” y los estándares asociados a este procedimiento; la longitud de los canales no será menor de 0,3 metros y no mayor a 2,0 metros. Los canales serán establecidos siguiendo variaciones mineralógicas en el frente. En la zona Berlín es muy común encontrar el frente con skarn estéril o de muy baja ley en forma de caballos intercalada con la mineralización económica.

La toma de muestras se realiza utilizando comba de 4 lb y cincel diamantado. El muestreo normalmente es del canal completo, aunque para rocas extremadamente duras y con plano de falla de rugosidad baja, donde la extracción es demasiado complicada, es mejor optar por un canal punteado.

La fragmentación de la muestra está calculada en base a la instrumentación del laboratorio, no deben ser mayores a 2 pulgadas (5,08 cm), esto se debe tener en cuenta al momento de la obtención de la muestra. De ser mayor el tamaño del fragmento se deberá descartar dicho incremento y repetir la rotura adecuada del fragmento en esa parte del canal.

El peso de la masa de la muestra de cada canal, es dependiente de la longitud del canal de muestreo según estándares de la siguiente tabla:

Tabla 4.1: Peso de la muestra según ancho de canal de muestreo

DISTRIBUCION DE LA MASA TOTAL DE INCREMENTOS SEGÚN ANCHO DEL CANAL LA VETA	
MASA DE MUESTRA (kg)	LONGITUD DEL CANAL (m)
4,00 Kg	2,00 m
3,00 kg	1,50 m
2,50 kg	1,25 m
2,00 kg	1,00 m
1,50 kg	0,75 m
1,00 kg	0,50 m
0,60 kg	0,30 m

Fuente: Procedimientos del Departamento de Geología de la Unidad Minera Pallca

Cada lote de muestras se agrupa según los tipos a los que correspondan: Muestras de Operación o Muestras de Perforación Diamantina, luego son enviadas al laboratorio químico de la unidad minera para ser los análisis y pruebas que soliciten. Finalmente, se completa la base de datos para la elaboración de los planos de muestreo y la reestimación de los bloques de mineral.

- MUESTREO DE PARED LATERAL

El muestreo de paredes se aplica en labores de exploración o de preparación en un subnivel y algunos casos en accesos dentro del tajo que conectan los mantos mineralizados. La metodología es similar a un muestreo de frentes, la diferencia es que no se realiza de manera sistemática, por el contrario, se hace

de manera específica cuando sea requerido; ya que raramente aporta información a la estimación de recursos.

Pero si aporta nueva información para la interpretación que se realiza mediante el mapeo de labores, contrastando las secciones en planta generadas con información DDH. Incluso se ha tenido casos donde el Departamento de Geología ha definido vetas económicas localmente de baja extensión en dirección de su rumbo, que se han minado con éxito.

- MUESTREO DE CANCHAS POR ZANJAS

El muestreo de canchas se realiza en el nivel 4000 adyacente a la bocamina del mismo nombre, esta cancha cuenta con una capacidad de almacenamiento de 3000 toneladas de mineral húmedo, también tiene una zona de carguío donde los 25 volquetes inician su traslado hacia planta de tratamiento.

El muestreo de canchas se ejecuta sobre las rumas de mineral que sean mayores a 200 toneladas para obtener información referencial de la ley de manera procedimental. Cada ruma debe estar correctamente identificada con un panel donde se informa la ley Zn, Pb y Cu, su tonelaje, labor minera de su procedencia y fecha de acarreo hacia este lugar.

Para empezar con el muestreo, la zona de trabajo debe ser bloqueada con conos de seguridad, puesto que circulan en los alrededores equipos de bajo perfil, volquetes, un cargador frontal, una retroexcavadora y equipos livianos. Después del bloqueo se procede a trasladar las herramientas de la camioneta hasta la ruma donde se va realizar el muestreo.

El muestrero procede a informar al operador de la retroexcavadora, que realice tres zanjas con la cuchara del equipo de manera simétrica con una profundidad mínima de 0,50 metros, un ancho de 0,60 m. y una longitud según la dimensión de la ruma de mineral (Figura 4.4).

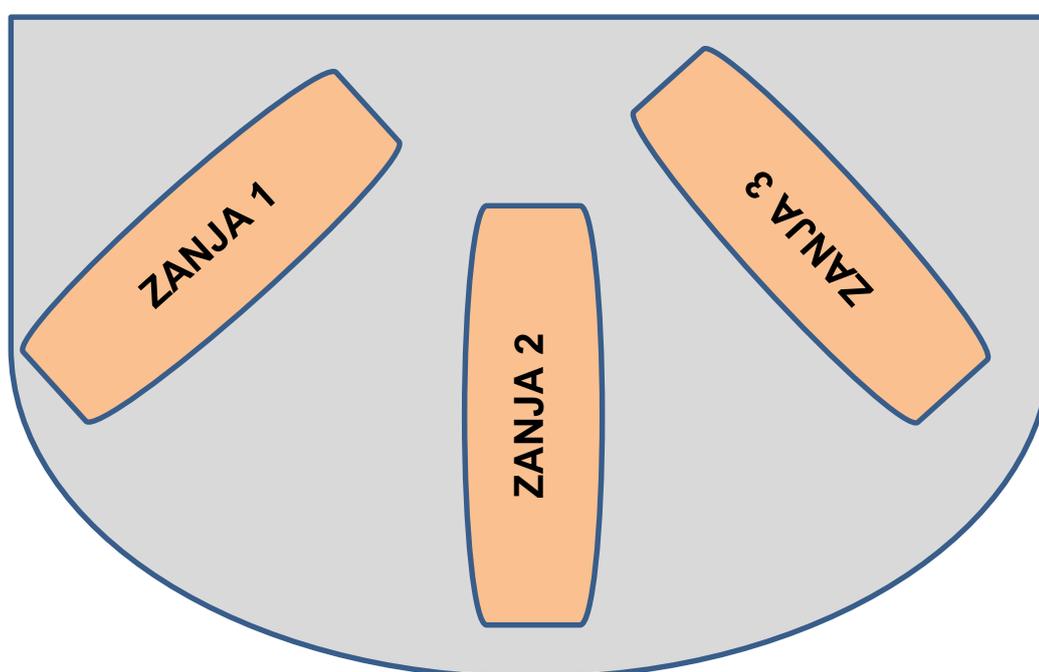


Figura 4.4: Esquema de muestreo por zanjas en ruma de mineral

Fuente: Procedimientos del Departamento de Geología de la Unidad Minera Pallca

El maestro muestrero recolecta los incrementos con una pala de forma sistemática de abajo hacia arriba en las tres zanjas. La totalidad del peso de la muestra, debe sumar un peso proporcional al tonelaje estimado según la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Peso de la muestra según tonelaje de la ruma de mineral

DISTRIBUCION DEL PESO TOTAL DE LAS MUESTRAS SEGÚN EL TONELAJE MINERAL:	
PESO DE MUESTRA (kg)	TONELAJE DE LA CANCHA (t)
5	50
10	100
12	120
15	150
20	200
22	220
25	250
30	300

Fuente: Procedimientos del Departamento de Geología de la Unidad Minera Pallca

Cuando el peso de las muestras, superan los 5 kg, se procede a su cuarteo y homogenización, así como a la reducción de fragmentos hasta un tamaño de 1" como máximo según el siguiente diagrama de flujo (Figura 4.4).

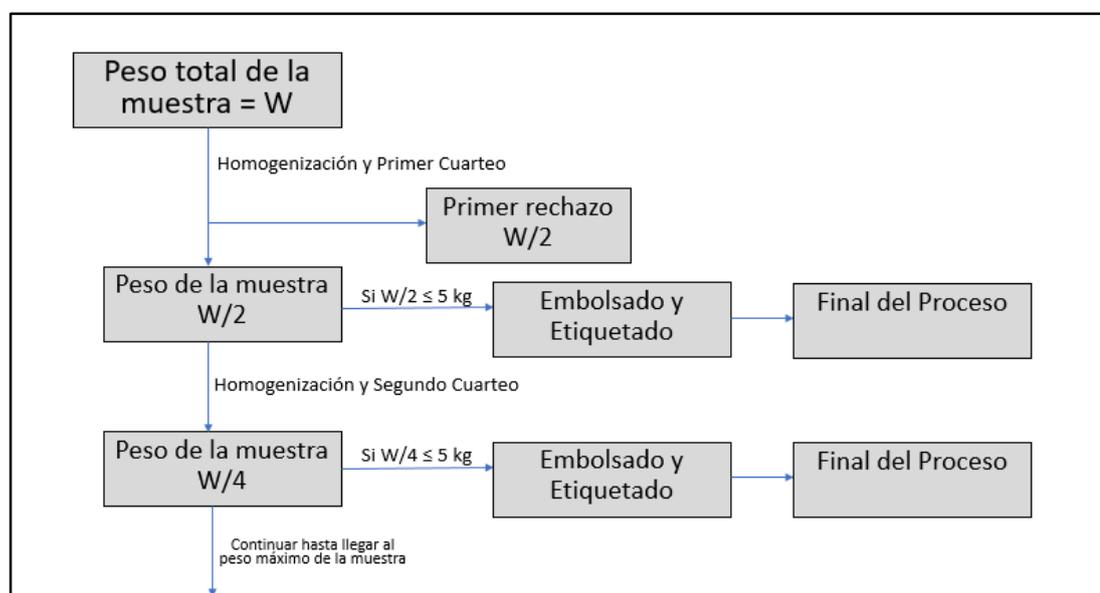


Figura 4.5: Diagrama de flujo para la preparación de la muestra de cancha

Fuente: Procedimientos del Departamento de Geología de la Unidad Minera Pallca

Obtenido el peso mínimo requerido para el envío al laboratorio (máximo 5kg), se procede al etiquetado, embolsado y llenado de la tarjeta de identificación de la muestra. El código sistemático es indicado en el panel de canchas para que al llegar los reportes de leyes, se cambie o anote inmediatamente la ley enviada por laboratorio.

- MUESTREO DE CANCHAS POR POZOS

Este método de muestreo es utilizado en casos excepcionales al no encontrarse disponible la retroexcavadora en las canchas del nivel 4000.

La metodología es la misma respecto al muestreo de canchas por canales, la variación consiste en que los canales son reemplazados por pozos de 0,30 cm de profundidad hechos de manera sistemática según la malla siguiente (Figura 4.5):

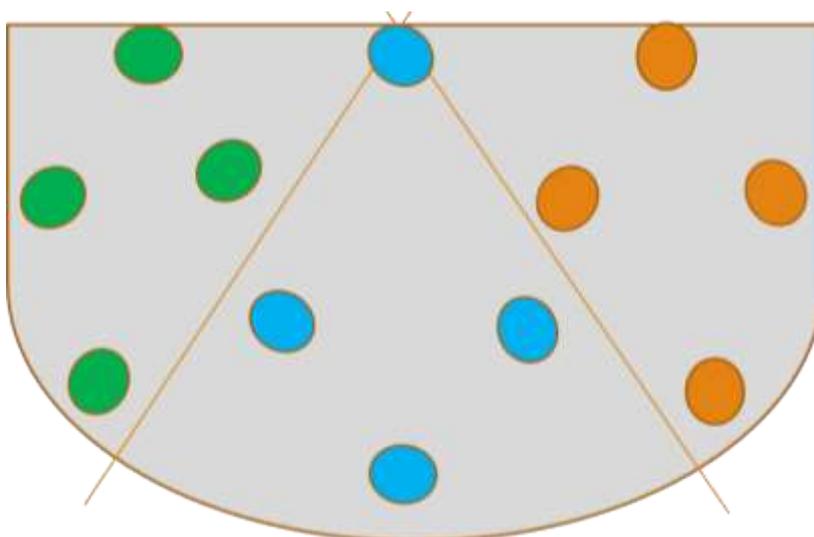


Figura 4.6: Esquema de muestreo por pozos en ruma de mineral

Fuente: Procedimientos del Departamento de Geología de la Unidad Minera Pallca

La recolección de la muestra, se hace de la parte más profunda de cada pozo hacia la parte más elevada de forma vertical. El peso de la muestra, dependerá del número de pozos y del tonelaje de la ruma a representar.

- MUESTREO DE SONDAJES DE PERFORACION DIAMANTINA

Los tramos designados por el geólogo que realizó el registro, deben estar bien definidos en la marca y en el panel acrílico en sala de logueo; de faltar alguna información, no se iniciará el muestreo y se debe consultar con el supervisor inmediato.

Se procede a llenar en la tarjeta de muestreo la información requerida para la base de datos como: fecha, zona, línea, profundidad inicial y final, potencia, N° del sondaje de perforación (DDH), código sistemático, personal de muestreo y el código de registro fotográfico.

Se traslada la caja al caballete para el registro fotográfico, donde se tiene que colocar la siguiente información en la cabecera: DDH (#Proyecto/Cod. Sist), LINEA (Nombre de la cámara DDH), CAJA (Numero de caja o cajas donde se encuentra el tramo a muestrear), AZIMUT Y DIP (Directrices del taladro) y FECHA (día en que se ejecuta el muestreo).

Todo el intervalo a muestrear, se lleva a una bandeja de geomembrana para el chancado en fragmentos con diámetros menores a 2" para su posterior embolsado y etiquetado.

Se coloca el código del talonario de muestreo en la parte superior de la bolsa y con marcador permanente se coloca el mismo código en la bolsa de polietileno. Todas las muestras de un taladro, deben ir en un lote de forma independiente, es decir, separado del lote de muestreo operacional.

4.1.6 ERRORES EN EL MUESTREO

En el proceso de muestreo se debe dar a conocer los procedimientos y estándares a todo el personal involucrado, desde el ayudante hasta el supervisor de muestreo. La mayoría de errores se dan por:

- a) Contaminación: principalmente se le conoce al agregado voluntario o involuntario de minerales o materiales relacionados en la muestra, que pueden originar una variabilidad significativa en el contenido del elemento metálico de interés.

- b) Perdida del mineral: toda acción inapropiada voluntaria o involuntaria durante la toma, manipulación, traslado o preparación de la muestra que tenga como consecuencia la pérdida parcial de su contenido inicial.

- c) Modificación química: Todo mineral que está expuesto al medio ambiente o a un entorno de inestabilidad química, conlleva su modificación mineralógica. Este cambio, puede resultar en cambios en la mineralogía primaria, pasando así a minerales secundarios como óxidos o hidróxidos. Estos cambios son significativos para el

análisis en laboratorio o tratamiento en planta, por ello debe ser tomado en consideración.

Durante el desarrollo de la actividad de muestreo durante las operaciones mineras, los errores más frecuentes son:

- ERRORES EN EL MUESTREO POR CANALES

1. La fragilidad diferenciada entre el mineral económico y/o roca estéril; este último por lo general es más duro y dificulta la obtención de una muestra proporcional y representativa.

2. La ubicación incorrecta del canal con respecto a la estructura. Por lo general los mantos en la Zona de Berlín y Culebra son subverticales, sin embargo, casos específicos con buzamientos entre 60° y 45° muestran a la estructura mineralizada en posición inadecuada en la labor minera, que dificulta el trazo correcto del canal y una toma adecuada de la muestra

3. No tomar en cuentas las distintas unidades geológicas dentro de un canal de muestreo. Utilizando los estándares de longitud mínima y máxima entre canales se debe diferenciar los contactos geológicos.

4. Ubicación errada respecto a las referencias topográficas dentro de las labores o la falta de las mismas conllevaran a obtener distancias

sistemáticas erróneas con la consiguiente incorrecta ubicación de las muestras y de sus resultados analíticos.

- ERROR EN EL MUESTREO DE CARGAS

1. La diferencia de granulometría es el principal factor para un error en la toma de muestras. Principalmente las cargas que salen de los tajos inferiores las cuales contienen bancos de mineral y estéril que dificultan el muestreo y conllevan a error si no se tratan de manera separada.

2. La falta de equipos para realizar las zanjas. El procedimiento por defecto del muestreo de cargas en cancha de mineral es realizar las zanjas con una retroexcavadora que permita una correcta toma de muestras, haciéndolas más representativas. Sin embargo, cuando no se tiene disposición del equipo se procede al procedimiento complementario, muestreo de canchas mediante pozos realizados con una pala.

3. Pérdida del material por lamas. Con la finalidad de reducir la polución, la cancha se riega a determinadas horas del día generando lamas en las herramientas de toma de incrementos. La pala y/o cuchara de la retroexcavadora forman lamas de mineral o estériles. Para evitar este inconveniente, se procede a limpiar las lamas durante cada obtención de las porciones de muestra.

4. Mezcla de materiales diferentes durante el acarreo. Durante el transporte del mineral, carga y descarga del mismo en las cabezas y pies de los *echaderos (ore pass)*, ocurre mezcla de residuos de materiales anteriores entre diferentes vetas y tajos. Para ello el geólogo conociendo las características mineralógicas, debe determinar si alguna carga presenta mezcla de minerales diferentes para tener en consideración al momento planificar y hacer el muestreo.

- ERROR EN EL MUESTREO DE TESTIGOS DE PERFORACION DIAMANTINA

1. Testigos con intensa fragmentación, panizo o brecha de falla. En sala de logueo, muchas veces el muestrero no utiliza correctamente las cucharas especiales para testigos BQ dejando parte de la muestra (finos) en la caja.
2. Ignorar contactos litológicos marcados por el geólogo. Este proceso hace que, en varios casos, muestras de mineral estériles o caballos dentro de los mantos, se hayan muestreado con parte de material económico arrojando resultados analíticos incorrectos.
3. La ausencia de medición de la desviación del taladro conlleva a una ubicación espacial imprecisa de la muestra en el software 3d.

- ERRORES EN LA PREPARACION DE LAS MUESTRAS

Los errores más frecuentes en la preparación de muestras para el análisis químico son principalmente por factor humano. Según el seguimiento dado al proceso se encuentran los siguientes errores.

1. Mantas de muestreo deterioradas. En la unidad se utilizan las lonas de polietileno, las cuales deben ser lavadas al final de cada jornada de muestreo y finalmente ser cambiadas al llegar al final de su vida útil.
2. Cunas de muestreo con orificios, las cunas son fabricadas con un aro de fierro corrugado de 0.45 m de diámetro y forradas con lona de polietileno, las cuales deben ser forradas nuevamente al llegar el final de su vida útil y es lavadas oportunamente luego de obtener las muestras en cada canal.
3. Mala homogenización y cuarteo de las muestras durante la preparación de las mismas en el muestreo de canchas.
4. Contaminación de la muestra en el momento su reducción al no disponer de equipos adecuados.
5. Chancado demasiado grueso en interior mina, debido a la falta de tiempo y personal.

- ERRORES EN LABORATORIO QUÍMICO

Una vez llegado el lote de muestras al laboratorio químico de Huanzalá, tenemos que verificar la confiabilidad de los resultados mediante un control de calidad interno, también comunicarnos con el supervisor del laboratorio al obtener resultados erráticos, así como valores menores al límite mínimo de detección.

Los tipos de errores en el laboratorio son de dos tipos:

- **Los fortuitos o casuales**, generalmente la manipulación equivocada y de forma azarosa de los analistas llevaran a tener datos inexactos, este tipo de errores se puede detectar mediante las desviaciones que generan (variables) y deben ser corregidas rápidamente.

- **Errores sistemáticos**, estos errores son en su mayoría instrumentales y generan una desviación generalmente fija en los resultados, solo se pueden detectar mediante la contrastación con laboratorios externos.

4.2 REGISTROS DE PERFORACIÓN DIAMANTINA

4.2.1 REGISTRO GEOLÓGICO

Cia. Minera Buenaventura (2016), define el registro geológico como la actividad de analizar los testigos de perforación obtenidos en cada taladro de

perforación, mediante su estudio macroscópico de testigo en mano. También se puede complementar mediante estudios microscópicos dependiendo del nivel de la investigación requerida.

En la unidad minera se realizan campañas anuales de perforación diamantina en interior mina, para explorar la continuidad de los cuerpos mineralizados ya conocidos tanto al sector norte como al sur de la unidad Berlín. En la zona de Culebra no se realiza exploración diamantina desde el 2013.

4.2.2 PROCEDIMIENTO DE REGISTRO GEOLÓGICO

- 1.- Antes de iniciar el proceso de registro geológico de perforación diamantina se debe iniciar el registro fotográfico, verificar la ubicación espacial y la correlación entre cajas y zonas de vacíos.
- 2.- Cumplido lo mencionado anteriormente, las cajas son colocadas encima de la mesa de logueo de menor a mayor profundidad hasta el último taco.
- 3.- Se asigna un código sistemático interno (*HoleID*) al taladro según la base de datos "Pallca Master Drill".
- 4.- Se empieza con el registro de RQD para cada intervalo de perforación, también se determina del porcentaje de recuperación, a todo este proceso se le denomina "*Taqueo*".
- 5.- Luego se procede a mojar con agua los núcleos de roca mediante un aspersor para hacer marcado de contactos geológicos según intervalos que van a ser logueados, este proceso se le conoce como "*Plaqueo*".

6.- Se describe la información de los tramos plaqueados en los formatos de logueo, utilizando una serie de términos y abreviaturas establecidas en los estándares y procedimientos.

7.- Finalmente, se da la orden de trabajo al personal a cargo de proceder con el muestreo de los tramos seleccionados durante el logueo geológico.

4.2.3 INTERPRETACIÓN Y SECCIONES

1.- La información geológica de los taladros es plasmado en secciones con taladros de igual azimut para la interpretación de las vetas en la zona de Berlín.

2.- Estas secciones son posteriormente puestas en serie para la elaboración de los planos geológicos de recomendación a las diferentes cotas.

3.- Con los parámetros de estimación dados por los consultores externos también se establecen las dimensiones de los bloques de mineral nuevos, corregidos y revalidados.

4.3 ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINERALES

En la unidad minera se tiene 575 500 toneladas de recursos entre medidos, indicados e inferidos dentro de la zona de Culebra, los bloques de mineral son codificados sistemáticamente según el sector y el cuerpo mineralizado.

Anualmente se agregan, eliminan y corrigen los bloques en el inventario de recursos. Esto es consecuencia de los resultados de la ejecución de los proyectos de exploración y validación que realiza la empresa contratista de perforación diamantina. Con la nueva información obtenida en estos trabajos de exploración, se incrementa el conocimiento de las características geométricas de los bloques utilizados en la estimación de recursos, extendiendo y/o reduciendo los nuevos límites.

Los planos de recursos en Berlín y Culebra son elaborados en AutoCAD mediante macros y entregados al área de planeamiento para la elaboración de proyectos. Cuando estos son validados por el área de consultoría y planeamiento se inicia la ejecución de las labores subterráneas de exploración. Posteriormente, se reevaluará los resultados obtenidos para iniciar los reportes de reservas mineral.

La importancia geoeconómica de los bloques radica en el nivel de interpretación que se realizó para su estimación y de la adecuada utilización de parámetros para la creación de bloques de mineral, siempre teniendo en consideración para el futuro de la unidad que la inversión de exploración y preparación en toda mina mantiene los costos más altos respecto al total de la inversión.

Cada bloque cubicado tiene una ley compositada, tonelaje aproximado, leyes de Cu, Pb, Zn, Ag y Fe, el código sistemático asignado y la información a la veta que corresponde según interpretación geológica.

El tipo de recurso se da por colores de la siguiente forma:

- Bloque Verde: Recursos Inferidos
- Bloque Azul: Recursos Indicados
- Bloque Rojo: Recurso Medidos

Según sea el grado de conocimiento y certeza para cada tipo de recurso estos cambiarán la condición asignada.

4.3.1 MÉTODO TRADICIONAL

El método de estimación establecido, que se aplica en la unidad minera es utilizado desde el 2007. Consiste en el método de bloques ponderados, el cual se elabora siguiendo la secuencia:

- Elaboración de secciones geológicas verticales en los ejes perforados, generalmente transversales a las estructuras mineralizadas.
- Identificación de los estratos guías (keybed) para la correlación de los mantos mineralizados.
- Generación de vacíos, para los sectores donde hay ausencia de las estructuras mineralizadas.
- Se realiza los cálculos para estimar el volumen y tonelaje para los diferentes bloques de mineral.
- Elaboración de los planos en sección longitudinal y planta para los recursos, mostrando fundamentalmente el área y distribución de los bloques mineral con los resultados de los cálculos de tonelaje, potencia

y ley promedio entre los diferentes niveles donde se tiene información de puntos de penetración. En esta parte se utilizan los parámetros de estimación dados por la consultoría de la empresa.

- Se asigna el código de identificación sistemáticamente para el inventario de recursos anual.

En la Figura 5.14 se muestra el Tajo S-450 los recursos inferidos e indicados los cuales han sido estimados el 2013 mediante múltiples campañas anuales de perforación diamantina, con una influencia de muestra de 10 metros para potencias de veta menores a 5 metros y para potencias mayores a 5 metros se considera una influencia de 15 metros.

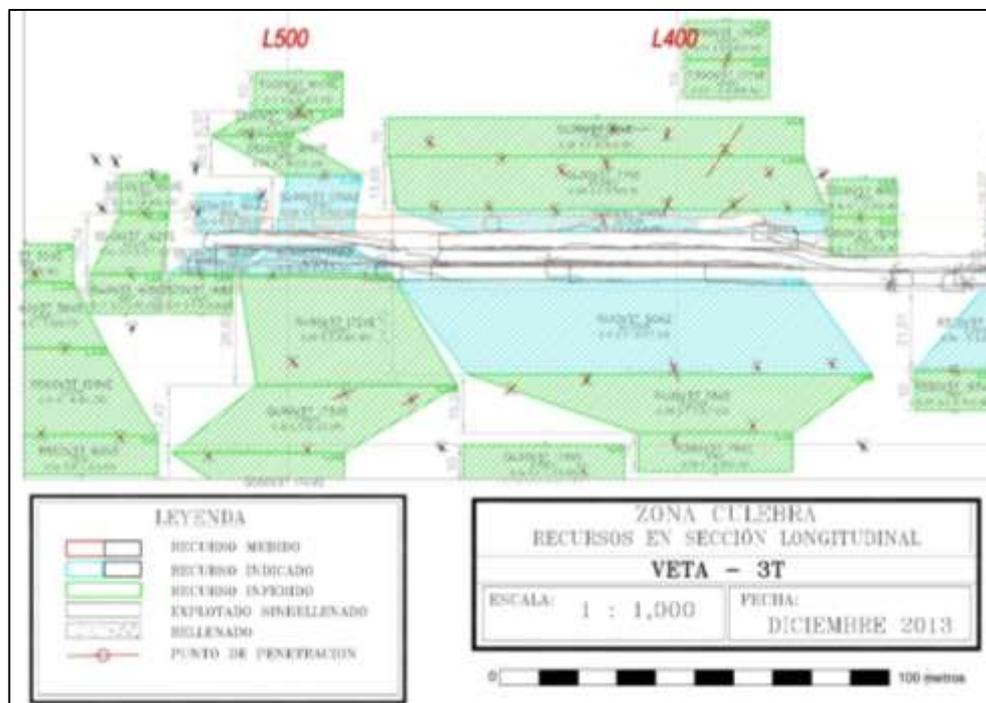


Figura 4.7: Recursos en TJ S450 – Sección Longitudinal

Fuente: Calculo de Recursos 2013 – Mina Culebra

NOTA: Se describe los recursos de cada bloque en la Tabla 5.4

Con lo expuesto anteriormente se presenta la Tabla 4.3 donde se lista el inventario de recursos minerales para este tajo entre las cotas 4735 hasta 4790 metros.

Tabla 4.3: Inventario de Recursos Minerales para la zona de estudio

Categoría	Tajo	Veta	No.	Color	Tonelaje (t)	Potencia (m)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)	Ag (g/t)
Producción	S410	V3T	49	Azul	15,720	7,8	0,11	0,2	11,0	13,55
Modificado	S420	V3T	76	Verde	11,390	6,3	0,08	0,2	10,8	12,22
Modificado	S420	V3T	77	Verde	33,290	6,6	0,09	0,1	10,5	12,16
Exploración	T390	V3T	176	Verde	1,090	3,0	0,07	1,0	8,8	16,69
Exploración	T390	V3T	177	Verde	1,090	3,0	0,07	1,0	8,8	16,69
Modificado	S350	V3T	181	Verde	250	0,9	0,16	0,1	13,2	6,00
Modificado	S350	V3T	182	Verde	250	0,9	0,16	0,1	13,2	6,00
TOTAL					63,080	6,68	0,09	0,18	10,66	12,63

Fuente: Cálculo de Recursos 2013 – Mina Culebra

Se concluye que se tienen recursos indicados e inferidos que hacen un total de 63 080 toneladas. con leyes promedio de 10,66 % Zn; 0,18% Pb; 0,09% Cu y 12.63 g/t Ag.

4.3.2 MÉTODO DE BLOQUES UNITARIOS

Para realizar la estimación de los recursos minerales mediante el método de bloques unitarios se ha utilizado el modelamiento geológico de forma manual mediante secciones paralelas a los ejes de los sondajes y secciones horizontales en diferentes cotas dentro del manto subvertical denominado M3T solo para el sector S450 (sectorización dada según las grillas internas de la unidad).

La continuidad perimétrica del sólido hacia las zonas aún no exploradas ha sido considerada de 10 metros (según parámetro de estimación). Para la continuidad interna, se utilizó las observaciones geológicas del mapeo del primer subnivel desarrollado en este sector.

Para la creación del sólido se utilizó la herramienta outline, herramienta del software datamine RM; finalmente se realizó las verificaciones y validaciones correspondientes del sólido obteniendo como resultado la envolvente que se muestra en la Figura 5.15. La tendencia del sólido en el Plano XY se ha extendido según los límites de la caja piso y techo de acuerdo al mapeo geológico del corte realizado en la cota 4 735 (Figura 4.7).

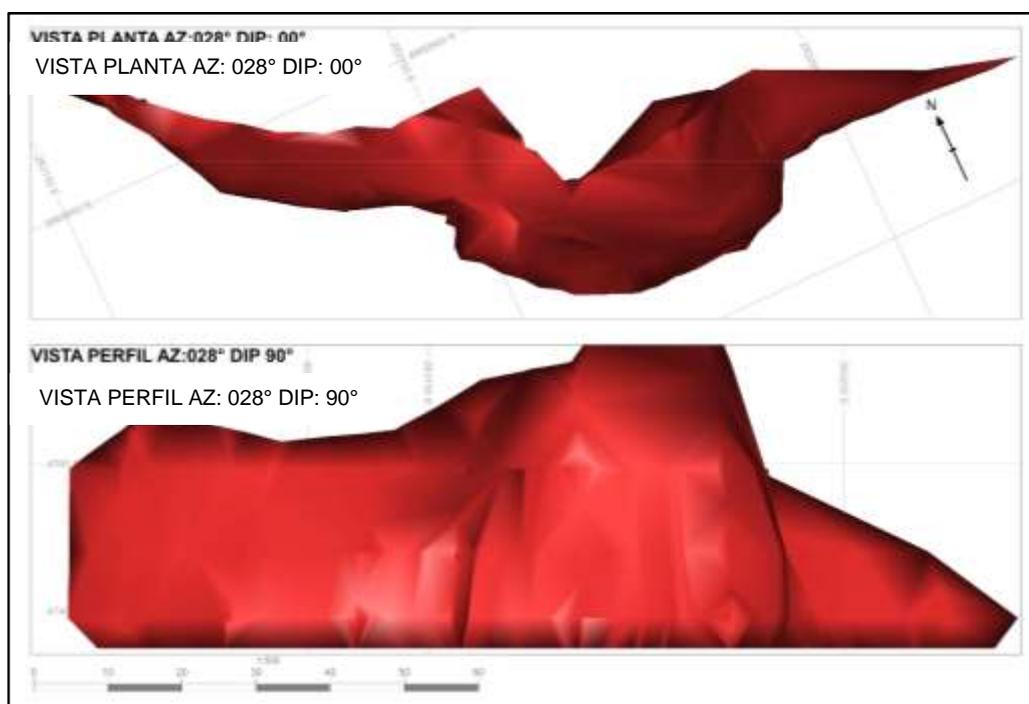


Figura 4.8: Envolvente del Manto M3T en TJ S450 – Vista Planta y Perfil

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

Posterior a la creación del sólido se efectuó el tratamiento de la información de sondajes utilizados en la estimación del manto M3T, para lo cual se realizó la

corrección de valores altos erráticos, ausentes y compósito de los taladros a una longitud adecuada para la estimación. En la figura 4.8 se muestra la estadística de la información ya corregida para los sondajes compositados. Se puede observar una distribución correcta con un valor mínimo de 2,030% y un máximo de 22,9% y un promedio de 10.48% para el elemento zinc.

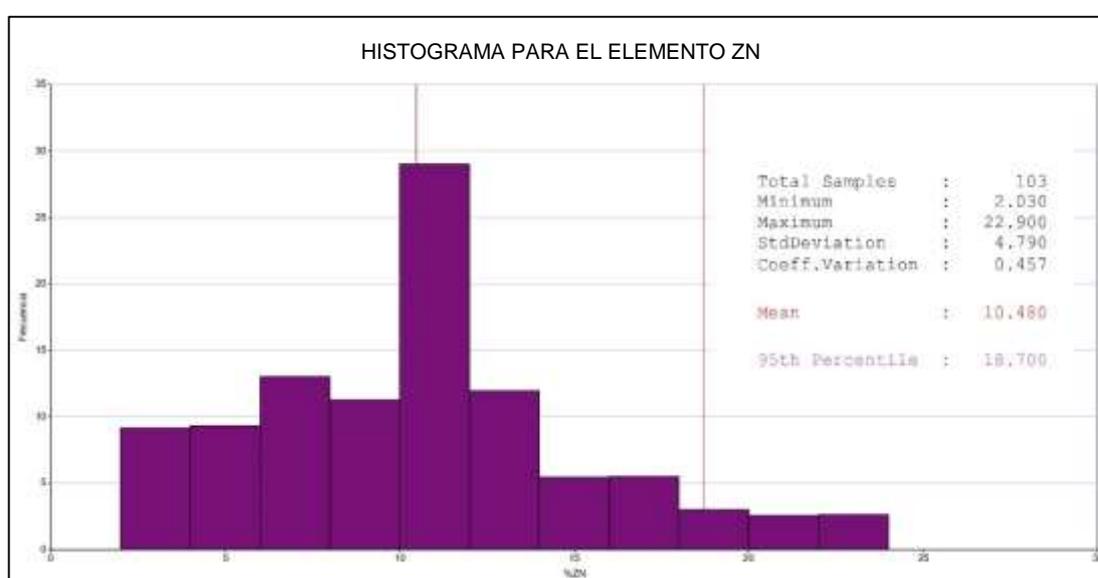


Figura 4.9: Histograma de los sondajes del elemento Zn

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

La generación del variograma se realiza después de buscar la anisotropía del manto M3T. La tendencia para este manto subvertical se rastreó en dirección de su rumbo, encontrándola en este caso para el Manto M3T del TJ S450 cerca a los 90°. Para ello se buscó la anisotropía desde los 75° hasta los 105°, utilizando una tolerancia angular en el plano XY de +/-15°.

Finalmente se calculó el variograma experimental y el variograma modelado para los elementos de Pb – Zn – Ag. En la figura 4.9 se ilustra el variograma experimental transpuesto por el variograma modelado.

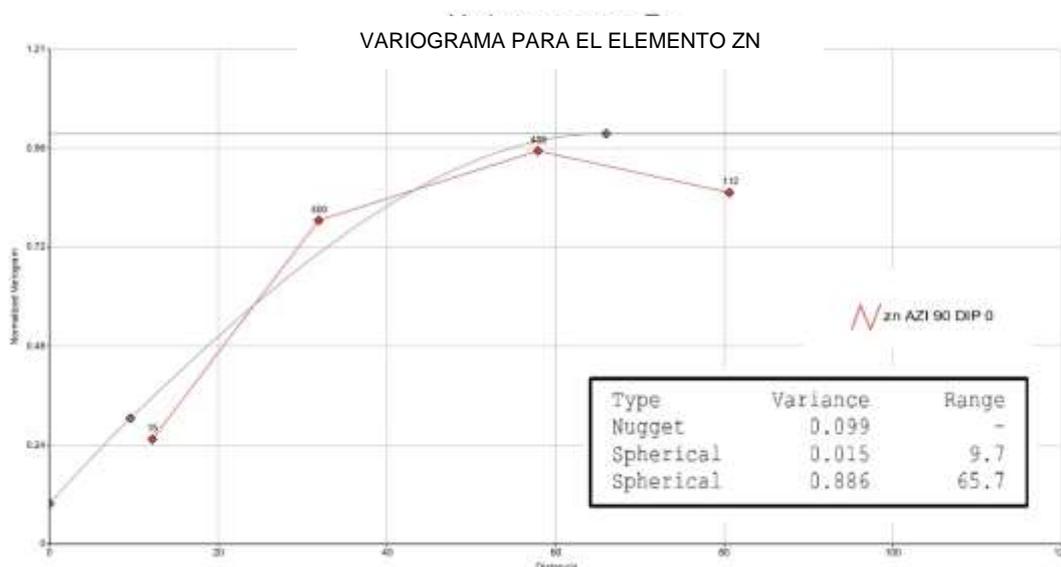


Figura 4.10: Variograma para el elemento Zn

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

Para interpolar toda la información geoestadística utilizó el modelo de bloques creado a partir del diseño del sólido del Manto M3T modelada anteriormente. Según la figura 4.10 se ha zonificado por colores el modelo de bloques de acuerdo a las leyes de Zn, en color verde se muestra los bloques con valores hasta 5%, en color rojo se encuentran los valores comprendidos entre 5 y 8% y en color magenta los valores que exceden el 8%.

Las celdas del modelo de bloques son de $2 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$. El prototipo del modelo tiene una rotación del eje Z de 28 grados para hacer coincidir la celda con el rumbo de la estructura mineralizada. No se realizó rotaciones en los demás ejes puesto que el modelo de bloques debe respetar el minado el cual se hace de forma vertical según el método de corte y relleno ascendente. La optimización del subceldado tiene un factor de 2, el mismo que genera subceldas con dimensiones de hasta 1 metro de arista. El método utilizado para

la estimación fue Kriging Ordinario, Vecino Más Cercano e Inverso de la Distancia.

El método que en primera instancia se ajusta mejor a la validación visual mediante secciones corresponde al Vecino Más Cercano (*Nearest Neighborhood*). Así mismo este método sometido a las validaciones; fue el que mejor se adaptó al comportamiento de la data original de sondajes.

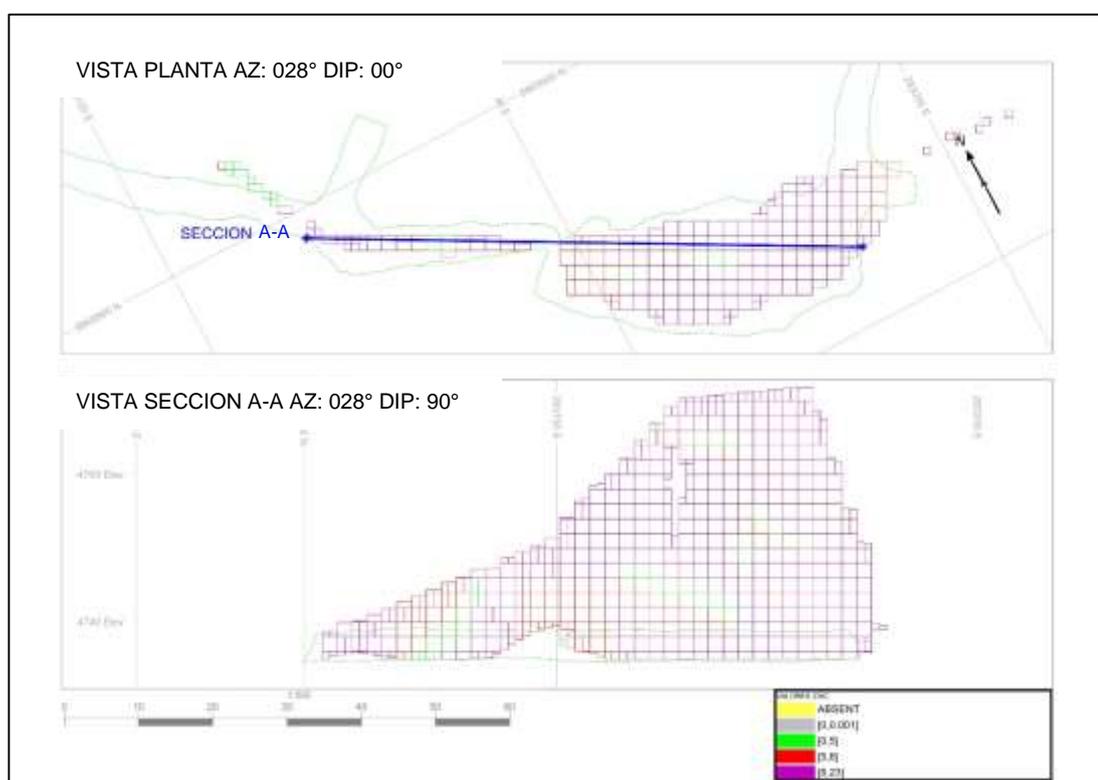


Figura 4.11: Modelo de Bloques para el elemento Zn

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

Nota: En el Anexo 07 se adjunta otras secciones horizontales del modelo de bloques

4.3.3 VALIDACIÓN DEL MODELO

El modelo presenta un correcto comportamiento mediante la validación visual que se realiza con secciones paralelas a los sondajes, sin embargo, este es un

método empírico de rápida ejecución. Por otra parte, los parámetros estadísticos como la media, la desviación estándar y varianza también se encuentran muy cercanos a los proporcionados por la base de datos de sondajes (Figura 5.16).

Para fines de la investigación ha realizado una correlación entre ambas fuentes de información utilizando la herramienta “Swath Plot” de Datamine. Esta herramienta, brinda la oportunidad de comparar las leyes modeladas contra un modelo basado en las leyes obtenidas durante el control del muestreo del logueo geológico. Se utiliza la data original DDH con un previo proceso de agrupamiento, composición y corrección de altos y mínimos. La información ploteada, corresponde a leyes promedios tomadas en intervalos en una dirección específica.

Para nuestro caso cada 5 metros se han realizado cortes en el eje X rotado ya que corresponde a la tendencia del rumbo de la estructura mineralizada, tanto en el modelo de bloques (Zn en BM_ES) y en la data de taladros (Zn en DDH_COMP) de esta forma se compara el comportamiento de la ley de zinc (Figura 4.11).

Se observa mediante la gráfica lineal que para el modelo hay mayor cantidad de datos según el intervalo de corte, mientras que en la data de sondajes este se reduce debido a la poca información; sin embargo, ambos gráficos guardan un alto valor correlativo.

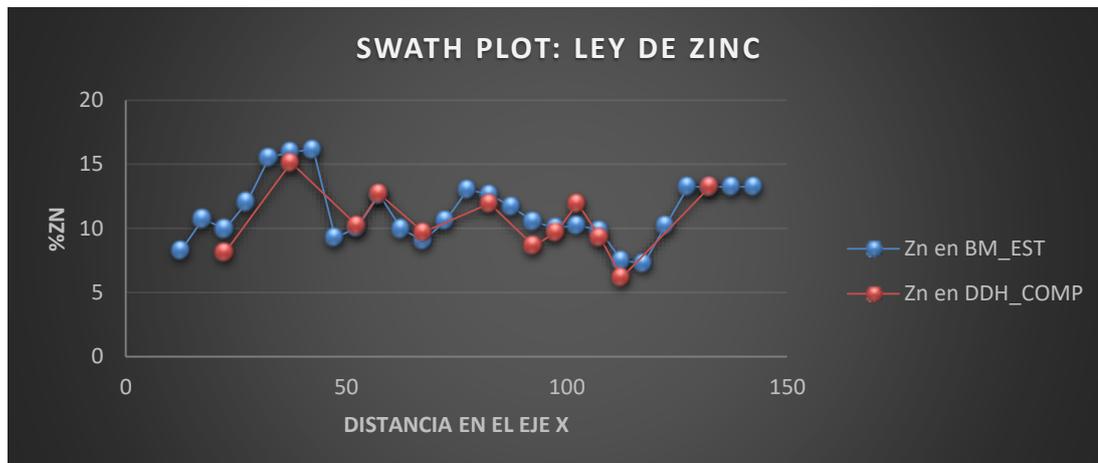


Figura 4.12: Swath Plot de Zn para el Modelo de Bloques vs DDH

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

Otra herramienta que sustenta la estimación del modelo de bloques es la curva de tonelaje ley. En la Figura 4.12 se muestra para un corte en la ley de zinc cada 1%, el tonelaje estimado del modelo. En el eje de la izquierda se presenta las toneladas de mineral y en el de la derecha se muestra la ley promedio; en ambos casos estos indicadores fueron cortados en intervalos de 1% para el elemento Zn.

Podemos observar que en este cuerpo mineralizado existen alrededor de 8 mil toneladas de mineral por debajo la ley de corte (no explotable, contenido de Zn menor o igual al 5%). También se aprecia alrededor de 12 mil toneladas entre 5 y 8% Zn. Así mismo que 53 000 toneladas con una ley mayor al 8%. El tonelaje tiende a disminuir conforme aumenta el porcentaje de zinc, lo cual es el comportamiento natural en todo yacimiento.

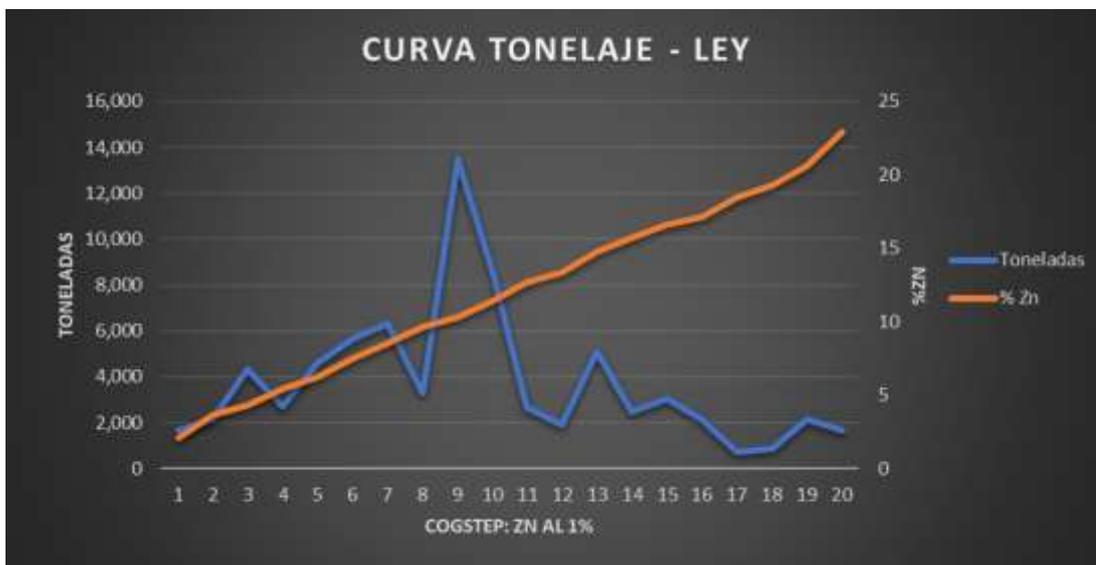


Figura 4.13: Swath Plot de Zn para el Modelo de Bloques vs DDH

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

CÁPITULO V

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La presente investigación trata de resolver, cuál de los dos métodos de estimación de recursos analizados y discutidos para este estudio, que son el método clásico y el método geoestadístico, constituyen la aplicación más apropiada para la estimación de recursos minerales del manto M3T en la zona de Culebra, así como para su aplicación en otras estructuras mineralizadas similares dentro de Unidad Minera.

Para validar el modelo geoestadístico se utilizó los reportes que nos brinda el software Datamine y para comparar entre ambos modelos de estimación se tomó como referencia los planos de muestreo para el tajo en estudio, así como los reportes de ley de cabeza y tonelaje extraído.

En la Tabla 5.1 se observa el reporte total de los recursos minerales según el modelo de bloques estimado. Se observa que se tienen un total de 73 534 t de mineral calculados a partir de la densidad promedio y el volumen de las celdas unitarias. En

cuanto a las leyes de la estimación se tiene un total de recursos medidos de 10,75% Zn; 0.51% Pb y 17,01 g/t Ag.

En colores se muestra la categorización de los recursos minerales, indicando el tonelaje, rango y leyes promedio. Obteniendo de esta forma, entre 0 y 5% Zn (color verde) registra 8 043 t con un promedio de 3,67%; entre 5 y 8% Zn (color rojo) registra 12 593 t con un promedio de 6,61% y para una ley mayor al 8% Zn (color magenta) se tiene 52 897 t con una ley promedio de 12,81% Zn.

Tabla 5.1: Inventario de Recursos por leyes según modelo de bloques

CATEGORIA	TONELADAS (t)	VOLUMEN (m ³)	Zn (%)	Cu (%)	Pb (%)	Ag (g/t)
[0,5]	8043	2365	3,67	0,06	0,51	17,59
[5,8]	12593	3703	6,61	0,08	0,19	19,68
[8,20]	52897	15558	12,81	0,10	0,59	16,28
Total	73533	21626	10,75	0,10	0,51	17,01

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

En contraste con la tabla 4.3, se observa en la tabla 5.1 que los recursos se han incrementado en 10 454 toneladas esto debido a la nueva interpretación de la continuidad interna de la estructura mineralizada, visualizada mejor con el mapeo geológico, es decir, se ha extendido el radio de influencia hasta 15 metros entre los puntos de penetración de taladro haciendo que en conjunto formen un solo cuerpo para la estimación de bloques unitarios.

Las leyes del modelo tradicional según la tabla 4.3 se han incrementado significativamente para el Zinc. En el modelo tradicional la ley promedio para este elemento es de 10,66% (promedio ponderado de bloques involucrados). Mientras que la estimación del modelo de bloques unitario nos muestra una ley promedio de

10,75% Zn. Los elementos Pb, Cu y Ag no tienen valores significativos en este sector de la unidad minera por ello no se estudiará su comportamiento, en la presente investigación.

En la tabla 5.2 se muestra el reporte de productividad para el primer corte en la zona de Culebramina, el bloque implicado en el modelamiento se encuentra resaltado en color amarillo. En la Unidad Minera el mineral roto se calcula mediante la obtención del área explotada con presencia de mineralización económica, aplicando castigos por factores de dilución para vetas angostas. Las leyes de cabeza, se obtienen al ingresar el mineral a la planta metalúrgica, para su concentración, donde se muestra la pulpa del primer flujo de alimentación para su análisis en el Laboratorio Químico, desde donde se reporta al Departamento de Geología.

Tabla 5.2: Reportes de la producción y leyes por block en Mina Culebra

TAJO	VETA	BLOCK	TONELAJE t	PRODUCCIÓN t	Cu %	Pb %	Zn %	Ag g/t	EQZn %
S-410	V3T	49AZ	15720	8120	0,10	0,74	11,50	26	12,39
S-490	V3T	170AZ	2650	1139	0,09	1,50	13,00	44	14,63
S-510	V3T	164AZ	870	490	0,13	0,03	8,90	4	9,00
TOTAL			19240	9749	0,10	0,79	11,54	27	12,48

Fuente: Departamento de Geología de la Unidad Minera

Según la metodología descrita en la Tabla 5.2, se obtiene que se ha explotado 8 120 t con leyes de 11,50% Zn; 0,74% Pb; 0,10% Cu y 26 g/t Ag.

En la tabla 5.3 se presenta el reporte del mineral minado según el modelo de bloques utilizado para la investigación, mostrando que se ha minado 7 757.00 t con leyes de 12,32% Zn; 0,16% Pb; 0,09% Cu y 16.52 g/t Ag. Adicionalmente se tiene la zonificación por leyes del recurso según el intervalo mostrado.

Tabla 5.3: Reportes de producción y leyes según modelo de bloques

CATEGORIA	TONELADAS (t)	VOLUMEN (m ³)	% Zn	% Cu	% Pb	% Ag
[0.0,5.0]	379	111	4,02	0,03	0,47	48,64
[5.0,8.0]	1781	523	6,82	0,07	0,12	19,20
[8.0,24.00]	5596	1645	14,64	0,10	0,15	13,49
Total	7756	2279	12,32	0,09	0,16	16,52

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

Para finalizar este análisis se recurrió a los planos de muestreo sistemático para el manto M3T correspondiente a la TJ S450. En el Anexo 05 se muestra el plano para comparar la información plasmada con los resultados de los reportes del software.

En la tabla 5.4, se resume la información del plano de muestreo del Anexo 05. De 17 canales sistemáticos muestreados a lo largo de todo el tajo S450. Se obtiene la ley por cada subcanal mediante promedios ponderados y área de influencia de muestra, generando así, una ley única para cada elemento metálico en todo el corte ya explotado como parte del manto M3T. Finalmente se obtuvieron las siguientes leyes: 11,95 % Zn; 0,12% Cu; 0,16% Pb y 16.50 g/t Ag.

Tabla 5.4: Resumen de canales de muestreo para V3T Block 49 AZ Tj S450

RESUMEN DE CANALES DE MUESTREO PARA VETA 3 TECHO BLOCK 49AZ TAJO S-410 CORTE 01									
			% Cu	% Pb	% Zn	% Ag	% EQZN		
TOTAL CANALES	17	PROM GENERAL	0,11	0,14	9,74	14,37	10,10	LONGITUD	92,72
ANCHO VETA	5,49	PROM VETA	0,12	0,19	11,95	16,50	12,38	AREA VETA	509,47
ANCHO MINADO	6,50	PROM MINADO	0,10	0,16	10,11	13,95	10,40	AREA MINADO	602,45

Fuente: Planos de Muestreo del TJ S450 – Departamento de Geología de la UM. Pailca

Nota: Ver el plano de muestreo a escala en el Anexo 05

Con lo expuesto anteriormente se tiene como parte de la investigación, información en este tajo para contrastar ambos métodos de estimación, mediante bloques tradicionales y aplicación geoestadística; así también las herramientas que nos proporciona el software permitirán validar el modelo; de la misma forma permitirá tener mayor control sobre la zonificación de mineral según sus leyes. Y por último los planos de muestreo mediante información obtenida directamente en campo permite decidir entre ambos métodos de estimación.

CÁPITULO VI

PROPUESTA DE INGENIERIA

6.1 IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE

El modelamiento geológico de esta investigación, es la culminación de los estudios macroscópicos de detalle, de la litología, fenómenos estructurales involucrados, mineralogía de la mena y ganga asociada, también han sido relevantes comprender las alteraciones asociadas a las diferentes etapas de la formación del yacimiento. La interpretación del cartografiado a diferentes escalas y del logueo de testigos de perforación diamantina, han permitido consolidar la interpretación geológica. Todo este conjunto de datos ha permitido redefinir los métodos de estimación de recursos minerales y el planeamiento para la extracción de los recursos minerales económicos, aplicando los métodos de ingeniería más apropiados y productivos, asegurando el mayor éxito de la operación minera.

A continuación, se describirá el flujo de trabajo en el Departamento de Geología y la disponibilidad de las herramientas tecnológicas en la Unidad Minera para la implementación de software geológico – minero, que nos permita desarrollar el

método propuesto en la presente investigación para estimar los recursos en otros cuerpos mineralizados.

6.1.1 FLUJO DE TRABAJO EN EL DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

A.- ORGANIZACIÓN

Para lograr las funciones descritas en líneas anteriores se requiere de un equipo de profesionales con experiencia, compromiso y la capacidad de desempeñarse en las funciones asignadas. El Departamento de Geología se encuentra conformado por personal de compañía y contrata, entre ellos ingenieros geólogos, técnicos y obreros. El organigrama interno y simplificado se muestra en la Figura 6.1.

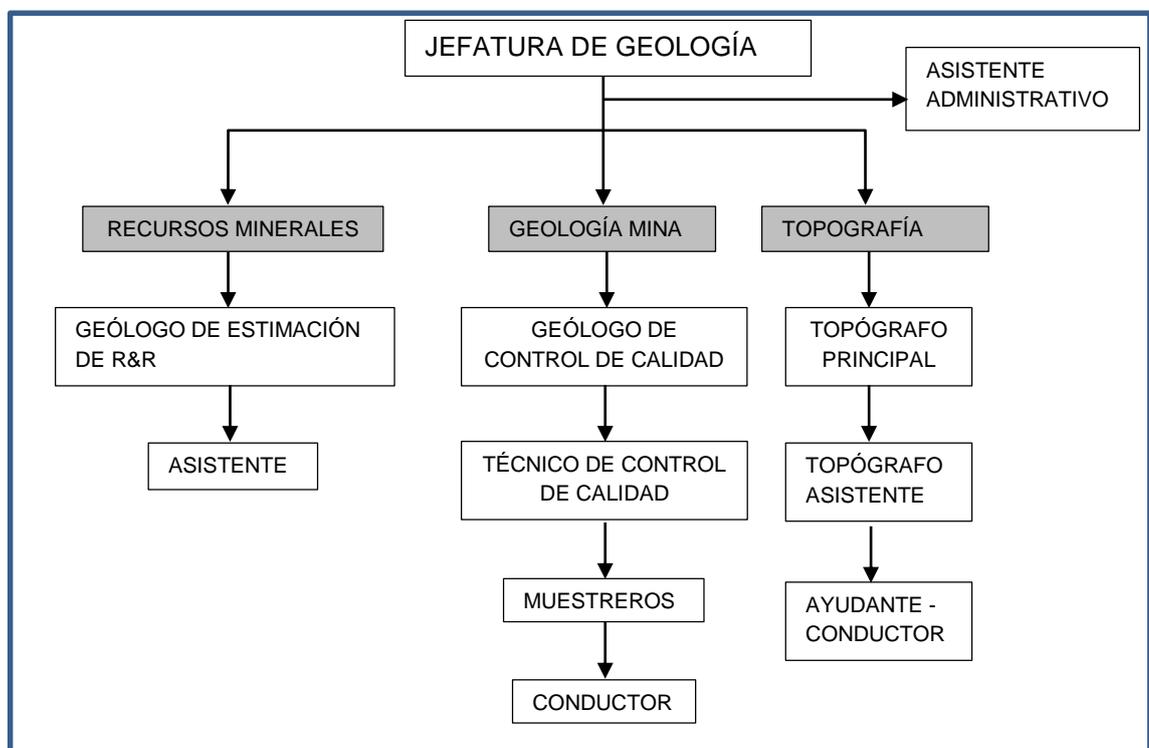


Figura 6.1: Organigrama interno del Departamento de Geología de la Unidad Minera Pallca

Fuente: Departamento de Geología de la Unidad Minera Pallca

B.- FUNCIONES

Las funciones principales del departamento en orden de relevancia son:

- Garantizar la existencia de recursos minerales mediante campañas anuales de exploración mediante perforación diamantina.
- Validar los recursos encontrados mediante exploración con labores mineras que proporcionen mayor información de los bloques acerca de su ubicación espacial, leyes, tonelaje y límites.
- Llevar a cabo diariamente el control de calidad en las operaciones, cuyo objetivo es extraer mineral con contenido metálico económico adecuado para ser enviado a la planta de tratamiento. Cumpliendo así el plan de minado mensual en tonelaje y ley de Pb, Cu y Zn estipulado.
- Desarrollar y cumplir el plan anual de muestreo en tajos y subniveles, donde se requiera obtener información para validar recursos.

6.1.2 DISPONIBILIDAD DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS

A.- SOFTWARE

Los softwares disponibles dentro del Departamento de Geología con una breve descripción de su aplicabilidad es el siguiente:

- **AutoCAD 2014 (Soporte Total)**

Este software genérico en el rubro de ingeniería y diseño es utilizado para el cálculo de recursos, digitalización de mapeos interior mina y superficie, planos de recomendación, proyectos de perforación diamantina, topografía en soporte 2D y 3D.

- **Datamine RM (Soporte Básico)**

Se encuentra en implementación, migrando hacia un soporte total por parte de la Empresa Datamine, actualmente, solo se utiliza para la supervisión de perforación diamantina y creación de proyectos para acceder a nuevos recursos por parte del área de geología.

- **Datamine UG (Soporte Básico)**

Se utiliza para el modelamiento de labores mineras y generación de proyectos por parte del área de planeamiento. También se encuentra en proceso de implementación para las áreas afines.

- **DHLogger (Iniciando Implementación)**

Es un software de registro de perforaciones, brinda las herramientas necesarias para una recolección de datos rápida y precisa. Es un sistema de registro configurable que se puede adaptar a los requisitos de recopilación de datos específicos del lugar y puede funcionar en una tablet o en una desktop. Según la firma Datamine (2020) permite lograr los siguientes beneficios:

- Reducir el tiempo de entrega de los datos validados de las perforaciones.

- Garantizar precisión y coherencia entre los miembros del equipo del proyecto.
- Aumentar la confianza y accesibilidad de los datos de sus perforaciones.
- Consolidar datos de fuentes heterogéneas en un repositorio de datos seguro.
- Obtener información mediante auditorías internas.
- Supervisar el rendimiento y costos de perforación.
- Validar y monitorear con exactitud y precisión del muestreo.
- Capturar los datos, directo de la fuente, en el taladro o en el almacén de cores.

La empresa ya adquirió el soporte total para este software, el cual se encuentra iniciando el proceso de implementación según los estándares del departamento de geología de la unidad minera.

B.- HARDWARE

Se cuenta con múltiples servidores que facilitan el acceso a la información entre las oficinas en Lima y las Unidades Mineras o Proyectos. De esta forma se puede tener un respaldo por parte de los consultores externos que fiscalizan el desarrollo de las actividades mineras y los resultados del Departamento de Geología.

También se cuenta con 5 computadoras estacionarias tipo Workstation para el desarrollo de las actividades descritas líneas anteriores. 1 Plotter para la impresión de planos A0 y una impresora láser de alta productividad.

Para la implementación del proceso de registro geológico digital se va solicitar tabletas de campo y ordenadores portátiles que van a permitir ingresar directamente a la base de datos la información geológica de la perforación diamantina, también los tramos de muestreo de núcleos de roca que son designados por el geólogo.

6.1.3 IDENTIFICACIÓN DEL SOFTWARE CON APLICACIÓN EN MINERÍA

Un software minero es un sistema experto que apoya el trabajo o actividad de un profesional minero especializado de manera ágil y simplificada. Con el software minero se simplifican cálculos en forma puntual y particular en cada proceso de trabajo o actividad minera.

Los softwares mineros disponibles en el mercado internacional para especialidades en minería, están representados por empresas que siguen vigentes comercialmente, gracias a la potencialidad del desarrollo de sus aplicativos, a la cobertura de clientes ganados en el tiempo y también a la credibilidad ganada ante las empresas mineras.

Los softwares aún vigentes a la fecha, también han logrado cautivar la confianza de las empresas consultoras o auditoras reconocidas en el ámbito minero internacional que prestan servicios de certificación de los procedimientos y cálculos aplicados en el desarrollo de un proyecto minero.

Para el caso de la Unidad Minera donde se desarrolla el trabajo de investigación se ha decidido optar por el software Datamine RM para el área de geología y Datamine UG para el área de mina. Por su aplicabilidad en las etapas productivas en minería subterránea, planeamiento y simulación como se puede apreciar en la Tabla 6.2.

En ambos casos la empresa se encuentra en proceso de implementación, específicamente en la etapa de proporción de información (Input), para elaborar una base de datos que permita mejorar los procesos de registro geológico, modelamiento, estimación y planeamiento.

Tabla 6.1: Relación de softwares y sus aplicaciones en minería

APLICACIONES ==>												
SOFTWARE	GESTIÓN DE DATA DE SUPERFICIE	GESTION DE DATA DE SONDAJES	CONSTRUCCIÓN SOLIDOS LITOLOGICOS	CALCULO DE CORRELACIÓN ESPACIAL	MODELOS DE BLOQUES	DISEÑO DE MINA SUPERFICIAL	SIMULACIÓN DE LA PRODUCCIÓN	PLANEAMIENTO DE MINADO	DISEÑO DE MINA SUBTERANEA	DIS. MALLA DE PERFOR Y VOLADURA	VENTILACIÓN DE MINAS	GESTIÓN DE FLOTA
GEOVIA SURPAC	----->											
GEOVIA GEMS	----->											
GEOVIA MINEX(carbon)	----->				----->							
GEOVIA MINESHED							----->					
GEOVIA WHITTLE						----->		----->				
GEOVIA PCBC												
DATAMINE RM	----->											
DATAMINE OP						----->						
DATAMINE 5D PLANNER							----->					
DATAMINE NPV						----->		----->				
VENTSIM											----->	
VNET											----->	
JKSIMBLAST										----->		
RIOBLAST										----->		
I BLAST										----->		

Fuente: Zevallos Y., Neira C. (2020). Aplicaciones del Datamine para el planeamiento estratégico en minería.

Con la implementación del DHLOGGER se obtendrá una base de datos consolidada y segura, permitirá capturar la información digitalmente directo de la fuente, es decir, del taladro en sala de logueo hacia el servidor implementado. Este proceso tendrá como resultado final una Registro de los núcleos o *CoreLog* temático, ordenado y detallado. (Figura 6.3)

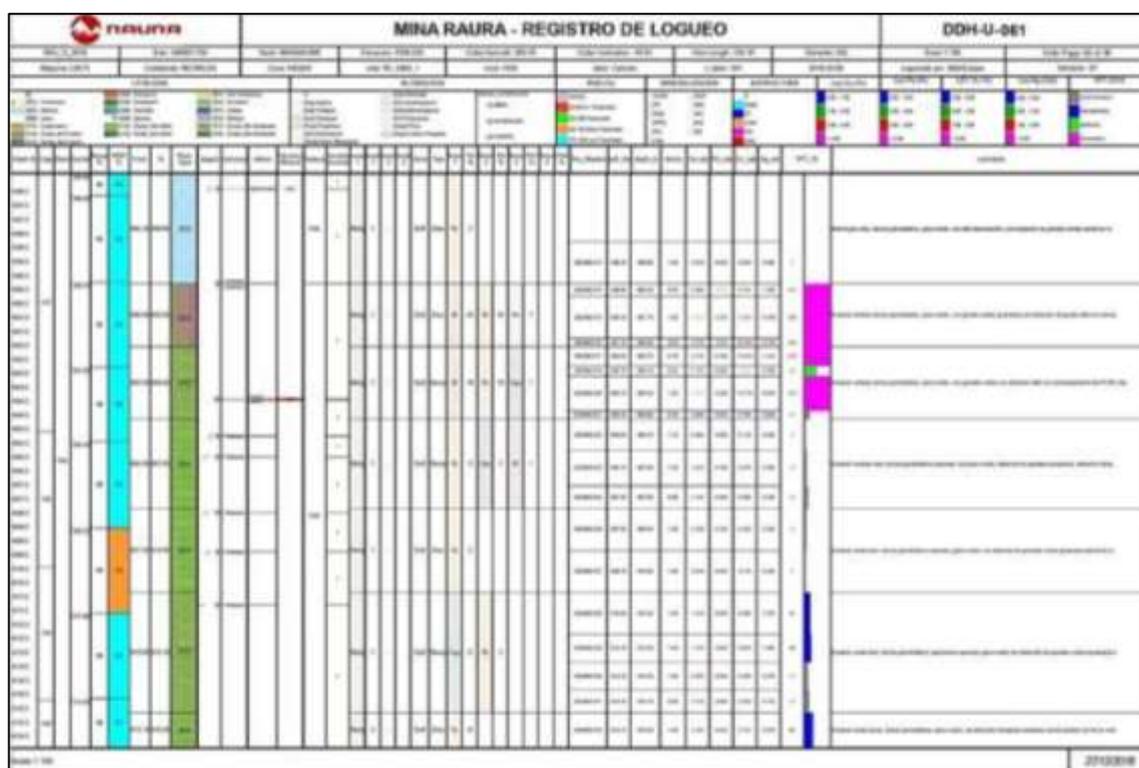


Figura 6.3: Registro Digital de Logueo (Mina Raura)

Fuente: Bueno A. (2020). "Optimización del logueo geológico usando software DHLogger-Datamine en Yacimiento Tipo Skarn, Cia Minera Raura"

6.2.2 MODELAMIENTO DE MANTOS

En la Unidad Minera no se cuenta con un proceso establecido para realizar el modelamiento en 3D de los mantos; sin embargo, se tiene a disposición del interesado una serie de planos de interpretación por cotas cada 10 a 20 metros (dependiendo de los sectores y su distribución de recursos). En la Figura 6.4 se muestra un plano de

recomendación en la zona de Culebra donde se contornean con color rojo los diferentes mantos de acuerdo con la información de los taladros de perforación diamantina.

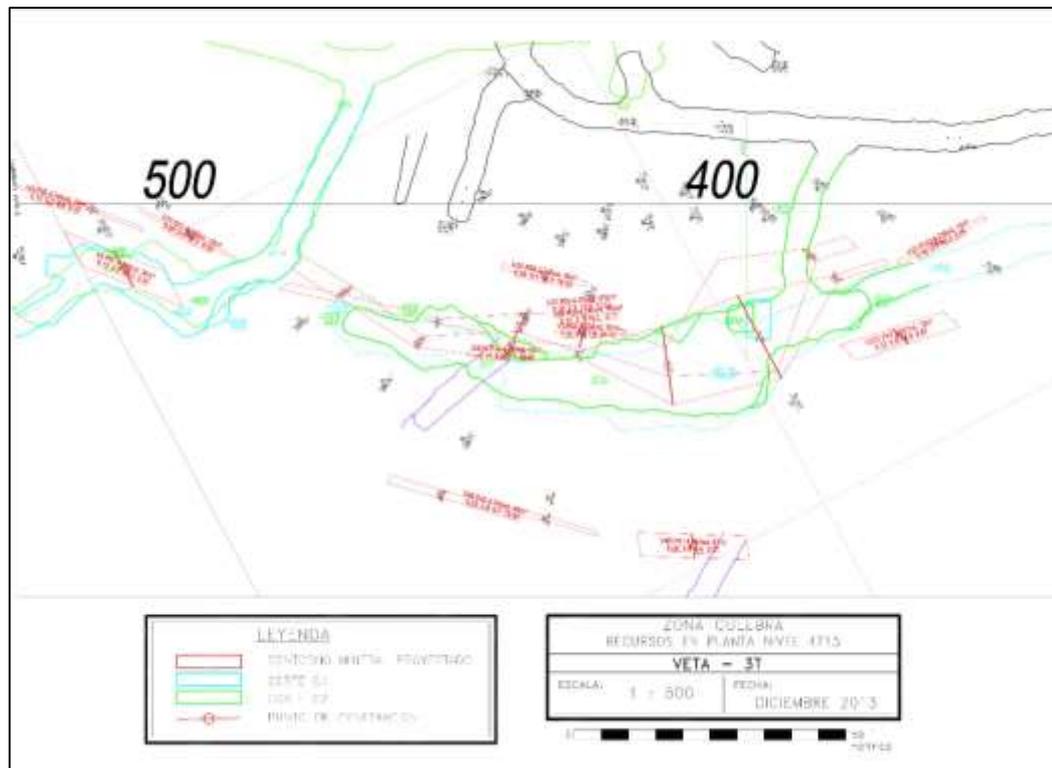


Figura 6.3: Recursos Minerales en Planta – Zona Culebra
Fuente: Departamento de Geología de la Unidad Minera Pallca

La falta de una representación gráfica en 3D de los mantos; conlleva a una serie de problemas que deberían ser abordados en una próxima investigación, sin embargo, parte de lo mencionado se aborda en la descripción del problema, líneas iniciales de este informe.

La creación de un modelo envolvente que represente al manto mineralizado, permite de forma conjunta con los levantamientos de labores en 3D, un buen planeamiento para la explotación de mineral. Así mismo el dimensionamiento de este también da a conocer un volumen y tonelaje aproximado del mismo bastante acercado al real puesto que no se basa solo en la aplicación de una

formulas geométricas y trigonométricas utilizadas actualmente en el planteamiento de una macro.

En la Figura 6.4 se muestra la envolvente representativa del manto M3T o “Wireframe” generada mediante el método de las isolíneas (modelamiento manual) gracias a la información de perforación diamantina y mapeo de coronas.

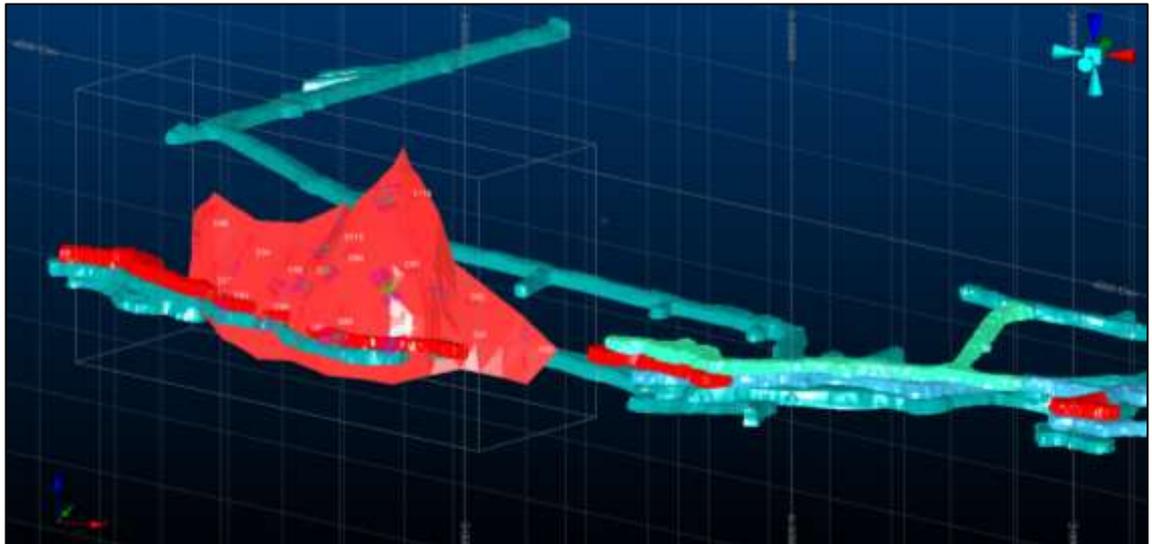


Figura 6.5: Envolvente o Wireframe representando al Manto M3T en la Mina Culebra

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

La implementación del modelamiento en otros sectores de la Unidad Minera se considerará parte de la propuesta de ingeniería después de la implementación de los softwares descritos líneas atrás. Se debe tener personal adecuado para este proceso, el cual debe ir de la mano con las interpretaciones geológicas y la supervisión de la perforación.

6.2.3 MODELO DE BLOQUES Y PLANEAMIENTO DE MINADO

En el subcapítulo 4.3 se realizó una comparativa entre el método tradicional de estimación, bloques ponderados estimados a partir de criterios matemáticos y con las leyes y potencias de los sondajes de perforación. También se discutió las oportunidades y fortalezas que brindaría utilizar el método de estimar mediante geoestadística un conjunto de bloques o celdas unitarias.

6.3 PRESUPUESTO

En la Tabla 6.2, se adjunta únicamente el presupuesto estimado para la implementación de la investigación en el Departamento de Geología de la Unidad Minera durante el primer semestre del año 2022. Para ello se ha considerado el costo del soporte total del software Datamine RM y UG por parte de la empresa que consultora. Así mismo como jornal se ha considerado dos muestreros y un geólogo modelador.

La adquisición de hardware (WorkStation y Tabletas de Logueo) también se ha considerado en la propuesta ya que es indispensable contar con el soporte adecuado a los requerimientos técnicos recomendados por la empresa especializada.

Los otros gastos detallados serán parte del desarrollo de las actividades de muestreo, impresiones, equipos de seguridad, etc. Siendo el más importante el número de muestras mínimas (100) a ser consideradas mensualmente para realizar análisis multielemental de Cu, Pb, Zn, Ag y Fe en el laboratorio. Dentro de este

lote serán incluidas solo las muestras sistemáticas adicionales de canales de frentes en interior mina de los distintos tajos según se va implementando este estudio.

Tabla 6.2: Presupuesto primer semestre Geología 2022

COSTOS GEOLOGÍA 2022 - PRIMER SEMESTRE							
Total en USD Concepto / Detalle	MES						
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
ACCESORIOS/UTILES PARA CÓMPUTO	150	150	150	150	150	150	150
DATAMINE STUDIO RM (SOPORTE ANUAL)	8000						
DATAMINE STUDIO UG (SOPORTE ANUAL)	8000						
GASTOS VARIOS	120	120	120	120	120	120	120
PINTURAS	30						
ÚTILES DE ESCRITORIO	350						
GASTO EVENTUAL (CAPACITADOR)		5000		2500			
JORNALES MUESTREROS (INTERIOR MINA)	1500	1500	1500	1500	3000		
EPPS MUESTRERO	30	30	30	30	30	30	30
ANÁLISIS DE LABORATORIO ENERO (100MUESTRAS)	900	1000	1000	1000	1000	1000	1000
GEÓLOGO MODELADOR	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
DH LOGGER (SOPORTE ANUAL)		10000					
WORKSTATION			4500				
TABLETA LOGUEO			1000				
CÁMARA FOTOGRÁFICA				1000			
Total general	24080	22800	13300	11300	9300	6300	6300

Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

En la Figura 6.6 se muestra como disminuyen los costos mensuales netos desde el primer mes del año hasta julio, debido a la adquisición de software y hardware solo durante la primera etapa de la implementación. En la parte media de la curva los valores son justificados por las capacitaciones impartidas por el personal especializado el cual conlleva un costo a la unidad minera por la adquisición de seguros, protocolos de ingreso a la unidad y traslados diversos. En la última etapa lo que predominan son costos fijos del personal nuevo que se estaría incorporando al equipo de geología.

Según la curva estos últimos valores se mantendrían constantes durante el resto del año de no presentarse imprevistos.

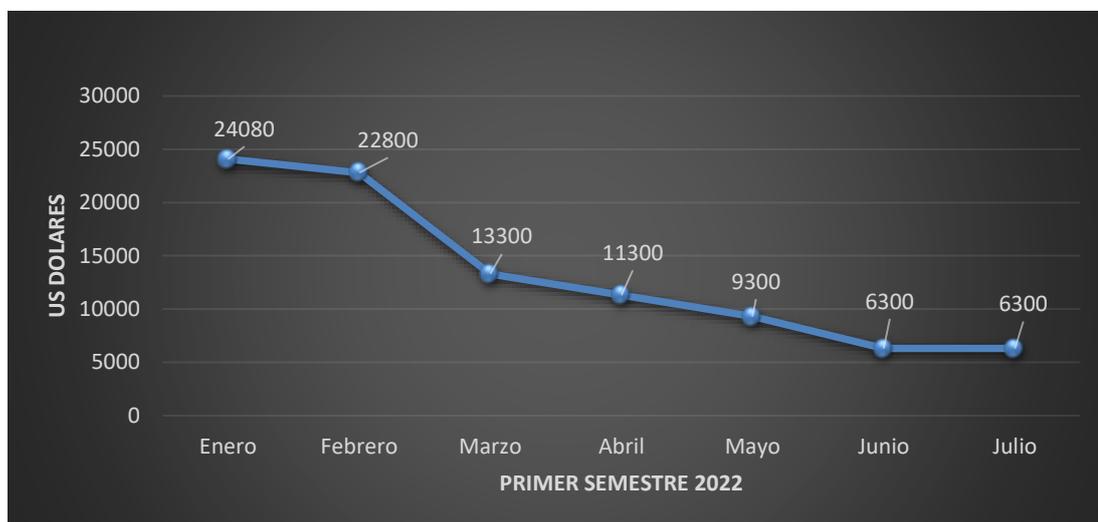


Figura 6.6: Comportamiento de la inversión total en USD durante primer semestre 2022
Fuente: Carlos Escobar (2021), para la presente investigación

CONCLUSIONES

- El método de Estimación de Recursos Minerales mediante Bloques Unitarios (ERMBU) tiene mayor aproximación y certeza, cuanto más completos y actualizados se encuentren los reportes de producción y las leyes del mineral de cabeza.
- La categorización de los bloques basado en el zoneamiento de la mineralización, muestra la variabilidad de leyes de los metales de interés económico, permitiendo conocer y anticipar medidas para contrarrestar una posible disminución de la ley de sus metales económicos, anticipando también medidas correctivas ante una caída de precios en el mercado internacional de los metales.
- Este método de estimación de recursos, se puede extender hacia otros sectores de la Zona de Culebra donde los mantos mineralizados o cuerpos “vetiformes” presenten semejanza en su caracterización geológica a las descritas en la presente investigación.

- Los reportes de mineral minado utilizados en el desarrollo de este método, se ejecutan con las herramientas de software Datamine de manera rápida, obteniendo información que se ajusta oportunamente al requerimiento del usuario. Por el contrario, con el método tradicional este mismo proceso puede demorar días o semanas ya que al mantener varios tajos en producción, hay retraso en el muestreo y sus resultados analíticos.
- Las herramientas de validación del modelo de bloques, cuya aplicación se investiga en este estudio, proporcionan sustento geoestadístico para la aceptación de este nuevo método. Sin embargo, la decisión final para la utilización definitiva de uno u otro método, debe ser tomada en base a los resultados más acertados y efectivos de las leyes de mineral roto y las leyes del mineral de planta. Por lo que ambos métodos estarán en prueba hasta finalizar este proceso.
- Una herramienta para contrastar ambos modelos de forma categórica es la utilización de planos de muestreo sistemático en frentes o coronas. Estos planos proporcionan información actualizada y confiable, siempre que la ejecución del muestreo y la elaboración de los planos, sea realizados por el personal especializado del Departamento de Geología.
- En la Unidad Minera, el Departamento de Geología, sigue los parámetros de la consultoría externa, usando comandos y macros del Software Datamine, para clasificar los recursos minerales, de forma sistemática de acuerdo al procedimiento, en las categorías del Medido, Indicado e Inferido.

- La contrastación entre los métodos tradicional y el geoestadístico, en la estimación de recursos minerales, ha permitido definir las bondades de cada método y el uso de las herramientas necesarias a implementar para mejorar su estimación. Esto a la vez permitirá, un mejor planeamiento de ingeniería, en la extracción de los recursos minerales económicos, que son determinantes, en el resultado de una operación minera.

RECOMENDACIONES

- Incorporar controles más reales como es el número de Dumpers o Scoop durante el acarreo. Esto mejoraría la información, para la elección del método más adecuado para los cálculos el volumen de mineral roto, que actualmente es calculado solamente mediante el software AutoCAD, los mapeos geológicos y con los reportes de control de mineral diario elaborado por el Departamento de Geología.
- La generación de zoneamientos de los tenores metálicos se debe extender para crear dominios geometalúrgicos dentro del modelo de bloques, la falta de leyes de Fe en la data histórica utilizada para estos cálculos, no permitió desarrollar dicho proceso en el presente estudio. Sin embargo, en muestreos y análisis químicos recientes, si se toma en cuenta este elemento, cuya información servirá para la generación de estos dominios en estudios futuros.
- Generar las macros que permitan automatizar los reportes de mineral roto en los informes mensuales, proporcionarán mayor eficacia a este proceso dentro del Departamento de Geología.

- Considerar en los futuros estudios de estimación de recursos, la verificación y validación de los sólidos en Datamine creados a partir de los levantamientos topográficos.
- Elaborar y ejecutar un plan de muestreo, para las cargas que se acopian en cancha de mineral, antes de ser blendeadas. Es necesario disponer de las leyes de cabeza para la toma de decisiones respecto a estas cargas.
- Priorizar el muestreo de tajos o subniveles donde se va a comparar ambos métodos. Es conveniente realizar el muestreo durante la operación y no esperar su ejecución en campañas hasta después de la finalización del tajo.
- Verificar por medio de la consultoría externa y de los Geólogos de la Unidad Minera, los parámetros de estimación utilizados tales como el elipsoide de búsqueda, la elección del tamaño de bloque unitario, la malla utilizada para el decluster y los pares de muestras para el modelamiento del variograma.
- Continuar con el modelamiento y estimación de recursos para vetas con gran extensión longitudinal y vertical en otros tajos de la zona de Culebra. Esto ayudará, además, a una mejor interpretación y comprensión de la génesis, geometría y posibilidades económicas del yacimiento, así como al mejor planeamiento de su minado a corto, mediano y largo plazo, con la subsiguiente aplicación de los métodos de ingeniería más adecuados en la extracción de los recursos minerales económicos, que aseguren el mayor éxito de la operación minera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfaro M. (2007). Estimación de Recursos Mineros. Recuperado de:
<https://www.cg.ensmp.fr/bibliotheque>

Alva K., Rodríguez F. (2019). Modelamiento geológico para el cálculo de recursos mineros de la veta murciélago de la mina paredones, Chilete 2018. Facultad de ingeniería. Universidad privada del norte. Cajamarca – Perú.

Álvarez C. (2008) Control de calidad de mineral en la Compañía Minera Aurífera Santa Rosa. Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú.

Ancalle F. (2020). Logueo geológico, muestreo y Qa-Qc en perforación diamantina, Proyecto Puite - Colorada en el departamento Moquegua de la Compañía Minera Zahena S.A.C. Facultad de Geología, Geofísica y Minas. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa – Perú.

- Bodelon J., Ericksen E., (1987). Lead-Zinc deposits of Cordillera Blanca and Northern Cordillera Huayhuash, Peru. Geological Survey Bulletin 1017.
- Cabrera A. (2012). Control geológico del mineral en producción - Compañía Minera Antamina. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica. Universidad Nacional De Ingeniería. Lima – Perú.
- Castillo Y. (2018) Estimación de recursos y reservas del yacimiento aurífero Fidami, Sancos – Lucanas – Ayacucho. Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica. Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.
- Cobbing J. et Al, 1946 – Geología de los Cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca, Boletín del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú; N° 76.
- Comissão Brasileira de Recursos e Reservas (2016). Como definir e reportes recursos e Reservas minerais, VII Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral, Ouro Preto, Brasil.
- Cornejo V. (2017). Control de Calidad y modelamiento geológico del proyecto óxidos de Ag-Au en la empresa administradora Cerro S.A.C. Compañía Minera Vólcan. Facultad de Geología, Geofísica y Minas. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa – Perú.
- Espinoza M. (2018). Estimación de recursos minerales en la Mina Santa Fe Buenavista Alta – Casma –Ancash. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Cerro de Pasco – Perú.

- Fukahori Y., Sakogaichi K., (1990). Mineralization, characteristics in the cumbre area, Huanzalá Mining District, Central Peru
- Gomi A., Kawasaki M., Murakami T., Sakurai W., (1998). Exploration of the Pallca area and discovery of the Culebra Pb-Zn mineralized zone, Republic of Peru.
- Gonzales J. (2017). Geología, mineralización y evaluación económica del proyecto minero Virgilio. Facultad de Geología, Geofísica y Minas. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa – Perú.
- Gonzales, J.; (Año, 2009). Buenas prácticas para la estimación de Reservas, Ore Evaluation Services – Golder Associates
- Hideki I., Kawasaki M., Mitsuo Y., (1985). Mineralization and Paragenesis of the Huanzalá Mine, Central Perú, Economic Geology. Vol.80, pp 461 – 478.
- Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia (2012). The JORC Code. 2012 Edition.
- Lara R. (2020). Estimación de recursos minerales en dominios geometalúrgicos. Facultad de Ingeniería. Universidad de Concepción. Chile.
- Quispe D. (2019). Geología y Exploración del Proyecto Cóndor – Ancash. Facultad de Geología, Geofísica y Minas. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Simon D. (2002). Errors and Uncertainty in Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: The Importance of Getting it Right, Exploration and Mining Geology. University of Exeter. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/250083901>

Souza L., Koppe J., Costa J. (2009). Alternativas para classificação de recursos minerais: métodos geostatísticos tradicionais, Article in Rem Revista Escola de Minas. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/250037283>

Yamanaka K., Fujinami T., Díaz E. (2009). Progreso de exploración y geología del Yacimiento de Pallca. Compañía Minera Santa Luisa S.A “Unidad Pallca”

Zevallos M. (2018). Estimación de recursos minerales en la mina Santa Fe Buenavista Alta – Casma –Ancash. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion. Cerro de Pasco – Perú.

Zevallos Y., Neira C. (2020). Aplicación del Datamine para el planeamiento Estratégico de inversión en minería . Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad Nacional del Callao. Perú.

ANEXOS

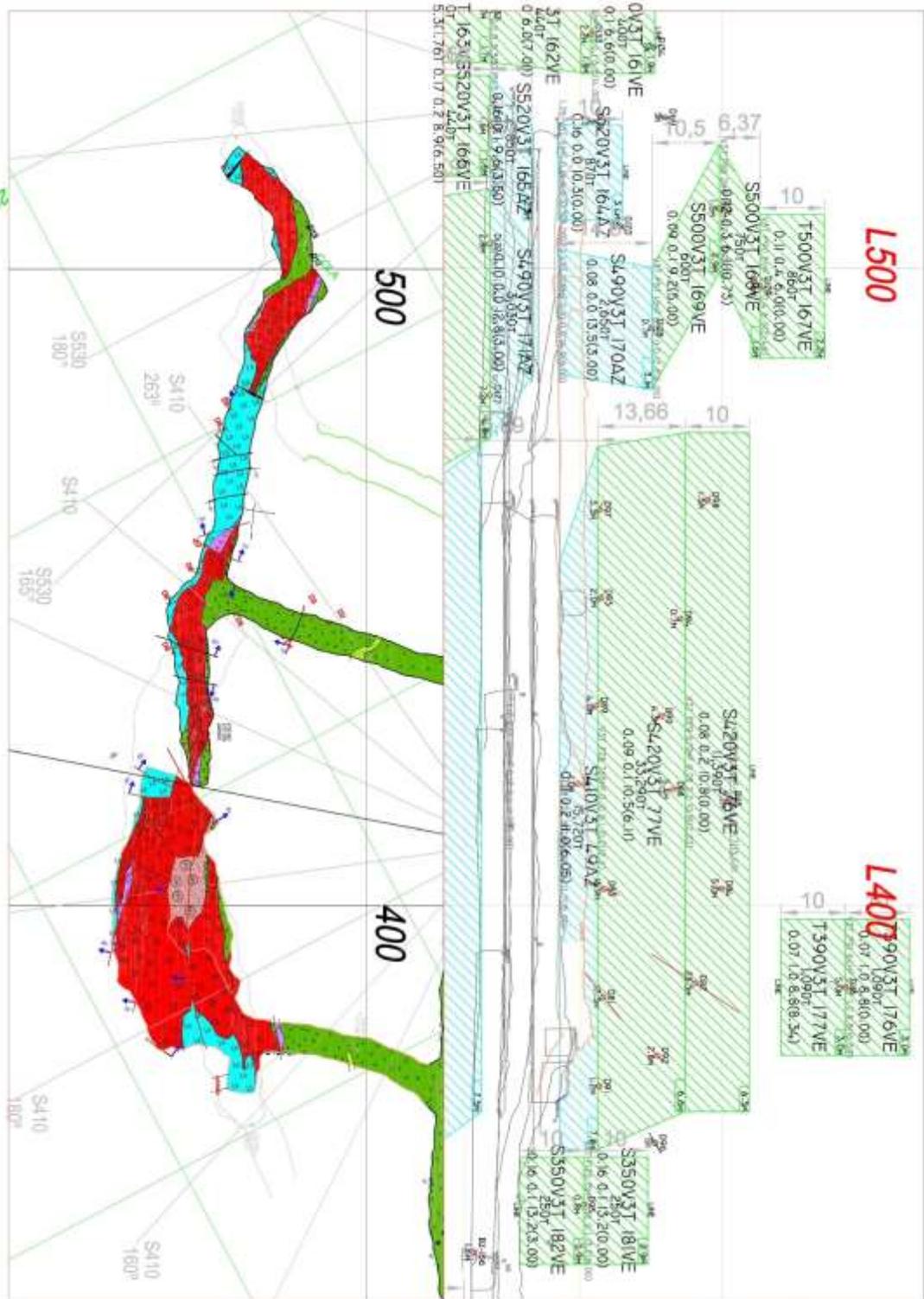
BHID	FROM	TO	AI	CU	PB	ZN	AG	EQZN	VETA	AÑO	AZIMUT	DIP
D115	50.3	51.2	0.9	0.09	0.01	13.52	28	14.085	V3T	2013	219	-46
D115	51.2	51.7	0.5	0.02	0.02	2.38	12	2.63	V3T	2013	219	-46
D115	51.7	53	1.3	0.05	0.01	9.95	4	10.035	V3T	2013	219	-46
D116	68.55	69.2	0.65	0.1	8.36	12.01	70	17.59	V3T	2013	180	-50
D116	69.2	70.6	1.4	0.04	0.42	6.64	12	7.09	V3T	2013	180	-50
D116	70.6	71.6	1	0.07	0.09	13.41	12	13.695	V3T	2013	180	-50
D116	71.6	72.4	0.8	0.03	0.12	3.32	12	3.62	V3T	2013	180	-50
D116	72.4	73.4	1	0.05	0.09	10.11	12	10.395	V3T	2013	180	-50
D116	73.4	74	0.6	0.1	0.05	3.28	6	3.425	V3T	2013	180	-50
D116	74	74.8	0.8	0.15	0.02	12.01	6	12.14	V3T	2013	180	-50
D81	45	46	1	0.21	0.34	7.71	12	8.12	V3T	2012	180	-20
D81	46	47.8	1.8	0.1	0.54	11.75	10	12.22	V3T	2012	180	-20
D81	47.8	48.8	1	0.1	0.14	10.64	8	10.87	V3T	2012	180	-20
D81	48.8	50.4	1.6	0.09	0.03	22.9	6	23.035	V3T	2012	180	-20
D81	50.4	51.4	1	0.08	0.04	11.35	6	11.49	V3T	2012	180	-20
D81	51.4	53	1.6	0.1	0.02	19.25	4	19.34	V3T	2012	180	-20
D81	53	53.9	0.9	0.24	0.02	10	6	10.13	V3T	2012	180	-20
D81	53.9	54.6	0.7	0.03	0.02	3.02	6	3.15	V3T	2012	180	-20
D81	54.6	56.6	2	0.21	0.01	11.04	4	11.125	V3T	2012	180	-20
D81	56.6	58.4	1.8	0.07	0.13	8.53	10	8.795	V3T	2012	180	-20
D81	58.4	60	1.6	0.16	0.78	14.18	28	15.13	V3T	2012	180	-20
D81	60	61.8	1.8	0.18	0.06	12.76	4	12.87	V3T	2012	180	-20
D82	43.6	45	1.4	0.09	0.03	10.74	6	10.875	V3T	2012	180	-35
D82	45	46.5	1.5	0.12	0.01	12.36	6	12.485	V3T	2012	180	-35
D82	46.5	48	1.5	0.18	0.01	11.95	2	11.995	V3T	2012	180	-35
D82	48	49.5	1.5	0.07	0.38	8.94	6	9.25	V3T	2012	180	-35
D82	49.5	52	2.5	0.04	1.3	2.03	10	2.88	V3T	2012	180	-35
D82	52	54	2	0.13	0.53	4.21	8	4.635	V3T	2012	180	-35
D82	54	56	2	0.04	0.16	3.94	10	4.22	V3T	2012	180	-35
D82	56	57.2	1.2	0.02	0.42	6.82	30	7.63	V3T	2012	180	-35
D82	57.2	58.4	1.2	0.06	0.19	2.91	18	3.365	V3T	2012	180	-35
D82	58.4	60	1.6	0.13	0.28	10.94	20	11.48	V3T	2012	180	-35
D82	60	61.5	1.5	0.11	0.68	11.35	22	12.13	V3T	2012	180	-35
D82	61.5	63	1.5	0.06	0.6	7.97	30	8.87	V3T	2012	180	-35
D82	63	64.5	1.5	0.21	0.02	11.38	8	11.55	V3T	2012	180	-35
D82	64.5	66	1.5	0.24	0.04	11.14	6	11.28	V3T	2012	180	-35
D82	66	67.6	1.6	0.21	0.02	13.57	6	13.7	V3T	2012	180	-35
D83	46.1	47.7	1.6	0.08	0.37	9.71	10	10.095	V3T	2012	200	-20
D83	47.7	49.2	1.5	0.06	0.43	14.59	20	15.205	V3T	2012	200	-20
D83	49.2	50.5	1.3	0.04	0.43	9.61	26	10.345	V3T	2012	200	-20
D83	50.5	52.2	1.7	0.02	0.74	4.03	74	5.88	V3T	2012	200	-20
D83	52.2	53.5	1.3	0.03	0.27	13.78	62	15.155	V3T	2012	200	-20
D83	53.5	54.25	0.75	0.07	0.06	4.81	14	5.12	V3T	2012	200	-20
D83	54.25	55.75	1.5	0.06	0.06	19.25	22	19.72	V3T	2012	200	-20
D83	55.75	57.75	2	0.1	0.01	22.9	6	23.025	V3T	2012	200	-20

D83	57.75	59.3	1.55	0.18	0.01	16.82	4	16.905	V3T	2012	200	-20
D83	59.3	60.4	1.1	0.14	0.31	10.33	12	10.725	V3T	2012	200	-20
D84	58.3	59.4	1.1	0.05	1.08	14.99	26	16.05	V3T	2012	200	-36
D84	59.4	60	0.6	0.11	0.04	7.67	12	7.93	V3T	2012	200	-36
D84	60	61.2	1.2	0.11	0.02	11.55	7	11.7	V3T	2012	200	-36
D84	61.2	62.4	1.2	0.11	0.13	5.45	30	6.115	V3T	2012	200	-36
D84	62.4	63.1	0.01	0.01	0.01	0.01	1	0.035	V3T	2012	200	-36
D84	63.1	63.8	0.7	0.04	0.24	8.6	45	9.62	V3T	2012	200	-36
D87	50.35	51.3	0.95	0.03	0.07	7.28	20	7.715	V3T	2012	219	-18
D88	49.6	50.3	0.7	0.03	0.13	5.89	42	6.795	V3T	2012	219	-33
D88	50.3	51.2	0.9	0.1	0.27	10.94	10	11.275	V3T	2012	219	-33
D88	51.2	51.9	0.7	0.41	1.88	4.97	84	7.59	V3T	2012	219	-33
D88	51.9	53.4	1.5	0.1	0.24	10.2	16	10.64	V3T	2012	219	-33
D88	53.4	54.9	1.5	0.07	0.04	10.3	8	10.48	V3T	2012	219	-33
D88	54.9	55.4	0.5	0.03	0.05	18.58	8	18.765	V3T	2012	219	-33
D89	50.6	52	1.4	0.07	0.01	18.7	4	18.785	V3T	2012	233	-19
D89	52	53.2	1.2	0.05	0.02	15.18	8	15.35	V3T	2012	233	-19
D89	53.2	55	1.8	0.04	0.02	3.81	6	3.94	V3T	2012	233	-19
D89	55	55.6	0.6	0.05	0.01	9.35	4	9.435	V3T	2012	233	-19
D89	55.6	56.1	0.5	0.26	0.01	7.84	6	7.965	V3T	2012	233	-19
D90	51.3	52.4	1.1	0.14	0.02	18.38	6	18.51	V3T	2012	233	-30
D90	52.4	54.2	1.8	0.05	0.02	5.74	12	5.99	V3T	2012	233	-30
D90	54.2	56.2	2	0.06	0.03	10.5	12	10.755	V3T	2012	233	-30
D91	52.3	53.6	1.3	0.14	0.04	6.18	10	6.4	V3T	2012	160	-19
D92	49.5	50.1	0.6	0.1	0.02	12.73	8	12.9	V3T	2012	160	-31
D92	50.1	50.8	0.7	0.02	0.01	2.64	4	2.725	V3T	2012	160	-31
D92	50.8	51.6	0.8	0.15	0.02	11.41	6	11.54	V3T	2012	160	-31
D92	51.6	52.4	0.8	0.16	0.01	10.3	6	10.425	V3T	2012	160	-31
D93	60.4	61.5	1.1	0.11	0.04	15.96	8	16.14	V3T	2012	248	-17
D93	61.5	62.9	1.4	0.07	0.04	13.74	12	14	V3T	2012	248	-17
D94	61.1	62	0.9	0.05	0.01	16.87	6	16.995	V3T	2012	248	-29
D95	63	63.9	0.9	0.16	0.05	13.23	6	13.375	V3T	2012	144	-14
D97	63	63.35	0.35	0.12	0.01	10.1	6	10.225	V3T	2012	263	-16
D97	63.35	64.65	1.3	0.05	0.01	1.64	4	1.725	V3T	2012	263	-16
D97	64.65	65.65	1	0.17	0.01	6.86	4	6.945	V3T	2012	263	-16
D97	65.65	66.2	0.55	0.33	0.01	7.95	6	8.075	V3T	2012	263	-16
D97	66.2	66.7	0.5	0.22	0.01	8.79	6	8.915	V3T	2012	263	-16
D98	71.6	72.6	1	0.03	0.06	17.17	8	17.36	V3T	2012	263	-28
D98	72.6	73.7	1.1	0.03	0.02	7.85	6	7.98	V3T	2012	263	-28

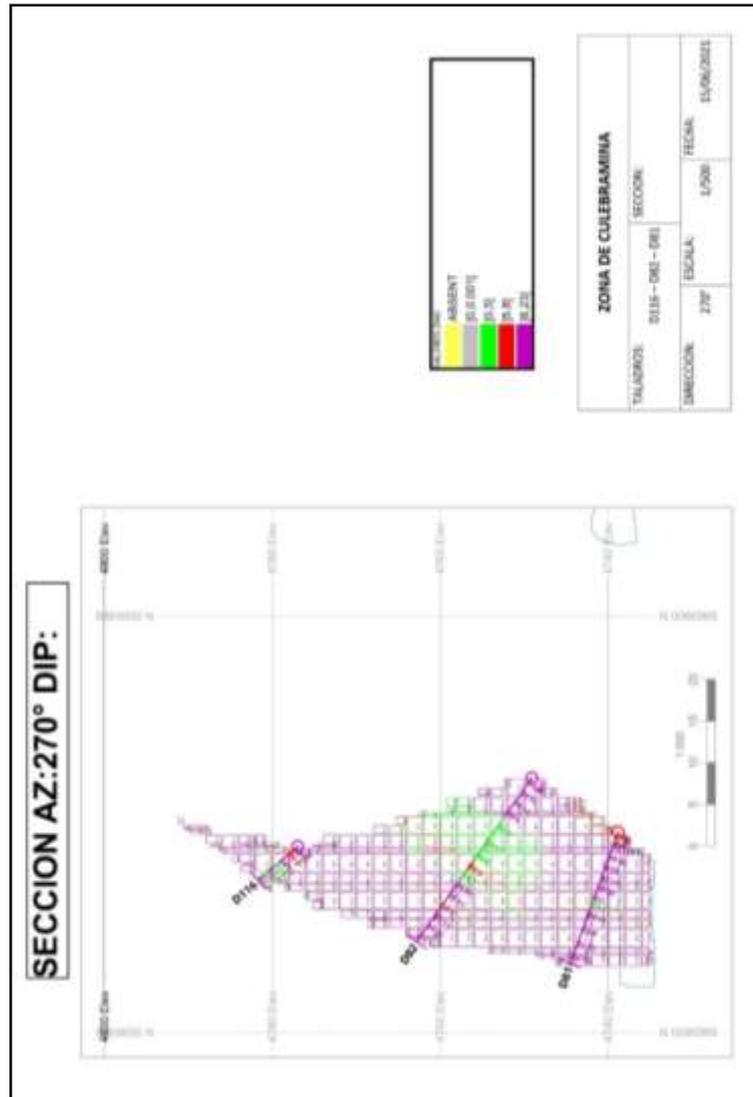
Anexo 01: Data de sondajes utilizados en la estimación

Fuente: Departamento de Geología de la Unidad Minera Pallca

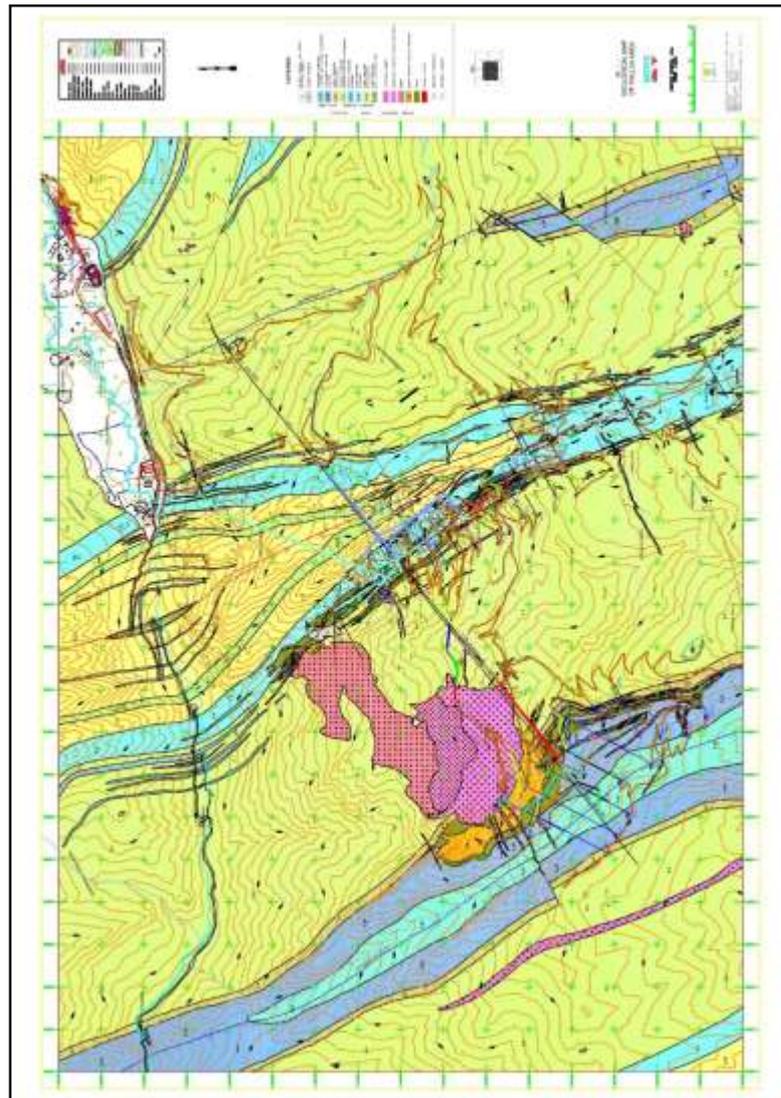
Observación: Se ha suprimido las coordenadas por temas éticos de confiabilidad de la información de la empresa.



Anexo 02: Mapeo geológico de Culebramina – Sección Longitudinal con recursos V3T
Fuente: Departamento de Geología de la Unidad

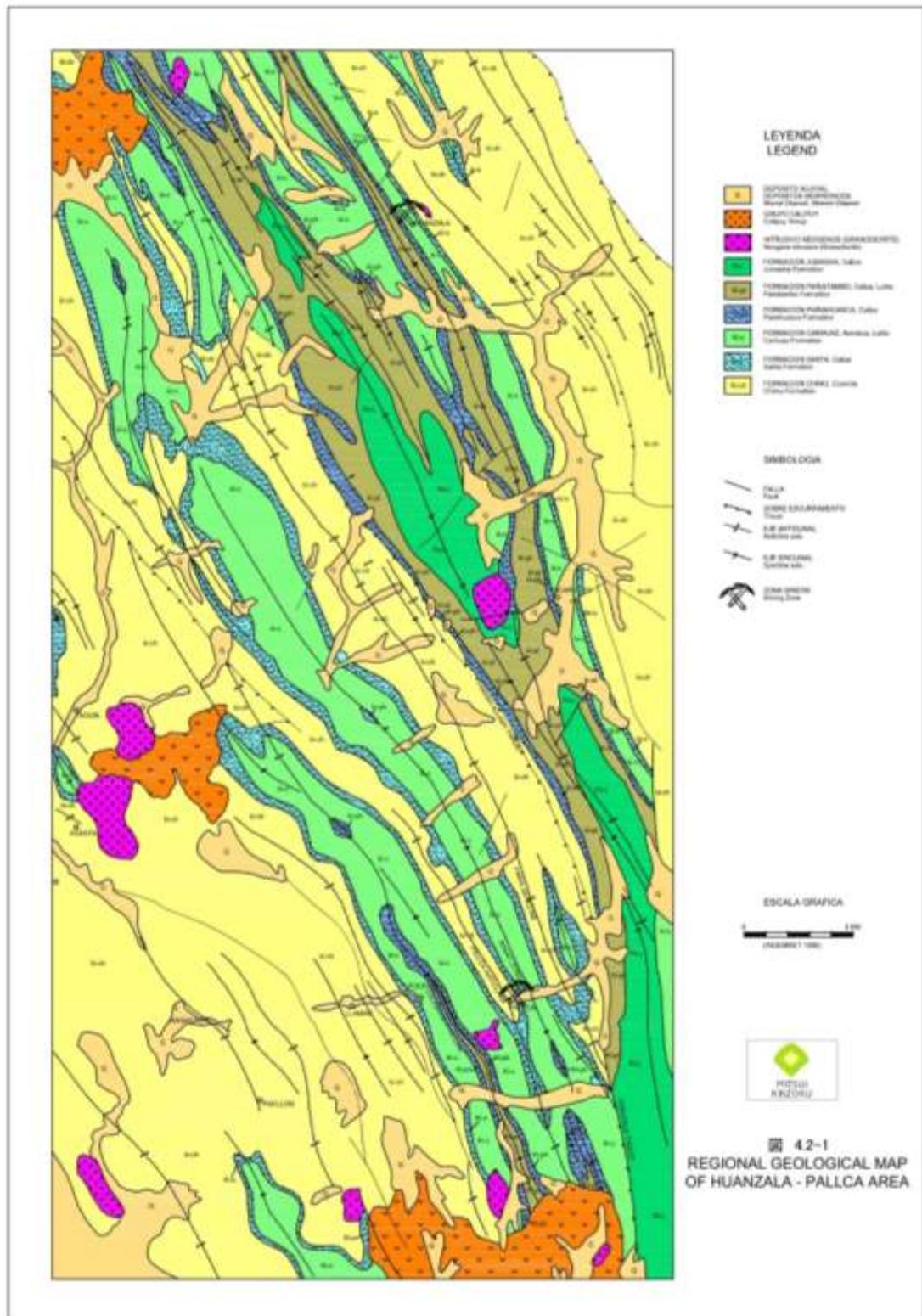


Anexo 03: Sección 270° em Tajo S450
Fuente: Elaboración propia



Anexo 04: Geología local de la zona de estudio

Fuente: Biblioteca Virtual de Ingemmet. Yamanaka et al., (2007). Progreso de Exploración y Geología del Yacimiento de Pallca.



Anexo 06: Geología Regional del área de Huanzala y Pallca
Fuente: Departamento de Geología de la Unidad Minera