



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Maestría en Minas Mención en Mineralurgia y Metalurgia Extractiva

Caracterización físico – química y mineralógica del material proveniente
de la concesión “Las Paralelas” código 462.

Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Magister en
Minas mención en Mineralurgia y
Metalurgia Extractiva

AUTOR:

Ing. Alex David Cevallos Pacheco

DIRECTOR:

Ing. Hernán Luis Castillo García. PhD

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 28 de abril de 2023

Ing. Hernán Luis Castillo García. PhD

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización físico – química y mineralógica del material proveniente de la concesión “Las Paralelas” código 462.**, previo a la obtención del título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, de la autoría del **estudiante Alex David Cevallos Pacheco**, con **cedula de identidad Nro. 1104682990**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Hernán Luis Castillo García. PhD

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Alex David Cevallos Pacheco**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de identidad: 1104682990

Fecha: 15-05-2023

Correo electrónico: alex.cevallos@unl.edu.ec

Teléfono: 0987864783

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Alex David Cevallos Pacheco**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización físico – química y mineralógica del material proveniente de la concesión “Las Paralelas” código 462.**, como requisito para optar por el título de **Magister en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los quince días del mes de mayo de dos mil veintitrés.

Firma:

Autor: Alex David Cevallos Pacheco

Cédula: 1104682990

Dirección: Loja

Correo electrónico: alex.cevallos@unl.edu.ec

Teléfono: 0987864783

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Trabajo de Titulación: Ing. Hernán Luis Castillo García. PhD

Dedicatoria

A Dios, que me ha permitido culminar una etapa más en mi vida, dándome el valor y la fortaleza para salir siempre adelante.

A mis padres, Inés Pacheco y Olmedo Cevallos, por apoyarme en cada decisión que he tomado y darme su amor infinito, por regirme por el buen camino e inculcarme la práctica de buenos valores haciendo de mí una persona de bien.

A mis hijas Romina Isabella y Samantha Alexandra, por ser el motor de mi vida, por ser el pilar fundamental, son mi motivo de superación, es por ellas por quien lucho cada día, para ser mejor, y ser su ejemplo e incentivo a seguir.

A mi querida compañera, Thalía, quien, con su amor y paciencia, me impulso a terminar este trabajo de investigación, espero la vida nos permita compartir muchos momentos más de nuestros caminos.

Alex David Cevallos Pacheco

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja, por abrirme sus puertas y tener la oportunidad de obtener conocimientos técnicos, elementales y científicos, adquiridos en cada una de las materias, de igual manera a mis maestros de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Maestría en Minas quienes pusieron en mis sus conocimientos para culminar mis estudios de postgrado.

A mi tutor Ing. Hernán Castillo, quien pacientemente dirigió el desarrollo del presente trabajo investigativo de la mejor manera, me llevo grandes aprendizajes y experiencias, aporte fundamental para concluir satisfactoriamente esta investigación.

Así mismo a todos mis compañeros y amigos que de una u otra forma me han ayudado para poder terminar esta investigación.

De manera especial al laboratorio BIZALAB, quienes facilitaron este estudio con el procesamiento y análisis de las respectivas muestras, con acertados resultados, representado un apoyo primordial para ejecutar y finalizar esta investigación.

Alex David Cevallos Pacheco

Índice de contenidos

| | |
|--|-----------|
| Portada..... | i |
| Certificación..... | ii |
| Autoría | iii |
| Carta de autorización por parte del autor..... | iv |
| Dedicatoria..... | v |
| Agradecimiento | vi |
| Índice de contenidos..... | vii |
| Índice de tablas: | ix |
| Índice de figuras:..... | x |
| Índice de anexos: | xi |
| 1. Título..... | 1 |
| 2. Resumen..... | 2 |
| 2.1. Abstract. | 3 |
| 3. Introducción | 4 |
| Objetivo General | 5 |
| Objetivos específicos | 5 |
| 4. Marco teórico | 6 |
| 4.1. Yacimientos Minerales..... | 6 |
| 4.1.1. Yacimientos hidrotermales | 6 |
| 4.2. Muestreo..... | 7 |
| 4.2.1. Métodos de muestreo | 8 |
| 4.3. Caracterización de minerales | 9 |
| 4.3.1. Métodos mineralógicos | 9 |
| 4.3.2. Métodos Petrográficos | 9 |
| 4.3.3. Análisis petrográficos mediante la técnica de secciones delgadas | 10 |
| 4.4. Métodos físico-químicos | 11 |
| 4.4.1. Difracción de rayos X | 11 |
| 4.4.2. Espectrofotometría de absorción atómica | 11 |
| 4.5. Minería | 12 |
| 4.5.1. Metalurgia | 12 |
| 5. Metodología | 14 |
| 5.1. Materiales | 14 |
| 5.2. Ubicación | 14 |
| 5.3. Acceso | 15 |

| | |
|--|-----------|
| 5.4. Geología regional | 15 |
| 5.5. Métodos..... | 18 |
| 5.5.1. Metodología para el primer objetivo: Obtener el análisis físico químico de la mena proveniente de la mina “Las Paralelas” código 462..... | 18 |
| 5.5.2. Metodología para el segundo objetivo: Elaborar el análisis mineralógico de la mena proveniente de la mina “Las Paralelas” código 462..... | 21 |
| 5.5.3. Metodología para el tercer objetivo: Proponer el método de tratamiento adecuado para la recuperación del mineral de interés | 21 |
| 6. Resultados..... | 23 |
| 6.1.1. Geología..... | 23 |
| 6.1.2. Yacimiento..... | 23 |
| 6.1.3. Minerales de mena y ganga..... | 24 |
| 6.1.4. Propiedades físicas..... | 24 |
| 6.2. Análisis mineralógico de la mena | 26 |
| 6.2.1. Análisis petrológicos..... | 26 |
| 6.2.2. Análisis metalúrgico | 29 |
| 6.2.3. Propiedades químicas..... | 29 |
| 6.3. Propuesta al método de tratamiento para la recuperación del mineral de interés..... | 31 |
| 6.3.1. Gravimetría: | 31 |
| 6.3.2. Lixiviación mediante cianuración por carbón activado: | 32 |
| 7. Discusión | 34 |
| 8. Conclusiones | 36 |
| 9. Recomendaciones | 37 |
| 10. Bibliografía | 38 |
| 11. Anexos | 40 |

Índice de tablas:

| | |
|--|-----------|
| Tabla 1. Materiales..... | 14 |
| Tabla 2. Resultados peso específico real | 24 |
| Tabla 3. Resultados peso específico aparente..... | 25 |
| Tabla 4. Resultados de porosidad | 25 |
| Tabla 5. Resultados de pH | 25 |
| Tabla 6. Descripción de litología muestra 1 | 26 |
| Tabla 7. Descripción de litología muestra 2 | 27 |
| Tabla 8. Descripción de litología muestra 3 | 27 |
| Tabla 9. Descripción de litología muestra 4 | 28 |
| Tabla 10. Ensayo al fuego..... | 29 |
| Tabla 11. Resultados de fluorescencia de rayos X..... | 29 |
| Tabla 12. Resultados de difracción d rayos X | 30 |
| Tabla 13. Ensayo multielementos | 31 |
| Tabla 14. Prueba de lixiviación..... | 32 |

Índice de figuras:

| | |
|---|-----------|
| <i>Figura 1. Ilustración que representa la relación entre un cuerpo ígneo y los yacimientos hidrotermales y de pegmatita asociados.....</i> | <i>7</i> |
| <i>Figura 2. Muestreo ranurado continuo.....</i> | <i>8</i> |
| <i>Figura 3. Muestreo de carros o camiones.....</i> | <i>9</i> |
| <i>Figura 4. Equipos de reducción.....</i> | <i>13</i> |
| <i>Figura 5. Mapa de ubicación.....</i> | <i>15</i> |
| <i>Figura 6. Mapa de Geología regional del cantón Camilo Ponce Enríquez.....</i> | <i>16</i> |
| Figura 7. Medición de la potencia de la veta..... | 19 |
| Figura 8. Homogeneización y cuarteo..... | 19 |
| Figura 9. Peso y almacenamiento..... | 20 |
| Figura 10. Homogeneización y cuarteo..... | 22 |
| Figura 11. Muestra 1..... | 26 |
| Figura 12. Muestra 2..... | 27 |
| Figura 13. Muestra 3..... | 28 |
| Figura 14. Muestra 4..... | 29 |

Índice de anexos:

| | |
|--|-----------|
| Anexo 1. Ensayos de difracción y difracción de rayos X..... | 40 |
| Anexo 2. ICP Multielementos | 47 |
| Anexo 3. Prueba de lixiviación y ensayo al fuego..... | 48 |
| Anexo 4. Certificado de traducción | 49 |

1. Título.

Caracterización físico – química y mineralógica del material proveniente de la concesión “Las Paralelas” código 462.

2. Resumen

La mineralogía de procesos es una herramienta que ofrece información de gran utilidad para la modificación de procesos de obtención de oro para mejorar su eficiencia. El presente trabajo denominado “Caracterización físico – química y mineralógica del material proveniente de la concesión “Las Paralelas” código 462”. Tiene por objetivo realizar el análisis físico por medio de ensayos del peso específico, porosidad, pH y contenido de humedad, los análisis químicos se realizaron a través de ensayos de fluorescencia y difracción de rayos X, de igual manera se realizó el ensayo al fuego, y prueba de lixiviación a fin de caracterizar la mena.

El área minera “Las Paralelas” se encuentra ubicado dentro de la localidad de San Gerardo, con respecto a la geología está conformado por areniscas volcánicas de grano grueso, brechas, tobas, basaltos, y andesitas de color gris verdoso oscuro, lavas, limonita volcánica perteneciente a la Formación Pallatanga. Por otro lado, el yacimiento está relacionado a vetas cuarcíferas, de color blanco lechoso a gris, conformados mediante relleno de cavidades e intrusiones, de carácter hidrotermal, dando como resultado un tipo de yacimiento o depósito meso-epitermal.

En los análisis metalúrgicos se determinó la ley de cabeza de 36.78 gr/TM y la ley del concentrado de 21.63 gr/TM, en el que se evidencia una recuperación del 58% que corresponde a bajo. Asimismo, los resultados de fluorescencia de rayos x y difracción muestran concentraciones sílice, carbonatos, hierro, manganeso y arsénico en su mayoría corresponden a elementos penalizantes que dificultan la recuperación por medio de lixiviación y a su vez en flotación contaminan el concentrado.

En este contexto, se propone un proceso que inicia por la concentración gravimétrica misma que al determinar la densidad de la roca se pudo determinar que está compuesta por minerales que van en el rango de 2.6 a 2.7 gr/cm³ permitiendo la precipitación del oro, posterior realizar lixiviación por medio de soluciones de tiosulfato de sodio y amonio, así como ácido sulfúrico; este proceso permite purificar la mena y extraer más del 60% de mineral, finalmente se puede realizar un proceso de flotación para aumentar la recuperación.

Palabras clave: Metalurgia, minerales penalizantes, gravimetría, lixiviación,

2.1. Abstract.

Process mineralogy is a tool that offers very useful information for the modification of gold extraction processes to improve their efficiency. The present work is called "Physical-chemical and mineralogical characterization of the material coming from the "Las Paralelas" concession, code 462". The objective is to perform the physical analysis using specific weight, porosity, pH, and moisture content tests, the chemical analysis was performed through fluorescence and X-ray diffraction tests, as well as the fire test and leaching test in order to characterize the ore.

The mining area "Las Paralelas" is located within the town of San Gerardo, respect to the geology is made up of coarse-grained volcanic sandstones, breccias, tuffs, basalts, and andesites of dark greenish-gray color, lavas, volcanic limonite belonging to the Pallatanga formation. On the other hand, the deposit is related to quartz veins, milky white to gray, formed by filling cavities and intrusions, of hydrothermal character, resulting in a type of deposit or meso-epithermal deposit.

The metallurgical analysis determined a head grade of 36.78 g/mt and a concentrate grade of 21.63 g/mt, showing a recovery of 58%, which corresponds to low. Likewise, the x-ray fluorescence and diffraction results show concentrations of silica, carbonates, iron, manganese, and arsenic, most of which correspond to penalizing elements that hinder recovery by leaching and, in turn, contaminate the concentrate in flotation.

In this context, a process is proposed that begins with gravimetric concentration, which by determining the density of the rock it was determined that it is composed of minerals ranging from 2.6 to 2.7 gr/cm³ allowing the precipitation of gold, then leaching through sodium and ammonium thiosulfate solutions, as well as sulfuric acid; this process allows purifying the ore and extracting more than 60% of mineral. Finally, a flotation process can be carried out to increase the recovery.

Keywords: Metallurgy, penalizing minerals, gravimetry, leaching.

3. Introducción

La minería es un eje fundamental en todas las sociedades, la extracción y beneficio de recursos naturales no renovables es esencial para asegurar el bienestar y el desarrollo de las comunidades. Es una industria global, que implica recursos humanos, ambientales y financieros. Un mal planteamiento de la minería puede crear desigualdad y degradación ambiental, pero hoy en día tiene una oportunidad sin precedentes para convertirse en uno de los principales motores para avanzar en los Objetivos del Desarrollo Sostenible de la ONU. (Minería Sostenible de Galicia, 2019).

Dentro de la industria minera es primordial la selección de un método efectivo de recuperación, el cual presente la mayor rentabilidad, por lo cual se vuelve indispensable para la elección del método de recuperación conocer las características físico-químicas y mineralógicas del material proveniente de mina.

Bajo esta consideración el presente trabajo se enmarca en caracterizar técnicamente el material de la concesión minera “LAS PARALELAS” CÓDIGO 462, esta caracterización servirá principalmente para actualizar la caracterización ya existente y proponer un método de tratamiento adecuado. Dentro de las técnicas utilizadas para la caracterización del material se utilizan métodos como: análisis de propiedades índice de la roca, elaboración y análisis de láminas delgadas, difracción de rayos X y absorción atómica.

El presente trabajo investigativo presenta medularmente el siguiente esquema: Marco teórico, donde se abarca los conceptos, definiciones y descripción de las técnicas utilizadas para la caracterización del material de mena; Metodología utilizada para el desarrollo del trabajo; Resultados, en este apartado se presenta el desarrollo de las técnicas de análisis utilizadas y las características del material analizado; Discusión, se analiza los datos obtenidos en el apartado anterior y se propone un método de recuperación adecuado; Conclusiones y Recomendaciones del trabajo realizado.

Localmente el presente trabajo científico experimental se justifica por la necesidad de conocer la caracterización del mineral proveniente de la concesión minera “LAS PARALELAS” código 462, información que permitirá al titular determinar si el proceso de beneficio mineral usado actualmente es el adecuado.

Objetivo General

- Determinar las características físico químicas y mineralógicas del material proveniente de la mina “LAS PARALELAS” código 462.

Objetivos específicos

- Obtener el análisis físico químico de la mena proveniente de la mina “LAS PARALELAS” código 462.
- Elaborar el análisis mineralógico de la mena proveniente de la mina “LAS PARALELAS” código 462.
- Proponer el método de tratamiento adecuado para la recuperación del mineral de interés.

4. Marco teórico

4.1. Yacimientos Minerales

Un yacimiento mineral es una acumulación natural de uno o varios minerales que contienen elementos químicos de beneficio económico, entre ellos los metales, concentrados por encima de su abundancia media en la corteza terrestre o en las rocas que la componen (Herrmann & Zappettini, 2014, p. 3).

Herrmann & Zappettini (2014, p. 3), señala que, la formación de los depósitos minerales se debe a la concentración de elementos de procesos geológicos naturales, que incluyen cambios físicos y químicos en rocas y minerales, pueden agruparse en procesos endógenos (interior de la corteza terrestre por la liberación de calor), o exógenos (superficie debido a la interacción de las rocas con la atmosfera, biosfera e hidrosfera).

Desde el punto de vista metalúrgico se hace referencia a dos términos:

Mena: Es el mineral que presenta interés minero, se refiere a minerales metálicos y es el mineral del que se extrae el elemento de interés. El tenor es el porcentaje neto de mineral económicamente recuperable de una mena (Rosado, s.f.).

Ganga: Comprende a los minerales que acompañan a la mena, pero que no presentan interés minero en el momento de la explotación. Conviene resaltar que los minerales como ganga en determinados momentos se han transformados en menas al conocerse alguna aplicación nueva para los mismos (Rosado, s.f.).

A continuación, se describe el tipo de yacimiento que abarca al área de estudio:

4.1.1. Yacimientos hidrotermales

Según Bateman (1982, p. 110), son yacimientos en los que la diferenciación magmática da origen a un producto final de fluidos en el cual pueden estar concentrados los metales que originariamente estaban presentes en el magma. Estas soluciones hidrotermales transportan los metales desde la intrusión en consolidación hasta el lugar de la deposición del metal

La Figura 1. Representa la relación entre un cuerpo ígneo y los yacimientos hidrotermales y de pegmatita asociados.

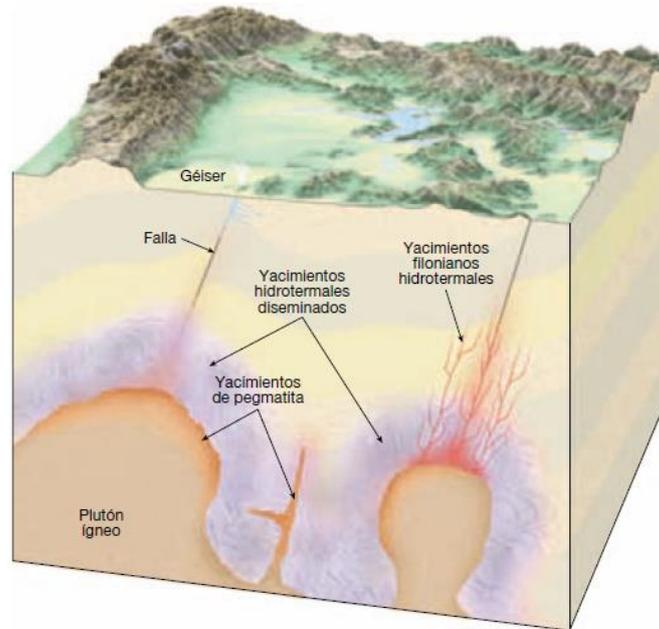


Figura 1. Ilustración que representa la relación entre un cuerpo ígneo y los yacimientos hidrotermales y de pegmatita asociados.

Nota: Edward J. Tarbuck & Frederick K. Lutgens (2005, p. 612)

Según Lindgren (1933) como se citó en Evans (1993, pp. 102–106), los yacimientos hidrotermales se dividen en:

- **Hipotermal:** Deposición y concentración a grandes profundidades, temperatura y presión elevadas. Temperatura entre 300° y 500°C; presión muy alta.
- **Mesotermiales:** Se forman a una profundidad de 1200 a 4500 metros, a una temperatura de 200 a 300° C, los minerales asociados son: Au, Ag, Cu, As, Pb, Zn, Ni, Co, W, Mo, U etc, se encuentra, oro nativo, calcopirita, bornita, pirita, esfalerita, galena etc. En las zonas de mineralización naturales se presentan depósitos extensos de reemplazo o rellenos de fracturas. Los límites de los yacimientos a menudo son graduales desde mineral masivo a diseminado. Cuerpos tabulares, laminados, zonas, stockworks y fisuras regulares.
- **Epitermales:** Se forma cerca de la superficie a 1000 metros, a una temperatura de 50 a 200°C, los minerales asociados, Pb, Zn, Au, Ag, Hg, Sb, Cu, Se, Bi, U, se encuentra oro nativo, plata nativa, cobre, pirita. En las zonas de mineralización naturales se presentan: tipo vetas simples-algunas irregulares con desarrollo de mineral, cámaras comúnmente en stockworks.
- **Teletermales:** Temperaturas y presiones bajas; es el término más alto del rango hidrotermal.

4.2. Muestreo

Según Alfaro (2002, p. 5), el muestreo es la acción de recoger muestras representativas de la calidad para inferir el valor de una o varias características del conjunto.

Muestra: Es una porción extraída de un conjunto por métodos que permiten considerarla como representativa del mismo (Alfaro, 2002, p. 5).

4.2.1. Métodos de muestreo

Los métodos de muestreo se dividen por la fase de trabajo es decir exploración, de producción, en plantas y en escombreras, este trabajo abarca los de producción, que se detallan a continuación:

- **Ranurado continuo (Channel sampling):** Consiste en la excavación de un canal estrecho y continuo, bien a lo largo de la capa o vena o bien en ángulo recto al trazado de ésta, las dimensiones de la acanaladura suelen ser del orden de 8-10 cm de anchura por 2-3 cm de profundidad, manteniéndose estas dimensiones constantes, finalmente se toma como muestra el total del material excavado en la acanaladura (IngeOexpert, s.f.).



Figura 2. Muestreo ranurado continuo.

Nota: Tipos de Muestreo En Minería – Ingeoexpert (2020)

- **Ranurado discontinuo (Chip sampling):** Consiste en recolectar muestras del cuerpo mineralizado en puntos distribuidos geoméricamente, ya sea de forma lineal o formando una malla regular en dos dimensiones; la distancia entre puntos es variable pero no debe superar los 20 cm y la cantidad de muestra debe ser siempre igual (IngeOexpert, s.f.).
- **Muestreo a partir del material ya extraído (grab sampling):** Consiste en recoger grandes muestras a partir de material ya extraído previamente y acumulado en las zonas de stock, de igual manera se puede recolectar cuando el material se encuentra en los medios de transporte, la cantidad depende del tamaño de los fragmentos grandes y de la naturaleza de la mineralización (IngeOexpert, s.f.).



Figura 3. Muestreo de carros o camiones

Nota: Contreras, (2016)

- **Muestreo en masa (bulk sampling):** Consiste en la recogida de muestras de gran volumen (500 toneladas o más). Se utiliza en yacimientos de muy baja ley, en los que las pequeñas desviaciones en la ley pueden tener un efecto crítico como aporte de mineral a una planta piloto.

4.3. Caracterización de minerales

El conocimiento de las propiedades físicas y químicas de los minerales, es de vital importancia para aprovechar sus propiedades, a continuación, se mencionan los métodos más empleados:

4.3.1. Métodos mineralógicos

Lye (1980, pp. 25–29), menciona las propiedades índices para identificar minerales:

- **Dureza:** Es el grado de resistencia que opone un mineral a ser rayado por otro, para ello se utiliza la escala de Mohs.
- **Peso específico:** Es la relación entre el peso del mineral y el de igual volumen de agua
- **Exfoliación:** Es la propiedad que tienen algunos minerales para romperse en superficies planas y cuando no cumplen con esta condición se conoce como fractura.
- **Color y raya:** Es un ensayo que consiste en rayar el mineral y producir polvo (raya), y puede ser diferente color al de la superficie.
- **Transparencia:** Es la propiedad para dejar pasar la luz con facilidad.
- **Refracción:** Cuando los rayos de luz pasan del aire al mineral se curvan o se refractan.
- **Brillo:** Se define como brillante o lustrosa, es la capacidad de reflexión de la luz.

4.3.2. Métodos Petrográficos

El estudio de los minerales y rocas mediante el microscopio de luz polarizada es una de las técnicas más ampliamente reconocidas ya que no solo permite reconocer y cuantificar la

composición mineralógica de una muestra sino también establecer sus características texturales, y por consiguiente inferir su ámbito genético (Pozo, 2019, p. 98).

Propiedades índices de las rocas

Según González de Vallejo (2002, p. 127), las propiedades índices de las rocas se dividen en físicas y mecánicas:

- **Propiedades físicas:**

Composición mineralógica: Puede obtener por descripción visual, láminas delgadas, microscopía óptica y electrónica o difracción de rayos x.

Porosidad: Es la relación entre el volumen ocupado por los poros de la roca y el volumen total.

la propiedad de los materiales de absorber agua líquida en contacto con los mismos.

Permeabilidad: Es la capacidad de transmitir agua de una roca.

Peso específico: Es el peso por unidad de volumen.

Adsorción: Es la adhesión de moléculas de gases o de moléculas en solución a las superficies de los cuerpos sólidos con los que están en contacto. La higroscopicidad es la propiedad de los materiales de adsorber vapor de agua de la atmósfera.

Absorción: Es la incorporación o asimilación de líquidos en el interior del sistema poroso del material.

- **Propiedades mecánicas:**

Resistencia a la compresión simple: Es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial.

4.3.3. Análisis petrográficos mediante la técnica de secciones delgadas

Este análisis se realiza con un microscopio de luz polarizada, en primer instancia se extraen láminas de la roca para la elaboración de las secciones delgadas, para lo que es necesario inyectar una resina epóxica, con el fin de aumentar la cohesión de las partículas; además, se facilita el reconocimiento de la porosidad y micro-fisuras presentes en las muestras durante la fase de observación (Vera et al., 2018, p. 29).

4.4. Métodos físico-químicos

Se hace uso de técnicas de caracterización de avanzada como: difracción de rayos x, fluorescencia de rayos x, microscopía electrónica de barrido, espectrofotometría de absorción atómica y análisis térmico, a continuación, se describen las empleadas en el presente trabajo:

4.4.1. Difracción de rayos X

Constituye uno de los métodos más fiable de identificación mineralógica en todos aquellos materiales que presentan una estructura cristalina y por consiguiente sus componentes están ordenados espacialmente. Vera y otros. (2018), mencionan:

Está en el fenómeno de difracción de rayos X descrito a través de la ley de Bragg. Debido a que los rayos X poseen longitudes de onda del mismo orden de magnitud que los radios atómicos, al entrar en contacto la radiación con un material cristalino, ésta es difractada por los electrones que rodean los átomos de la muestra, produciéndose un patrón de difracción, que al ser estudiado y refinado permite el conocimiento de la posición, estructura y composición de las fases cristalinas constitutivas del material (p.18).

El ensayo se basa en la utilización de una radiación, monocromática y en la desorientación de los distintos cristales que forman parte de la mezcla, obteniéndose un espectro que refleja las distintas fases cristalinas que la componen y su orientación preferente. Dentro de esta técnica hay dos métodos: el de cámara de polvo y el del difractómetro de polvo. En el primer caso el espectro se obtiene en papel fotográfico, mientras que en el segundo se obtiene un registro gráfico de las señales que producen en distintos detectores electrónicos de radiación las reflexiones. En este segundo caso es más precisa la medida de las intensidades, ya que en el primero se realiza este proceso considerando el ennegrecimiento de la película, mayor cuanto mayor sea la intensidad de las reflexiones (Perez, 2001, p. 793).

4.4.2. Espectrofotometría de absorción atómica

Este método emplea la absorción de la luz para medir la concentración de átomos en fase gaseosa. Los átomos libres producidos en un atomizador a partir de una muestra (llama u horno de grafito calentado eléctricamente) pueden absorber radiación de su longitud de onda específica de resonancia generada por una fuente externa. Si la luz de esta longitud de onda específica pasa a través del atomizador que contiene el vapor atómico del elemento, parte de la luz será absorbida, y el grado de absorción será proporcional a la densidad de átomos en el paso de la luz. Más de 60 elementos metálicos pueden determinarse, en un amplio rango de

concentraciones mediante este método con una buena sensibilidad y precisión (Kastenmayer, 1997).

En EAA se emplean lámparas específicas dependiendo del elemento que se va a determinar. Estas son capaces de emitir una línea atómica características. Los ensayos de espectrofotometría son:

- **Espectrofotometría de absorción atómica por flama:** la disolución de la muestra es nebulizada mediante un flujo de gas oxidante mezclado con el gas combustible, y se transporta a una llama donde se produce la atomización. En la flama se atomizan los componentes de las muestras. Aunque emiten radiación electromagnética de diferentes longitudes de onda, estas son separadas en el monocromador y la línea de interés llega al detector y finalmente al sistema (Estrella, 2017).
- **Espectrofotometría de absorción atómica por horno de grafito:** es una atomización electrotérmica donde se usa un fuerte calentamiento de una resistencia eléctrica para atomizar por completo una alícuota de muestra. El proceso de calefacción transcurre en tres etapas: secado, mineralización y atomización. En esta técnica la temperatura exacta y la duración de cada etapa depende de la naturaleza del analito y tipo de muestra (Estrella, 2017).

4.5. Minería

Es la actividad industrial que permite a extracción y obtención selectiva de sustancias minerales sólidos, existentes en la corteza terrestres para su transferencia en materias primas (Herbert & Ortiz, 2007). La misma contempla etapa como: prospección, exploración, explotación, tratamiento, beneficio, refinación y comercialización.

4.5.1. Metalurgia

Es la ciencia y tecnología de la separación de los metales a partir de sus menas y de la preparación de aleaciones (Ruiz & Borna, 2011, p. 16). El proceso general es el siguiente:

1. Conminución: Son aquellos procesos que tienen que ver con la acción de reducción de tamaño de los minerales y permiten liberar las especies valiosas contenidas en ellos, en etapa se consideran tres pasos: voladura en la mina; trituración y molienda en planta (ver Figura 4).

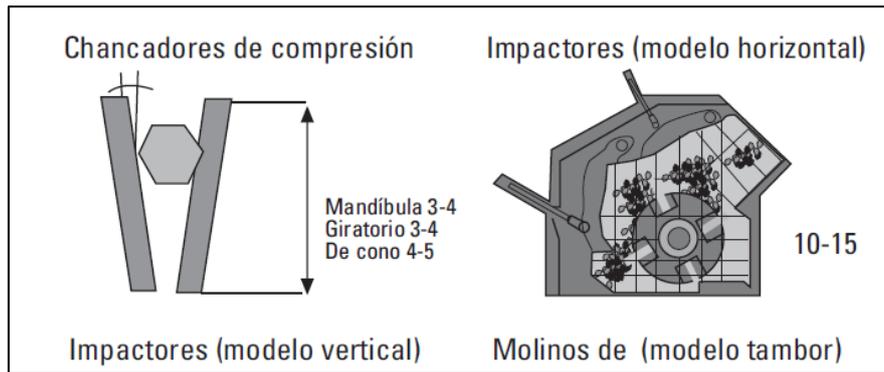


Figura 4. Equipos de reducción
Nota: Portal Minero S.A (2006, p. 95)

2. Concentración: Es la operación en la cual se eleva el tenor o concentración de una mena o mineral determinado, mediante el uso de equipos de separación produciéndose así la segregación de dos o más especies mineralógicas (Bustamante et al., 2008, p. 1). En el cual existen algunos métodos que se citan a continuación:

- **Gravimetría:** Es la diferencia de densidades entre los minerales a separar. Mientras mayor es la diferencia de densidad entre dos minerales, más efectiva es su separación; es por ello que el oro con elevada densidad, es fácilmente separable del cuarzo de baja densidad.
- **Flotación:** Se define como un proceso físico-químico de tensión superficial que separa los minerales sulfurados del metal de otros minerales y especies que componen la mayor parte de la roca original. Durante este proceso, el mineral molido se adhiere superficialmente a burbujas de aire previamente insufladas, lo que determina la separación del mineral de interés (Codelco, 2019, p. 3).
- **Lixiviación:** Según Fimbres (2018), es el proceso de extraer un mineral de interés por medio de reactivos que lo disuelven o lo transforman en sales solubles, para esto existen diferentes métodos tales como:

Lixiviación In situ: Se aplican soluciones directamente sobre el mineral ubicado en su lugar de origen, sin someterlo a labores de extracción minera (Portal Minero S.A, 2006, p. 179).

Lixiviación en pilas: Se caracteriza por la mayor trituración a que se someten los minerales, seguida de un pretratamiento con ácido sulfúrico concentrado para su aglomeración y la posterior formación de pilas rectangulares del mineral pretratado. La solución ácida que se aporta mediante aspersion se enriquece de mineral durante la percolación de las pilas siendo recogida en el fondo para pasar a la próxima etapa del proceso (Beckel, 2000, p. 10).

Cianuración: Es el proceso donde el metal es disuelto mediante soluciones alcalinas cianuradas, en presencia de oxígeno, este método es comúnmente utilizado para oro (Portal Minero S.A, 2006, p. 183).

5. Metodología

5.1. Materiales

Los materiales empleados en el desarrollo del presente trabajo se dividen en dos grupos; los materiales de campo y los materiales de oficina, los mismos se detallan a continuación:

Tabla 1. Materiales

| Materiales de campo | Materiales de oficina |
|--------------------------------|------------------------------|
| Fundas de muestreo | Arcgis |
| Brújula | Autocad |
| Gps | Civil 3D |
| Martillo geológico | Paquete Office 2019 |
| Cinta métrica | |
| Lupa | |
| Lápices y esferográficos | |
| Libreta de campo | |
| Equipos de protección personal | |
| Spray | |
| Cuña | |
| Combo | |
| Cámara fotográfica | |

Nota. Elaborado por el Autor (2023)

5.2. Ubicación

A fin de cumplir los objetivos propuestos en el presente trabajo de investigación, se detalla la metodología empleada.

El presente trabajo investigativo se desarrolló en el área minera “Las Paralelas” código 462, se encuentra ubicada al suroccidente de la provincia del Azuay en el cantón Camilo Ponce Enríquez; cuenta con 360 hectáreas para exploración y explotación. La siguiente Figura muestra la ubicación del área de estudio.

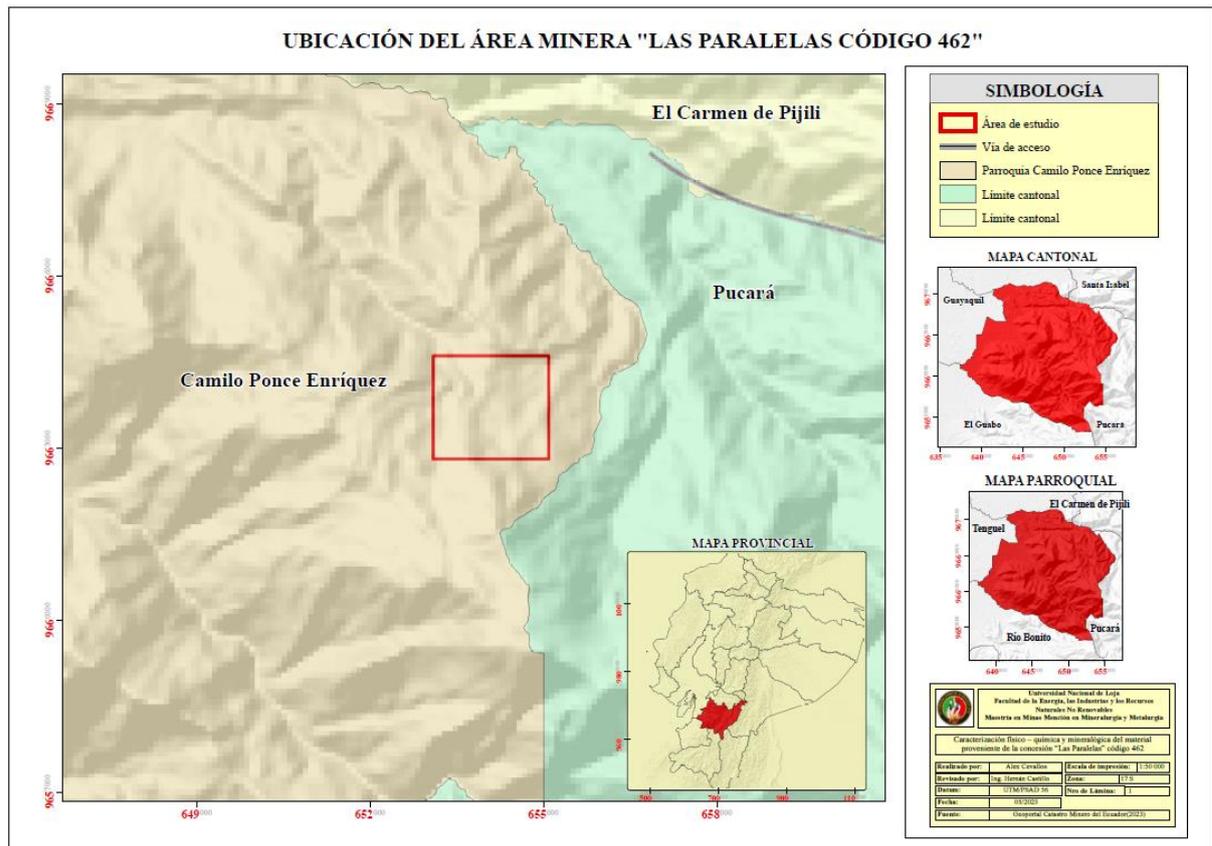


Figura 5. Mapa de ubicación
Nota: Elaborador por el Autor, (2023)

5.3. Acceso

El acceso al área de estudio se puede dar de dos formas: la primera desde la ciudad de Quito se toma la Carretera Panamericana/Troncal de la Sierra/E20/E35, hacia el cantón Colta. Se dirige hacia la provincia del Guayas, luego hacia Cañar finalmente por la troncal de la costa hacia el cantón Camilo Ponce Enríquez.

La segunda, se toma la carretera Panamericana Troncal de la Sierra, se continua por la Troncal de la Costa atravesando las provincias de Santo Domingo, Quevedo y Guayas hasta llegar al área de estudio (Google Maps, 2023).

5.4. Geología regional

El área de estudio área minera "Las Paralelas" se ubica dentro del campo minero Ponce Enríquez en el distrito minero del Azuay y en su mayor parte la litología corresponde a la unidad Pallatanga (KPa) del Cretácico Medio Temprano, el mismo que se encuentra ubicado donde se desarrollan rocas de arco volcánico denominadas inicialmente como Formación Piñón por Kennerley en el año de 1973. Por otro lado, Pratt en 1998 publica la cartografía geológica para la Cordillera Occidental denominando a las rocas de afinidad basáltica, andesitas como

unidad Pallatanga. Cartografías recientes realizadas por el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE, 2017) entre el 2014, 2015 y 2017 específicamente en la hoja geológica de Machala 100 000 (2017), mantienen esta denominación. El mapa de la geología regional (Ver Figura 6), detalla los grupos y unidades que se encuentran en el cantón.

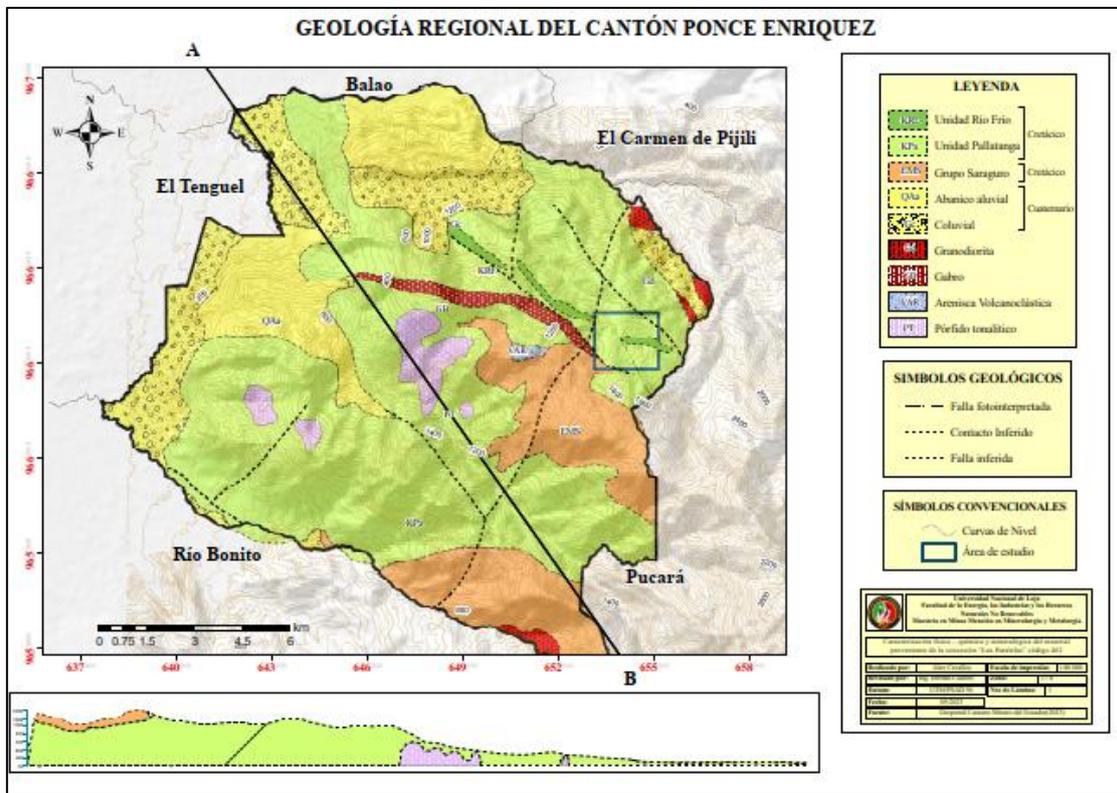


Figura 6. Mapa de Geología regional del cantón Camilo Ponce Enríquez

Nota: Elaborador por el Autor, (2023)

A continuación, se describen los grupos y unidades del área de estudio:

- **Unidad Río Frío (KRF)**

Incluidas anteriormente en la unidad Pallatanga, diferenciadas en la hoja geológica adyacente de Naranjal (IIGE, 2017), son pequeños cuerpos que afloran en el borde de los basaltos de la unidad Pallatanga al sur de Shumiral. Se compone de serpentinitas producto de uralitización de rocas basálticas y gabros, probablemente exhumadas por un sistema de fallas con dirección noroeste-sureste. Se interpreta a esta unidad como parte de la raíz del basamento oceánico. Dataciones radiométricas por el método S m/Nd, realizadas por Lapierre et al., (2000), arrojan una edad de 123 ± 13 Ma, para el gabro de la unidad San Juan que aflora al suroccidente de Quito, que se interpretó como la base ultramáfica de los basaltos MOR B de Pallatanga (Mamberti, M., 2001). La edad interpretada para esta unidad en base a estos estudios es Cretácico inferior a Cretácico superior (IIGE, 2017).

- **Unidad Pallatanga (K_{Pa})**

Aflora al noroeste de la zona de investigación, en los sectores de Bella Rica Tenguelillo, San Juan de Naranjillas, Muyuyacu, Narihuiña y como ventanas erosionales, en las orillas del río Jubones, sectores de Limón; Calayacu. La unidad contiene basaltos, gabros, sedimentos silíceos finos (chert) y rocas corneanas. Según Luzieux et al (2006), los basaltos de la unidad Pallatanga correspondiente al plateau oceánico tienen 88 ± 1.6 Ma. La edad de acuerdo con estos estudios sería Cretácico superior (IIGE, 2017).

- **Grupo Saraguro (E_{Ms})**

Se extiende por todo el centro-este, desde el norte de la hoja geológica hasta el río Jubones al sur. Descansa discordantemente sobre rocas levantadas del Cretácico superior. La potencia estimada en sectores de mayor acumulación es de 3 000 m. (CODIGEM-BGS , 1998). En la zona de interés, se reconocen las Formaciones: Las Trancas, La Fortuna y Jubones. Comprenden: tobas andesíticas, soldadas, verdosas, con abundante plagioclasa, anfíbol y augita (CODIGEM-BGS , 1997); tobas dacíticas, compuestas de feldespato, cuarzo, vidrio volcánico, anfíboles, piroxenos, en matriz de color marrón claro a violeta; tobas riolíticas, con cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa, además de arcilla y calcita, sulfuros diseminados con malaquita y azurita, la roca está meteorizada; tobas brechosas, en afloramientos masivos de rocas volcanoclásticas dacíticas a riolíticas, con presencia de plagioclasa, cuarzo, vidrio volcánico, biotita y anfíboles, en sectores, presentan alteración hidrotermal moderada. Además, incluye material volcanosedimentario y cuerpos subvolcánicos riolíticos, dacíticos y andesíticos (IIGE, 2017).

- **Depósitos Aluviales (Q_{Aa})**

Formados directamente en el contrafuerte de la cordillera, tienen la forma de abanicos con radios que varían de cientos de metros hasta algunos kilómetros, los principales son los formados por los ríos Tenguel, Bonito y Chaguana. La litología es heterogénea conformado por cantos rodados polilíticos englobados en una matriz areno-limo-arcillosa. Los poblados de Shumiral, Santa Marta y San Miguel de Brasil están asentados sobre estos depósitos (IIGE, 2017).

- **Depósito coluvial (Q_c)**

Compuestos por fragmentos angulosos a sub-angulosos de tamaño variable entre bloques, gravas, arenas y limos. Se presentan como depósitos de piedemonte, alineados a lo

largo de las riberas del río Jubones, en el cambio brusco de pendiente al inicio de la planicie costanera o como rellenos de micro cuencas interiores, en los flancos del levantamiento Narihuiña. Ejemplos de estos coluviones se encuentran en los sectores La Playa, Guarumal, Cerro Negro y por el río Pagua. El grado de compactación ha permitido conservar un gran coluvión en forma de abanico, de aproximadamente 25 km² de superficie, al norte del río Jubones, entre los ríos Chaguana y Calayacu. Compuesto de cantos rodados subangulosos, semiredondeados, mal clasificados, predominan los clastos de lavas poligenéticas: basaltos meteorizados, fragmentos de riolita, ignimbrita, dacita, eventualmente sedimentos (lutitas y calizas negras). El material es semiconsolidado, en matriz areno-limo- arcillosa (IIGE, 2017).

5.5. Métodos

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizó un conjunto de métodos y técnicas que permitieron dar cumplimiento con los objetivos planteados, entre los cuales se encuentran: el método descriptivo el cual fue empleando se para la recopilación de información y datos referente al área de estudio. El método experimental, se utilizó para la obtención de cuatro muestras provenientes de los frentes de explotación del derecho minero, las cuales se someten a ensayos para determinar sus características como propiedades índices de las rocas, y técnicas como difracción de rayos X y absorción atómica para la determinación mineralógica, y así realizar la caracterización del material de mena.

5.5.1. Metodología para el primer objetivo: Obtener el análisis físico químico de la mena proveniente de la mina “Las Paralelas” código 462

5.5.1.1. Descripción del área de estudio: Se realizó mediante visitas de campo al área de estudio con la finalidad de determinar las siguientes características:

- Forma de extracción del mineral
- Tipo de mineralización
- Tipo de roca encajante
- Minerales que conforman la mena y la ganga

5.5.1.2. Muestreo: Se realizó el muestro utilizando la técnica de Chips Samplig, el cual permitió obtener muestras de los fragmentos de veta o mineral a lo largo de la potencia de la estructura mineralizada, estas muestras se tomaron en forma regular en el espacio de forma sistemática, siguiendo una línea imaginaria continua correspondiente al eje longitudinal orientada en forma perpendicular. Para ello se siguió el siguiente protocolo:

1. Se realizó el desquinche y lavado de la labor donde se va a muestrear

2. La extracción o arranque se lo hizo manualmente con el uso del martillo geológico.
3. Se tomaron datos como potencia de veta, ancho de labor, ubicación (sector) y fueron registrados en la libreta de campo. La Figura 7 muestra la medición de la potencia



Figura 7. Medición de la potencia de la veta

Nota: Elaborado por el Autor, (2023)

4. Se extrajo de manera homogénea una cantidad de mineral a lo largo de toda la longitud de la muestra. La distancia entre los puntos de muestreo fue de 4 metros.
5. Se marcó con spray la estación de muestreo y se referenció con puntos topográficos cercanos.
6. Se homogeneizó la muestra y se realizó el cuarteo como lo muestra la Figura 8.



Figura 8. Homogeneización y cuarteo

Nota: Elaborado por el Autor, (2023)

7. Se recogieron 4kg de muestra en fundas plásticas, y se las etiquetó respectivamente. La Figura 9. Indica el almacenamiento de la muestra.



Figura 9. Peso y almacenamiento
Nota: Elaborado por el Autor, (2023)

5.5.1.3. Propiedades físicas: Se utilizó siguiendo las normas ASTM

- **Contenido de humedad:** Según la norma ASTM D2216, La muestra es secada en un horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta obtener una masa constante, la pérdida de masa debido al secado es la masa del agua, que equivale al contenido de humedad.
- **Peso específico aparente:** Se utiliza fragmentos irregulares de roca, de los cuales se obtiene el pesos saturado y sumergido, para obtener el primero, se sumerge en agua la muestra por 24 horas y se lo pesa. El segundo es el peso de la muestra sumergido en la balanza hidrostática.
- **Peso específico real:** Se utiliza el método del picnómetro, para ello se empieza triturando la muestra hasta pasar por el tamiz N°200, se introduce agua destilada hasta la mitad del picnómetro y se lo pesa, posterior se introduce 50 gr de muestra triturada y se somete el picnómetro al vacío, finalmente se lo pesa y se obtiene el peso.
- **Porosidad:** Se utilizó los pesos específicos y reales aplicando la siguiente expresión:

$$n = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}\right) \times 100$$

Donde:

ρ_a : Es el peso aparente [gr/cm^3]

ρ_r : Es el peso real [gr/cm^3]

5.5.2. Metodología para el segundo objetivo: Elaborar el análisis mineralógico de la mena proveniente de la mina “Las Paralelas” código 462

Incluye la determinación de las propiedades físicas-químicas y mineralógicas de la mena, los análisis fueron realizados en los Laboratorio certificados de BizaLab, Lab Metalor, laboratorio Plengue y Laboratorios de la Universidad Nacional de Loja.

5.5.2.1. Análisis mineralógico: Se realizó un compósito de las muestras y se realizó el ensayo al fuego con el fin de obtener el porcentaje de recuperación y los tenores.

5.5.2.2. Propiedades químicas: Se realizó fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X, y ensayo al fuego.

5.5.2.3. Propiedades mineralógicas: Se identificó los minerales utilizando el microscopio, se identificaron las siguientes características

- Minerales de la mena y sus porcentajes de contenido valioso
- Minerales de la ganga
- Alteraciones
- Texturas
- Forma de presentación del mineral de interés

5.5.3. Metodología para el tercer objetivo: Proponer el método de tratamiento adecuado para la recuperación del mineral de interés

Considerando las características de la mena y del mineral de interés oro, se determinó el proceso adecuado para su liberación y posterior recuperación. Para ello se realizó un análisis de las técnicas existentes como gravimetría, cianuración y flotación.

Ensayo de lixiviación: Las muestras fueron trituradas, cuarteadas y pulverizadas al 90% en malla pasante de 200 micras. De igual manera se hicieron ensayos de cabeza a dos crisoles, uno en lixiviación con muestras de solución para la curva de cinética (a), y el ensayo del relave final para el balance metalúrgico (b), como se muestra en la Figura 10.

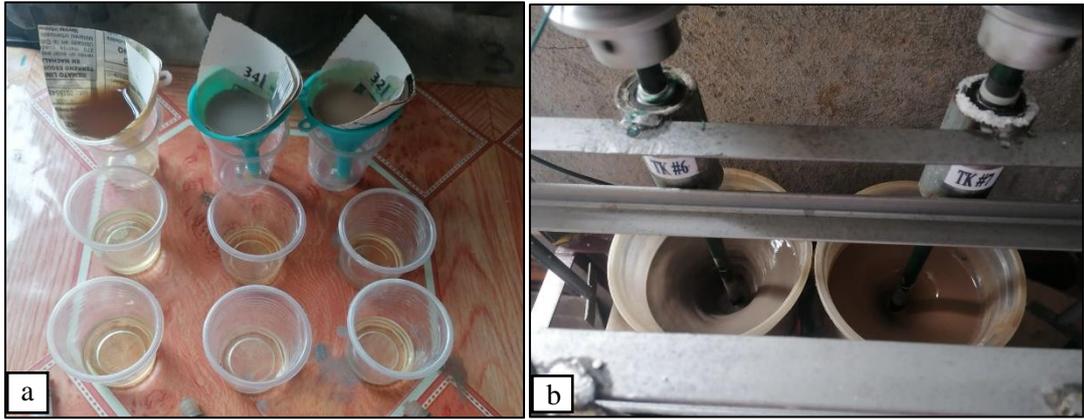


Figura 10. Homogeneización y cuarteo
Nota: Elaborado por el Autor, (2023)

6. Resultados

6.1.1. Geología

El campo minero San Gerardo ubicado en la parte central-septentrional del campo mineral Ponce Enríquez, la geología del sector muestra una secuencia volcanoclástica de características intermedias básicas compuestas por: areniscas volcánicas de grano grueso, brechas, tobas, basaltos, y andesitas de color gris verdoso oscuro, lavas, limonita volcánica perteneciente a la Formación Pallatanga; (Cretácico) que comprende al tercero y última era mesozoica o secundaria.

6.1.2. Yacimiento

El yacimiento está relacionado en las estructuras donde se alojan las mineralizaciones corresponden a vetas ó filones cuarcíferas (Qz) de color blanco lechoso a gris, conformados mediante relleno de cavidades e intrusiones, de carácter hidrotermal, dando como resultado un tipo de yacimiento o depósito meso-epitermal, definido como en su forma como vetiforme (tabular), y en función de su ángulo de buzamiento (tumbado), con potencias aproximadas entre 0.10 a 0.6m, presentando una zona de alteración en paralelas a las paredes del respaldo. El alojamiento de estas estructuras bien llamadas vetas ó filones están relacionadas con rocas ígneas, principalmente por cuerpos ígneos de rocas riodacíticos, andesíticos, brechas y tobas.

En este contexto se recolectaron cuatro muestras de cuatro diferentes vetas las cuales son:

- MPA01-V5: Veta 1
- MPA02-X2AT: Veta 2
- MPA03-X7PC: Veta 3
- MPA04-X-7(2): Veta 4

Alteraciones

La alteración hidrotermal en el yacimiento presenta mineralizaciones del tipo común en depósitos de cuarzo auríferas, de media sulfuración. Correlaciona algunos componentes importantes en asociaciones tales como:

- Asociaciones con Clorita MgFe-illita-carbonato
- Alteraciones Propilítica: La que involucra epidota, albita, clorita y carbonatos, que relaciona las siguientes asociaciones:
 - Clorita-calcita-caolinita (Veta MPA02-X2AT)

- Clorita-epidota-calcita (Veta MPA03-X-7P)

6.1.3. Minerales de mena y ganga

En función a las asociaciones antes descritas se puede considerar:

Minerales de Mena: Entre los minerales identificados se tiene:

- Feldespato potásico
- Plagioclasas
- Oro
- Plata
- Cuarzo

Minerales de Ganga:

- Arsenopirita
- Pirita
- Cuarzo-carbonato
- Calcita

6.1.4. Propiedades físicas

Los análisis fueron realizados por el laboratorio de mecánica de rocas la Universidad Nacional de Loja, en relación a lo anterior se presentan los siguientes resultados:

• **Peso específico**

Se determinó peso específico aparente y real, con el fin de obtener la porosidad, los mismos se detallan a continuación (Ver Tabla 2 y 3)

Peso específico real: Realizado por medio del método del picnómetro

Tabla 2. Resultados peso específico real

| COD | Peso específico real | | | |
|-------------------|----------------------|---------------------|---------------|-----------------------------------|
| | W. agregado | W. recip. Lleno H2O | W. agre.+ H2O | Peso Especifico g/cm ³ |
| MPA01-V5 UTPL | 30 | 147.46 | 167.47 | 3.003 |
| MPA02-X2AT UTPL | 30 | 147.46 | 166.86 | 2.830 |
| MPA03-X7PC UTPL | 30 | 147.46 | 167.15 | 2.910 |
| MPA04-X-7(2) UTPL | 30 | 147.46 | 166.83 | 2.822 |

Nota: Laboratorio de mecánica de rocas UNL, (2023)

Peso específico aparente:

Tabla 3. Resultados peso específico aparente

| Peso aparente | | | | |
|----------------------|--------------------|---------------------|----------------|--------------------|
| COD | W. saturado | W. sumergido | W. seco | W. aparente |
| MPA01-V5 UTPL | 139.537 | 91.039 | 138.94 | 2.859 |
| MPA02-X2AT UTPL | 111.096 | 71.56 | 110.12 | 2.780 |
| MPA03-X7PC UTPL | 165.345 | 106.623 | 164.05 | 2.788 |
| MPA04-X-7(2) UTPL | 162.853 | 103.55 | 161.85 | 2.724 |

Nota: Laboratorio de mecánica de rocas UNL, (2023)

El peso específico de las muestras varía de 2.7 a 3 g/cm³, mismas que al compararse con la densidad del oro (Au); se deduce la recuperación por gravimetría ya que este mineral precipita hacia el centro gravitatorio.

- **Porosidad:** La porosidad proporciona posibles oquedades donde se pueda almacenar mineral, las mismas son relativamente bajas, es decir no existen mayor cantidad de espacios vacíos (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Resultados de porosidad

| Porosidad | |
|-------------------|------------------|
| COD | Porosidad |
| MPA01-V5 UTPL | 4.791 |
| MPA02-X2AT UTPL | 1.783 |
| MPA03-X7PC UTPL | 4.183 |
| MPA04-X-7(2) UTPL | 3.489 |

Nota: Laboratorio de mecánica de rocas UNL, (2023)

- **pH:** Este parámetro se midió en muestras trituradas pasante del tamiz #200, y agitadas por cinco minutos en agua destilada, el resultado dio un valor promedio de 8.3 que corresponde a un pH ligeramente alcalino (Ver Tabla 5).

Tabla 5. Resultados de pH

| Medición de pH | |
|-----------------------|-----------|
| COD | pH |
| MPA01-V5 UTPL | 8.26 |
| MPA02-X2AT UTPL | 8.37 |
| MPA03-X7PC UTPL | 8.29 |
| MPA04-X-7(2) UTPL | 8.33 |

Nota: Laboratorio de mecánica de rocas UNL, (2023)

6.2. Análisis mineralógico de la mena

El análisis de las muestras de mena comprendió el resultado de las propiedades físicas, químicas y mineralógicas, las cuales se muestran a continuación.

6.2.1. Análisis petrológicos

A continuación, se muestra al análisis petrológico de las muestras recolectadas

1. Muestra *MPA01-V5*: Ver Tabla 6

Tabla 6. Descripción de litología muestra 1

| DESCRIPCIÓN DE LITOLOGÍAS | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Realizado por | Alex Cevallos | | Nro | MPA01-V5 | |
| Fecha | 05/2023 | | Ubicación | | |
| 2. DESCRIPCIÓN PETROLÓGICA | | | | | |
| Tipo de roca | Andesita | | | | |
| Origen | Ígneo-volcánico | | | | |
| Color | Gris azulado | | | | |
| Minerales principales | Cuarzo y plagioclasas | | | | |
| Minerales secundarios | Olivino, biotita y hornblenda | | | | |
| Minerales accesorios | Pirita, arsenopirita y calcopirita | | | | |
| Tamaño de grano | Fino | | | | |
| Textura | Afanítica | | | | |
| Estructuras | Ninguna | | | | |
| Mineralización | Vetiforme | | | | |
| Tipo de alteración | Ninguna | | | | |
| Grado de meteorización | Sana (X) | Algo meteorizada () | Moderadamente Meteorizada () | Muy Meteorizado () | Completamente Meteorizada () |

Fotografía



Figura 11. Muestra 1

Nota: Elaborado por el Autor, (2023)

2. Muestra *MPA02-X2AT*: Ver Tabla 7

Tabla 7. Descripción de litología muestra 2

| DESCRIPCIÓN DE LITOLOGÍAS | | | | | |
|----------------------------------|---|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Realizado por | Alex Cevallos | Nro | MPA02-X2AT | | |
| Fecha | 05/2023 | Ubicación | | | |
| | 2. DESCRIPCIÓN PETROLÓGICA | | | | |
| Tipo de roca | Andesita | | | | |
| Origen | Igneo-volcánico | | | | |
| Color | Azul | | | | |
| Minerales principales | Cuarzo y hornblenda, | | | | |
| Minerales secundarios | Calcita y clorita | | | | |
| Minerales accesorios | Pirita | | | | |
| Tamaño de grano | Fino | | | | |
| Textura | Afanítica | | | | |
| Estructuras | Ninguna | | | | |
| Mineralización | Vetiforme | | | | |
| Tipo de alteración | Ninguna | | | | |
| Grado de meteorización | Sana () | Algo meteorizada (x) | Moderadamente Meteorizada () | Muy Meteorizado () | Completamente Meteorizada () |
| Fotografía |  | | | | |

Figura 12. Muestra 2

Nota: Elaborado por el Autor, (2023)

3. Muestra **MPA03-X-7P**: Ver Tabla 8

Tabla 8. Descripción de litología muestra 3

| DESCRIPCIÓN DE LITOLOGÍAS | | | |
|----------------------------------|--|------------------|------------|
| Realizado por | Alex Cevallos | Nro | MPA03-X-7P |
| Fecha | 05/2023 | Ubicación | |
| | 2. DESCRIPCIÓN PETROLÓGICA | | |
| Tipo de roca | Granodiorita | | |
| Origen | Ígneo-plutónico | | |
| Color | Gris | | |
| Minerales principales | Cuarzo, pagioclasas | | |
| Minerales secundarios | Feldespato | | |
| Minerales accesorios | Pirita, arsenopirita, calcopirita, clorita | | |
| Tamaño de grano | Medio | | |
| Textura | Fanerítica | | |
| Estructuras | Ninguna | | |
| Mineralización | Vetiforme | | |
| Tipo de alteración | Propílica (Epídota-clorita) | | |

| | | | | | |
|-------------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Grado de meteorización | Sana (X) | Algo meteorizada () | Moderadamente Meteorizada () | Muy Meteorizado () | Completamente Meteorizada () |
|-------------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|

Fotografía



Figura 13. Muestra 3

Nota: Elaborado por el Autor, (2023)

4. Muestra **MPA04-X-7(2)**: Ver Tabla 9.

Tabla 9. Descripción de litología muestra 4

| DESCRIPCIÓN DE LITOLOGÍAS | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Realizado por | Alex Cevallos | | Nro | MPA04-X-7(2) | |
| Fecha | 05/2023 | | Ubicación | | |
| 2. DESCRIPCIÓN PETROLÓGICA | | | | | |
| Tipo de roca | Andesita | | | | |
| Origen | Ígneo-volcánico | | | | |
| Color | Gris azulado | | | | |
| Minerales principales | Cuarzo, plagioclasas | | | | |
| Minerales secundarios | Olivino y hornblendas | | | | |
| Minerales accesorios | Pirita | | | | |
| Tamaño de grano | Fino | | | | |
| Textura | Afanítica | | | | |
| Estructuras | Ninguna | | | | |
| Mineralización | Vetiforme | | | | |
| Tipo de alteración | Ninguna | | | | |
| Grado de meteorización | Sana () | Algo meteorizada (X) | Moderadamente Meteorizada () | Muy Meteorizado () | Completamente Meteorizada () |

Fotografía



Figura 14. Muestra 4

Nota: Elaborado por el Autor, (2023)

6.2.2. Análisis metalúrgico

Se realizó a través del ensayo al fuego en el laboratorio Lab Metalor (Ver Anexo 3), y se determinó los siguientes tenores con una posible recuperación del 58%, en el que se determinó una ley de concentrado de 21.63 g/t M y una ley de cabeza de 36.78 g/tM, con ello se demuestra que existen un 42% de mineral encapsulado que no puede ser recuperado por cianuración. (Ver Tabla 9).

Tabla 10. Ensayo al fuego

| ENSAYO AL FUEGO | | |
|---------------------------|--------------------|------------------|
| Descripción de la muestra | Oro soluble (g/tM) | Oro Total (g/tM) |
| Cuarzo No. 2 MP10-COM | 21.63 | 36.78 |

Nota: Lab Metalor, (2023)

6.2.3. Propiedades químicas

Los análisis fueron realizados en los laboratorios de BizaLab (Anexo 1) se determinaron las propiedades químicas a través de ensayos como fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X, ICP, y ensayo al fuego.

- **Fluorescencia de rayos X:** El análisis otorga resultados en función de óxidos, en el cual se puede determinar altas concentraciones de sílice, carbonatos, hierro, manganeso y arsénico. La Tabla 6, detalla los resultados.

Tabla 11. Resultados de fluorescencia de rayos X

| Fórmula | Muestra | MPA01-V5 | MPA02-X2AT | MPA03-X-7P | MPA04-X-7(2) |
|---------|---------|----------|------------|------------|--------------|
| SIO2 | | 42.2 | 33.66 | 47.45 | 50.17 |

| | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| CaO | 7.48 | 13.48 | 12.14 | 11.62 |
| Al ₂ O ₃ | 20.08 | 16.92 | 8.35 | 9.16 |
| Fe ₂ O ₃ | 5.31 | 6.47 | 5.40 | 4.29 |
| MgO | 2.58 | 4.41 | 3.41 | 5.00 |
| SO ₃ | 2.52 | 0.83 | 3.25 | 0.99 |
| As ₂ O ₃ | 1.06 | 0.16 | 2.74 | 1.29 |
| K ₂ O | 3.04 | 1.78 | 1.56 | 1.35 |
| TiO ₂ | 0.44 | 0.20 | 0.22 | 0.23 |
| Na ₂ O | 0.25 | 0.23 | | |
| MnO | 0.07 | 0.14 | 0.13 | 0.013 |
| ZnO | | | 0.10 | 0.01 |
| Cr ₂ O ₃ | | | 0.05 | 0.04 |
| Sb ₂ O ₃ | | | 0.04 | |
| P ₂ O ₅ | 0.07 | | 0.03 | 0.03 |
| PbO | | | 0.02 | |
| CuO | | | 0.01 | |

Nota: BIZALab, (2023)

- **Difracción de rayos X:** De igual manera se obtienen porcentajes similares, en el que los minerales de mayor concentración son: cuarzo, micas, carbonatos, arsenopirita y pirita.

La Tabla 7, detalla los resultados en mención.

Tabla 12. Resultados de difracción d rayos X

| Mineral | Fórmula | Muestra | | | |
|------------------|---|----------|------------|----------|--------------|
| | | MPA03-V5 | MPA02-X2AT | MPA01-V5 | MPA04-X-7(2) |
| Cuarzo | SiO ₂ | 49 | 25 | 35 | 52 |
| Mica (Muscovita) | KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ | 14 | 15 | 25 | 12 |
| Calcita | CaCO ₃ | 11 | 2 | 4 | 3 |
| Dolomita | CaMg(CO ₃) ₂ | 9 | 21 | 11 | 15 |
| Ankerita | Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂ | 7 | 23 | 13 | 12 |
| Arsenopirita | FeAsS | 4 | | 2 | 2 |
| Pirita | FeS ₂ | 2 | 2 | 4 | < L. D. |
| Clorita | (Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈ | 2 | | | |
| Caolinita | Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ | < L. D. | 5 | 4 | 2 |
| Anatasa | TiO ₂ | 0 | | < L. D. | |
| Turmalina | NaMg ₃ Al ₆ (BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄ | | 5 | | |

Nota: BIZALab, (2023)

Con el análisis multielementos (ICP) (Ver Tabla 10) realizado en el laboratorio Plenge (Ver Anexo 2), se pudieron determinar las leyes e identificar otros elementos penalizantes como lo es el antimonio, el cual se encuentra en altas concentraciones, dificultando el proceso

de cianuración. Adicionalmente se encuentran minerales como el estroncio, el estaño y el vanadio como elementos con altas leyes (Ver Anexo 2).

Tabla 13. Ensayo multielementos

| MULTIELEMENTOS | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| MUESTRA | Ag ppm | Al % | As ppm | Ba ppm | Be ppm | Bi ppm | Ca % | Cd ppm | Co ppm | Cr ppm |
| MPA 01-V5 | 2.00 | >5.0 | >10000 | 66 | <1 | <5 | >5.0 | <2 | 19.0 | 75.0 |
| MPA 02-X2AT | <1 | >5.0 | 1820 | 183.0 | <1 | <5 | >5.0 | <2 | 11.0 | 28.0 |
| MPA 03-X-7P | 11.00 | 2.57 | >10000 | 29.0 | <1 | <5 | >5.0 | 26.0 | 14.0 | 130.0 |
| MPA 04-X-7 (2) | <1 | 2.68 | >10000 | 28.0 | <1 | <5 | >5.0 | 10.0 | 12.0 | 147.0 |
| | Cu % | Fe % | K % | Mg % | Mn % | Mo ppm | Na % | Ni ppm | P ppm | Pb % |
| MPA 01-V5 | <0.01 | >5.0 | 2.23 | 1.74 | 0.09 | 7.0 | 0.1 | 26 | 230 | <0.01 |
| MPA 02-X2AT | <0.01 | >5.0 | 1.32 | 3.11 | 0.12 | 6.0 | 0.09 | 18 | 70 | <0.01 |
| MPA 03-X-7P | <0.01 | >5.0 | 1.04 | 1.59 | 0.1 | 6.0 | 0.03 | 41 | 53 | 0.03 |
| MPA 04-X-7 (2) | <0.01 | >5.0 | 0.84 | 2.72 | 0.09 | <5 | 0.03 | 42 | 45 | <0.01 |
| | Sb ppm | Sc ppm | Sn ppm | Sr ppm | Ti % | V ppm | W ppm | Y ppm | Zn % | Zr ppm |
| MPA 01-V5 | 60.0 | 22.0 | 18.0 | 45.0 | 0.06 | 181.0 | <1 | 8.0 | <0.01 | 6.0 |
| MPA 02-X2AT | 9.0 | 9.0 | 10.0 | 66.0 | 0.05 | 54.0 | <1 | 16.0 | <0.01 | 10.0 |
| MPA 03-X-7P | 218.0 | 16.0 | 77.0 | 30.0 | 0.03 | 95.0 | <1 | 7.0 | 0.11 | <1 |
| MPA 04-X-7 (2) | 53.0 | 16.0 | 39.0 | 27.0 | 0.02 | 89.0 | 223.0 | 7.0 | 0.02 | <1 |

Nota: Laboratorio Plenge, (2023)

6.3. Propuesta al método de tratamiento para la recuperación del mineral de interés

En función a los resultados obtenidos en el apartado anterior, es posible deducir que se encuentran minerales penalizantes que afectan al proceso de recuperación, al ambiente y los costos de producción. Es por ello que se propone un proceso que empieza por la gravimetría, después se determinó que debido a la pureza del oro no se puede elegir flotación porque en la recuperación presenta grandes cantidades de arsénico es por ello que se consideró un tratamiento con lixiviación en el que la recuperación es del 58% sin embargo el proceso es más seguro.

6.3.1. Gravimetría:

Como parte inicial del proceso de recuperación se determinó por gravimetría. Considerando que la misma separa minerales de diferentes densidades y al determinar la

densidad de la roca se pudo determinar que está compuesta por minerales que van en el rango de 2.6 a 2.7 g/cm³ permitiendo la precipitación del oro.

La concentración por gravimetría es la más simple y económica de todos los métodos de procesamiento de minerales y permite la recuperación de valores en un rango de tamaño bastante amplio, desde un tamaño grueso como 254 mm (ingreso a molino) hasta los más finos como 5 micrones, donde las partículas de mineral son separadas debido a su diferencia de densidad. Cuanto mayor es la diferencia en la densidad de dos minerales componentes de una mena, mayor será la facilidad con que se efectúe la separación siendo posible recuperar por los menos un 50% del oro libre (Clifoord, 1999).

6.3.2. Lixiviación mediante cianuración por carbón activado:

Se determinó una recuperación del 58%, es por ello que se realizó el ensayo de cianuración del compósito de las muestras anteriores (Ver Anexo 3), en el cual se muestra la dosificación para realizar cianuración. Los resultados se muestran a continuación (Ver Tabla 8).

Tabla 14. Prueba de lixiviación

| PRUEBA DE LIXIVIACIÓN | | | | | |
|-----------------------|--------------------|---------------------------------|---|--|---|
| Unidad | Densidad gr/lit | Grado de alcalinidad (pH) | Fuerza del cianuro de sodio (CNNa) | Grado de alcalinidad FINAL (pH) | Tiempo de agitación con CNNa (Horas) |
| | 1300 | 9 | 2500 | 11 | 21 |

Nota: Lab Metalor, (2023)

Considerando los resultados del laboratorio de fluorescencia de rayos X y difracción de rayos X, se ha encontrado que la pirita y la arsenopirita son responsables en gran medida de la refractariedad y del mayor consumo de cianuro en procesos de beneficio aurífero, sin embargo, debido a los elementos penalizantes como el arsénico se considera que un proceso de lixiviación muestra mejores resultados en cuanto a pureza del mineral. A continuación, se mencionan las posibles técnicas para lixiviar minerales refractarios.

- **Por medio de soluciones de tiosulfato de sodio y amonio:** Existen estudios los cuales mencionan la lixiviación de oro cuando hay presencia de minerales refractarios por medio de soluciones de tiosulfato de sodio y amonio, mismo que permiten la disolución del mineral (Ospina et al., 2016).

Ambas soluciones, tiosulfato de sodio y tiosulfato de amonio, disuelven el oro; sin embargo, la cinética de lixiviación del tiosulfato de amonio fue mayor, con lo cual se consiguen menores tiempos de disolución de oro para un proceso de lixiviación utilizando esta sal de tiosulfato (Ospina et al., 2016).

- **Por medio de ácido sulfúrico:** La cinética de disolución del oro no es afectada por la presencia de estos iones, siempre y cuando se mantenga un exceso de cianuro en el medio lixivante, siendo la relación: $CN \text{ total en lixivante} / Cu \text{ total en medio} > 4$, al no existir cobre la disolución del oro será óptima (Lovera et al., 2018)
- **Flotación de las colas producto de lixiviación:** Considerando los minerales penalizantes se ha demostrado que flotación no descarta elementos como el arsénico, por lo que realizado el proceso de lixiviación sirve también como limpieza para eliminar estos minerales, posterior se puede realizar el proceso de flotación para aumentar la recuperación.

7. Discusión

La mineralogía es una herramienta que ofrece información de gran utilidad para la modificación de procesos de obtención de oro; esta ha sido abordada muy ligeramente en la literatura, lo cual puede deberse a la dificultad presentada por la refractariedad de algunos minerales que entorpecen la recuperación del oro en el presente trabajo se caracterizó las propiedades de la mena a fin de proponer un método adecuado de recuperación.

Con la finalidad de obtener la máxima recuperación fue necesario prestar atención a la ganga al igual que al mismo mineral valioso, Espinoza y otros (2021), en su estudio “Importancia de la mineralogía en la geometalurgia: aplicación en Perú” que algunos minerales de ganga pueden causar muchos problemas en el proceso, como es el caso de la pirita, la arsenopirita, arcillas, sulfatos, carbonatos y demás; en la presente investigación se encuentra minerales como pirita, arsenopirita y carbonatos que dificultan el proceso de recuperación.

Gaviria y otros. (2007), realizan una comparación entre hidrometalurgia y pirometalurgia, encontrando que la pirometalurgia requiere múltiples etapas para el retiro de impurezas; mientras que, en la hidrometalurgia, es relativamente fácil lograr la extracción selectiva del metal de interés; considerando que se propone cianuración como un proceso para purificar la mena y luego flotación para aumentar el porcentaje, por lo que se emplea ambos procesos.

Adicionalmente para recuperar minerales es posible combinar las diferentes ramas ya que se propone la tostación de un concentrado de sulfuros metálicos como es el caso de del material refractario encontrado, para posteriormente lixiviar las calcinas, con el objeto de la extracción metálica específica. Es por ello que Ospina y otros, (2016), en su estudio “Mineralogía del proceso de lixiviación de oro en minerales refractarios con soluciones de tiosulfato” mencionan que, se ha encontrado que la pirita y la arsenopirita son responsables en gran medida de la refractariedad y del mayor consumo de cianuro en procesos de beneficio aurífero.

Es por ello que las transformaciones morfológicas y texturales que ocurren durante la disolución oxidativa de estos minerales son de gran importancia y parte crucial en el mecanismo fundamental en la liberación de oro (Corkhill & Vaughan, 2009), permite el entendimiento de los mecanismos de reacción y de este modo una optimización del mismo (Márquez, 1999; Márquez, 1995). En este contexto solo se puede recuperar 58% a través de cianuración con carbón activado por lo que se propone realizar un proceso de cianuración con

soluciones de tiosulfatos de amonio y de sodio, asimismo Lovera y otros. (2018), mencionan que es posible utilizar ácido sulfúrico dando mejores resultados en recuperación cuando no hay grandes cantidades de cobre, condición que se tiene en la presente.

Estos procesos permiten la disolución del oro, y al combinarlos con otros métodos como la gravimetría y la flotación se puede obtener un porcentaje más alto de recuperación, de esta manera se ha logrado cumplir con los objetivos propuestos en la presente investigación.

8. Conclusiones

- El área minera “Las Paralelas” está conformada por areniscas volcánicas de grano grueso, brechas, tobas, basaltos y andesitas, pertenecientes a la Formación Pallatanga. Por otro lado, el yacimiento mineral corresponde a vetas o filones cuarcíferas de origen hidrotermal que da como resultado un yacimiento meso-epitermal.
- Los análisis de laboratorio dieron como resultado un porcentaje de recuperación del 58% por medio de lixiviación, obteniendo un total de 21.63 g/tM de oro soluble, el restante corresponde a mineral con arsenopirita. Con respecto a las propiedades físicas, se determinaron pesos específicos con valores de 2.82 a 3.00 g/cm³, porosidades de 1.78 a 4.79 %; el pH es ligeramente alcalino con un valor de 8 constante en todas las muestras.
- Las propiedades químicas evaluaron técnicas como fluorescencia de rayos X, que determinó altas concentraciones de sílice, carbonatos, hierro, manganeso y arsénico. En el análisis de difracción de rayos x, se encontraron minerales de cuarzo, micas, carbonatos, arsenopirita y pirita. Finalmente, el análisis ICP, demostró concentraciones con leyes altas de estroncio, estaño y vanadio, pero no lo suficiente para ser económicamente rentables.
- La propuesta al método de tratamiento consiste en disminuir la cantidad de elementos contaminantes como el arsénico, para ello se propone un ciclo, que empieza por la concentración gravimétrica, que tiene por objetivo precipitar el oro debido a su densidad, posterior realizar lixiviación con carbón activado utilizando sustancias como cianuro, tiosulfato de sodio y amonio o ácido sulfúrico, finalmente las colas provenientes de este último proceso irán a flotación en donde se pretende aumentar la recuperación.

9. Recomendaciones

- Es importante realizar un muestreo después de cada proceso con la finalidad de evaluar la recuperación del mismo, de igual manera se puede determinar el costo/beneficio, y determinar si es rentable realizar dicho tratamiento.
- El proceso de beneficio actual obtiene una recuperación del 58% siendo relativamente bajo, por lo que se recomienda mejorar el ciclo de lixiviación a través de estas soluciones como lo son los tiosulfatos y el ácido sulfúrico, ya que la mena no posee cobre ni minerales derivados del mismo, es posible obtener una mejor recuperación con este último.
- Para mejorar el porcentaje de recuperación de mineral en el proceso de lixiviación, se recomienda conformar el compósito disminuyendo el porcentaje de la veta 1 y 3 que son las que poseen mayor cantidad de mineral cianicidas que son pirita y arsenopirita.
- Es factible realizar la lixiviación de un compósito de las vetas 1 y 3 que presentan estos materiales cianicidas y por otro parte realizar un compósito diferenciado de las vetas 2 y 4, a fin de realizar procesos únicos por cada condición y evitar la contaminación de los concentrados.

10. Bibliografía

- Alfaro, M. (2002). *Introducción al Muestreo Minero*.
https://www.academia.edu/7802013/Introducci%C3%B3n_al_Muestreo_Minero
- Bateman, A. (1982). *Yacimientos minerales de rendimiento económico* (sexta). Ediciones Omega.
- Beckel, J. (2000). *El proceso hidrometalúrgico de lixiviación en pilas y el desarrollo de la minería cuprífera en Chile*.
- Codelco. (2019). *Flotación “Burbujas de cobre.”*
https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109005132/flotacion_media_tecnico_060119.pdf
- Edward J. Tarbuck, & Frederick K. Lutgens. (2005). *Ciencias de la Tierra: Introducción a la Geología Física* (octava).
- Evans, A. (1993). *Ore Geology and Industrial Minerals An Introduction* (third). Blackwell Publishing.
- Fimbres, O. (2018). *Proceso de lixiviación de minerales*.
<https://es.linkedin.com/pulse/proceso-de-lixiviaci%C3%B3n-minerales-omar-fimbres>
- González de Vallejo, L. F. M. O. L. O. C. (2002). *Ingeniería Geológica.pdf*. Pearson Educación.
- Herbert, J. H., & Ortiz, F. (2007). *Elementos de minería*.
https://oa.upm.es/10684/1/070515_ELEMENTOS_DE_MINERIA-0607.pdf
- Herrmann, C., & Zappettini, E. (2014). *Recursos minerales y minería y medio ambiente*.
<https://repositorio.segemar.gov.ar/bitstream/handle/308849217/2864/Libro%20recursos%20minerales%2C%20miner%C3%ADa%20y%20medio%20ambiente%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IngeOexpert. (n.d.). *Tipos de muestreo en minería - Ingeoexpert*. Retrieved March 4, 2023, from <https://ingeoexpert.com/articulo/tipos-muestreo-mineria/>
- Kastenmayer, P. (1997). *Análisis de minerales y elementos traza en alimentos*.
<https://www.fao.org/3/ah833s/Ah833s22.htm#22.1>
- Lye, K. (1980). *Los minerales y rocas* .

- Portal Minero S.A. (2006). *Manual General de Minería y Metalurgia*.
- Pozo, M. (2019). *El papel de la caracterización mineralógica y geoquímica en el estudio de las culturas antiguas: ejemplos de excavaciones españolas en oriente*.
- Rosado, S. (n.d.). *Yacimientos de minerales metálicos*.
- Ruiz, P., & Borna, L. (2011). *Metalurgia Extractiva*.
https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/53552/mod_resource/content/1/TEMA_10._METALURGIA_EXTRACTIVA/METALURGIA_PILAR_OCW.pdf
- Vera, E., López, A., Pineda, Y., & Useda, O. (2018). *Caracterización, beneficio y usos potenciales de minerales estratégicos*.
<https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/4625/1/2727.pdf>
- Carlos, J., Cerezal, S., & Cano, M. (2013). *Ensayos geotécnicos de suelos y rocas*.
- Espinoza, L., Iriarte, G., Espinoza, L. O., Gutarra, R., Herrera, M., Zamalloa, J., & Vidal, A. (2021). *Importancia de la mineralogía en la geometalurgia: Aplicación en Perú*.
- Estrella, M. (2017). *Análisis de Metales por Espectrofotometría Atómica*.
<https://www.microlabindustrial.com/blog/analisis-de-metales-por-espectrofotometria-atmica>
- Gaviria, A., Restrepo, O., & Bustamante, O. (2007). *Hidrometalurgia aplicada: Línea de metales preciosos*.
- INIGEMM. (2017). *Hoja Geológica Machala*.
- Lovera, D., Quiñonez, J., & Gagliuffi, Pedro. (2018). *Proceso de tostación_Lixiviación de minerales auríferos con metales*.
- Ospina, J., Osorio, J., & Serna, C. (2016). *Mineralogía del proceso de lixiviación de oro en minerales refractarios con soluciones de tiosulfato*.
- Perez, V. (2001). *Evaluación para aplicaciones en arqueología y en patrimonio histórico-artístico*. Universidad Politécnica de Cataluña.

11. Anexos

Anexo 1. Ensayos de difracción y difracción de rayos X

BIZ-F-51 Ver. 01



INFORME DE ENSAYO

ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X Y MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE CUATRO MUESTRAS

PARA:

Alex David Cevallos Pacheco

Aprobado por:

Gerente General: Erika Gabriel

| Informe de Ensayo No: OTIV-130 | | | |
|--|---------|--------------|-------------|
| REV | EDICION | EMITIDO PARA | FECHA |
| 0 | Primera | Información | 31-Mar-2023 |
| Descargo de Responsabilidad: Los resultados de los ensayos pertenecen solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con Normas del Producto o como certificado del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. | | | |

II. ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

Muestra MPA03-X-7P

Análisis Químico
Semicuantitativo

| Fórmula | % |
|--------------------------------|-------|
| SiO ₂ | 47.45 |
| CaO | 12.14 |
| Al ₂ O ₃ | 8.35 |
| Fe ₂ O ₃ | 5.40 |
| MgO | 3.41 |
| SO ₃ | 3.25 |
| As ₂ O ₃ | 2.74 |
| K ₂ O | 1.56 |
| TiO ₂ | 0.22 |
| MnO | 0.13 |
| ZnO | 0.10 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.05 |
| Sb ₂ O ₃ | 0.04 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 |
| PbO | 0.02 |
| CuO | 0.01 |

| MUESTRA | LOI |
|------------|------|
| MPA03-X-7P | 15.1 |

Muestra MPA02-X2AT

Análisis Químico
Semicuantitativo

| Fórmula | % |
|--------------------------------|-------|
| SiO ₂ | 33.66 |
| Al ₂ O ₃ | 16.92 |
| CaO | 13.48 |
| Fe ₂ O ₃ | 6.47 |
| MgO | 4.41 |
| K ₂ O | 1.78 |
| SO ₃ | 0.83 |
| Na ₂ O | 0.23 |
| TiO ₂ | 0.20 |
| As ₂ O ₃ | 0.16 |
| MnO | 0.14 |

| MUESTRA | LOI |
|------------|------|
| MPA02-X2AT | 21.7 |

Muestra MPA01-V5**Análisis Químico
Semicuantitativo**

| Fórmula | % |
|--------------------------------|-------|
| SiO ₂ | 42.20 |
| Al ₂ O ₃ | 20.08 |
| CaO | 7.48 |
| Fe ₂ O ₃ | 5.31 |
| K ₂ O | 3.04 |
| MgO | 2.58 |
| SO ₃ | 2.52 |
| As ₂ O ₃ | 1.08 |
| TiO ₂ | 0.44 |
| Na ₂ O | 0.25 |
| MnO | 0.07 |
| P ₂ O ₅ | 0.07 |

| MUESTRA | LOI |
|----------|------|
| MPA01-V5 | 14.9 |

Muestra MPA04-X-7(2)**Análisis Químico
Semicuantitativo**

| Fórmula | % |
|--------------------------------|-------|
| SiO ₂ | 50.17 |
| CaO | 11.62 |
| Al ₂ O ₃ | 9.18 |
| MgO | 5.00 |
| Fe ₂ O ₃ | 4.29 |
| K ₂ O | 1.35 |
| As ₂ O ₃ | 1.29 |
| SO ₃ | 0.99 |
| TiO ₂ | 0.23 |
| MnO | 0.13 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.04 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 |
| ZnO | 0.01 |

| MUESTRA | LOI |
|--------------|------|
| MPA04-X-7(2) | 15.7 |

OBSERVACIONES:

- El presente informe no puede ser utilizado como certificado.
- Los resultados corresponden a la muestra proporcionada por el cliente.
- Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento.
- %: Porcentaje masa-masa (g/g).
- ppm: Relación masa-masa (µg/g).
- Límite de Detección de la técnica (L.D.): 100 ppm.

III. ANALISIS MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Muestra MPA03-X-7P

| Nombre del mineral | Fórmula general | Resultado Aproximado (%) |
|----------------------|--|--------------------------|
| Cuarzo | SiO ₂ | 49 |
| Mica (Muscovita) | KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ | 14 |
| Calcita | CaCO ₃ | 11 |
| Dolomita | CaMg(CO ₃) ₂ | 9 |
| Ankerita | Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂ | 7 |
| Arsenopirita | FeAsS | 4 |
| Pirita | FeS ₂ | 2 |
| Clorita (Clinocloro) | (Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈ | 2 |
| Caolinita | Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ | < L. D. |
| Anatasa | TiO ₂ | 0 |

Muestra MPA02-X2AT

| Nombre del mineral | Fórmula general | Resultado Aproximado (%) |
|---------------------|---|--------------------------|
| Cuarzo | SiO ₂ | 25 |
| Ankerita | Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂ | 23 |
| Dolomita | CaMg(CO ₃) ₂ | 21 |
| Mica (Muscovita)* | KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ | 15 |
| Turmalina (Dravita) | NaMg ₃ Al ₆ (BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄ | 5 |
| Caolinita | Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ | 5 |
| Calcita | CaCO ₃ | 2 |
| Pirita | FeS ₂ | 2 |

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

* La mica puede contener otra fase de mineral laminar interstratificada. Se recomienda realizar estudios complementarios para su detección.

Muestra MPA01-V5

| Nombre del mineral | Fórmula general | Resultado Aproximado (%) |
|--------------------|--|--------------------------|
| Cuarzo | SiO ₂ | 35 |
| Mica (Muscovita)* | KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ | 25 |
| Ankerita | Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂ | 13 |
| Dolomita | CaMg(CO ₃) ₂ | 11 |
| Calcita | CaCO ₃ | 4 |
| Pirita | FeS ₂ | 4 |
| Caolinita | Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ | 4 |
| Arsenopirita | FeAsS | 2 |
| Anatasa | TiO ₂ | < L. D. |

Muestra MPA04-X-7(2)

| Nombre del mineral | Fórmula general | Resultado Aproximado (%) |
|--------------------|--|--------------------------|
| Cuarzo | SiO ₂ | 52 |
| Ankerita | Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂ | 12 |
| Dolomita | CaMg(CO ₃) ₂ | 15 |
| Mica (Muscovita) | KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂ | 12 |
| Calcita | CaCO ₃ | 3 |
| Arsenopirita | FeAsS | 2 |
| Caolinita | Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ | 2 |
| Pirita | FeS ₂ | < L. D. |

() Mineral de la familia que se encuentra con mayor grado de certeza.

* La mica puede contener otra fase de mineral laminar interstratificada. Se recomienda realizar estudios complementarios para su detección.

OBSERVACIONES:

- Los resultados aproximados han sido redondeados a su menor valor entero, por lo que la sumatoria de los resultados no siempre suma el 100%.
- El presente informe no puede ser utilizado como certificado.
- Los resultados corresponden a las muestras proporcionadas por el cliente, las cuales han sido entregadas en las instalaciones del laboratorio.
- Está prohibida la reproducción total o parcial de este documento.
- %: Porcentaje masa relativa (g/g).
- < L. D.: Mineral identificado cuya cuantificación está por debajo del 1%.

Figura 1. Difractograma de la Muestra MPA03-X-7P con los respectivos minerales identificados

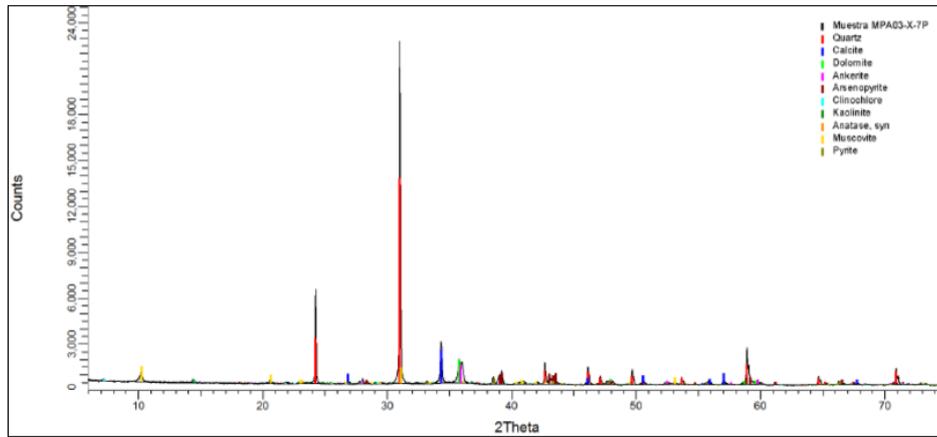


Figura 2. Difractograma de la Muestra MPA02-X2AT con los respectivos minerales identificados

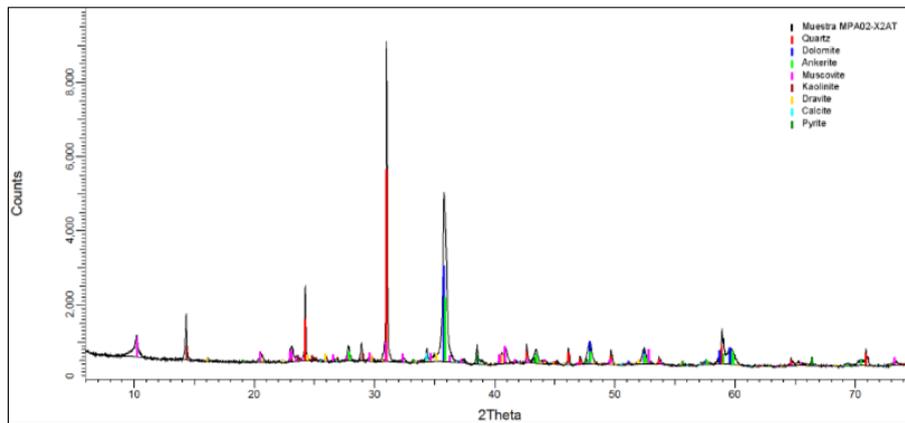


Figura 3. Difractograma de la Muestra MPA01-V5 con los respectivos minerales identificados

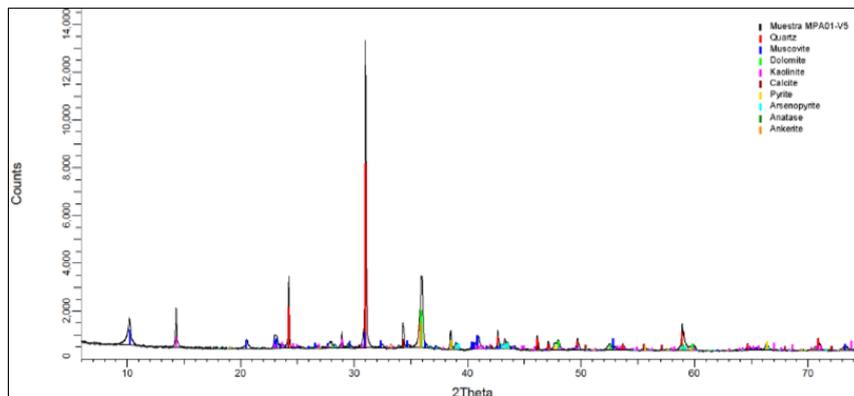
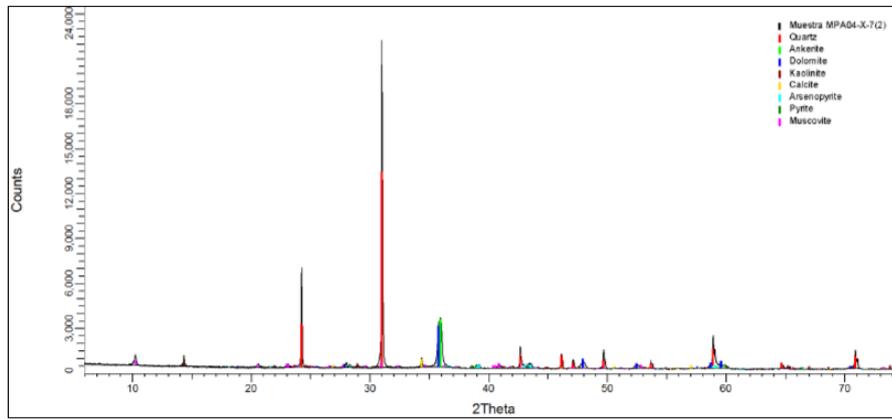


Figura 4. Difractograma de la Muestra MPA04-X-7(2) con los respectivos minerales identificados



Nota: BIZALab, (2023)

Anexo 2. ICP Multielementos



REPORTE DE LABORATORIO N° L000021589

Pág. 1

| | | | |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|
| Cliente: | ALEX DAVID CEVALLOS PACHECO | Orden de Trabajo: | |
| Dirección: | SN | Fecha de Ingreso: | 24/03/2023 |
| RUC / DNI / Otros: | 1104682990 | Fecha de Resultados: | 27/03/2023 |
| Atención: | | Tipo de Ensayo: | ICP MULTIELEMENTOS |
| Referencias: | Mostrador | Cantidad de Muestras: | 4 |

| Código-CHP | Descripción de la Muestra | Ag ppm | Al % | As ppm | Ba ppm | Be ppm | Bi ppm | Ca % | Cd ppm | Co ppm | Cr ppm |
|------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| 125366 | MPA 01-V5 | 2.0 | >5.0 | >10000 | 66.0 | <1 | <5 | >5.0 | <2 | 19.0 | 75.0 |
| 125367 | MPA 02-X2AT | <1 | >5.0 | 1820.0 | 183.0 | <1 | <5 | >5.0 | <2 | 11.0 | 28.0 |
| 125368 | MPA 03-X-7P | 11.0 | 2.57 | >10000 | 29.0 | <1 | <5 | >5.0 | 26.0 | 14.0 | 130.0 |
| 125369 | MPA 04-X-7 (2) | <1 | 2.68 | >10000 | 28.0 | <1 | <5 | >5.0 | 10.0 | 12.0 | 147.0 |
| | | Cu % | Fe % | K % | Mg % | Mn % | Mo ppm | Na % | Ni ppm | P ppm | Pb % |
| 125366 | MPA 01-V5 | <0.01 | >5.0 | 2.23 | 1.74 | 0.09 | 7.0 | 0.10 | 26.0 | 230.0 | <0.01 |
| 125367 | MPA 02-X2AT | <0.01 | >5.0 | 1.32 | 3.11 | 0.12 | 6.0 | 0.09 | 18.0 | 70.0 | <0.01 |
| 125368 | MPA 03-X-7P | <0.01 | >5.0 | 1.04 | 1.59 | 0.10 | 6.0 | 0.03 | 41.0 | 53.0 | 0.03 |
| 125369 | MPA 04-X-7 (2) | <0.01 | 3.56 | 0.84 | 2.72 | 0.09 | <5 | 0.03 | 42.0 | 45.0 | <0.01 |
| | | Sb ppm | Sc ppm | Sn ppm | Sr ppm | Ti % | V ppm | W ppm | Y ppm | Zn % | Zr ppm |
| 125366 | MPA 01-V5 | 60.0 | 22.0 | 18.0 | 45.0 | 0.05 | 181.0 | <1 | 8.0 | <0.01 | 6.0 |
| 125367 | MPA 02-X2AT | 9.0 | 9.0 | 10.0 | 66.0 | 0.05 | 54.0 | <1 | 16.0 | <0.01 | 10.0 |
| 125368 | MPA 03-X-7P | 218.0 | 16.0 | 77.0 | 30.0 | 0.03 | 95.0 | <1 | 7.0 | 0.11 | <1 |
| 125369 | MPA 04-X-7 (2) | 53.0 | 16.0 | 39.0 | 27.0 | 0.02 | 85.0 | 223.0 | 7.0 | 0.02 | <1 |

Notas:

vogo

C.H. PLENGE & CIA. S.A.

 ALICIA HUAMANIZARRA
 ING. QUIMICO CH 32143

Los remanentes de las muestras se guardarán por un período de 3 meses, vencido el plazo se procederá al desecho de las mismas.

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de C.H. PLENGE & CIA. S.A.

ORIGINAL

C.H. PLENGE & CIA. S.A.
 Av. Del Ejército 1142, Miraflores, Lima 15074 - Perú
 T. 441 3999 / 441 0106 Whatsapp 924 110 851
 www.plengelab.pe

Nota: Laboratorio Plenge, (2023)

Anexo 3. Prueba de lixiviación y ensayo al fuego



LAB – METALOR

Laboratorio Químico Metalúrgico Oscar Reyes
INFORME DE ANÁLISIS METALÚRGICO

Email: reyesosc@yahoo.es Celular: 0994457753

DATOS INFORMATIVOS:

| | | |
|-----------------|--|---------------------|
| Lugar: | Zaruma, sector El Pache a 150 metros de la Gasolinera "Pioneros TAC" en la vía Pache – Portovelo | |
| Fecha: | Viernes, 14 de abril de 2023 | No. Inf. 03-1586 |
| Solicitado Por: | Ing. Alex Cevallos | |
| Empresa Minera: | Mínero Artesanal | |

MÉTODO: PRUEBA DE LIXIVIACIÓN Y ENSAYO AL FUEGO

DOSIFICACIÓN:

| | Densidad (ρ) | Grado De alcalinidad INICIAL | Fuerza del Cianuro de sodio (CNNa) | Grado de alcalinidad FINAL | Tiempo de agitación con CNNa |
|---------|--------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Unidad | Gr/Lit | pH | ppm | pH | Horas |
| Muestra | 1300 | 9 | 2500 | 11 | 21 |

RESULTADOS:

| DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA | Oro (Au) Soluble g/TM | Oro (Au) Total g/TM |
|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| Cuarzo No. 2 MPO1 – COM | 21,63 | 36,78 |

DETALLES:

La muestra fue proporcionada por el cliente.

MÉTODO:

1. Au, Ag; LAB-METALOR-03 Prueba de agitación acuosa continua intensiva para la lixiviación de Au y Ag.
2. Au, Ag; LAB-METALOR-01 Determinación de Au por ensayo al fuego.

NOTAS:

La prueba metalúrgica muestra un consumo de CAL de aproximadamente 1,20 Kg/TM de mineral procesado. Y un consumo de cianuro de 6,00 Kg/TM.



Ing. Pg Dip. Mgs. Eng.
LABORATORISTA

Los Remanentes o Testigos se guardarán por un periodo máximo de quince (15) días, plazo en el cual los dueños pueden solicitarlos. LAB- METALOR



LAB – METALOR

Contribuye Ecológicamente
Con la Reducción del consumo de papel
"Salvar árboles, salva el planeta"

Nota: Lab Metalor, (2023)

Anexo 4. Certificado de traducción del resumen .

Loja, 14 de mayo del 2023

Yo, Dayana Micaela Ochoa Guallas, con cédula de identidad 1900842145, Licenciada en Ciencias de la Educación mención inglés registro Nro. 1031-2022-2554787.

CERTIFICO:

Que, he realizado la traducción al idioma inglés de él resumen del Trabajo de Integración Curricular denominado “Caracterización físico – química y mineralógica del material proveniente de la concesión “Las Paralelas” código 462”., mediante un análisis en la localidad de San Gerardo, elaborado por el Ing. Alex David Cevallos Pacheco con cédula de ciudadanía número 1104682990, graduado de la carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial y egresado de la maestría en Minas con mención en Metalurgia y Mineralurgia Extractiva en la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifico en honor a la verdad, facultando al portador del presente documento, hacer uso legal pertinente.

Atentamente:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Dayana Micaela Ochoa Guallas', written in a cursive style.

Lcda. Dayana Micaela Ochoa Guallas
C.I.: 1900842145