



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

“ESTUDIO GEOLÓGICO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE POLIMETÁLICOS EN LA CONCESIÓN MINERA SAN LUIS, DISTRITO DE SAN LUIS, PROVINCIA SAN PABLO, CAJAMARCA - 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autor:

Jhosting Steeward Villatty Rodriguez

Asesor:

Ing. Mg. Miguel Ricardo Portilla Castañeda

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a Dios, por haber brindado la fuerza e inspiración suficiente para continuar en el proceso de obtener uno de mis anhelos.

Del mismo modo a mis padres, por su tiempo, trabajo y sacrificio en todos estos años que permitieron lograr llegar hasta donde me encuentro en este momento, del mismo modo agradecer a todas las personas que me apoyaron y han hecho que este trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por bendecirnos, guiarnos y ser el apoyo que fortalece nuestros momentos de dificultad.

Gracias a mis padres por ser los promotores de mis sueños, confiar y creer en las expectativas generadas del mismo modo por los consejos, valores y principios inculcados.

Del mismo modo agradecer a los docentes de la Facultad de Ingeniería Geológica de la Universidad Privada del Norte por haber compartido todo este tiempo su conocimiento y experiencia.

Tabla de contenidos

	Pág.
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Aspectos generales	13
CAPÍTULO II. MÉTODO.....	17
2.1. Tipo de investigación	17
2.2. Población y muestra	17
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	18
2.4. Procedimientos	18
2.5. Aspectos éticos	21
CAPÍTULO III. RESULTADOS	22
3.1. Propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta con ensayos de laboratorio.....	22
3.2. Estructuras Mineralizadas	41
3.3. Elección del método mediante análisis numérico	56
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	61
4.1. Discusión	61
4.2. Conclusiones.....	63
REFERENCIAS	64
ANEXOS	68
ANEXO n.º 1. Instrumentos de investigación.....	68
ANEXO n.º 2. Ficha de Observación.....	72
ANEXO n.º 3. Cuaderno de Campo.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Ubicación de la mina San Luis.....	13
Tabla 2 Coordenadas de la concesión San Luis.....	13
Tabla 3 Coordenadas de la concesión San Luis.....	14
Tabla 4 Accesibilidad a la Concesión Minera San Luis.....	14
Tabla 5 Cuadro de valoración de la resistencia de la roca intacta.....	28
Tabla 6 Resistencia de la muestra 2.....	28
Tabla 7 Resistencia de la muestra 3.....	29
Tabla 8 Resistencia de la muestra 4.....	30
Tabla 9 Presencia de agua.....	31
Tabla 10 Determinación del RQD.....	33
Tabla 11 Espaciado entre discontinuidades estación 1.....	33
Tabla 12 Espaciado entre discontinuidades estación 2.....	34
Tabla 13 Espaciado entre discontinuidades estación 3.....	35
Tabla 14 Descripción del espaciado.....	35
Tabla 15 Persistencia de las discontinuidades.....	36
Tabla 16 Descripción de persistencia.....	36
Tabla 17 Apertura de fracturas.....	37
Tabla 18 Abertura de las discontinuidades.....	37
Tabla 19 Clasificación de la rugosidad.....	38
Tabla 20 Relleno de las discontinuidades.....	38
Tabla 21 Meteorización de las discontinuidades.....	38
Tabla 22 Cálculo del RMR para el macizo rocoso.....	40
Tabla 23 Clasificación RMR para el macizo rocoso.....	41
Tabla 24 Sucesión Mineral.....	44
Tabla 25 Parámetros de clasificación numérica por geometría del yacimiento y distribución de leyes.....	56
Tabla 26 Parámetros de evaluación geomecánica.....	57
Tabla 27 Clasificación del método de explotación por geometría del yacimiento y leyes.....	58
Tabla 28 Clasificación del método de explotación por características geomecánicas.....	58
Tabla 29 Determinación del método de explotación por sumatoria.....	59
Tabla 30 Resistencia de la muestra.....	68
Tabla 31 Presencia de agua.....	68
Tabla 32 Determinación del RQD.....	68
Tabla 33 Espaciado entre discontinuidades.....	68
Tabla 34 Descripción del espaciado.....	68
Tabla 35 Persistencia de las discontinuidades.....	69
Tabla 36 Descripción de persistencia.....	69
Tabla 37 Apertura de fracturas.....	69
Tabla 38 Abertura de las discontinuidades.....	69
Tabla 39 Clasificación de la rugosidad.....	69
Tabla 40 Relleno de las discontinuidades.....	70
Tabla 41 Meteorización de las discontinuidades.....	70
Tabla 42 Cálculo del RMR para el macizo rocoso.....	71
Tabla 43 Clasificación RMR para el macizo rocoso.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Etapa de gabinete.	19
Figura 2: Terrenos con pendiente suave.	15
Figura 3: Terrenos con pendiente fuerte.	16
Figura 4: Estructuras bandeadas piritizadas.	26
Figura 5: Toma de rumbo y buzamiento en estructuras.	27
Figura 6: Muestra 4 de resistencia a la compresión uniaxial.	30
Figura 7: Lineal para medir RQD.	32
Figura 8: Vista al microscopio de la muestra 1, donde se observan la silicificación de la roca.	43
Figura 9: Clasto triangular de calcita reemplazada por clinozoisita.	45
Figura 10: Cristales de adularia pseudomorfizados por calcita.	45
Figura 11: Intercalación de las bandas mineralizadas café y verde-azul.	47
Figura 12: Clasto café oscuro, rodeado de partzita.	48
Figura 13: Roca con brechamiento del 2do emplazamiento, recementado con calcita y cuarzo de 3ª etapa. ...	50
Figura 14: Halos de alteración de partzita a partir de clastos café que al microscopio presentan.	51
Figura 15: Clastos con partzita, naumannita y electrum a la vista.	52
Figura 16: Detalle de la calcita de color naranja claro y cuarzo blanquecino, que forman bandas coloformes en el cementante del cuartoemplazamiento.	52
Figura 17: Mineralización de la veta Lady.	53
Figura 18: Reporte de laboratorio.	55
Figura 19: Buzamiento pronunciado de la veta en explotación.	60

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue realizar el estudio geológico para determinar el potencial de polimetálico en la concesión minera San Luis, Distrito De San Luis, Provincia San Pablo, Cajamarca – 2021. La investigación es aplicada, explicativa, cuantitativa, cuasi experimental. La tendencia de la mineralización en la veta Lady está definida por estructuras de rumbos NW - SE y ENE; con buzamientos son por encima de los 60°. De acuerdo al levantamiento topográfico la estructura del socavón que alberga a la veta Lady no cuenta con las condiciones adecuadas para una explotación minera segura, ya que el ancho y alto del socavón son sólo apropiados para una minería artesanal. en cuanto a su gradiente se considera que es la adecuada para explotación y acarreo. Se concluyó que el control litológico estructural es definido por soluciones hidrotermales mineralizantes producidas durante la etapa de las intrusiones y depositadas en fracturas tensionales pre-existentes, formaron las vetas de menas las que consisten de un relleno de cuarzo, piritas y rocas encajonantes piritizada, y cantidades variables y en menor proporción de esfalerita, galena y diseminaciones calcopirita constituyendo la mena de rendimientos económicos.

Palabras clave: geológico, potencial, polimetálico.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La empresa EMTRAMIN SRL, dueña de la concesión minera San Luis, lleva concesionada 4 años, sin embargo, su explotación data desde hace 50 años, donde se explotó el yacimiento teniendo principalmente venillas mineralizadas en la Veta Lady, éstas fueron rellenadas con mineral de acuerdo a las temperaturas climáticas del terreno la cual dio origen a este yacimiento. De acuerdo a los análisis previos se han reportado concentraciones de plomo en 18%, Zinc 21% y cobre 4%; de acuerdo a estos valores la empresa ha decidido invertir, por ello es necesario el estudio geológico y conocer este yacimiento.

La minería alrededor del mundo se ha incrementado notablemente, a pesar de los inconvenientes sociales al cual se ha visto expuesta, para desarrollar un proyecto adecuadamente las actividades mineras, estado y empresa minera; es uno de los pilares mas definitivos en el crecimiento de los países (Foro Económico Mundial, 2016).

En tal sentido la búsqueda de nuevos yacimientos mineros, más propiamente dicho la búsqueda de mineral aurífero ha incrementado la demanda de realizar prospección y exploración geológica, debido al incremento del precio en el mercado internacional, hace que las empresas mineras tomen la decisión de invertir en la prospección y exploración de nuevos yacimientos en todo el Perú (Gonzáles, 2018).

La minería es la actividad económica principal en el Perú, el aporte a la economía nacional es muy considerable, por medio del pago de impuestos lo cual equivale al 6.4 % del PBI nacional (Schwab, 2018).

El Perú es un país rico en ocurrencia de yacimientos de rocas y minerales industriales, con una amplia distribución en el territorio nacional; en Cajamarca es necesaria la caracterización geológica de los yacimientos polimetálicos para usos industriales, se

considera importante contar con información básica y estudiarlos para incentivar y promover su desarrollo (Sánchez y Chafloque, 2019).

A nivel internacional las empresas mineras creen necesario los estudios geológicos y mineralógicos porque con ellos se definirá su viabilidad técnica, y a la vez económica. También se logra identificar el tipo de mineral o minerales que conforman la mena y ganga. (Foro Económico Mundial, 2017).

En el Perú se resalta los yacimientos polimetálicos, porque son de características epitermales con la granulometría fina, en los que el mineral no es visible macroscópicamente, siendo detectable con análisis químicos (Instituto Peruano de Economía, 2019).

La exploración geológica de yacimientos involucra conocimiento y técnicas en la adquisición de datos de campo y el procesamiento del mismo con el fin de lograr una interpretación geológica (Consejo General de Economistas de España, 2018).

Los principales yacimientos mineros del país se encuentran en Los Andes, aunque existen algunos otros centros importantes en la costa y depósitos de gas natural y petróleo en el área amazónica y en el zócalo continental (Carrillo, 1982).

Como antecedentes tenemos:

Valdivia, (2017) analizó el proceso de estimación de recursos minerales se realizó, siguiendo procedimientos establecidos según las normas internacionales de reporte de recursos minerales. Dichos procedimientos han sido incluidos según los requerimientos del código JORC. Como resultado de este proceso de estimación se han obtenido 12, 048 TMF de estaño.

Salazar y Alarcón, (2016) determinó las reservas mineras calculadas mediante métodos geoestadísticos clásicos son 61448.96 TM. La evaluación mediante Flujo de fondos (Cash

Flow) da un tiempo de vida de 6.36 y una recuperación de inversión (Pay Back) de 0.64 por tanto el proyecto es viable.

Valenzuela y Buendía, (2020) evaluó geológicamente el prospecto minero Chaupiloma 2007, para determinar si es factible o no para continuar con su explotación. Las reservas probadas son 50,102.94 TM, las reservas probables son 56,410.20 TM y el total de reservas son 106,513.14 TM.

Cuando hablamos de un estudio geológico de un terreno nos estamos refiriendo a un documento que analiza todas las características geológicas del suelo en un lugar en el que se va a realizar un vertido, perforación, cimentación y, en general, cualquier obra de algún tipo (González, 2018).

La importancia de conocer el potencial minero metálico con el que cuenta nuestro país, así como la estimación de los ingresos monetarios que quedan para el Estado, en el considerando de continuar con las operaciones actuales, poner en marcha los proyectos en cartera y los futuros proyectos que se derivan de las exploraciones actuales con Estudios de Impacto Ambiental Semi detallados (EIA_{sd}) y con Declaraciones de Impacto Ambiental (DIAs), son de especial relevancia, toda vez que el Estado podría contar con recursos económicos que permitan elaborar un debido planeamiento estratégico, en el que se sustente el desarrollo del país, a partir del aprovechamiento minero sustentable y además se puedan definir otros campos de desarrollo en regiones que no cuenten con significativos recursos minerales (Salazar y Alarcón, 2016).

La estimación tanto de recursos minerales, así como de sus ingresos monetarios al Estado, tiene un corte al año 2050. En esta primera versión, solamente se está considerando los recursos minerales metálicos, quedando pendiente la proyección para los recursos no metálicos, energéticos y los metales estratégicos (Sánchez y Chafloque, 2019).

Cuando hablamos de un estudio geológico de un terreno nos estamos refiriendo a un documento que analiza todas las características geológicas del suelo en un lugar en el que se va a realizar un vertido, perforación, cimentación y, en general, cualquier obra de algún tipo (Sánchez, 2018). Por lo tanto, en este caso al referirnos a estudio geológico vamos a hablar de algo orientado básicamente hacia la práctica, hacia su utilización en el campo de la ingeniería de obras, y no desde un punto de vista científico, donde el estudio geológico tendría como objeto la averiguación de la naturaleza del estrato geológico con fines de conocimiento o comparativos (Julca, 2017).

Los estudios geológicos son muy comunes en fases previas de los proyectos de obras, puesto que pueden averiguar la viabilidad económica y técnica de la misma en base a la composición del suelo. Asimismo, en fases posteriores de esa obra pueden requerirse algunos de estos estudios, especialmente de carácter hidrogeológico y geotécnico (Montoya, 2017).

El Estudio Geológico exploratorio de una zona determinada de la superficie; se realiza mediante recorridos, encaminamientos, recolección de muestras, mediciones, etc. con el objetivo de seleccionar las áreas más promisorias, en base a la información geológica existente de la superficie. La evaluación preliminar de los resultados, obtenidos de la exploración Geológica de Superficie, más la obtenida de estudios anteriores, de mapas, de fotos aéreas, de imágenes satelitales, etc. permite decidir y definir las áreas sobre las cuales se debe realizar las Prospecciones Geofísicas (Velásquez, 2018).

En la cordillera occidental de los Andes del norte del Perú. Hoy la región de Cajamarca es conocido por hospedar un importante número de centros mineralizados entre los que destacan los epitermales de alta sulfuración (Yanacocha, Sipán , La Zanja, Hilorico y Tantahuatay), pórfidos (Minas Conga, El Galeno, Michiquillay, Cerro Corona y Laguna

Chamis), epitermales de baja sulfuración (Los Pircos y Paredones) y vetas y mantos de reemplazamiento (Hualgayoc) (Jiménez, 2017).

Basándose sobre todos los estudios geológicos se puede decir que el basamento está completamente caracterizado por rocas sedimentarias Cretácicas deformadas con dos orientaciones bien marcadas (NO y E-O) a la altura de la ciudad de Cajamarca, las cuales han sido intruidas por rocas de composición geoquímica calcoalcalina que van desde una edad Cretácica superior hasta el Mioceno. Los eventos tectónicos relacionados a la deformación de las rocas van desde la Fase orogénica Inca I hasta la IV y la Fase Quechua I y II. (Benavides, 1999). Lo que marca la diferencia entre una y otra son los ratios de convergencia de la placa que influyen directamente sobre cada una de las fases orogénicas. La composición de las rocas datadas va desde básica hasta ácida, con un rango de edad que fue interpretado desde el Paleoceno hasta el Mioceno (Vásquez, 2018).

El potencial polimetálico se determina mediante el cateo y prospección, sigue la exploración que se ejecuta con técnicas más avanzadas para elaborar un perfil del yacimiento. Si el perfil es prometedor, se prosigue a una exploración más avanzada que cuantifique y limite las anomalías determinadas. El objetivo de esta etapa es calcular el tonelaje y leyes para ver si resultan promisorias y de acuerdo a ello elaborar un estudio técnico económico (estudio de factibilidad) en el que se calculen las reservas, costos de extracción, costos de tratamiento, beneficios, y se determine si es factible o no llevar a cabo la explotación (Montoya, 2016).

La formulación del problema fue: ¿Cómo influye el estudio geológico en la determinación del potencial polimetálicos en la concesión minera San Luis, Distrito De San Luis, Provincia San Pablo, Cajamarca – 2021?

El objetivo general fue realizar el estudio geológico para determinar el potencial de polimetálicos en la concesión minera San Luis, Distrito De San Luis, Provincia San Pablo, Cajamarca – 2021.

Los objetivos específicos fueron: Analizar la geología presente en la concesión minera San Luis, Distrito De San Luis, Provincia San Pablo, Cajamarca – 2021, caracterizar las propiedades físicas y mecánicas de la roca presente en la concesión minera San Luis, Distrito De San Luis, Provincia San Pablo, Cajamarca – 2021, determinar las estructuras mineralizadas en la concesión minera San Luis, Distrito De San Luis, Provincia San Pablo, Cajamarca – 2021 y elegir el método de explotación en la concesión minera San Luis, Distrito De San Luis, Provincia San Pablo, Cajamarca – 2021.

La hipótesis fue: el estudio geológico influye en la determinación del potencial de polimetálicos en la concesión minera San Luis, Distrito De San Luis, Provincia San Pablo, Cajamarca – 2021.

1.1. Aspectos generales

1.1.1. Ubicación

En forma general se tiene:

Tabla 1
Ubicación de la mina San Luis.

DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
San Luis	San Pablo	Cajamarca

Nota: Descripción de la ubicación de la concesión minera.

Las labores se encuentran a 34 Km. al oeste de la ciudad de Cajamarca y a 4 Km. al NW de la ciudad de Chilate.

Tabla 2
Coordenadas de la concesión San Luis.

Vértice	Norte	Este
1	9 206 000	740 000
2	9 205 000	740 000

3	9 205 000	741 000
4	9 203 000	741 000

Nota: Las coordenadas de los vértices se tomar en el sistema WGS84.

Dentro de esta concesión se encuentra la veta Leidy, la bocamina de este nivel tiene las siguientes coordenadas.

Tabla 3
Coordenadas de la concesión San Luis.

Punto	Norte	Este
Bocamina Nivel 05	9 205 000	741 000

Nota: Las coordenadas de los vértices se tomar en el sistema WGS84.

La orientación del nivel 05 es de S65°E, y tiene un avance 600 metros, de los no tienen sostenimiento, siendo un peligro latente para los trabajadores de la mina.

1.1.2. Accesibilidad

Para llegar a la concesión minera San Luis, se realiza mediante vehículo a través de una vía asfaltada Cajamarca – Llallán, luego por una trocha hasta la concesión San Luis.

Tabla 4
Accesibilidad a la Concesión Minera San Luis.

TRAMO	TIPO DE CARRETERA	CONDICIONES	DIST. EN KM.	TIEMPO EN HRS.	COSTO EN NUEVOS SOLES
Cajamarca – Llallán	Asfaltada	Buena	48	2.5	20.00
Llallán – Concesión San Luis	Asfaltada	Buena	4.00	0.25	1.00

Nota: Las coordenadas de los vértices se tomar en el sistema WGS84.

1.1.3. Climatología

El clima es cálido (25~ 32° C) durante todo el año, con una humedad relativa promedio es de 65%. En el sector comprendido entre 500 y 1 500 msnm, las precipitaciones varían entre 140 y 430 mm de promedio multianual. La

información proveniente de las estaciones Chilete (200,5 mm) y Magdalena (339,4 mm) que registran precipitaciones más altas que las anteriores.

1.1.4. Fisiografía

Concesión minera San Luis se encuentra ubicado en la región inter montañosa de la zona del norte de la cordillera de los andes, la topografía regional se caracteriza por la presencia de montañas de cimas elevadas y accidentadas, ondulantes colinas y valles inter montañosas con pendientes entre suaves y pronunciadas, así como quebradas.

– Terrenos Inclinados con Suave Pendiente (TISP)

Son terrenos con pendientes de 1 a 5° casi sin accidentes topográficos de consideración, se encuentran principalmente a la zona oeste de la concesión minera San Luis.



Figura 1. Terrenos con pendiente suave.

Fuente: Elaboración propia, (2021).

– **Terrenos con Pendiente Moderada (TPM)**

Son terrenos con pendientes de 5 a 15°, presentando ocasionalmente accidentes topográficos, se encuentran en las cercanías de la trocha a San Luis.

– **Terrenos con Pendiente Fuerte (TPF)**

Son terrenos con pendientes de 15 a 25° presentes en su mayoría en las zonas altas de la concesión minera San Luis.



Figura 2. Terrenos con pendiente fuerte.

Fuente: Elaboración propia, (2021).

CAPÍTULO II. MÉTODO

2.1. Tipo de investigación

Tipo de investigación: Según Oblitas (2018) explica que esta investigación aplicada se centra en encontrar mecanismos o estrategias que permitan lograr un objetivo concreto utilizando teorías conocidas (p. 30). Bajo este contexto, en la presente investigación es aplicada ya que se aplicó la metodología ya conocida como es la caracterización geológica.

Alcance de la investigación: Según Oblitas (2018) describe a la investigación explicativa como la investigación que estudia las relaciones de influencia entre las variables para conocer su estructura (p. 30). En este contexto la investigación es explicativa, porque analizó las relaciones de influencia entre la variable independiente que es estudio geológico y la variable dependiente que es potencial de polimetálicos.

Enfoque de la investigación: Oblitas (2018) afirma que la investigación cuantitativa se centra en el estudio y análisis de la realidad mediante diversos procedimientos basados en la medición (p.31). Por lo tanto, esta investigación es cuantitativa, porque se han empleado procedimientos de medición en el estudio geológico, como es el rumbo, buzamiento y potencia de la veta.

Diseño de la investigación: Oblitas (2018), describe a la investigación no experimental como aquella que no pretende manipular las variables de investigación, (p. 31). Por ello esta investigación es no experimental, ya que no se manipuló la variable independiente ni la dependiente tratándose de un corte transversal ya que se realizó estudio en un solo periodo de tiempo.

2.2. Población y muestra

Población: La concesión San Luis de 2 000 metros x 1 000 metros que abarca una superficie de 200 hectáreas.

Muestra: Las cuatro estaciones de muestreo en la concesión San Luis a lo largo de la veta Lady utilizando el método de rock chips.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.3.1. Técnicas

Observación directa: con la presente técnica se estableció las condiciones físicas de la labor subterránea, y algunas características geométricas del macizo rocoso en la concesión minera.

Análisis documental: con ello se evaluó los documentos referentes a metodologías de análisis geológico y potencial mineralógico.

2.3.2. Instrumentos

Ficha de Observación

Una ficha de toma de datos en campo donde se especifique la toma de muestras (ver anexo 2).

Cuaderno de Campo

Una ficha para evaluación mineralógica, donde se identifique las cantidades de minerales rentables presentes en la concesión minera (ver anexo 3).

2.4. Procedimientos

Estos incluyen la compilación de información bibliográfica, tecnología disponible, aspectos económicos, así como la situación, localización y tiempo en el área de estudios, todos los cuales influyen en la calidad de la investigación.

- Etapa de Precampo o Gabinete I

Primera etapa donde se recolectarán estudios anteriores del área de San Luis, planos de ubicación, planos geológicos regionales (INGEMMET) además se consultó bases de datos (scopus, Cielo).



Figura 3: Etapa de gabinete.

- Etapa de campo

Reconocimiento geológico del área. Se realizará el cartografiado superficial y subterráneo. También se tomaron 20 muestras superficiales y de interior mina para ensayos geoquímicos y muestras para estudios petrográficos.

- Cartografiado en superficie.

Para el cartografiado geológico en superficie se realizará a una escala 1/5000 sobre el que se dibujan diversos símbolos que indican:

Tipos de rocas de la superficie terrestre.

- Tipo de contacto entre ellas
- Estructuras geológicas como vetas y fallas.

- Muestreo Subterráneo:

Se realizarán un total de 4 estaciones distribuidos sistemáticamente, de los cuales se tomaron 10 muestras que fueron tomadas en la Veta Lady. Las

muestras serán tomadas utilizando cincel y comba y fueron colectadas en bolsas de muestreo para recuperar la muestra.

- Análisis de Laboratorio:

Las 20 muestras se llevarán a un laboratorio para análisis geoquímico donde se adquirirá datos mineralógicos

- Etapa de gabinete II

Se pasarán a limpio los planos, secciones geológicas, planos de Isovalores de la veta Lady, se trabajará las bases de datos de leyes emitidos del laboratorio y con los datos obtenidos en las etapas anteriores se preparará el informe final, con la cual se obtuvieron las conclusiones y recomendaciones.

a) Entrevista al jefe de almacén

La entrevista contiene doce preguntas, para recolectar información sobre la problemática y sugerencias en la exploración minera. Para el inicio de la entrevista se ha solicitado el permiso al gerente general, y se coordinó con el jefe de exploración el día, lugar y hora de la entrevista. Se realizaron las preguntas, y luego se plasmó en un documento para definir causas, problemas y sugerencias.

b) Análisis de documentos

Se analizó los reportes mineralógicos, se ha iniciado con la agrupación de reportes por mes durante el 2019 brindados, y se resumieron para calcular los indicadores mineros.

c) Observación directa

Se ha observado dentro de mina, se analizaron e identificaron los procesos que se realizan en mina, para ello se elaboró la ficha de observación, para registrar, los datos de exploración.

2.5. Aspectos éticos

En la presente investigación se protegió la identidad de cada uno de los sujetos de estudio y se tomó en cuenta las consideraciones éticas pendientes como:

- Consentimiento informado: se solicitó la información y la autorización al gerente de la empresa para la realización del estudio y lograr su participación de manera voluntaria.
- Confidencialidad: la información obtenida no será revelada ni divulgada para otro propósito que no sea netamente académico.
- Indicar porque la tesis también tiene aspectos éticos como originalidad, citas y validación de instrumentos.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta con ensayos de laboratorio

3.1.1. Geología regional

Corredor Estructural San Pablo – Porculla en el Norte del Perú

Este corredor presenta una orientación promedio de N30°O, aproximadamente tiene 20 km de ancho por 120 km de largo y estaría conformado por un sistema de falla de compleja morfología aún no estudiada totalmente.

A lo largo de este corredor se puede observar fallas que han tenido diferente comportamiento cinemático, es decir que en algunos sectores puede tener movimientos de compresión y en otros de distensión, provocando de esta manera zonas de debilitamiento cortical que facilitan el desarrollo de sistemas volcánicos emergentes relacionados con fases de mineralización hidrotermal; estas estructuras probablemente profundas han controlado el emplazamiento de pequeños cuerpos subvolcánicos y un intenso flujo hidrotermal relacionado al magmatismo Calipuy, en cuyo eje se formaron los edificios volcánicos principales.

Otro rasgo estructural también observado en los yacimientos ubicados en este corredor es la presencia de estructuras menores de orientación NE – SO, con importantes contenidos metálicos, estos rasgos probablemente están relacionados a las fallas transformantes que corroboran el carácter segmento de los Andes y permiten proponer la existencia de bloques estructurales cuyos límites son las fallas transformantes de dirección anti-andina.

A lo largo del corredor estructural San Pablo Porculla se emplazan una serie de yacimientos epitermales del tipo baja sulfuración, como Mina Paredones (Zn,

Pb, Ag) la cual es un yacimiento de antecedentes históricos de producción (Castillo 1978); durante los últimos 15 años se han reconocidos varios yacimientos con características de un epitermal de tipo baja sulfuración, entre los cuales se puede mencionar a Los Pircos (Au – Ag), Lucero – Achiramayo (Ag, Au), Corrales (Au, Ag), Diablo Rojo (Au), Cushuro (Ag, Au), Huyquisongo (Au, etc. (Valdivia 1992). La mineralización se encuentra principalmente en vetas con relleno de cuarzo, calcita y baritina, con contenidos de pirita, oro nativo, electrum, argentita, galena, calcopirita y escalerita, alojadas en rocas volcánicas del Terciario y sedimentarias del Cretáceo.

En la mina San Luis

En la Mina San Luis se encuentra emplazada sobre roca volcánica, pertenecientes al Cenozoico del Paleógeno – Neógeno del Grupo Calipuy (Formación Chilete) siendo el producto del vulcanismo post-tectónico de la región cordillerana representando un magmatismo efusivo que siguió al emplazamiento definido del batolito de la costa. Posiblemente correspondiente a cuellos o chimeneas volcánicas que alimentaron los niveles superiores del Grupo Calipuy, caracterizado por potentes y extensa secuencia de rocas volcánicas del Eoceno al Oligoceno, incluyendo algunos campos volcánicos, flujos piroclásticos, cenizas y domos andesíticos porfiríticos de composición riolítica a andesítica de color gris verdoso y probablemente son en su mayoría de la edad Miocénica.

Las rocas volcánicas están mayormente expuestas de Norte a Sur. Constituyendo una discordancia angular por la variedad de depósitos Cuaternarios del Holoceno: Coluviales, Aluviales y Fluvio-aluviales. Localizándose los

Coluviales en las zonas elevadas, los Aluviales en las faldas de los cerros, laderas de valle y finalmente Fluvio- aluviales en los lechos de los ríos.

Formación Chilete

Es predominantemente piroclástico que aflora en el pueblo de Chilete, litológicamente conformado por intercalaciones de derrames andesíticos, tobas blanquecinas, areniscas tobáceas y aglomerados lenticulares y materiales volcánicos re TRABAJADOS mayormente andesíticos bien pseudo-estratificados que oscilan sus buzamientos entre 25° – 30° . Definiendo claramente sus facies volcánicas que van desde verdes violáceos en las instalaciones de la Mina Paredones y hasta gris claros en el poblado de San Antonio, al mismo tiempo en campo se evidenció estructuras de emplazamiento (sills y diques) dacíticos de color gris blanquecino.

Depósitos Coluviales

Se encuentran ubicados en las laderas y flancos de los taludes de las trochas carrozables que brindan acceso a la Mina San Luis, caracterizándose por contener en su estructura: bloques angulosos de roca Andesítica con diámetros: 0,30 a 0,10 m. y gravas angulosas, distribuidos de forma caótica, sin selección ni estratificación aparente en su composición. Habiéndose formado por alteración, desintegración insitu y acción de la gravedad sobre el macizo rocoso expuesto. Constituyendo conos de escombros en la trocha carrozable Mina Paredones – centro poblado de San Antonio en 320 m. de longitud y para acceder al Nivel 5 la roca del talud es de mala calidad desintegrándose casi en su totalidad formando conos de escombros 250 m. de afectación de trocha.

Depósitos Aluviales

Predominantemente se encuentran ubicados en las faldas de los cerros y laderas de los valles de la Mina Paredones, constituidos por materiales muy finos y pequeños fragmentos angulosos con mucho contenido de limos y arcillas, generados por las pulverización de mena para obtener el mineral preciado, luego siendo depositados como relaves mineros sobre todo en las faldas de la quebrada California (depósito de relaves) y también en las entradas de las labores mineras; por su gran extensión este tipo de depósito Cuaternario generado por procesos metalúrgicos es de gran afectación ambiental en la área de estudio. En su mayor parte los depósitos presentan fuertes oxidaciones, notándose por las coloraciones rojizas anaranjadas hasta amarillentas. Exibiéndose suelos muy anisótropos con propiedades relacionadas por su granulometría.

Depósitos Fluvio-Aluviales

Este depósito se encuentra en el cauce del río San Pablo al NW del Nivel 5 a 175,00 m. de distancia, constituidos por materiales redondeados por el cauce del río y energía del agua que va puliendo y desgastando la roca por el transporte fluvial, en algunos casos conformando terrazas por sus grandes bloques de rocas acumulados en los márgenes del río y otros en el cauce, teniendo una secuencia de clasificación de estructura deposicional gradada por su esferoides de las rocas transportadas y depositada.

3.1.2. Geología local

En la zona se presentan soluciones hidrotermales mineralizantes producidas durante la etapa de las intrusiones y depositadas en fracturas tensionales pre-existentes, formaron las vetas de menas las que consisten de un relleno de cuarzo, piritas y rocas encajonantes piritizada, y cantidades variables y en menor

proporción de esfalerita, galena y disseminaciones calcopirita constituyendo la mena de rendimientos económicos.

Las vetas son de estructura bandeada generalmente, aunque en algunos tramos el bandeamiento se hace débil y pasan a constituir vetillas irregulares de alto contenido de mineral hipógena intercaladas con fragmentos rocosos piritizados mostrando evidencias de brechamiento. Esto podría indicar fallamientos a lo largo de la estructura con deposición nuevos minerales.

En el área en general no se observan mayores estructuras a no ser sino simples y moderados plegamientos en el sedimentario prepaleógeno neógeno y pequeñas fallas locales que no han producido mayores cambios, por lo que solamente se tienen ligeras inflexiones o cambios moderados en los rumbos y buzamientos de los estratos.

Subterráneamente, en la mina se han mapeado fallas normales post- minerales que buzando hacia el NW y que han causado suaves desplazamientos de las vetas en sentido de la falla. Ellas se formaron probablemente después del período de plegamiento de los Andes.

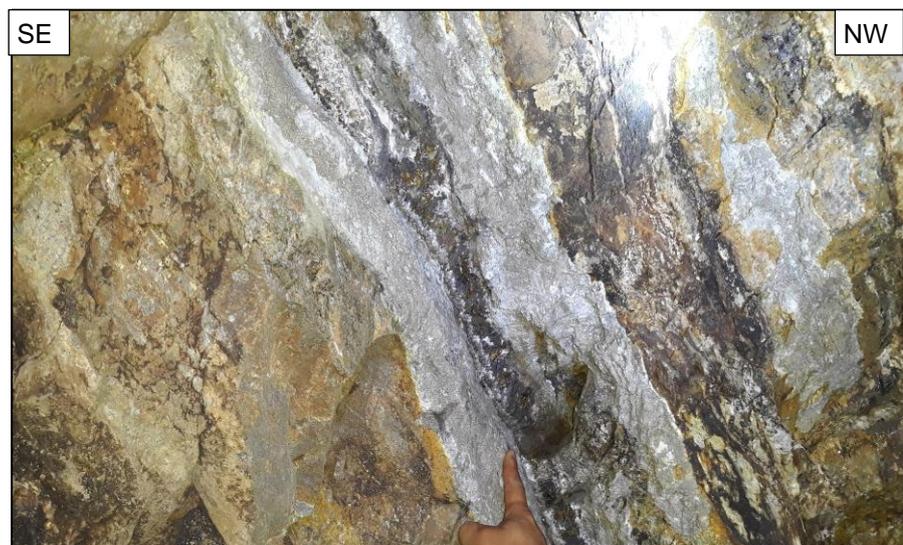


Figura 4. Estructuras bandeadas piritizadas.

Fuente: Elaboración propia, (2022).

El rumbo de las estructuras es variable, pues las hay de rumbos NW - SE y ENE; los buzamientos son por encima de los 60°.

Las principales vetas son:

Lady y Karina.



Figura 5. Toma de rumbo y buzamiento en estructuras.

Fuente: Elaboración propia, (2021).

3.1.3. Resistencia a la compresión uniaxial

Se tomaron muestras y se analizaron mediante golpes con la picota:

La muestra 1, dio como resultado R3 que varía desde 25 hasta 50 MPa, por lo tanto, se la clasificó con un valor de 4.

Tabla 5
Cuadro de valoración de la resistencia de la roca intacta.

Clase	Clasificación de la roca según su resistencia	Resistencia a la Compresión (MPa)	Estimación en Terreno de la Resistencia
R6	Extremadamente Resistente	> 250	Golpes de la picota, sólo causan descostramientos en la roca.
R5	Muy Resistente	100 – 200	Un trozo de roca requiere varios golpes de la picota para fracturarse.
R4	Resistente	50 – 100	Un trozo de roca requiere más de un golpe de la picota para fracturarse.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe de la picota, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.
R2	Débil	5 – 25	Un golpe con la punta de la picota deja una indentación superficial.
R1	Muy Débil	1 – 5	La roca se disgrega al ser golpeada con la punta de la picota.
R0	Extremadamente Débil	0.25 – 1	La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.

Nota: R = Resistencia MPa = (Mega Pascales).

Fuente: Aguilar, (2013).

La muestra 2, dio como resultado entre 50 MPa a 25 MPa, por lo tanto, se la clasificó con un valor de 4.

Tabla 6
Resistencia de la muestra 2.

Clase	Clasificación de la roca según su resistencia	Resistencia a la Compresión (MPa)	Estimación en Terreno de la Resistencia
R6	Extremadamente Resistente	> 250	Golpes de la picota, sólo causan descostramientos en la roca.
R5	Muy Resistente	100 – 200	Un trozo de roca requiere varios golpes de la picota para fracturarse.
R4	Resistente	50 – 100	Un trozo de roca requiere más de un golpe de la picota para fracturarse.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe de la picota, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.

R2	Débil	5 – 25	Un golpe con la punta de la picota deja una indentación superficial.
R1	Muy Débil	1 – 5	La roca se disgrega al ser golpeada con la punta de la picota.
R0	Extremadamente Débil	0.25 – 1	La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.

Nota: R = Resistencia MPa = (Mega Pascales).

Fuente: Aguilar, (2013).

La muestra 3 con algunos minerales cobre, dio como resultado entre 50 MPa a 25 MPa, por lo tanto, se la clasificó con un valor de 4.

Tabla 7
Resistencia de la muestra 3.

Clase	Clasificación de la roca según su resistencia	Resistencia a la Compresión (MPa)	Estimación en Terreno de la Resistencia
R6	Extremadamente Resistente	> 250	Golpes de la picota, sólo causan descostramientos en la roca.
R5	Muy Resistente	100 – 200	Un trozo de roca requiere varios golpes de la picota para fracturarse.
R4	Resistente	50 – 100	Un trozo de roca requiere más de un golpe de la picota para fracturarse.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe de la picota, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.
R2	Débil	5 – 25	Un golpe con la punta de la picota deja una indentación superficial.
R1	Muy Débil	1 – 5	La roca se disgrega al ser golpeada con la punta de la picota.
R0	Extremadamente Débil	0.25 – 1	La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.

Nota: R = Resistencia MPa = (Mega Pascales).

Fuente: Aguilar, (2013).



Figura 6. Muestra 4 de resistencia a la compresión uniaxial.

Fuente: Elaboración propia, (2021).

La muestra 4, dio como resultado entre 50 y 25 MPa, por lo tanto, se la clasificó con un valor de 4.

Tabla 8
Resistencia de la muestra 4.

Clase	Clasificación de la roca según su resistencia	Resistencia a la Compresión (MPa)	Estimación en Terreno de la Resistencia
R6	Extremadamente Resistente	> 250	Golpes de la picota, sólo causan descostramientos en la roca.
R5	Muy Resistente	100 – 200	Un trozo de roca requiere varios golpes de la picota para fracturarse.
R4	Resistente	50 – 100	Un trozo de roca requiere más de un golpe de la picota para fracturarse.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe de la picota, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.
R2	Débil	5 – 25	Un golpe con la punta de la picota deja una indentación superficial.
R1	Muy Débil	1 – 5	La roca se disgrega al ser golpeada con la punta de la picota.
R0	Extremadamente Débil	0.25 – 1	La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.

Nota: R = Resistencia MPa = (Mega Pascales).

Fuente: Aguilar, (2013).

Como promedio de las cuatro muestras se evidencia que todas se encuentran entre 50-25 MPa, por lo tanto, el valor global es de 4, perteneciente a una roca con resistencia moderada.

3.1.4. Presencia de agua en la roca para definir el tipo de sostenimiento

Para determinar la presencia de agua se realizaron el análisis de infiltración y el análisis de precipitaciones de lluvia.

Tabla 9

Presencia de agua.

DESCRIPCIÓN	RANGO
Completamente Seco	15
Semi Húmedo	10
Húmedo	7
Mojado	4
Flujo de Agua	0

Nota: Determinación de presencia de agua de acuerdo a Bienawski 89.

Fuente: Gonzáles, 2002.

3.1.5. RMR

- Nivel de influencia RQD para definir el tipo de sostenimiento

Se pudo realizar el cálculo del RQD mediante la contabilización del número de discontinuidades en un tramo de 10 metros.



Figura 7. Lineal para medir RQD.
 Fuente: Elaboración propia, (2021).

Distancia medida = 10 m

Número de discontinuidades = 19

$$RQD = 100e^{(-0.1\lambda)(0.1\lambda+1)}$$

Donde:

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{\text{distancia (m)}}$$

$$\lambda = \frac{19}{10} = 1.9$$

$$RQD = 100e^{(-0.1*1.9)(0.1*1.9+1)}$$

$$RQD = 100e^{(-0.19)(1.19)}$$

$$RQD = 100e^{(-0.2261)}$$

$$RQD = 100 * 0.7976$$

$$RQD = 79.76\%$$

El resultado del RQD se clasificó mediante la ficha de RMR.

Tabla 10
Determinación del RQD.

RQD (%)	Calidad de la Roca
100 – 90	Muy Buena
90 – 75	Buena
75 – 50	Regular
50 – 25	Mala
0 – 25	Muy Mala

Puntaje: 17

Nota: Determinación de RQD de acuerdo a Bienawski 89.

Fuente: Gonzáles, 2002.

- Espaciado entre las discontinuidades

Las discontinuidades fueron medidas en un tramo de 10 metros, sin embargo, no todas se encontraron de forma paralelas sino también perpendiculares, las discontinuidades se encontraban espaciadas de la siguiente manera:

Tabla 11
Espaciado entre discontinuidades estación 1.

Fractura	Espaciado	Espaciamiento (cm)
1-2	E1	16.18
2-3	E2	15.25
3-4	E3	21.1
4-5	E4	28
5-6	E5	22.3
6-7	E6	18.2
7-8	E7	28.75
8-9	E8	40.1
9-10	E9	43.6
10-11	E10	30.58
11-12	E11	26
12-13	E12	22.9
13-14	E13	28.7
14-15	E14	32.4
15-16	E15	30
16-17	E16	22
17-18	E17	18.5
18-19	E18	20.6

19-20	E19	31.5
20-21	E20	39
21-22	E21	42.2
22-23	E22	32
23-24	E23	35
24-25	E24	26.3
25-26	E25	23.5
Promedio		27.80

Nota: E = Espaciado.

Fuente: Elaboración propia, (2021).

El promedio del espaciado en la estación 1 es 27.80 cm.

Tabla 12

Espaciado entre discontinuidades estación 2.

Fractura	Espaciado	Espaciamiento (cm)
1-2	E1	15.12
2-3	E2	36.9
3-4	E3	37.4
4-5	E4	23.5
5-6	E5	33
6-7	E6	37.45
7-8	E7	42.58
8-9	E8	40.1
9-10	E9	44.5
10-11	E10	38.1
11-12	E11	36.95
12-13	E12	21.5
13-14	E13	27.8
14-15	E14	12.7
15-16	E15	26.7
16-17	E16	31.5
17-18	E17	47.3
18-19	E18	23.6
19-20	E19	32.2
20-21	E20	50.17
21-22	E21	43.1
22-23	E22	38.4
23-24	E23	31.3
24-25	E24	30.2
25-26	E25	24.2
Promedio		30.05

Nota: E = Espaciado.

Fuente: Elaboración propia, (2021).

El promedio del espaciado en la estación 2 es 30.05 cm.

Tabla 13
Espaciado entre discontinuidades estación 3.

Fractura	Espaciado	Espaciamiento (cm)
1-2	E1	13.2
2-3	E2	24.6
3-4	E3	25.8
4-5	E4	31.3
5-6	E5	28.7
6-7	E6	21.6
7-8	E7	28.1
8-9	E8	30.4
9-10	E9	32.6
10-11	E10	37.5
11-12	E11	28.6
12-13	E12	26.3
13-14	E13	21.4
14-15	E14	20.3
15-16	E15	27.4
16-17	E16	25.2
17-18	E17	23.3
Promedio		26.25

Nota: E = Espaciado.

Fuente: Elaboración propia, (2021).

Tabla 14
Descripción del espaciado.

Descripción	Espaciado	
	Mm	Cm
Extremadamente cerrado	< 20	< 2cm
Muy cerrado	20 – 60	2cm – 6cm
Cerrado	60 – 200	6cm – 20cm
Moderado	200 – 600	20cm – 60cm
Espaciado	600 – 2000	60cm - 2m
Muy espaciado	2000 – 6000	2m - 6m
Extremadamente espaciado	> 600	> 6m

Puntaje10

Nota: Mm = Milímetros, Cm = Centímetros.

Fuente: Gonzáles, 2002.

- Condición de las discontinuidades

Las condiciones de las discontinuidades se resumen de la siguiente manera:

- **Longitud de las discontinuidades**

Tabla 15
Persistencia de las discontinuidades.

Fractura	Persistencia (m)
1	
2	0.41
3	1.35
4	1.24
5	1.36
6	1.8
7	0.55
8	0.23
9	0.87
10	1.25
11	1.18
12	1.35
13	1.42
14	2
15	1.62
16	1.34
17	1.1
18	0.98
19	0.74
20	1.35
21	1.26
Promedio	1.16

Nota: m = Metros.

Fuente: Elaboración propia, (2021).

De acuerdo a estos resultados, se clasificó la persistencia en la siguiente tabla.

Tabla 16
Descripción de persistencia.

Descripción de Persistencia		
Persistencia	Longitud (m)	Puntaje 4
Muy Baja Persistencia	< 1	
Baja Persistencia	1 – 3	
Persistencia Media	3 – 10	
Alta Persistencia	10 – 20	
Muy Alta Persistencia	> 20	

Nota: m = Metros.

Fuente: Gonzáles, 2002.

- **Abertura: 1-5 mm**

Tabla 17
Apertura de fracturas.

Fractura	Apertura (mm)
1	1
2	1
3	2
4	2
5	2
6	1
7	1
8	1
9	0
10	1
11	1
12	0
13	1
14	1
15	1
16	1
17	0
18	1
19	1
20	0
21	1
Promedio	0.95 mm

Nota: Mm = Milímetros.

Fuente: Elaboración propia, (2021).

Con estos resultados se clasificó la abertura, según la tabla siguiente:

Tabla 18
Abertura de las discontinuidades.

Descripción de la Abertura	
Descripción	Abertura
Muy Cerrada	Ninguna
Cerrada	< 0.1 mm
Parcialmente Abierta	0.1 – 1.0 mm
Abierta	1 – 5 mm
Muy Abierta	> 5 mm

Nota: Mm = Milímetros.

Fuente: Gonzáles, 2002.

Puntaje 4

- **Rugosidad: Ligeramente rugosas.**

En las discontinuidades se evidencian que en su mayoría se clasifican según la tabla siguiente en ligeramente rugosa:

Tabla 19
Clasificación de la rugosidad.

Rugosidad	Puntaje
Muy Rugosa	6
Rugosa	5
Ligeramente Rugosa	3
Ondulada	1
Suave	0

Nota: Determinación de rugosidad de acuerdo a Bienawski 89.
Fuente: Gonzáles, 2002.

- **Relleno: Relleno Duro <5mm**

Tabla 20
Relleno de las discontinuidades.

Grado	Descripción	Estimación en Terreno de la Resistencia
S1	Arcilla muy blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas con el puño.
S2	Arcilla blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas con el dedo.
S3	Arcilla semidura	Penetra fácilmente varias pulgadas con el dedo, usando esfuerzo moderado.
S4	Arcilla dura	Deja fácilmente hendidura fácilmente hendidura por la acción del dedo pulgar, pero penetra solamente con gran usando esfuerzo moderado.
S5	Arcilla muy dura	Mallada fácilmente por la uña del pulgar.
S6	Arcilla extremadamente dura	Mallada con dificultad por la uña del pulgar.
S0	Extremadamente Débil	Mallada por la uña del pulgar.

Puntaje 4

Nota: S = Relleno.

Fuente: Gonzáles, 2002.

- **Alteración: Moderadamente alteradas**

Tabla 21
Meteorización de las discontinuidades.

Término	Descripción
Fresco	No hay señales visibles de meteorización. Si acaso una tenue decoloración en superficies de discontinuidades más desarrolladas.
Levemente meteorizado	Decoloración indica meteorización de la roca intacta y superficies de discontinuidad. La roca puede estar algo más débil externamente que en condición fresca.
Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. La roca puede estar fresca o descompuesta y/o desintegrada a suelo.
Altamente meteorizado	Más de mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrado. La estructura del macizo

Completamente meteorizado	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado. La estructura del macizo original está prácticamente intacta.
Suelo residual	Todo el material rocoso está descompuesta o desintegrada a suelo. La estructura del macizo original y su textura ha sido destruida. Hay un gran cambio de volumen, pero el suelo no ha sido transportado.

Nota: Determinación de meteorización de acuerdo a Bienawski 89.

Fuente: Gonzáles, 2002.

Ahora a partir de los datos anteriores se calcula el RMR según las valoraciones de Bieniawski 1989 dadas en la siguiente tabla.

Los resultados del RMR se describen en la siguiente tabla:

Tabla 22
 Cálculo del RMR para el macizo rocoso.

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	5		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación de agua / Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Fuente: Bienawski, (1989)

La clasificación final del macizo rocoso según el RMR será de “Regular” con una puntuación de 56. Se ha aplicado el factor de ajuste siguiente:

$$RMR = 0.80(\text{Macizo rocoso}) + 0.20(\text{Arcilla})$$

$$RMR = 0.80(56) + 0.20(15)$$

$$RMR_{\text{Ajustado}} = 44.80 + 3$$

$$RMR_{\text{Ajustado}} = 47.80$$

Tabla 23
Clasificación RMR para el macizo rocoso.

RMR	Descripción
0 – 20	Muy pobre
21 – 40	Pobre
41 – 60	Regular
61 – 80	Bueno
81 – 100	Muy bueno

Nota: RMR = Rock Mass Rating.

Fuente: Bienawski, (1989).

3.2. Estructuras Mineralizadas

Soluciones hidrotermales mineralizantes producidas durante la etapa de las intrusiones y depositadas en fracturas tensionales pre-existentes, formaron las vetas de menas las que consisten de un relleno de cuarzo, piritas y rocas encajonantes piritizada, y cantidades variables y en menor proporción de esfalerita, galena y disseminaciones calcopirita constituyendo la mena de rendimientos económicos.

Las vetas son de estructura bandeada generalmente, aunque en algunos tramos el bandeamiento se hace débil y pasan a constituir vetillas irregulares de alto contenido de mineral hipógena intercaladas con fragmentos rocosos piritizados mostrando evidencias de brechamiento. Esto podría indicar fallamientos a lo largo de la estructura con deposición nuevos minerales.

El rumbo de las estructuras es variable, pues las hay de rumbos NW - SE y ENE; los buzamientos son por encima de los 60°.

3.2.1. Emplazamiento Mineralógico de la Veta Lady

En adición al cuarzo y la pirita, como gangas minerales de la veta Lady, se encuentran cantidades menores y variables de esfalerita, galena y disseminaciones de calcopirita como menas.

La esfalerita (Zn S) es el sulfuro más abundante (después de la pirita) presente en las vetas; comunes es de grano grueso en estructura bandeada con esporádicas

inclusiones de calcopirita. Se presenta de un color marrón moderado y una esfalerita oscura negra se presenta en los niveles inferiores.

- La pirita se presenta diseminada, en vetillas y cristalizada en cubos, piritoedros y octaedros. No es raro encontrar la pirita en sus 3 formas cristalinas dentro de una misma veta; ello se debe a que tuvieron diferentes tiempos de formación o se formaron bajo diferentes condiciones físico-Químicas.
- La galena se encuentra distribuida en todas las vetas y desde una moderada a mínima cantidad y según su ubicación en la columna mineralógica.
- La calcopirita raramente es vista megascópicamente, pero si se le encuentra como finas inclusiones y exoluciones dentro de la esfalerita. Sin embargo, próxima al área de la mina, existe la llamada veta Pérdida esencialmente cubierto con calcopirita diseminada y en vetillas irregulares.
- La arsenopirita, marcasita, baritina, calcita y dolomita se observan muy escasamente y son los constituyentes menores de las vetas.
- El cuarzo constituye la ganga más abundante y se presenta masivo y en bandas dentro de la estructura bandeada o en pequeñas cavidades en cristales pequeños. Su depositación se realizó durante todo el período de mineralización de la estructura.
- El yeso es de relativa amplia distribución, y se le encuentra masivo, más de origen hipógeno que supérgeno, así como también cristalizado en selenita.

a. Primer Emplazamiento Mineralógico

En las muestras tomadas en los respaldos de la brecha, la silicificación se hace muy evidente ya que la roca se torna de color gris mediano a gris oscuro. Este cambio de coloración ocurre en los alrededores de las

vetillas de cuarzo o donde confluyen más de una vetilla, que se entrelazan sin dirección preferencial.

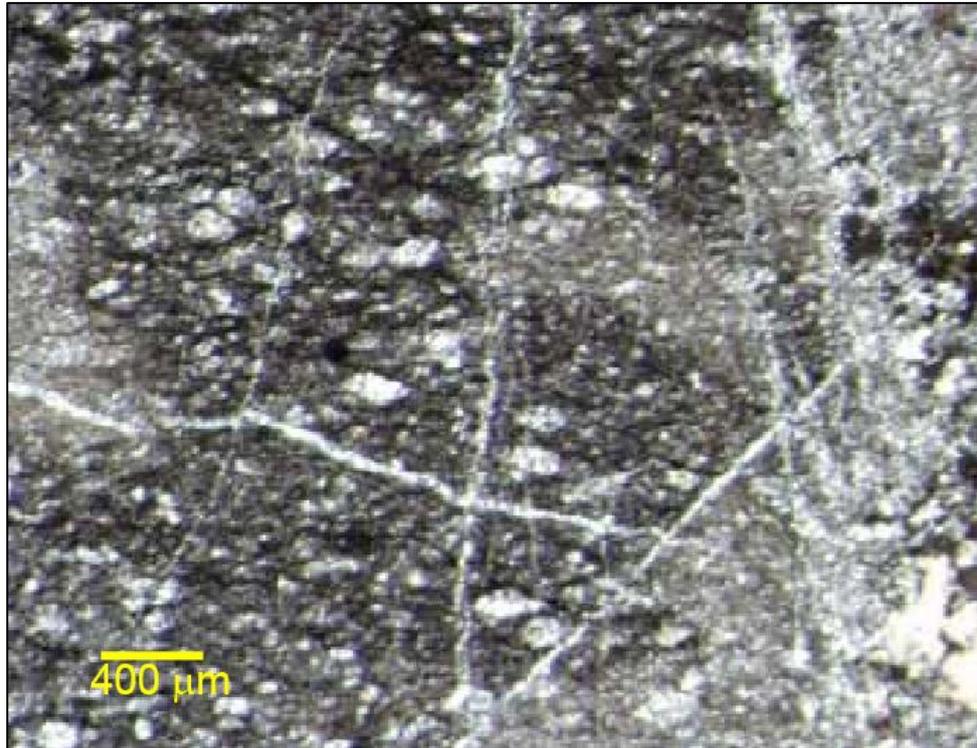


Figura 8: Vista al microscopio de la muestra 1, donde se observan la silicificación de la roca.

Sobresale la presencia de un mineral del grupo de la epidota, identificado como clinozoisita por su alto relieve, bajos colores de birrefringencia, falta de pleocroismo y extinción oblicua en secciones prismáticas. Esta clinozoisita aparece en diminutos y escasos cristales dentro de las vetillas de calcita, que muestran reemplazamiento de cuarzo tipo sacaroidal.

Los clastos de este primer emplazamiento están casi totalmente silicificados y sólo presentan muy escasos y pequeños cristales de pirita, la mayoría de forma irregular, aunque algunos presentan secciones rectangulares (cubos) y hexagonales (piritoedros). La hematites no es tan escasa como la pirita y se presenta bajo la forma de masas amorfas y pseudomorfos de cristales de pirita.

Tabla 24
Sucesión Mineral.

MINERAL	COMPOSICIÓN	ETAPAS			
		1°	2°	3°	4°
CALCITA	Ca CO ₃	██████████	██████████	██████████	██████████
CUARZO	Si O ₂	██████████	██████████	██████████	██████████
ELECTRUM	(Au, Ag)		██████████		
NAUMANNITA	Ag ₂ Se		██████████		
TETRAEDRITA	Sb ₄ S ₁₃ (Cu, Fe, Zn, Ag) ₁₂		██████████		
PIRITA	Fe S ₂	.....	.....	.....
CALCOPIRITA	Cu Fe S ₂		.....	
HEMATITES	Fe ₂ O ₃			██████████	██████████
GOETHITA	FeO (OH)			██████████	██████████
ADULARIA (Alterada)	K Al Si ₃ O ₈		.....	
CLINOZOISITA (epidota sin Fe)	Ca ₂ Al ₃ (OH) (SiO ₄) ₃	.....	██████████	.....
CLORARGIRITA	Ag Cl				██████████
ORO esquelético (libre)	Au				██████████
PARTZITA	Cu ₂ Sb ₂ (O,OH) ₇				██████████
MOSCOVITA	KAl ₂ (OH) ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)		.....	
CALCEDONIA	SiO ₂ (criptocristalino)			██████████	
ÓPALO	Si O ₂ · nH ₂ O		.....	
KAOLINITA (dickita)	Al ₄ ((OH) ₈ Si ₄ O ₁₀)	██████████			
PIROLUSITA	Mn O ₂				.....
MALAQUITA	Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂				.....

EXPLICACIÓN	
██████████	Abundante (V) mineral a la vista
██████████	Moderado (P) mineral identificado por petrografía
.....	Escaso (ME) mineral identificado por microscopio electrónico
	(D) mineral identificado por difracción de rayos X

b. Segundo Emplazamiento Mineralógico

Este emplazamiento constituye la fase principal de mineralización económica por zinc y plata. Se distingue por presentar una roca con

clastos monogénicos cementados por un enrejado de vetillas de calcita mayoritariamente y cuarzo en menor proporción que muestran un color blanco lechoso a gris claro, que a su vez están cortadas por escasas y delgadas vetillas de ópalo y calcita de color amarillo miel. Resalta la presencia de clinozoisita en cantidad moderada a abundante, intercrecida en vetillas de cuarzo y calcita que muestran texturas tipo crustiforme y peine, y también se observó rodeando a clastos con textura tipo peine.

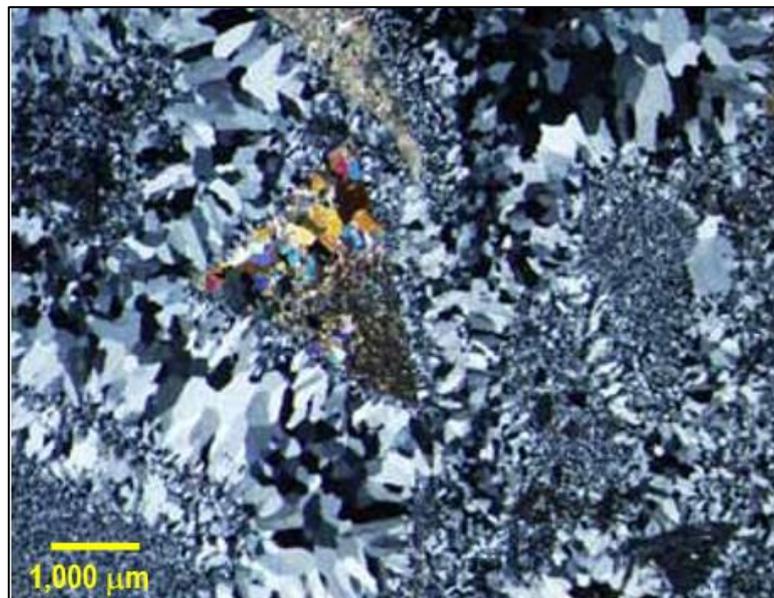


Figura 9: Clasto triangular de calcita reemplazada por clinozoisita.

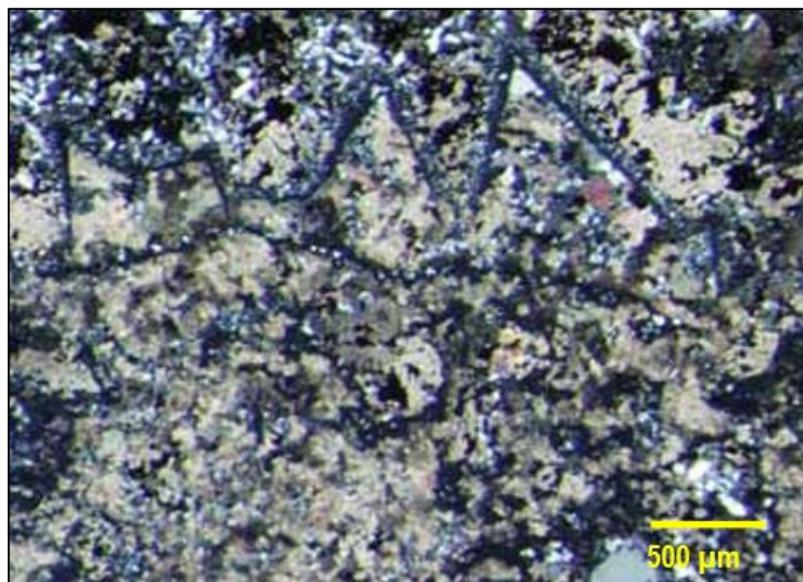


Figura 10: Cristales de adularia pseudomorfizados por calcita.

En este emplazamiento, también aparece adularia muy escasa, ya que sólo se identificó en la muestra 04, donde los cristales de adularia están pseudomorfizados por calcita (estructuras triangulares). Las bandas se presentan en colores café o verde, y contienen los más altos valores de zinc y plata de toda la estructura mineralizada. Al microscopio petrográfico se observa que las bandas están formadas principalmente por cuarzo y algún otro mineral que es el que aporta el color. Alternan bandas café oscuro con bandas verde-azul, en su mayoría con textura coliforme, cocarda y algo de tipo peine.

Las bandas de color café claro a oscuro están constituidas por un mosaico de cuarzo de grano fino, en partes con textura coloidal, con abundante goethita como mineral secundario, en posición intersiticial, en parches y rellenando fracturas. La proporción de los óxidos de hierro con respecto a la sílice microcristalina controla el color de las bandas. Estos minerales aparecen diseminados e intercrecidos con los granos de cuarzo. La pirita se presenta escasamente en cristales redondeados o subdrales diseminados en el cuarzo, en ocasiones parcialmente alteradas en sus bordes.

Se aprecia un conjunto de bandas y clastos de color verde-azul. Estas bandas están formadas por un mosaico de cuarzo de grano grueso junto con un mineral muy abundante de color verde-azul. Este mineral se interpreta como el resultado de la alteración supergénica de la tetraedrita, por lo que forma parte del cuarto emplazamiento. También en estas bandas verde-azul se presenta naumannita y electrum diseminados escasamente y en mucho menor proporción que en las bandas color café.

Cabe resaltar que el electrum se llega a observar a simple vista, ya que forma partículas de hasta un 1 mm de tamaño. La guía para encontrarlo es buscar clastos con bandas de color café o verde.



Figura 11: Intercalación de las bandas mineralizadas café y verde-azul.

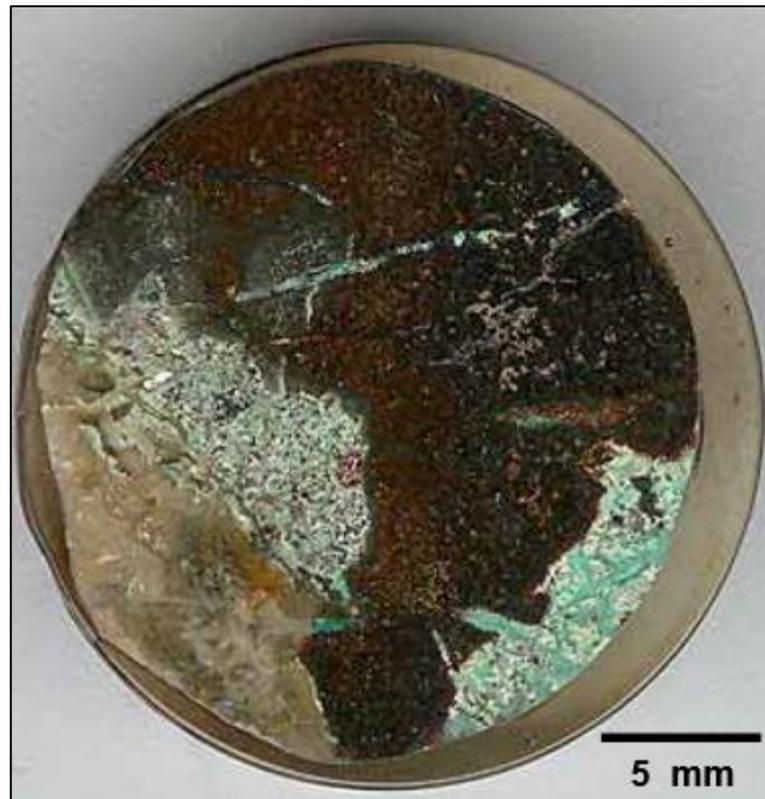


Figura 12: Clasto café oscuro, rodeado de partzita.

c. Tercer Emplazamiento Mineralógico

Este emplazamiento se distingue por presentar clastos constituidos por fragmentos de los cementos crustiformes de sílice y calcita que aparecen en la segunda etapa de brechamiento. Estos clastos se presentan siempre angulosos, con tamaños muy diversos, desde menos de 1 cm hasta 20 cm de tamaño.

El tercer emplazamiento se distingue del segundo, porque donde predomina la calcita el color es blanquecino translúcido y en donde predomina el cuarzo es incoloro, transparente y con textura de mosaico grueso y peine. Además, contiene:

- Muy pocos clastos de rocas sedimentarias silicificadas y con vetillas internas de cuarzo;

- Contiene abundantes y grandes cristales idiomórficos de calcita, indicativo de su crecimiento en un espacio vacío;
- Clastos de cuarzo con textura sacaroidal con restos de calcita correspondientes al segundo emplazamiento de cementante. En el contacto entre el cementante del segundo y tercero emplazamiento, se forma un borde grueso de hasta 3 mm de grueso, conformado por cristales de calcita espática intercrecido con un poco de cuarzo.

En éste tercer emplazamiento clinozoisita se presenta en forma muy escasa. La muestra 5 presenta cementante de cuarzo anedral de tamaño grueso, con escasa calcita y clinozoisita que rodea a los agregados de cuarzo. En contraste en la muestra 7 el cementante es de calcita espática y contiene escasos cristales de clinozoisita.

En lo que respecta a mineralización metálica, al igual que en el primer emplazamiento, no contiene mineralización de zinc y/o plata. Observándose únicamente escasos y cristales aislados de pirita y pseudomorfos de hematites en pirita.



Figura 13: Roca con brechamiento del segundo emplazamiento, recementado con calcita y cuarzo de la 3ª etapa.

d. Cuarto Emplazamiento Mineralógico

Está constituida por minerales formados por la alteración supergénica de los minerales metálicos de las tres etapas anteriores y vetillas delgadas de calcita que en algunas partes forman drusas que varían de color blanco a miel translúcido.

En esta etapa se presenta plata libre con textura esquelética incluida en las oquedades del cuarzo cementante, y que muy probablemente tiene su origen en la alteración supergénica del electrum presente en la mineralización primaria del segundo emplazamiento. También aparece un mineral como relleno de las últimas fracturas, que se distingue a la vista por su hábito laminar, su lustre ceroso y por su color café violáceo, café mate y/o verde mate, identificado como clorargirita. La presencia de este mineral, se explica como producto de la alteración supergénica de la naumannita, la tetraedrita y el electrum del segundo emplazamiento.

La partzita (descrita anteriormente) se presenta abundantemente formando bandas junto con el cuarzo, que a su vez se intercalan con las bandas café, antes descritas, y también ocurre como halos de alteración de clastos de bandas café. Asociada a la partzita se presentan muy escasas partículas que se clasificaron como malaquita por su color verde y por efervescer con el HCl. También se presenta hematites como pseudomorfo de los cristales de pirita, y goethita como alteración supergénica de los minerales que contienen alguna proporción de hierro, como son pirita, tetraedrita y/o calcopirita.

En la muestra 8 se observa un mineral de apariencia terrosa y de color naranja, que reacciona con el ácido clorhídrico y rellena los últimos espacios dejados por el cuarzo café miel del tercer emplazamiento. El análisis de microscopio electrónico indicó que se trata de calcita con pequeñas impurezas de Fe y Mg, que se infiere le dan ese color naranja tan distintivo.

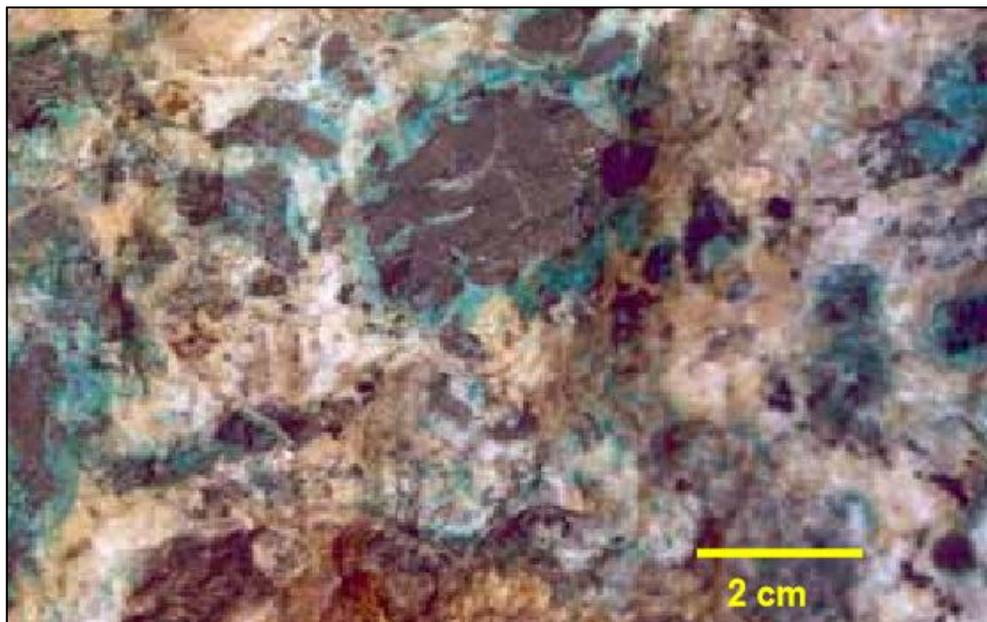


Figura 14: Halos de alteración de partzita (mineral verde-azul) a partir de clastos café que al microscopio presentan tetraedrita, naumannita, electrum, goethita y cuarzo.



Figura 15: Clastos con partzita, naumannita y electrum a la vista.



Figura 16: Detalle de la calcita de color naranja claro y cuarzo blanquecino, que forman bandas coliformes en el cementante del cuartoemplazamiento.

3.2.2. Paragénesis Mineral

El cuarzo y la pirita fueron los primeros minerales en depositarse al iniciarse la primera etapa de mineralización y continuaron depositándose durante toda la secuencia, deposicional. El aspecto masivo y finamente granulado (precipitación rápida) hasta la mineralización gruesa y cristalizada (última etapa deposicional) corroboran la deposición continuada.

- La arsenopirita es la siguiente en depositarse y se continúa con la deposición de la esfalerita y la galena.
- La chalcopirita, cuando se le encuentra, se le tiene en granos muy finos diseminada en la esfalerita por lo que se supone que puede haber sido formada por exsolución de ella.

Los otros minerales de gangas (marcasita, carbonatos, sulfatos, etc.) son considerados dentro de las etapas tardías de la secuencia deposicional.

- Cuarzo
- Pirita
- Arsenopirita Esfalerita
- Galena
- Chalcopirita Carbonatos- sulfatos



Figura 17: Mineralización de la veta Lady.

3.2.3. Clasificación y Origen de la Mineralización

Las características geo-mineralógicas de las estructuras nos indican que ellas fueron formadas por relleno hidrotermal de fisuras de sustancias mineralizantes bajo condiciones de moderada a baja temperatura y presión, de aquí que el depósito de San Luis está dentro del tipo mesotermal a epitermal.

El origen de la mineralización tiene que estar relacionada a la presencia de cuerpos intrusivos de composición intermedia que exista en la zona.

3.2.4. Alteración de las Rocas en el Área de la Mina

Aunque aparentemente el volcánico Paredones puede mostrar una débil alteración a simple vista (con excepción del extremo NE del área), la roca encajonante en fa zona de estructuras muestra diferentes características y grados de alteración, la cual estaría relacionada al tipo de roca, tipo de mineralización y distancia a las vetas.

La argilitización de las rocas volcánicas tanto hipógena como supergénica es frecuente, como lo es la sericitización de los feldespatos y la cloritización. Las rocas más cerca de las vetas están más fuertemente alteradas y piritizadas, alteración que va disminuyendo con la mayor distancia; y allí donde se tiene concentración y cruce estructuras (hacia el NE de la mina) la alteración se hace más amplia; en superficie se tiene además zonas fuertemente oxidadas.

3.3. Elección del método mediante análisis numérico

Para la elección del método de explotación se utilizaron las siguientes tablas de clasificación propuestas por Llanque Maquera, et al., (1999).

Tabla 25

Parámetros de clasificación numérica por geometría del yacimiento y distribución de leyes.

1. FORMA	
<input type="checkbox"/>	Equidimensional o masivo: Todas las dimensiones son similares en cualquier dirección.
<input type="checkbox"/>	Tabular: Dos de las dimensiones son mucho mayor que la tercera.
<input type="checkbox"/>	Irregular: Las dimensiones varían a distancias muy pequeñas.
2. POTENCIA DEL YACIMIENTO	
<input type="checkbox"/>	Estrecha: < a 10 m
<input type="checkbox"/>	Intermedia: 10 – 30 m
<input type="checkbox"/>	Potente: 30 – 100 m
<input type="checkbox"/>	Muy potente: > a 100 m
3. INCLINACIÓN	
<input type="checkbox"/>	Echado: < a 20°
<input type="checkbox"/>	Intermedio: 20 – 55°
<input type="checkbox"/>	Inclinado: > a 55°
4. PROFUNDIDAD DESDE LA SUPERFICIE	
<input type="checkbox"/>	Pequeña: < a 150 m
<input type="checkbox"/>	Intermedia: 150 – 600 m
<input type="checkbox"/>	Alta: > a 600 m
5. DISTRIBUCIÓN DE LEYES	
<input type="checkbox"/>	Uniforme: La ley del yacimiento se mantiene prácticamente constante en cualquier punto del yacimiento mineralizado.
<input type="checkbox"/>	Graduado o diseminado: Las leyes tienen una distribución zonal, identificándose cambios graduales de un punto a otro.
<input type="checkbox"/>	Errático: No existe una relación entre las leyes, ya que estas cambian radicalmente de un punto a otro en distancias muy pequeñas.

Nota: m = metros.

Fuente: Llanque *et al.*, (1999).

Asimismo, estas características se contrastaron con la clasificación geomecánica detallada anteriormente.

Tabla 26

Parámetros de evaluación geomecánica.

1. RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA

Resistencia a compresión simple (MPa)

- Pequeña : < a 8
- Mediana : 8 – 15
- Alta : > a 15

2. ESPACIAMIENTO ENTRE FRACTURAS

	Fracturas/m	RQD (%)
<input type="checkbox"/> Muy pequeño	<16	0 – 20
<input type="checkbox"/> Pequeño	10 - 16	20 – 40
<input type="checkbox"/> Grande	3 - 6	40 – 70
<input checked="" type="checkbox"/> Muy grande	3	70 – 100

3. RESISTENCIA DE LAS DISCONTINUIDADES

- Pequeña:** Discontinuidades limpias con una superficie suave o con material de relleno blando.
- Media:** Discontinuidades limpias con una superficie rugosa.
- Grande:** Discontinuidades rellenas con un material de resistencia igual o mayor que roca intacta.

Nota: m = metros.

Fuente: Llanque *et al.*, (1999).

Con las dos tablas anteriores se pudo clasificar el método de explotación tal como se muestra en las tablas siguientes:

Tabla 27*Clasificación del método de explotación por geometría del yacimiento y leyes.*

Geometría y distribución de leyes	Parámetros	Cielo abierto	Hundimiento por bloques	Cámaras por subnivel	Hundimiento por subniveles	Tajeo largo	Cámaras y pilares	Cámaras almacén	Corte y relleno	Entibación con marcos
Forma del yacimiento	Tabular	2	2	2	4	0	4	2	4	2
Potencia del mineral	Estrecho	2	-49	1	-49	4	4	1	4	4
Inclinación	Inclinado	4	4	4	4	-49	0	4	4	3
Distribución de leyes	Uniforme	3	4	3	4	4	3	3	3	3
TOTAL		11	-39	10	-37	-41	11	10	15	12

Nota: m = metros.

Fuente: Llanque *et al.*, (1999).

De acuerdo a la tabla 27, se determina que el método más óptimo para emplear en la concesión San Luis es Corte y Relleno, pero se va a corroborar con la tabla 28.

Tabla 28*Clasificación del método de explotación por características geomecánicas.*

Características geomecánicas	Parámetros	Cielo abierto	Hundimiento por bloques	Cámaras por subnivel	Hundimiento por subniveles	Tajeo largo	Cámaras y pilares	Cámaras almacén	Corte y relleno	Entibación con marcos
Resistencia de las rocas	Alta	4	1	4	1	0	4	1	2	2
Espaciamiento entre fracturas	Muy Grande	4	0	4	1	0	4	0	2	2
Resistencia de las discontinuidades	Media	3	2	2	2	2	2	2	3	3
TOTAL		11	3	10	4	2	10	3	7	7

Nota: m = metros.

Fuente: Llanque *et al.*, (1999).

Con los valores de estas dos tablas se sumaron en la tabla 29, para determinar cuál es el método más adecuado de acuerdo al mayor puntaje:

Tabla 29

Determinación del método de explotación por sumatoria.

Clasificación	Cielo abierto	Hundimiento por bloques	Cámaras por subnivel	Hundimiento por Subniveles	Tajeo largo	Cámaras y pilares	Cámaras almacén	Corte y relleno	Entibación con marcos
Geometría y distribución de leyes	11	3	10	4	2	10	3	7	7
Características geomecánicas	11	-39	10	-37	-41	11	10	15	12
TOTAL	22	-36	20	-33	-39	21	13	22	19

Fuente: Llanque *et al.*, (1999).

El método de explotación a cielo abierto se ha obviado, ya que de acuerdo a la entrevista al gerente de la concesión se estima costos muy altos para este método, es por ello que se ha optado por el método de Corte y Relleno para explotar las vetas angostas de la concesión San Luis.

3.3.1. Método de explotación de Corte y Relleno

De acuerdo a las sugerencias de los autores Huajardo (2014) y Sucasaca (2019) y a las características geométricas y geomecánicas del yacimiento se va a aplicar el método de corte y relleno ascendente. Considerando las siguientes condiciones:

- Condición de aplicación: este método es aplicable a yacimientos conformados por vetas angostas con buzamiento mayor a 70° y con roca caja competente con RMR de regular a bueno. Las vetas deben tener altas leyes de mineral rentable, en el caso de la concesión tienen leyes mayores del 20% de Plomo y Zinc. Para la explotación de estas vetas se van a utilizar carros mineros tipo U lo cual es lo más recomendable para vetas angostas.

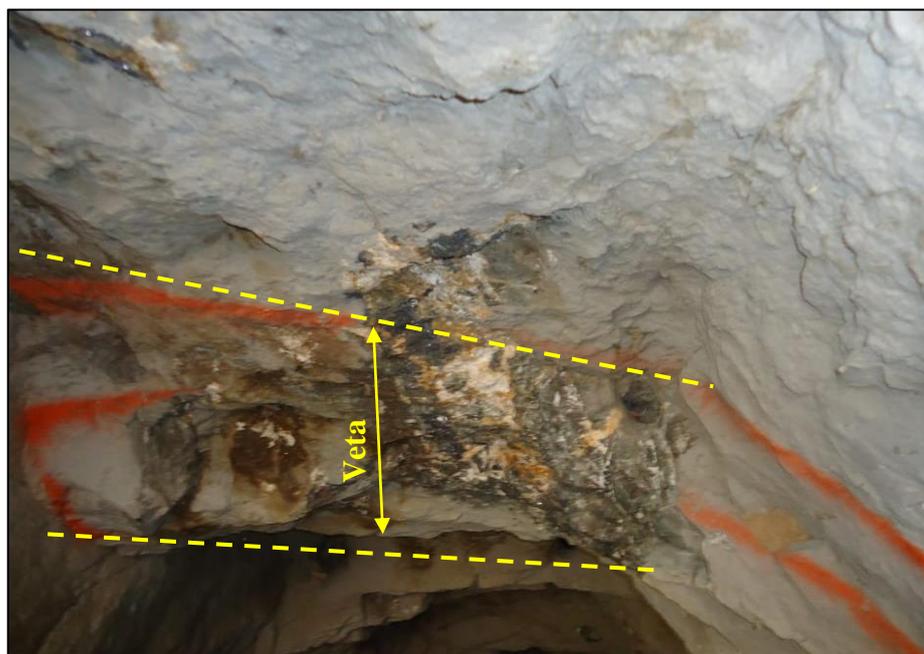


Figura 19. Buzamiento pronunciado de la veta en explotación.

Fuente: Elaboración propia, (2021).

- Producción

25 TM/día

650 TM/mes

7 800 TM/año.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Los resultados obtenidos demuestran la presencia de estructuras mineralizadas formadas por relleno hidrotermal de fisuras de sustancias mineralizantes bajo condiciones de moderada a baja temperatura y presión, por ello se acepta la hipótesis que el estudio geológico sí influye en la determinación del potencial de polimetálicos en la concesión minera San Luis, Distrito De San Luis, Provincia San Pablo, Cajamarca – 2021.

En la presente investigación se determinó 6.18 gr/tm de Oro, 87.18 gr/tm de Plata y 0.25% de Cobre, por lo tanto, el mineral principal a explotar es el oro.

Los clastos de este primer emplazamiento están casi totalmente silicificados y sólo presentan muy escasos y pequeños cristales de pirita, por tanto, este primer emplazamiento no represente altas concentraciones de mena, para su viabilidad económica.

En este emplazamiento se encuentran minerales correspondientes a mena por tanto constituye la fase principal de mineralización económica por zinc y plata.

En lo que respecta a mineralización metálica, al igual que el primer emplazamiento, no contiene mineralización de zinc y/o plata. Observándose únicamente escasos y cristales aislados de pirita y pseudomorfos de hematites en pirita.

Este es el emplazamiento mayormente rentable para la explotación de plata, ya que este mineral se encuentra libre, los minerales de cobre ayudan fuertemente a una mineralización más rica.

Córdova utilizó el criterio de Bieniawski (1989), la lava andesítica es de calidad Buena (RMR 51 a 68 - promedio 63), el pórfido dacítico-andesítico es de calidad Regular a Buena (RMR 49 a 67 - promedio 58), los tufos son de calidad Regular a Buena (RMR

39 a 63 - promedio 55), y las brechas son de calidad Regular (RMR 34 a 64 - promedio 49). Por tanto, en promedio se determinó que la roca es de calidad regular a buena. Concluye que el tiempo es un factor importante que influye en el comportamiento de la masa rocosa circundante a las excavaciones. Actualmente la cavidad Intermedio Central presenta el grado de estabilidad, si bien es cierto que no ha colapsado, sin embargo, en esta cavidad y posiblemente en otras cavidades grandes se están produciendo inestabilidades locales importantes; conforme pase el tiempo, la intemperización natural de la masa rocosa, el efecto de las vibraciones producidas por las voladuras y el efecto del agua, podrían acentuar progresivamente estas inestabilidades locales llegando a constituirse en un problema significativo si es que no se adoptaran las medidas que se recomiendan.

En esta tesis, igualmente se caracteriza el macizo rocoso el cual es Regular con un puntaje de 50, según Bienwiski 89, al contrario del antecedente de Córdova en esta tesis se plantea el método de explotación corte y relleno. A diferencia del antecedente que solo se identifica la calidad del macizo y se recomienda ampliar más estudios para posteriormente recomendar el método de explotación.

Sánchez y Chafloque (2019) comprobaron que la mineralización de Ag, Pb, Zn y Cu, de contenido polimetálico concuerda con los tres controles geológicos, al igual que en la presente investigación. Sin embargo, en el antecedente no presenta las condiciones fisicoquímicas favorables para el entrapamiento y circulación de los fluidos mineralizantes.

Schwab (2018) comprobó que el control mineralógico de las Vetas está constituido por piritita, calcopiritita, esfalerita, galena, galena argentífera, tetraedrita (Tenantita), esfalerita, cuarzo, yeso. Lo cual coincide con esta investigación, en donde se encontraron los minerales, calcopiritita, galena y cuarzo.

Dentro de las limitaciones de la investigación fueron el acceso limitado a la concesión por no contar con las medidas de seguridad geotécnica adecuada.

Se recomienda realizar muestreos mediante perforación para definir zonas de mayor interés con concentración mineral, asimismo, se recomienda realizar labores de exploración.

4.2. Conclusiones

El estudio geológico determina que la concesión minera San Luis si tiene potencial de polimetálico, Distrito De San Luis, Provincia San Pablo, Cajamarca – 2021.

La geología de la zona esta determinada por soluciones hidrotermales mineralizantes producidas durante la etapa de las intrusiones y depositadas en fracturas tensionales pre-existentes, formaron las vetas de menas las que consisten de un relleno de cuarzo, piritas y rocas encajonantes piritizada, y cantidades variables y en menor proporción de esfalerita, galena y disseminaciones calcopirita constituyendo la mena de rendimientos económicos.

Los tipos de alteración están definidos por soluciones hidrotermales mineralizantes producidas durante la etapa de las intrusiones y depositadas en fracturas tensionales pre-existentes, formaron las vetas de menas las que consisten de un relleno de cuarzo, piritas y rocas encajonantes piritizada, y cantidades variables y en menor proporción de esfalerita, galena y disseminaciones calcopirita constituyendo la mena de rendimientos económicos.

La zona con mayor potencial de polimetálicos en la concesión minera San Luis, es la veta Lady y está definida por estructuras de rumbos NW - SE y ENE; con buzamientos son por encima de los 60°.

La concesión minera San Luis es rentable ya que cuenta con más de 5 gr/ton de concentración de acuerdo al análisis de laboratorio.

REFERENCIAS

- Artezano, J. (2014). Implementación del método de explotación V.C.R. para mejorar la producción en mina Julia, U.E.A. Orcopampa, CÍA. de Minas Buenaventura S.A.A., Puno. (tesis de pregrado). Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1334/tesis%20artezano.pdf?s>
- Bonham, H.F., Jr., 1988, Models for volcanic-hosted precious metal deposits: A review, in Schafer, R.W., Cooper, J.J. y Vikre, P.G., eds., Bulk Mineable Precious Metal Deposits of Western United States: Geological Society of Nevada, p. 259-271.
- Boyle, R., 1672, Essay about the origine and virtues of gems: William Godbid, London, 185 p.
- Brathwaite, R.L., Mckay, D.F., 1989, Geology and exploration of the Martha Hill gold-silver deposit, Waihi: in Kear, D., ed., Mineral deposits of New Zealand: Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Monograph 13, p. 83-88.
- Brathwaite, R.L., Faure, K., 2002, The Waihi epithermal gold-silver-base metal sulfide-quartz vein system: temperature and salinity controls on electrum and sulfide deposition: *Economic Geology*, 97, 269-290.
- Breislak, S., 1818, Institusions géologiques: (traducido del francés por P.J.L Campmas) *Instituions geologiques*, Milan, 1, 468 p. Brewster, D., 1823a, On the existence of two new fluids in the cavities of minerals, which are immiscible, and which possess remarkable physical properties: *Edinburgh Philos.*, 9, p. 94-107.
- Carrillo, M., Suter, M., 1982, Tectónica de los alrededores de Zimapán, Hidalgo y Querétaro: Libro Guía de la Excursión Geológica de la C.F.E., Reunión Nacional Geotecnia y Geotermia.

Chira, J., Rivera, R., & Vargas, L. (2007). Geología Económica en las Regiones Lambayeque y Cajamarca. Boletín N° 17 Serie B. Dirección de Recursos Minerales y Energéticos (INGEMMET) Recuperado el 24 de Marzo de 2014, de:

<http://es.scribd.com/doc/166146297/BOLETIN-N%C2%BA-017-PROSPECCION->

[GEOQUIMICA-REGIONAL-DE-LA-CUENCA-DEL-RIO-JEQUETEPEQUE](http://es.scribd.com/doc/166146297/BOLETIN-N%C2%BA-017-PROSPECCION-GEOQUIMICA-REGIONAL-DE-LA-CUENCA-DEL-RIO-JEQUETEPEQUE)

Clarke, D.S., Lewis, R.H., Waldrom, H.M., 1990, Geology and trace element geochemistry of the Umuna goldsilver deposit, Misima Island, Papua New Guinea: Journal of Geochemical Exploration, v.35, p. 225-240.

Consejo General de Economistas de España. (2018). Informe de la Competitividad Regional en España 2018. España. Recuperado el 10 de 2019, de <https://economistasmurcia.org/coldata/upload/publicaciones/Informe%20CGE%20Competitividad%20Regional%20en%20Espa%C3%B1a%202118.pdf>

Cooke, D.R., Bloom, M.S., 1990, Epithermal and subjacent porphyry mineralization, Acupan, Baguio District, Philippines: a fluid-inclusion and paragenetic study: Journal of Geochemical Exploration, 35, 297-340.

Cooke, D.R., McPhail, D.C., Bloom, M.S., 1996, Epithermal gold mineralization, Acupan, Baguio district, Philippines: Geology, mineralization, alteration, and the thermochemical environment of ore deposition: Economic Geology, v. 91, p. 243-272.

Mangas, J., Sierra, J., 1991, Las inclusiones fluidas: Método de análisis e interpretación: en Lunar R. y Oyarzun R., p. 79-146.

Foro Económico Mundial. (2017). ¿Qué es la competitividad? Obtenido de <https://es.weforum.org/agenda/2016/10/que-es-la-competitividad/>

Gonzales, J. (2018). Evaluación Geológica de Mina Paredones. Tesis de grado en Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Instituto Peruano de Economía. (2019). Índice de Competitividad Regional 2019.

Recuperado el 10 de 2019, de <https://www.ipe.org.pe/portal/incore-2019-indice-de-competitividad-regional/>

Mérida, C.A., Ortiz, H.L.E., López R.J.E., 1993, Geología del Yacimiento Auroargentífero-Brechoide San Martín, Querétaro: XX Convención Nacional de la A.I.M.M.G.M., A.C., p. 216 - 226.

Motilla, J.L., 1994, Interpretación genética de un depósito epitermal Au-Ag, San Martín, Colón, Querétaro, México: Reporte interno de la Cía. Minera Teck, no publicado.

Ortiz, H.L.E., Solís P.G.N., 1985, Estudio metalogenético de la mina auroargentífera de San Martín, Mpio. Colón, Qro.: Gerencia de Estudios Especiales, Archivo Técnico del Consejo de Recursos Minerales.

Salazar, C., & Alarcón, D. (2016). Evaluación económica para explotación de arcillas tipo caolinita en la concesión minera Rumicucho, centro poblado Huayrapongo, distrito de Llacanora, provincia y departamento de Cajamarca, 2016. (tesis de pregrado). Cajamarca, Perú: Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/7558/Salazar%20Briones%20Francisco%20C%3%A9sar%20Alarc%C3%B3n%20V%3A1squez%20Deyver.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez, M., & Chafloque, R. (2019). La informalidad laboral en el Perú. Universidad San Martín de Porres. Obtenido de <https://www.administracion.usmp.edu.pe/investigacion/files/INFORMALIDAD-LABORAL-final-corregido.pdf>

Schwab, K. (2018). The Global Competitiveness Report 2018. Suiza. Recuperado el 21 de 09 de 2019

- Sillitoe, R.H., 1977, Metallic mineralization affiliated to subaerial volcanism: A review, in Volcanic processes in ore genesis: London, Institution of Mining and Metallurgy and Geological Society, p. 99-116.
- Sillitoe, R.H., 1993, Epithermal models: Genetic types, geometrical controls and Shallow features, Geological Association of Canada, Special paper 40, p. 403-417.
- Sillitoe, R.H., Steele, G.B., Thompsom, J.F.H., Lang, J.R., 1998, Advanced argillic lithocaps in the Bolivian tin-silver belt: Mineralium Deposita, v.33, p. 539-546.
- Valdivia, J. (2017). Reinterpretación geológica, perforación diamantina y cubicación de recursos minerales en el cuerpo Eliana, Unidad Minera San Rafael – Minsur S.A., Melgar, Puno. (tesis de pregrado). Arequipa, Perú: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3288/GLvapajb12.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valenzuela, G., & Buendía, c. (2020). Evaluación geológica para el cálculo de reservas y estimación de recursos minerales del prospecto minero Chaupiloma 2007. (tesis de pregrado). Huancayo, Perú: Universidad Continental. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7892/1/IV_FIN_110_TE_Valenzuela_Buendia_2020.pdf
- Virrueta, J. (1998). Evaluación Geoeconómica de Mina Paredones. Sociedad Geológica del Perú, Lima.

ANEXOS

ANEXO n.º 1. Instrumentos de investigación

Tabla 30

Resistencia de la muestra.

Resistencia de la Roca Intacta	Ensayo Carga Puntual Digital	MUESTRA 1			
		<10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa
Valor		15	12	7	4

Tabla 31

Presencia de agua.

DESCRIPCIÓN	RANGO
Completamente Seco	15
Semi Húmedo	10
Húmedo	7
Mojado	4
Flujo de Agua	0

Tabla 32

Determinación del RQD.

RQD (%)	Calidad de la Roca
100 – 90	Muy Buena
90 – 75	Buena
75 – 50	Regular
50 – 25	Mala
0 – 25	Muy Mala

Tabla 33

Espaciado entre discontinuidades.

Fractura	Espaciado	Espaciamiento (cm)
Promedio		

Tabla 34

Descripción del espaciado.

Descripción	Espaciado	
	Mm	Cm
Extremadamente cerrado	< 20	< 2cm
Muy cerrado	20 – 60	2cm – 6cm
Cerrado	60 – 200	6cm – 20cm
Moderado	200 – 600	20cm – 60cm
Espaciado	600 – 2000	60cm - 2m
Muy espaciado	2000 – 6000	2m - 6m
Extremadamente espaciado	> 600	> 6m

Tabla 35
Persistencia de las discontinuidades.

Fractura	Persistencia (m)
Promedio	

Tabla 36
Descripción de persistencia.

Descripción de Persistencia	
Persistencia	Longitud (m)
Muy Baja Persistencia	< 1
Baja Persistencia	1 – 3
Persistencia Media	3 – 10
Alta Persistencia	10 – 20
Muy Alta Persistencia	> 20

Tabla 37
Apertura de fracturas.

Fractura	Apertura (mm)
Promedio	

Tabla 38
Abertura de las discontinuidades.

Descripción de la Abertura	
Descripción	Abertura
Muy Cerrada	Ninguna
Cerrada	< 0.1 mm
Parcialmente Abierta	0.1 – 1.0 mm
Abierta	1 – 5 mm
Muy Abierta	> 5 mm

Tabla 39
Clasificación de la rugosidad.

Rugosidad	Puntaje
Muy Rugosa	6
Rugosa	5
Ligeramente Rugosa	3
Ondulada	1
Suave	0

Tabla 40

Relleno de las discontinuidades.

Grado	Descripción	Estimación en Terreno de la Resistencia
S1	Arcilla muy blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas con el puño.
S2	Arcilla blanda	Penetra fácilmente varias pulgadas con el dedo.
S3	Arcilla semidura	Penetra fácilmente varias pulgadas con el dedo, usando esfuerzo moderado.
S4	Arcilla dura	Deja fácilmente hendidura fácilmente hendidura por la acción del dedo pulgar, pero penetra solamente con gran usando esfuerzo moderado.
S5	Arcilla muy dura	Mallada fácilmente por la uña del pulgar.
S6	Arcilla extremadamente dura	Mallada con dificultad por la uña del pulgar.
R0	Extremadamente Débil	Mallada por la uña del pulgar.

Fuente: Gonzáles, 2002.

Tabla 41

Meteorización de las discontinuidades.

Término	Descripción
Fresco	No hay señales visibles de meteorización. Si acaso una tenue decoloración en superficies de discontinuidades más desarrolladas.
Levemente meteorizado	Decoloración indica meteorización de la roca intacta y superficies de discontinuidad. La roca puede estar algo más débil externamente que en condición fresca.
Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. La roca puede estar fresca o descompuesta y/o desintegrada a suelo.
Altamente meteorizado	Más de mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrado. La estructura del macizo
Completamente meteorizado	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado. La estructura del macizo original está prácticamente intacta.
Suelo residual	Todo el material rocoso está descompuesta o desintegrada a suelo. La estructura del macizo original y su textura ha sido destruida. Hay un gran cambio de volumen, pero el suelo no ha sido transportado.

Fuente: Gonzáles, 2002.

Tabla 42
Cálculo del RMR para el macizo rocoso.

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	Puntuación		20	17	13	6	5		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min		
		Relación de agua / Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Fuente: Bienawski, (1989)

Tabla 43
Clasificación RMR para el macizo rocoso.

RMR	Descripción
0 – 20	Muy pobre
21 – 40	Pobre
41 – 60	Regular
61 – 80	Bueno
81 – 100	Muy bueno

IV. COMPOSICIÓN MINERALÓGICA:

1. MINERALES PRIMARIOS:

1.1 MINERALES ESCENCIALES:

1.2 MINERALES ACCESORIOS:

2. MINERALES SECUNDARIOS:

V. NOMBRE DE LA ROCA: