



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 de mena
proveniente del área minera Joya del Oriente II, cantón Yanzatza, provincia
Zamora Chinchipe**

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

AUTOR:

Ing. Fernando Michael Cuenca Montaña

DIRECTOR:

Ing. Julio Romero Sigcho Ph.D.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 27 de abril de 2023

Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho Ph.D.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización físico-química y mineralógica del material de mena proveniente del área minera Joya del Oriente II, cantón Yanzatza, provincia Zamora Chinchipe**, de la autoría de la estudiante **Fernando Michael Cuenca Montaña**, con **cédula de identidad Nro. 1104281603** 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. Julio Eduardo Romero Sigcho Ph.D.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Fernando Michael Cuenca Montaña**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y 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: 1104281603

Fecha: 9 de mayo de 2023

Correo electrónico: fernando.cuenca@unl.edu.ec

Teléfono: 0981105932

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

Yo, **Fernando Michael Cuenca Montaña**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización físico-química y mineralógica del material de mena proveniente del área minera Joya del Oriente II, cantón Yanzatza, provincia Zamora Chinchipe**, como requisito para optar por el título de **Magister en Minería 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 nueve días del mes de mayo de dos mil veintitrés.

Firma:

Autor: Fernando Michael Cuenca Montaña

Cédula: 110428160-3

Dirección: Km 4 Vía a Malacatos, barrio El Capulí (Loja -Ecuador)

Correo electrónico: fernando.cuenca@unl.edu.ec

Teléfono: 0981105932

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Julio Romero Sigcho, Ph.D.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios quien es el pilar fundamental para cada una de las actividades que realizo en mi vida y hoy este anhelo se cristaliza gracias a su voluntad y al regalo de vida que me otorga con la presencia de personas que se convierten en la fuente de mi motivación para ser un mejor profesional, pero sobre todo un mejor ser humano.

A mi amada esposa Anahy e hija Sarahi, que siempre estuvieron presentes en cada momento y apoyando al cumplimiento de este sueño, apoyándome con su amor, paciencia y comprensión, en ocasiones renunciando y sacrificando espacios de familia para que hoy juntos podamos disfrutar de un logro que lo siento nuestro.

A mi padre Fernando que, desde el cielo, con su presencia espiritual estuvo en cada momento brindándome su bendición y permitiéndome recordar lo que él me enseñó, que cada día es la oportunidad de ser mejor.

A mi madre France que siempre me ha acompañado para motivarme a través de su ejemplo y me ha permitido entender que el trabajo con esfuerzo siempre trae grandes recompensas.

A mis hermanos a quienes pretendo motivar para que a través de este logro puedan valorar la importancia de la formación profesional y las oportunidades que con ello se tiene.

Finalmente dedico este trabajo a mis compañeros que me permitieron competir sanamente para creer en mi talento y mejorar mis habilidades profesionales.

Fernando Michael Cuenca Montaña

Agradecimiento

Siendo Dios el pilar fundamental del desarrollo del ser humano, expreso mi gratitud por su bendición y entrega de dones como la sabiduría que me ha permitido culminar con éxito el presente trabajo investigativo y en la dimensión humana a todos quienes contribuyeron para ello.

Al Sr. Bolívar Ordoñez, representante legal del área Minera Joya del Oriente II, quien mostró su predisposición para permitirme realizar el presente trabajo en sus instalaciones.

A la Universidad Nacional de Loja, Facultad de la Energía las Industrias y los Recursos no Renovables, por plantear la oferta académica de la Maestría en minas mención mineralurgia y metalurgia extractiva en especial al Ing. Stalin Iván Puglla, quien permanentemente se involucró en su rol buscando siempre el bienestar y progreso de los estudiantes, al cuerpo docente quienes en cada jornada aportaron sus conocimientos para poder trabajar en esta investigación y fueron un referente de éxito profesional.

A mi director del Trabajo de Titulación Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho por brindar su contingente académico para establecer las pautas adecuadas para el desarrollo del trabajo.

Finalmente, al Laboratorio BIZALAB, por facilitar la ejecución de los ensayos mineralógicos.

Fernando Michael Cuenca Montaña

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización de tesis por parte del autor	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenido	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
4. Marco teórico	6
4.1. Yacimientos Minerales.....	6
4.1.1. Yacimientos hidrotermales.....	6
4.1.2. Menas auríferas.....	8
4.2. Muestreo.....	8
4.2.1. Técnicas.....	8
4.2.2. Preparación de la muestra.....	9
4.3. Técnicas de caracterización de minerales.....	10
4.3.1. Técnicas mineralógicas.....	10
4.4. Técnicas físico-químicas.....	11

4.4.1.	Espectrofotometría de absorción atómica	12
4.4.2.	Difracción de rayos X.....	12
4.5.	Beneficio de minerales.....	13
4.5.1.	Proceso de beneficio de minerales	13
5.	Metodología	17
5.1.	Área de estudio.....	17
5.1.1.	Ubicación.....	17
5.1.2.	Acceso	17
5.1.3.	Geología Regional	18
5.1.4.	Descripción de las actividades en el área de estudio.....	20
5.2.	Procedimiento	20
5.2.1.	Diseño y enfoque de investigación.....	20
5.2.2.	Tipo de investigación	20
5.2.3.	Técnicas empleadas en el procedimiento	21
5.2.4.	Recopilación de Información	21
5.2.5.	Reconocimiento de campo	21
5.2.6.	Metodología de muestreo	21
5.2.7.	Actividades de Laboratorio	23
5.3.	Materiales.....	31
6.	Resultados	32
6.1.	Descripción geológica del yacimiento	32
6.1.1.	Geología estructural	32
6.1.2.	Yacimiento	32
6.2.	Propiedades físicas del material de mena	33
6.3.	Caracterización química del material de mena	34

6.4.	Análisis mineralógico	36
6.5.	Proceso de recuperación del material de mena de acuerdo con sus características ...	38
7.	Discusión	41
8.	Conclusiones	43
9.	Recomendaciones	44
10.	Bibliografía	45
11.	Anexos	47

Índice de tablas:

Tabla 1.	<i>Resultados de las Propiedades Físicas del Material de Mena</i>	33
Tabla 2.	<i>Resultados de Ley de Au por Ensayo al Fuego</i>	34
Tabla 3.	<i>Resultados de Análisis Químico por Absorción Atómica para Diferentes Elementos</i> ...	35
Tabla 4.	<i>Resultado Mineralógico por Análisis Químico Semicuantitativo</i>	35
Tabla 5.	<i>Resultados de Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos X</i>	38
Tabla 6.	<i>Resultados de Ley de Ensayo al Fuego y Ley de Recuperación por Lixiviación</i>	39
Tabla 7.	<i>Resultados de Dosificación para la Prueba de Lixiviación</i>	39

Índice de figuras:

Figura 1. <i>Red de Fracturas del Tipo Stockwork con Mineralización de Sulfuros</i>	7
Figura 2. <i>Toma de Muestras en el Frente</i>	9
Figura 3. <i>Esquema de Espectrometría de Absorción Atómica</i>	12
Figura 4. <i>Principio de Difracción Atómica</i>	13
Figura 5. <i>Principio de Agitación Mecánica</i>	16
Figura 6. <i>Mapa de Ubicación del Área Minera</i>	17
Figura 7. <i>Acceso al Área de Estudio</i>	18
Figura 8. <i>Geología Regional</i>	19
Figura 9. <i>Yacimiento del Área Minera Tipo Stockwork</i>	22
Figura 10. <i>Fotografías de Muestras Obtenidas del Yacimiento</i>	23
Figura 11. <i>Procedimiento para el Ensayo de Contenido de Humedad</i>	24
Figura 12. <i>Pesaje de la Muestra Sumergida en Agua</i>	25
Figura 13. <i>Procedimiento para el Ensayo de Picnómetro</i>	26
Figura 14. <i>Procedimiento del Ensayo al fuego</i>	28
Figura 15. <i>Obtención del Regulo</i>	28
Figura 16. <i>Obtención del Doré</i>	29
Figura 17. <i>Ensayo de Absorción Atómica</i>	30
Figura 18. <i>Análisis de Láminas Delgadas</i>	37
Figura 19. <i>Observación macroscópica de muestras de mano y material triturado</i>	37

Índice de anexos:

Anexo 1. Propiedades físicas del material de mena	47
Anexo 2. Resultados de ensayo al fuego	48
Anexo 3. Resultados de análisis químico de fluorescencia de rayos X y mineralógico de difracción de rayos X.....	49
Anexo 4. Resultados de prueba metalurgia por lixiviación mecánica	62
Anexo 5. Certificado de Traducción.....	63

1. Título

Caracterización físico-química y mineralógica del material de mena proveniente del área minera Joya del Oriente II, cantón Yanzatza, provincia Zamora Chinchipe

2. Resumen

La concesión minera Joya de Oriente II ubicada en la parroquia Los Encuentros, cantón Yanzatza, provincia de Zamora Chinchipe, se encuentra dentro la formación Misahualli, conformado por rocas ígneas y saprolitos que hospedan mineralizaciones en forma de yacimiento de stockwork de oro, plata y veta de cuarzo, se destacan minerales secundarios como son pirita diseminada, clorita, carbonatos de calcio y manganeso.

La presente investigación tiene por objetivos realizar los análisis físicos como son peso específico, porosidad, contenido de humedad y pH del material de mena; análisis químicos para determinar la composición química de las muestras mediante la espectroscopía de absorción atómica, ensayos de fluorescencia de rayos X como análisis semicuantitativo para determinar la mineralogía y análisis de ensayo al fuego para determinar tenores de minerales de interés económico; de igual forma se realizó análisis mineralógicos para conocer cuantitativamente los minerales presentes en el material de mena a través de difracción de rayos X. A partir de los análisis mineralógicos, petrológicos, y de química mineral del material de mena del sector, se determinaron características del oro como asociaciones minerales, composición química, tamaños de grano, texturas y modo de ocurrencia del oro.

Con esta información se pudo recomendar el método idóneo para el proceso de beneficio o recuperación del mineral de interés (oro), a partir de las variaciones en los tamaños de grano de oro, presencia de minerales que dificultan la recuperación mineral, y el tipo de unidad geológica en el cual se encuentra emplazada la mineralización. Si bien todo el depósito presenta texturas que benefician la liberación del oro, la presencia de tamaños de granos de oro menores a 1,0 mm apunta hacia un proceso de recuperación mineral, mediante el proceso de lixiviación por agitación mecánica (cianuración).

Finalmente para corroborar la recomendación del proceso se llevó a efecto el ensayo del proceso metalúrgico de recuperación de oro por lixiviación (cianuración), obteniendo un resultado de recuperación del 96% de oro, en un tiempo de agitación de seis horas.

PALABRAS CLAVE: *Análisis físico-químico, análisis mineralógico, procesos de beneficio de los minerales.*

2.1. Abstract

Joya de Oriente II mining concession, located in the parish of Los Encuentros, district Yanzatza, province of Zamora Chinchipe, is located within the Misahualli formation, formed by igneous rocks and saprolites that host mineralization in the form of gold and silver stockwork and quartz veins, with secondary minerals such as disseminated pyrite, chlorite, calcium carbonates, and manganese.

The present research aims to do the physical analyses such as specific weight, porosity, moisture content, and pH of the ore material; chemical analyses to determine the chemical composition of the samples through atomic absorption spectroscopy, X-ray fluorescence assays as semi-quantitative analysis to establish mineralogy and fire assay analysis for the determination of mineral grades of economic interest; similarly, mineralogical analysis was carried out to quantitatively determine the minerals present in the ore material by X-ray diffraction and petrological description of the samples. From mineralogical, petrological, and mineral chemistry analyses of the ore material in the sector, gold characteristics such as mineral associations, chemical composition, grain sizes, textures, and mode of occurrence of gold were determined. According to this, it was possible to denote the ideal method for the beneficiation or recovery process of the mineral of interest (gold), based on variations in gold grain sizes, the presence of minerals that hinder mineral recovery, and the type of geological unit in which the mineralization is located. Although the entire deposit presents textures that benefit the liberation of gold, the presence of gold grain sizes smaller than 1.0 mm points towards a mineral recovery process, employing the mechanical agitation leaching process (cyanidation).

Finally, to corroborate the recommendation of the process, the metallurgical process of gold recovery by leaching (cyanidation) was tested, obtaining a result of 96% gold recovery, in an agitation time of six hours.

KEY WORDS: *Physical-chemical analysis, mineralogical analysis, mineral beneficiation processes.*

3. Introducción

El área minera Joya del Oriente II código 501381, perteneciente a la Sociedad Minera Joya del Oriente Norte, ubicada en la Provincia de Zamora Chinchipe, cantón Yanzatza, parroquia Los Encuentros, es un proyecto de explotación de material aurífero que en la actualidad no procesa su material de mena dentro de la misma, por lo que ha creído conveniente la construcción de una planta de beneficio para la extracción del mineral oro (Au), para ello es necesario como primer paso realizar la caracterización físico-químico y mineralógico del material de mena que permita escoger o seleccionar el proceso más idóneo para la recuperación del mineral oro (Au).

Bajo esta consideración, la presente investigación tiene como objetivo realizar dicha caracterización; para esto se realizó, trabajo de geología de campo, análisis físicos, químicos y mineralógicos del material para conocer cuáles son los minerales que existen y la proporción entre cada uno de ellos, y de manera particular aquellos que pueden interferir en los procesos metalúrgicos para la recuperación del oro.

Para la consecución de los objetivos en primera instancia se emplearon las técnicas de muestreo grab sample (muestreo a partir del material ya extraído) y posterior para los distintos análisis se ejecutaron ensayos; para la parte física se realizaron ensayos de propiedades índice de la roca; para el componente químico se empleó el ensayo de absorción atómica para conocer la composición química de las muestras y el ensayo al fuego para determinar el tenor del oro; en cuanto al estudio mineralógico se lo realizó el análisis químicos de fluorescencia de rayos X, el análisis petrológico de las muestras y difracción de rayos X.

Posterior al desarrollo y análisis, se cumplió con los objetivos planteados y se determinó y recomendó el proceso más eficaz para la recuperación del Au.

Objetivos

Objetivo general

- Plantear por métodos Físico - Químicos y Mineralógico las características del material de mena Proveniente del Área Minera Joya del Oriente II, Cantón Yanzatza, Provincia Zamora Chinchipe.

Objetivos específicos

- Realizar la caracterización físico - química del material de mena del área minera Joya del Oriente II.
- Elaborar el análisis mineralógico de las muestras obtenidas del material de mena del área minera Joya del Oriente II.
- Proponer un proceso metalúrgico apropiado y eficaz de recuperación del oro de acuerdo con las características del material de mena.

4. Marco teórico

Mineral: Según Dana y otros (1959, p. 4), un mineral es un compuesto químico formado mediante un proceso inorgánico de origen natural, los cuales se encuentran en su estado nativo o constituyendo las rocas de la corteza terrestre.

Mineralogía: Es la ciencia que estudia las condiciones de formación de minerales, su comportamiento a altas presiones y temperatura, su composición cristaloquímica y su grado de aptitud para fines técnico-económicos (Mendebach & Sussieck-Fornefeld, 1983, p. 8).

Petrología: Las rocas son agregaciones de minerales que aparecen en forma de grandes masas rocosas en la que participan varias especies de minerales (Mendebach & Sussieck-Fornefeld, 1983, p. 8).

4.1. Yacimientos Minerales

Un yacimiento mineral son concentraciones de una o más sustancias con beneficio económico que en están distribuidas escasamente en la corteza terrestre. (Bateman, 1982, p. 30).

4.1.1. Yacimientos hidrotermales

Según Smirnov, (1976, p. 232), los yacimientos del tipo hidrotermal son creadas por soluciones gaseoso-líquidas mineralizadas calientes que circular bajo la superficie de la tierra, se pueden formar por el depósito de masas minerales en las oquedades de las rocas o por la sustitución de las mismas.

Lindgren (1907), clasificó a los yacimientos en base a la temperatura y profundidad de formación, es así que se encuentra:

Hipotermal: Presiones y profundidades grandes, a temperaturas de (500° a 300°C).

Mesotermal: Presiones y profundidades medias, a temperaturas de (300° a 200°C).

Epitermal: Pequeña profundidad, a una presión moderada y a temperaturas de (200° a 50°C).

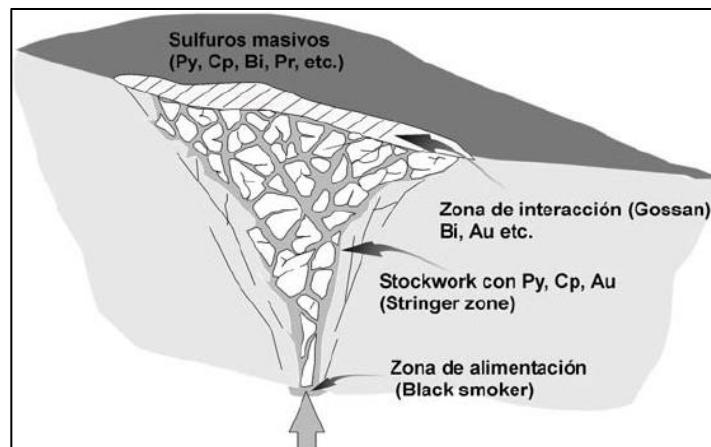
Bateman, (1982, Cap 5.4.), clasificó a los yacimientos en función del mecanismo de acumulación de minerales:

Filones: Es una masa de mineral tabular que ocupa una o más fisuras, los filones de fisura son rellenos de cavidades de gran variedad de minerales y metales.

Yacimientos de cizallamiento: Se produce alguna deposición en el interior de las vanas y grietas en forma de granos finos o placas delgadas de minerales.

Stockworks: Es una red entrelazada de pequeñas venas portadoras de mineral que atraviesan una masa rocosa. Cada una de estas pequeñas venas pocas veces rebasa la anchura de unos centímetros y la longitud de unos pocos metros y la separación entre sí oscila entre unos centímetros o decímetros. Los stockworks dan minerales de estaño, oro, plata, molibdeno, cobalto, plomo, zinc, mercurio y asbesto (ver Figura 1).

Figura 1. Red de Fracturas del Tipo Stockwork con Mineralización de Sulfuros



Nota: Gumiel, (2022)

Vetas escalonadas: Se extienden en forma paralela de pared a pared del dique, estas aberturas pueden contener tal cantidad de mineral que forman depósitos auríferos.

Depósitos de rellenos de brechas: La disposición fortuita de fragmentos de roca angulosos en las brechas da origen a numerosos huecos que permiten la entrada de soluciones mineralizadas.

4.1.2. *Menas auríferas*

El aspecto fundamental en el estudio de yacimientos es el conocimiento de los de las mineralizaciones y la proporción de cada mineral, en especial de aquellos que pueden interferir en los procesos de beneficio.

M.S, Prasad y otros (1991) citado por Ros, (2017), menciona los siguientes minerales del oro:

Minerales de oro no refractarios: El oro se recupera mediante procesos de cianuración.

Menas de oro nativo: el metal se recoge mediante separación por gravedad, amalgamación o cianuración.

Minerales de oro refractarios: corresponde a las menas no oxidadas o parcialmente oxidadas, el oro no puede ser recuperado más de un 80 % mediante cianuración convencional, incluyen

Oro asociado con sulfuros: el oro se encuentra en forma de partículas libres o diseminadas en los sulfuros.

Teluros de oro: aparecen junto con oro nativo y sulfuros.

Oro en otros minerales: con arsénico, antimonio, plomo y zinc, materiales carbonáceos.

4.2. Muestreo

Es la actividad que consiste en extraer una parte del material cuyo valor se desea conocer, esta se conoce como muestra y debe tener un valor representativo, lo más aproximado posible a la realidad de acuerdo con el grado de exactitud requerido (Lambert, 2006, p. 12).

4.2.1. *Técnicas*

Según Lambert (2006, pp. 33–35), las técnicas de muestreo en superficie son:

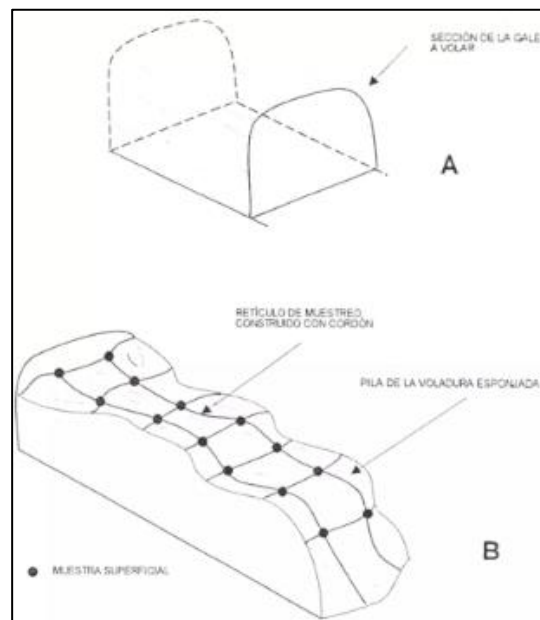
- **Chips Sample (ranurado discontinuo):** Es una muestra compuesta por fragmentos de viruta de esquirlas de roca de un afloramiento. Consiste en obtener trozos de aproximadamente 1'' de

diámetro en forma irregular en una cierta longitud siguiendo una línea imaginaria, que al igual que las canaletas siempre debe orientarse en forma perpendicular a cualquier posible control lineal. El largo depende de las características del afloramiento y puede variar entre 0,2 a 5 metros.

- **Chip channel sample (ranurado continuo):** Esta es una denominación de terreno para una muestra que es como canaleta, pero se obtiene como chip. Puede corresponder a una canaleta discontinua o a una serie de chips continuos, cuya longitud total excede los 5 metros.

- **Grab sample (muestreo a partir del material ya extraído):** Corresponde a una muestra obtenida en materiales sueltos, como desmonte acarreo, aluviales, etc. La muestra puede obtenerse de un solo punto o compositarse desde una serie de puntos establecidos ya sea irregular o regularmente. Se debe obtener un número de muestras suficiente como para caracterizar de la mejor manera el conjunto, pero en general dependerá de las dimensiones de la pila o acarreo (ver Figura 2).

Figura 2. Toma de Muestras en el Frente



Nota: Contreras, (2016)

4.2.2. Preparación de la muestra

Es la etapa más importante en un sistema de muestreo e inicia con el cuarteo de la muestra la cual está relacionada con el tamaño de partícula a través de la regla de división, sin contaminar ni tener perdida del material. Además, se realizan operaciones como trituración, molienda,

pulverización, tamizaje, mezclado, filtración y secado. Para minerales de oro y plata, generalmente minerales sin oro grueso, se determina humedades, leyes de oro y plata (Zárate, n.d.)

4.3. Técnicas de caracterización de minerales

Las técnicas de caracterización de minerales incluyen métodos: mineralógicos físicos y químicos, los mismos se describen a continuación:

4.3.1. Técnicas mineralógicas

Según Mendebach & Sussieck-Fornefeld, (1983, pp. 17–25) Las propiedades específicas de los minerales son:

Dureza: Se mide con la escala de Mohs, que comprende una escala del 1 (muy blando) al 10 (extremadamente duro)

Color: Se distingue entre minerales idiocromáticos es decir color propio y alocromáticos que están coloreados por la presencia de elementos extraños o por alteraciones en su red cristalina.

Raya: Se produce frotando un cristal con una placa blanda y sin vidriar de porcelana, al hacerlo se desprenden finas partículas de cristal que muestran el color de la raya del mineral, típico y no fluido.

Luminiscencia: Es el conjunto de fenómenos luminosos que parten de los cristales, si estos fenómenos son provocados por la acción de la radiación ultravioleta.

Exfoliación: Es la propiedad de partirse paralelamente según caras planas bajo la acción de una carga mecánica.

Peso específico: Puede ser medido de forma física en g/cm^3 y es una característica que puede servir para la identificación.

Seudomorfismo: Es cuando se modifican las condiciones físicas químicas pueden desestabilizarse siendo sustituidos por otros, aunque manteniendo la forma original.

Propiedades de la matriz rocosa

Según Dorado (1989, pp. 20–38), las características de la matriz de roca son:

Composición mineralógica: El tipo de mineral que componen la roca

Fábrica: orientación espacial de los cristales, clastos o agregados policristalinos no equidimensionales dentro de un cuerpo rocoso.

Textura: conjunto de relaciones intergranulares de tamaño y forma de los cristales o clastos que forman una roca determinada.

Tamaño de grano: de grano grueso (> 30 mm) a grano fino (2 mm reconocibles).

González de Vallejo (2002, p. 127), menciona las siguientes propiedades índices:

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

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

Peso específico: Es el peso por unidad de volumen.

4.4. Técnicas físico-químicas

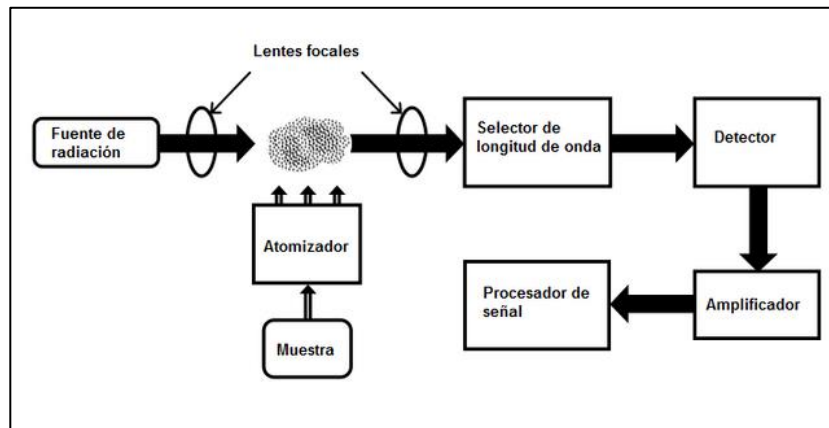
Con los análisis microscópicos se dispone la reductibilidad o flotabilidad de los minerales, es por ello que es necesario conocer la cantidad de determinado mineral para proceder a su liberación y por ende beneficio, a continuación, se mencionan algunas técnicas de reconocimiento:

4.4.1. Espectrofotometría de absorción atómica

La absorción atómica ocurre cuando un átomo en estado basal absorbe energía a una longitud de onda específica y es elevado a un estado excitado, incrementado el número de átomos del elemento.

La fuente lumínica empleada es la lámpara de cátodo hueco, esta emite el mismo espectro que el del elemento a medirse. En esta técnica se usa llama de aire acetileno u óxido nitroso-acetileno para evaporar la solución y disociar la muestra en átomos; la luz proveniente de la lámpara de cátodo hueco pasa a través de la nube de átomos, los átomos de interés absorben la luz de la lámpara, se realiza la medición con un detector y se utiliza para calcular la concentración del elemento en la muestra (ver Figura 3).

Figura 3. Esquema de Espectrometría de Absorción Atómica

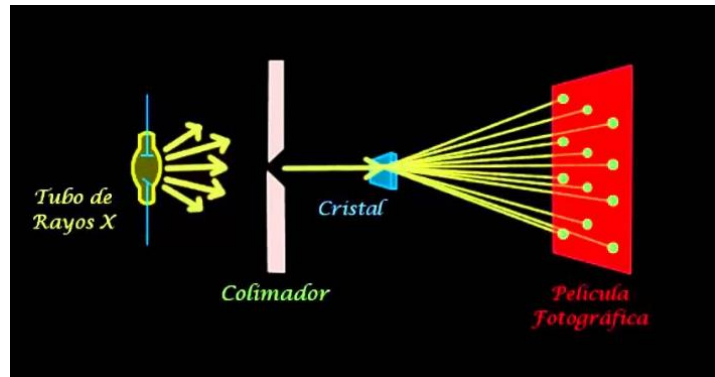


Nota: Steemit, (2018)

4.4.2. Difracción de rayos X

Según el Instituto Colombiano de Geología y Minería ([INGEOMINAS], 2010, p.) 25), esta técnica es una herramienta efectiva y complementaria para identificación de minerales, se emplea como técnica de aproximación de análisis mineralógicos y va acompañada con análisis elementales por fluorescencia de rayos X (FRX); su mayor utilidad está en servir como herramienta de investigación para determinar parámetros cristalográficos en la identificación y el análisis de compuestos sólidos. Con esta técnica es posible identificar los minerales de mena asociados y los minerales fino-granulares de alteración hidrotermal en depósitos auríferos (ver Figura 4).

Figura 4. Principio de Difracción Atómica



Nota: Difracción de Rayos X en La Identificación Mineralógica. Práctica Virtual, (2016)

4.5. Beneficio de minerales

El objetivo del beneficio de minerales es producir el máximo valor a partir de una materia prima determinada y obtener la máxima recuperación de metales, a partir de la separación de mena y ganga (Metso, 2018, p. 14).

4.5.1. Proceso de beneficio de minerales

El Ministerio de Minas y Energía- Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, (2001, p.36-38), menciona que los procesos más comunes son:

Lavado: Es el proceso en el cual se elimina el lodo y material orgánico presentes en algunos minerales.

Conminución: Es una operación donde el mineral es sometido a una reducción de tamaño que se realiza en dos pasos separados pero relacionados: trituración y molienda.

Trituración: Proceso mediante el cual se disminuye el tamaño de la roca proveniente de la mina; para este fin, se emplea diversos equipos de trituración, se tiene equipos de trituración primaria (trituradores de quijadas y giratorias), trituración secundaria (trituradoras giratorias, de cono y de rodillos).

Molienda: Consiste en reducir las partículas gruesas procedentes de la trituración secundaria a un tamaño límite depende del mineral.

Homogenización: Es el proceso de mezcla de las materias primas trituradas previo a la molienda.

Clasificación: Es la separación de los componentes de una mezcla de partículas en dos o más fracciones de acuerdo a su tamaño, siendo cada grupo obtenido más uniforme que la mezcla original.

Concentración: Es la separación del mineral o metal útil de la ganga, para estos procesos se aprovechan las propiedades físicas o físico químicas de los metales, siendo los procesos más comunes los siguientes:

Gravimetría: La separación por gravimetría se efectúa aprovechando la diferencia de densidades los minerales a separar; se utiliza particularmente en la concentración de minerales muy densos o muy livianos. Cuanto mayor sea la diferencia de densidades de los minerales, más efectiva será su separación.

Metso (2018, Cap 5), menciona que la gravimetría cubre dos diferentes métodos:

- Separación en agua (Concentración por gravedad)
- Separación en un medio pesado (Separación de medios densos)

Flotación: Se define como un proceso físico-químico mediante el cual se produce la separación de los minerales sulfurados del metal a recuperar del resto de los minerales y especies que componen la mayor parte de la roca original.

La pulpa proveniente de la molienda, con los reactivos necesarios alimenta las celdas de flotación. En el fondo de las celdas se hace burbujear aire, no en todas, a través de las aspas de agitadores rotatorios ubicados uno por celda, lo cual mantiene la pulpa en constante agitación para permitir que todas las partículas de mineral dispersas en la pulpa mantengan el mejor contacto con los reactivos (Portal Minero S.A, 2006, p. 139).

Lixiviación: Es la disolución selectiva del componente valioso en un agente lixivante (Ministerio de Minas y Energía- Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, 2001, p. 38); existen varios métodos como:

Lixiviación In situ: La mena es simplemente fracturada y lixiviada In - situ durante largos periodos de tiempo.

Lixiviación en botaderos y canchas: La primera se refiere a la lixiviación de estériles (por debajo del tenor necesario para concentración) que se eliminan en la operación normal de una mina. La segunda se refiere a la lixiviación de rocas que contienen minerales, generalmente de tenor mayor que la de botaderos y que se han apilado en canchas de una manera determinada sobre una base preparada.

Lixiviación por percolación (bateas): técnica en la que la solución lixivante se percola hacía arriba o hacia abajo a través del mineral que se ha triturado y que se ha colocado en tanques.

Lixiviación por agitación: este método es apropiado para los minerales de alto tenor o bien concentrados o calcinados. Son generalmente preparados para la lixiviación por molienda del mineral en agua, para minimizar los polvos y producir el tamaño óptimo de partículas.

El mineral finamente molido dentro de los estanques de lixiviación por agitación tiene mayor área expuesta a la lixiviación y la agitación permite disminuir el espesor de la capa límite de difusión, maximizando al mismo tiempo el área de la interfase gas-líquido.

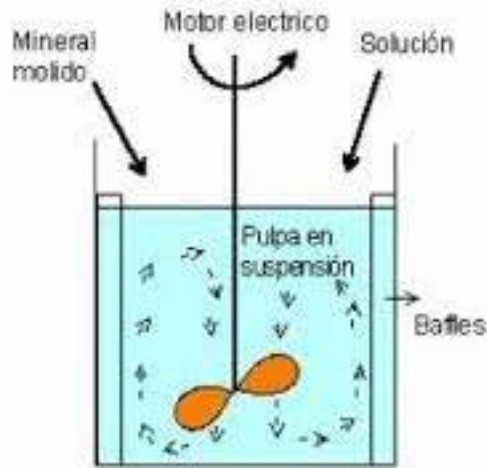
En este método de lixiviación se agita un mineral finamente molido, lo que aumenta el área de contacto entre la superficie y la solución lixivante. Este método se utiliza con minerales de alto valor comercial, por ejemplo, en la extracción de cobre, oro, plata, entre otros. El objetivo de este proceso es obtener recuperaciones más altas en tiempos más cortos (Domínica, 2001). La agitación se puede llevar a cabo mediante:

- **Agitación mecánica:** Agitación mediante rotores (hélices o paletas planas) en el fondo del tanque, lo que permite una rotación continua (Ramírez y Martínez, 2014).

Según Torres y otros. (2018), se recurre a la agitación mediante burbujeo o bien a la agitación mecánica para mantener la pulpa en suspensión, hasta que se logra la disolución completa, siendo el tiempo de contacto de los sólidos con la solución del orden de horas,

comparado con el proceso de lixiviación en montones que requiere meses. Los agitadores mecánicos son simplemente impulsores colocados en el interior del tanque como la primera figura mostrada a continuación (Ver Figura 5).

Figura 5. *Principio de Agitación Mecánica*



Nota: Torres y otros. (2018)

La lixiviación por agitación es realizada en reactores cerrados o autoclaves en los que se pueda controlar la presión, la temperatura y los rpm para una agitación eficiente. Es bastante utilizado debido a la alta velocidad de reacción, las altas recuperaciones y porque funciona para una amplia variedad de minerales.

Este tipo de lixiviación puede realizarse mediante un sistema batch, continua a contracorriente o continua en corriente (Cáceres Arenas, 2016). Por lo general, la forma más utilizada es la última, debido a que, si se aplicase el segundo sistema, se vería en la obligación de separar el ripio con el electrolito al finalizar cada etapa de lixiviación, lo que conllevaría a una pérdida de tiempo operacional en solo efectuar esa maniobra.

- **Agitación neumática:** Se realiza en tanques cilíndricos verticales con un fondo cónico, por el cual se inyecta aire comprimido (Boni, 2018).

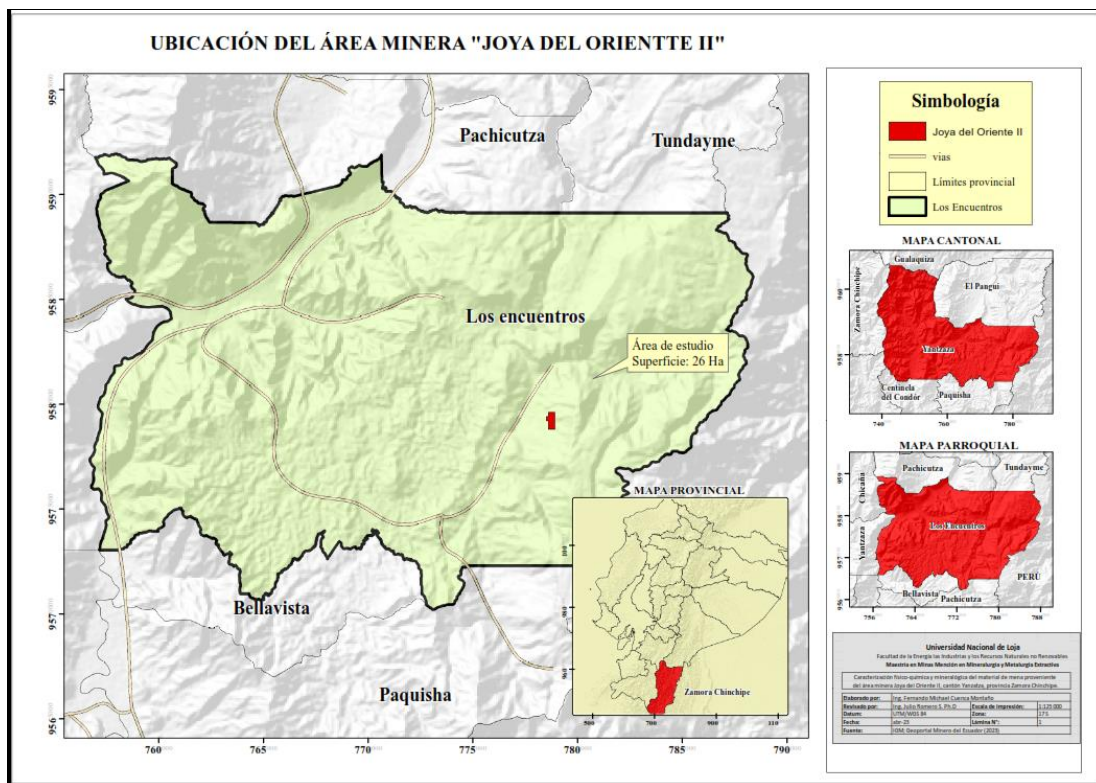
5. Metodología

5.1. Área de estudio

5.1.1. Ubicación

La concesión minera Joya del Oriente II (Código 501381) se localiza en la parte Sur Oriental del Ecuador, está conformada por 26 hectáreas mineras; políticamente se está ubicada en el sector La Zarza, perteneciente a la parroquia de Los Encuentros, cantón Yanzatza, provincia de Zamora Chinchipe (ver Figura 6)

Figura 6. Mapa de Ubicación del Área Minera

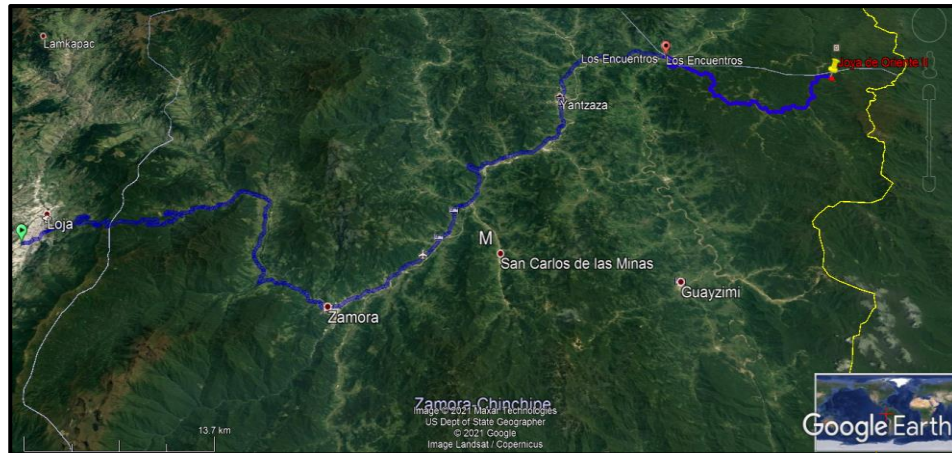


5.1.2. Acceso

El acceso a la concesión minera Joya del Oriente II se lo realiza desde la ciudad de Loja, por la ruta E45/E50 hasta la ciudad de Zamora; desde aquí continuamos por la Av. del Ejército hasta la troncal amazónica E45 con dirección hacia el cantón Yanzatza, hasta llegar a la parroquia Los Encuentros; a partir de aquí se continua por una vía de tercer orden por una longitud de 42.1

km hasta llegar a la concesión minera. El recorrido total desde Loja hasta la concesión es de 163.1 km., con un tiempo de recorrido de 4 horas y 40 minutos. (ver Figura 7).

Figura 7. Acceso al Área de Estudio



Nota: Tomado de Google Earth, (2023).

5.1.3. Geología Regional

Según refiere (Lundin Gold Inc, 2016) La zona de la Cordillera del Cóndor se encuentra conformada por litologías subandinas deformadas y metamorfizadas de la edad paleo y mesozoica, relacionadas con el arco mesozoico que se formaron entre el flanco este de la cordillera Real y lado oeste de los estratos planos de la cuenca del Amazonas.

Las rocas subandinas se encuentran en el Batolito Zamora, que tiene un eje alargado noreste-noroeste que es paralelo a los Andes ecuatorianos por más de 200 km, extendiéndose hacia el norte de Perú. Se piensa que el batolito es un arco magmático continental el cuál está relacionado con la subducción del Jurásico establecido en el margen occidental del cratón del Amazonas (Lundin Gold Inc, 2016).

De acuerdo al estudio de prefactibilidad elaborado por (Lundin Gold Inc, 2016) las rocas volcánicas andesíticas correlacionadas con el conjunto intrusivo del Batolito de Zamora se asignan convencionalmente a la Formación Misahuallí.

Los cinturones volcánicos y sedimentarios del pre-arco andino flanquean y ocurren localmente dentro del batolito. El arco fue denudado antes de la deposición del Cretácico Inferior

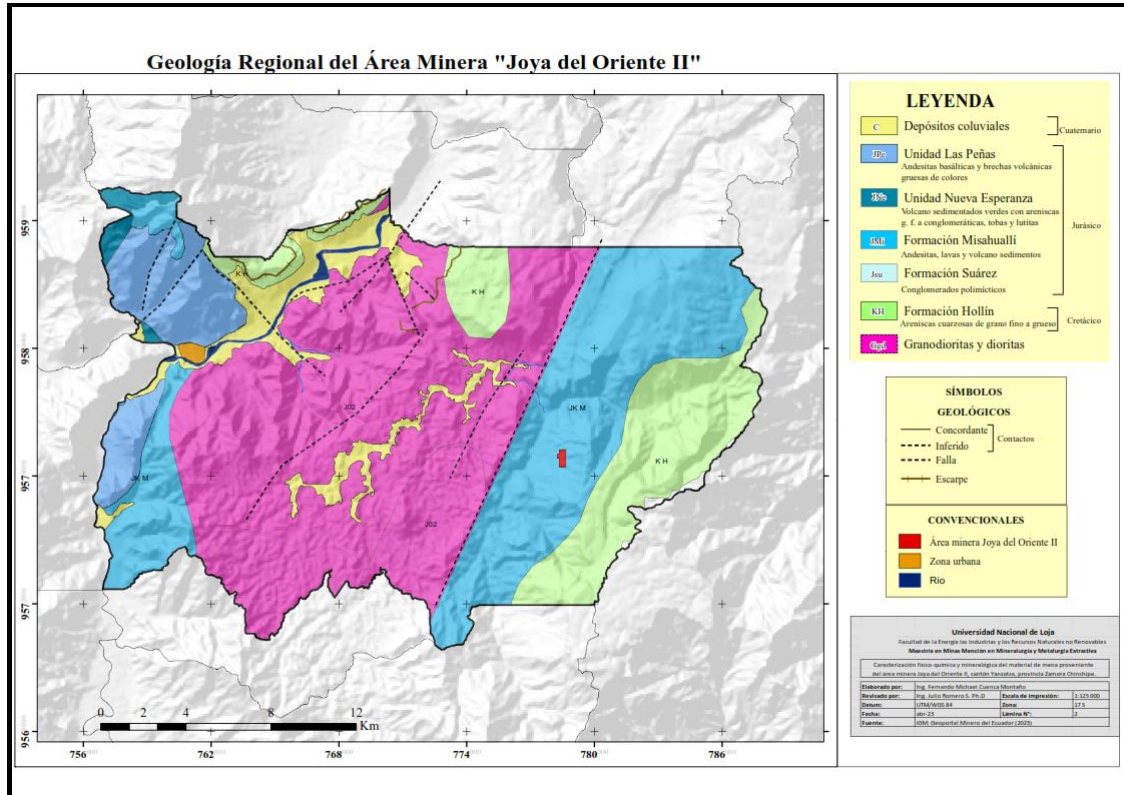
de conglomerados aluviales a aguas poco profundas y areniscas de cuarzo de la Formación Hollín (Lundin Gold Inc, 2016).

Una transgresión marina está indicada por la deposición de lutitas y calizas suprayacentes del Cretácico Temprano a Medio. El levantamiento del Cretácico tardío al Cenozoico arrojó cantidades voluminosas de detritos de las montañas emergentes de los Andes en toda la región (Prodeminca, 2000; Quispesivana, 1996).

El levantamiento y la denudación de la región expusieron grandes áreas del batolito de Zamora previa a la depositación del Cretácico Inferior a Medio (Litherland et al., 1994).

El yacimiento del área minera Joya del Oriente se encuentra asociado con el de Fruta del Norte y de acuerdo a (Lundin Gold Inc, 2016), la mineralización se encuentra en las rocas andesitas de la Formación Misahuallí, que se encuentran correlacionadas al Batolito de Zamora, ver Figura 8.

Figura 8. Geología Regional



5.1.4. Descripción de las actividades en el área de estudio

Las actividades que se realizan en la concesión minera se enfocan en la explotación del mineral metálico oro (Au), por el método de explotación a cielo abierto, dentro del área se encuentra un yacimiento del tipo stockwork.

En la actualidad se encuentran en fase de implementación de una planta de beneficio para la recuperación del mineral de interés .

Todas estas actividades se realizarán bajo el cumplimiento de la Ley Minera, Reglamento Ambiental de Actividades Mineras y Reglamento a la Ley de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua, con el fin de minimizar los impactos que se pueden producir.

5.2. Procedimiento

5.2.1. Diseño y enfoque de investigación

El diseño de investigación es tipo experimental debido a la manipulación de la variable que permitió obtener un resultado; con enfoque de tipo cuali-cuantitativo, considerando que se realizó un análisis sistemático de las muestras obtenidas para determinar las características físicas, químicas y mineralógicas del material de mena; y por otra parte se cuantifico las leyes de los minerales existentes en el yacimiento que permitió recomendar cuál es el proceso más idóneo para la recuperación del material de interés.

5.2.2. Tipo de investigación

La metodología empleada en la presente investigación se basó en diferentes actividades y de manera secuencial.

De tipo descriptivo: Con el uso de este método se desarrolló el trabajo de investigación, el cual permitió la recopilación de información de la zona de estudio, siendo un apoyo documental a la investigación realizada. La búsqueda de información fue de mucha ayuda con respecto a los temas relacionados con el área geológica y metalogénica del sector, técnicas analíticas y caracterización físico-química de los materiales de mena. Los datos conllevó a la presentación sistemática de los resultados.

De tipo Transversal: Porque la investigación fue establecida para un tiempo de 6 meses.

De tipo prospectivo: Principalmente porque los resultados e interpretación de la presente investigación sirvió de guía para seleccionar el proceso idóneo para el beneficio del mineral.

5.2.3. Técnicas empleadas en el procedimiento

Para cumplir con el objetivo general que es la caracterización físico química y mineralógica del material de mena del área minera Joya del Oriente II, se trabajó de manera secuencial o en fases para cumplir con los objetivos planteados:

La investigación se la llevó a cabo en diferentes fases:

5.2.4. Recopilación de Información

En primera instancia se revisó y recopiló todo tipo de información bibliográfica de la zona de estudio, siendo un apoyo documental a la investigación realizada. Esta información fue de mucha importancia en temas relacionados con el contexto metalogénico, técnicas analíticas de caracterización y procesos de recuperación de los minerales.

5.2.5. Reconocimiento de campo

Se realizó una visita al área minera para identificar aspectos como roca de caja, tipo de mineralización, minerales de mena y ganga en muestra de mano, así como las condiciones de extracción del mineral.

En la visita se observó una mineralización que corresponde a un yacimiento de tipo stocwork con una serie de vetillas de cuarzo, carbonatos de calcio, carbonatos de manganeso y piritita diseminada, emplazados en rocas ígneas como son andesitas de tonalidad gris verdoso de la Formación Misahuallí, cuyo rumbo es N-S y un buzamiento hacia el este. En esta zona se puede evidenciar una fuerte actividad tectónica que ha afectado a las rocas volcánicas y en las que se puede observar zonas de cizalla.

5.2.6. Metodología de muestreo

Se la realizó en función al tipo de yacimiento presente en el lugar, empleándose el método de grab sample (muestreo a partir de material ya extraído), debido a que el depósito de mineral es de tipo stockwork y considerando la explotación a cielo abierto por medios mecánicos.

La mineralización se encuentra caracterizada por un vetilleo intenso de cuarzo, pirita y carbonatos, el yacimiento tiene un ancho aproximado de 20 m a 30 m, con presencia de leyes de oro. Este tipo de yacimiento es característico en el que el mineral se encuentra en una red de vetillas estrechas e interconectadas. Ver Figura 9, de esta zona se obtuvieron las muestras para los posteriores análisis.

Figura 9. Yacimiento del Área Minera Tipo Stockwork



Nota: Yacimiento en el que se realizó el muestreo y como se encuentra la red de vetillas en la roca

Protocolo de muestreo

El protocolo de muestreo para el material de mena implicó tomar muestras instantáneas en un punto determinado en el tiempo.

Como primer paso se realizó la preparación de los recipientes (fundas de muestreo) que estén limpios para evitar la contaminación de la muestra.

Luego se seleccionó los puntos de muestreo de manera que representaron de manera adecuada el material de mena deseable, se aseguró de obtener muestras de tres puntos donde el material se encontraba bien mezclado, para obtener una representación más precisa del material.

Se procedió con la toma de muestra representativa de aproximadamente 20 Kg con una pala en cada punto de muestreo, asegurando de que el material incluya una cantidad de todo el ancho y profundidad del depósito, evitando de esta forma tomar muestras superficiales.

Una vez que se recolectó la suficiente muestra se etiquetó y hermetizó la muestra para finalmente transportarla y almacenarla adecuadamente para evitar alteración de las muestras antes de sus análisis en los laboratorios.

En el laboratorio de mecánica de rocas de la Universidad Nacional de Loja se procedió al cuarteo de las muestras y toma de muestras para los distintos ensayos y análisis previstos para la presente investigación. Ver figura 10.

Figura 10. *Fotografías de Muestras Obtenidas del Yacimiento*



Nota: Las fotografías representan las muestras obtenidas del yacimiento previo al cuarteo y luego seleccionadas para los análisis previstos.

5.2.7. *Actividades de Laboratorio*

- **Propiedades físicas – químicas y mineralógicas de los materiales de mena**

Se determinaron parámetros como contenido de humedad, peso específico, porosidad de la roca, Ph, determinación de leyes de los minerales existentes.

- **Propiedades físicas**

Las propiedades físicas de las rocas se determinó en el laboratorio de Mecánica de rocas de la carrera de Minas de la Universidad Nacional de Loja, los procedimientos utilizados fueron en base a las normas ASTM.

Para la realización de los ensayos, se aplicó un cuarteo de la muestra total obtenida en campo, posterior se tomó se tomó fragmentos de muestra representativa.

Contenido de humedad: De acuerdo a la norma ASTM D2216, se utilizó una muestra inalterada (50g – 200g) que haya mantenido la humedad natural, luego se procedió a pesar y se envió a secado en la estufa a una temperatura constante de 110 ± 5 °C, como se indica en la Figura 11, pasado el tiempo de secado se colocó en el desecador para el enfriamiento de la misma y de forma posterior se tomó el peso de la muestra seca.

Figura 11. Procedimiento para el Ensayo de Contenido de Humedad



Nota: Las fotografías representan parte del procedimiento para el ensayo de contenido de humedad, como es el pesaje de la muestra y luego la colocación de esta a la estufa.

Los cálculos se realizaron mediante la siguiente expresión.

$$W(\%) = \frac{Wh - Ws}{Ws - Wr} \times 100 \%$$

Dónde:

W = Contenido de humedad (%)

Wh = Masa del recipiente + suelo húmedo (g)

Ws = Masa del recipiente + suelo seco (g)

Wr = Masa del recipiente (g)

Peso específico aparente: Para realizar el ensayo se lo hizo a partir de un fragmento de roca, como primer paso se pesa la muestra utilizando una balanza analítica; luego se procede a obtener el peso saturado (muestra sumergida en agua por 24 horas) se la seca con cuidado con un paño para retirar el agua superficial asegurándose de que no se pierdan fragmentos de la muestra;

después se toma el peso sumergido con la balanza analítica hidrostática (peso de la muestra sumergida en agua) como se muestra en la Figura 12; finalmente se toma el peso seco de la muestra (secado de la muestra a temperatura de 105°C).

Figura 12. *Pesaje de la Muestra Sumergida en Agua*



Nota: La imagen representa el pesaje de muestra sumergida en agua para el cálculo del peso aparente.

Con los datos obtenidos de todos los parámetros, se calculó el peso aparente por medio se la siguiente expresión.

$$\rho_a = \frac{W_{seco}}{W_{saturado} - W_{sumergido}} \times \rho_w$$

Donde:

W_{seco} => Peso de la muestra seca (secada en la estufa a 105 °C)

$W_{saturado}$ => Peso saturado

$W_{sumergido}$ => Peso sumergido

ρ_w => Peso específico del agua a temperatura ambiente de 20° C equivalente a 0.9986 gr/cm³

Peso específico real: Para la determinación se utilizó el método del picnómetro; como primer paso se procedió a triturar la muestra para obtener un agregado fino pasante del tamiz # 200, el material pasante debe estar seco hasta masa constante.

Continuando con el proceso se pesó el picnómetro de 100 ml, enrasado con agua destilada, luego se eliminó un 50% aproximado de agua y se vierte el agregado fino (30 gramos) dentro del picnómetro sin derramarlo, se agitó ligeramente el picnómetro y después con la ayuda de la bomba de vacíos se eliminó el aire contenido entre el agregado fino y el agua para que no afecte el peso, al final se volvió a enrasar el picnómetro con agua destilada evitando la creación de burbujas y se procedió a pesar nuevamente. Ver figura 13.

Figura 13. Procedimiento para el Ensayo de Picnómetro



Nota: Las imágenes representan parte del proceso para el ensayo del picnómetro para determinar el peso específico del material de mena

El valor del peso específico se calculó utilizando la siguiente expresión.

$$\rho_r = \frac{W_{AF}}{W_{P+H_2O} + W_{AF} - W_{P+H_2O+AF}} \times \rho_w$$

Dónde:

W_{P+H_2O} = Peso del picnómetro + agua [gr/cm³]

W_{P+H_2O+AF} = Peso del picnómetro + agua + agregado fino [gr/cm³]

W_{AF} = Peso del agregado fino

Porosidad: Para el cálculo de la porosidad se utilizó los pesos aparentes y reales obtenidos y se aplicó la expresión:

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

Donde:

ρ_a : Es el peso aparente [gr/cm³]

ρ_r : Es el peso real [gr/cm³]

- **Química mineral**

Para determinar las cantidades de elementos químicos (minerales) presentes en el material de mena se utilizó el método de absorción atómica y para las leyes de cabeza el ensayo al fuego.

Estos ensayos se los realizó en los laboratorios de la planta de beneficio Reina del Cisne II. En primera instancia se prepararon las muestras procedentes del muestreo en campo de 4 kg.

Luego se procedió a la trituración de la muestra hasta un diámetro menor a ¼ de pulgada de la masa total, se homogenizo y se cuarteo la muestra, de este cuarteo se tomó 300 gr de muestra, que pasó a secado y luego se la pulverizó hasta obtener una finura menor a tamiz # 200; parte de este material se utilizó para la realización de los siguientes ensayos.

Ensayo al fuego: Este método consiste en producir una fusión de la muestra utilizando reactivos fundentes adecuados para llegar a la obtención de dos fases líquidas; una es la escoria constituida por silicatos y una fase metálica formada por plomo, la cual va a coleccionar los minerales de interés (oro y plata), para después ser sometidas a análisis químicos o determinación gravimétrica.

Del material pasante al tamiz # 200 (300g) se procedió a hacer otro cuarteo hasta obtener una cantidad de 20 gramos, luego se le añadió 1,5 gramos de nitrato de potasio (depende de la mineralización), 3.5 gramos de harina común, dos cucharaditas de borax y por último 120 gramos de flux (fundente). Posteriormente se procedió a la fundición a una temperatura de 950 °C., con el fin de obtener las fases líquidas y metálicas por un tiempo aproximado de 60 a 90 minutos, Ver Figura 14.

Figura 14. *Procedimiento del Ensayo al fuego*



Nota: En las imágenes se representa parte del proceso para realizar el ensayo al fuego, como es el cuarteo de la muestra, pesaje con reactivos de la misma y fundición.

Una vez completada la primera fase se obtuvo el régulo de plomo que contenía los metales de interés (Au y Ag) posterior se procedió a moldearlo en forma de cubo usando un martillo, Ver Figura 15. Una vez que se obtuvo el cubo se continuó a la fase de copelación.

Figura 15. *Obtención del Regulo*



Para el proceso de copelación como primer paso se calentaron las copelas por un tiempo de 60 minutos, después se procedió a fundir el regulo de plomo a una temperatura de 920 °C por un lapso de una hora con el fin de eliminar el plomo; el plomo queda atrapado en las copelas y una pequeña parte se elimina en los gases.

Después se obtuvo el doré el cuál es como un botón (Ver Figura 16), luego se procedió a laminarlo con el martillo; se continuó con la liberación del oro en crisoles de porcelana sobre una plancha de calentamiento a 120 °C, adicionando ácido nítrico al 15% para disolver toda la plata, obteniendo una solución de nitrato de plata y oro; por último se realizó el lavado con agua cuatro veces para obtener oro libre de la solución de nitrato de plata, para darle el color característico se introdujo por un minuto en la mufla a 700 °C.

Figura 16. *Obtención del Doré*



Para determinar la ley de oro en este caso se procedió a pesar el oro en una balanza analítica de alta precisión y por conversión se determinó la ley de cabeza.

Absorción atómica: Es una técnica analítica que se utiliza para determinar la concentración de un elemento metálico en una muestra. Se puede utilizar de igual manera para analizar la concentración de varios elementos.

Se utilizó el método de digestión ácida para determinar los elementos de cobre y plata; como primer paso se toma una muestra de 0,25 gramos a la cual se la aforó a 20 ml de ácido nítrico a una temperatura de 90 °C, luego se procedió a aforar hasta 100 ml con agua destilada, a continuación se agitó la solución por un minuto, se continuó con la toma 1 ml de la solución y se la volvió a aforar a 100 ml con agua destilada.

Como último paso se realizó la lectura analítica la cual consistió en el análisis con el espectrómetro de absorción atómica de la fase líquida, con el fin de obtener la concentración de los minerales de interés, Ver Figura 17.

Figura 17. *Ensayo de Absorción Atómica*



Nota: Las imágenes representan la técnica analítica de absorción atómica para determinar concentración de minerales de cobre, plomo y zinc

- **Mineralogía y Petrografía**

Se realizó identificación de minerales mediante la utilización del microscopio petrográfico Nikon de luz reflejada y transmitida del laboratorio de petrografía – mineralogía de la carrera de minas de la Universidad Nacional de Loja. Este análisis se lo realizó para muestras de roca, donde se identificaron los minerales de mena (incluyendo minerales de interés), ganga y alteración, relación de minerales, texturas, porcentajes de contenido del mineral, entre otras características que permitieron la identificación de los minerales, así determinar características texturales de importancia para el tratamiento y beneficio del mineral (como se encuentra relacionados los minerales, tipos de intercrecimiento, entre otros).

- **Caracterización mineralógica aplicada a la recuperación del mineral**

Determinadas las principales características mineralógicas del material de mena que fueron de importancia para poder recomendar el proceso idóneo para la recuperación del mineral, se tuvo en cuenta la información relacionada con las características del mineral de interés (oro) así como de los minerales de mena a los que se encuentra asociado.

Caracterización del oro

Con la información generada para el oro mediante el análisis mineralógico y petrográfico, se determinó relaciones de tamaño, minerales asociados, la forma en que se presenta el oro, grado de exposición y facilidad de liberación.

Con los resultados obtenidos se determinó las principales características que presenta el yacimiento (material de mena), dirigido al proceso de recuperación del mineral oro. Esta información permitió hacer referencia al proceso más idóneo para el beneficio, considerando el grado de dificultad que tendrá durante el proceso.

5.3. Materiales

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en la presente investigación, se utilizó un conjunto de materiales, equipos y software específicos para cada actividad a desarrollar.

- Materiales de campo: GPS, Brújula, Lupa, martillo geológico, tablero, fundas para muestras, lápiz, esferográficos, libreta de campo.
- Equipo de protección personal: Casco, zapato de seguridad, chaleco reflectivo.
- Material de oficina: Hojas geológicas, planos topográficos, computadora.
- Software: Arcgis 10.5, Autocad, Civil3D, Paquete de office 2019.
- Laboratorios: laboratorios de la carrera de GAYOT - minas de la U.N.L.

Equipos e instrumentos de laboratorio:

Trituradora, pulverizadora, cuarteador, tamices, balanza analítica, mufla, estufa, campana de extracción de gases, plancha calentadora, bomba de vacío, picnómetro, pipeta, embudo, matraz aforado, piseta, vasos de precipitación.

Reactivos:

Bórax, nitrato de plata, ácido sulfúrico.

6. Resultados

Los resultados se plantean en orden y en función de cada objetivo; en base a los resultados obtenidos de los diferentes tipos de análisis aplicados al material de mena; se determinaron las características físico – química y mineralógica que presenta el material del yacimiento, el cual está enfocado en recomendar un proceso idóneo para la recuperación del mineral de interés (oro) que genere mayor eficacia en el proceso de recuperación (proceso metalúrgico).

6.1. Descripción geológica del yacimiento

La geología local del área minera Joya del Oriente II, se encuentra conformada por rocas volcánicas andesitas de la Formación Misahuallí que están mapeadas en la hoja geológica Río Cenepa a escala 1: 100 000, INIGEMM (2017), la cual se corroboró en campo.

Formación Misahuallí:

Existe el afloramiento de rocas andesitas que se encuentran como rocas alteradas, presentan una coloración gris verdosa, entre los minerales primarios que se distinguen son el cuarzo y las plagioclasas, los minerales secundarios son los carbonatos de calcio, la hematita y clorita y como minerales accesorios se encuentra la pirita diseminada. Dentro de esta formación existe mineralización donde los afloramientos presentan zonas de stockwork.

6.1.1. *Geología estructural*

El área minera se encuentra en el límite este de la cuenca pull apart Suárez, la misma que se desarrolló dentro del control estructural denominado zona de falla Las Peñas de rumbo N-S (Lundin Gold Inc, 2016)

Por la zona de estudio atraviesa una importante falla de rumbo N-S y buzamiento al este, la cual se la puede observar al norte del área minera, hacia el sur el rasgo de la estructura se pierde, se correlaciona a esta falla con la mineralización existente en el lugar.

6.1.2. *Yacimiento*

En el área minera Joya del Oriente II existe un yacimiento epitermal de intermedia sulfuración de oro y plata.

Los depósitos epitermales se forman en la superficie terrestre a partir de fluidos hidrotermales de alta temperatura que ascienden desde la profundidad y reaccionan con las rocas de la corteza terrestre. Estos fluidos depositan minerales de oro y plata en las rocas, formando vetas y cuerpos mineralizados.

Los yacimientos epitermales suelen estar asociados con volcanismo reciente y actividad sísmica de la zona.

La mineralización del sector esta caracterizada por un vetilleo intenso y multifásico en forma de stockwork (cuarzo-pirita y carbonatos) con un espesor de 20m a 30m; en este sistema se encuentran las leyes de oro.

6.2. Propiedades físicas del material de mena

Las características físicas de la roca de mena se las analizó para obtener las pautas de extracción y procesamiento eficaz del mineral valioso presente en la roca.

Las características físicas del material de mena pueden variar en función del tipo de mineral presente en la roca, pero algunas características comunes incluyen: contenido de humedad, peso específico, peso aparente y porosidad fueron determinadas para la presente investigación, los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. *Resultados de las Propiedades Físicas del Material de Mena*

Muestra	Contenido de humedad(%)	Peso específico	Peso aparente	Porosidad	pH
MJO-YS-01	3.20	2.72	2.61	4.04	8.17
MJO-YS-02	6.45	2.72	2.61	4.00	8.26
MJO-YS-03	7.26	2.78	2.64	4.94	7.46

El peso específico del material de mena influye en la capacidad del proceso de separación, para separar los minerales valiosos de los minerales no valiosos. En los procesos de gravimétrica, los minerales se separan en función de su peso específico; por lo tanto, si los minerales de la mena

tienen una diferencia significativa de densidad, se puede utilizar un proceso de separación por gravedad.

La porosidad de la roca de mena puede influir en la velocidad de lixiviación y eficiencia de cianuración, ya que pueden tener una mayor capacidad de absorción de cianuro y oxígeno, lo que puede aumentar la velocidad de lixiviación y mejorar la eficiencia de la cianuración.

6.3. Caracterización química del material de mena

Para la caracterización química del material de mena en el presente estudio se realizaron diferentes tipos de análisis químicos para determinar la cantidad y calidad de los minerales valiosos y no valiosos presentes en la mena.

Las técnicas empleadas para la caracterización química del material de mena fueron las siguientes:

Ensayo al fuego.- Los resultados del ensayo se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de Ley de Au por Ensayo al Fuego

MUESTRA	ORIGEN	Au g/ton	Ag g/ton
MJO-YS-01	MINERAL	2.03	3.91
MJO-YS-02	MINERAL	7.10	4.12
MJO-YS-03	MINERAL	1.45	3.86
MJO-MG	COMPÓSITO	3.61	5.91

Se realizó los ensayos al fuego para determinar la ley de oro total (tenor) para cada muestra recolectada en el sector, determinando un promedio de 3.53 g/ton; así mismo se realizó un ensayo a un compuesto de las muestras obteniendo un resultado de 3.61 g/ton.

Análisis químico.- Se la utilizó para conocer la concentración de los diferentes elementos presentes en la muestra mediante la espectroscopía de absorción atómica, ver tabla 3.

Tabla 3. Resultados de Análisis Químico por Absorción Atómica para Diferentes Elementos

MUESTRA	ORIGEN	Cu	Pb	Zn	As
		%	%	%	%
MJO-YS-01	MINERAL	0.03	0.01	0.01	0.00
MJO-YS-02	MINERAL	0.02	0.02	0.03	0.00
MJO-YS-03	MINERAL	0.01	0.01	0.02	0.00
MJO-MG	COMPÓSITO	0.01	0.02	0.02	0.00

Los resultados del análisis químico determinaron que no hay otro mineral del interés rentable económicamente ya que el porcentaje de cobre existente en las muestras es muy bajo no supera el 0.03%. De la misma manera se hizo un análisis químico para determinar la existencia de algunos minerales penalizantes que dificultan la recuperación del mineral de interés (oro), como son el caso del plomo (Pb), zinc(Zn) y arsénico (As) obteniendo como resultado concentraciones muy bajas que no afectarían al proceso de recuperación.

Análisis mineralógico.- Esta técnica permitió la identificación y cuantificación de los diferentes minerales presentes en la mena mediante un análisis químico semicuantitativo de fluorescencia de rayos x, ver tabla 4.

Tabla 4. Resultado Mineralógico por Análisis Químico Semicuantitativo

Análisis químico semicuantitativo			
Fórmula	Muestra	Muestra	Muestra
	MJO-YS-01	MJO-YS-02	MJO-YS-03
	%	%	%
SiO ₂	52.18	55.4	49.61
Al ₂ O ₃	21.55	17.25	21.18
CaO	5.88	7.37	5.46
K ₂ O	4.61	3.4	4.67
Fe ₂ O ₃	3.59	4.07	4.91
SO ₃	1.59	2.3	3.09

MgO	1.51	1.61	2.02
Na ₂ O	0.5	0.2	0.3
TiO ₂	0.38	0.41	0.44
P ₂ O ₅	0.19	0.16	0.18
MnO	0.15	0.15	0.16
Rb ₂ O	0.02	0.01	0.01
SrO	0.01	0.01	0.01
ZnO	0.01	0.02	0.01
CuO	0.01	0.02	0.01
Cl	0.01	-	0.01
BaO	-	-	0.11
ZrO ₂	-	-	0.01

Nota: Análisis químico por fluorescencia de rayos X, realizado por el Laboratorio BIZALab

En el análisis químico por FRX se realizó para la determinación semicuantitativa de los elementos desde el sodio (Z=11) al uranio (Z=92). Los elementos que no se reportan no han sido detectados por el equipo, debido a que se encuentran por debajo del límite de detección del elemento respectivo. Los resultados elementales han sido estequiométricamente expresados en óxidos. El método de preparación aplicado a las muestras fue pastilla prensada.

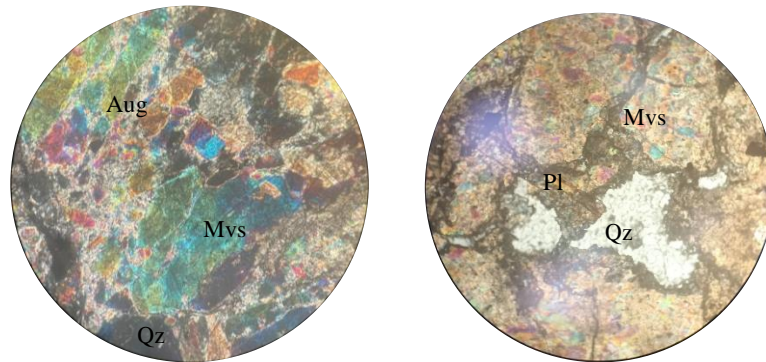
6.4. Análisis mineralógico

Se efectuó el análisis mineralógico del material de mena para la identificación y cuantificación de los minerales presentes en las muestras obtenidas. Este análisis fue esencial para poder entender como se encuentran los minerales y recomendar el proceso más adecuado para la extracción del oro.

Se realizó tres técnicas de análisis mineralógico:

Mineralogía óptica: Para el presente análisis se efectuaron dos láminas delgadas de muestras de material de mena ver Figura 18.

Figura 18. *Análisis de Láminas Delgadas*

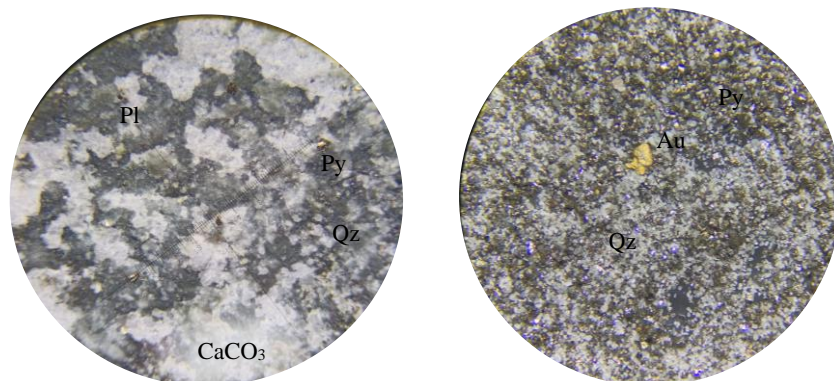


Nota: Las fotografías representan dos láminas delgadas de muestras de roca de material de mena, observadas en el microscopio petrográfico.

El análisis microscópico de las láminas delgadas permitió identificar minerales como: cuarzo, augita, clorita, moscovita y plagioclasas.

Mineralogía descriptiva: Se empleó para el análisis macroscópico del material de mena en muestras de mano y observación microscópica de material triturado como se observa en la Figura 19.

Figura 19. *Observación macroscópica de muestras de mano y material triturado*



Nota: Las fotografías representa una muestra de mano y una de roca triturada del material de mena

En el análisis macroscópico del material de mena, en la muestra de mano se identificó minerales como cuarzo, carbonato de calcio (calcita), feldespato, plagioclasas y pirita.

En la observación microscópica de la roca triturada se encontró cuarzo, pirita y el material de interés oro.

Difracción de rayos X: es una técnica analítica importante en la caracterización del material de mena, permitiendo la identificación y descripción de los minerales presentes en la roca ver tabla 5, su distribución y características cristalinas, lo que fue de utilidad en la selección del proceso de beneficio más adecuado.

Tabla 5. Resultados de Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos X

Mineral	Formula General	Resultado Aproximado (%)		
		MJO-YS-01	MJ-YS-02	MJ-YS-03
Mica (Muscovita)*	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$	40	47	41
Cuarzo	SiO_2	34	30	32
Calcita	$CaCO_3$	8	12	7
Plagioclasa (andesina)	$(Ca,Na)(Al,Si)_4O_8$	7		7
Clorita (clinocloro)	$(Mg,Fe)_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$	6	6	5
Pirita	FeS_2	2	3	4
Anatasa	TiO_2	< L.D.	<L.D.	<L.D.

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

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

Nota: Análisis mineralógico por difracción de rayos X, realizado por el Laboratorio BIZALab

Las gráficas del espectro obtenidas de difractor de rayos X, se observan en los anexos en los resultados de los ensayos de difracción de rayos X, realizados en el Laboratorio Bizalab.

6.5. Proceso de recuperación del material de mena de acuerdo con sus características

Para la elección de beneficio adecuado y eficaz del mineral de interés como en este caso es el oro, dependió de una serie de factores, en el que incluyó conocer las características físicas, composición química y distribución mineralógica del material de mena.

Como primer paso fue necesario analizar la composición química del material, identificando la presencia y concentración de los elementos de interés, así como la de los elementos que pueden afectar a los procesos de recuperación.

Luego se procedió a considerar y determinar todos los minerales del material de mena mediante análisis mineralógico, como la microscopía y difracción de rayos X.

En relación con los análisis realizados en las muestras se pudo determinar que los minerales presentes en el material de mena no son minerales cianicidas, tratándose de un material limpio de minerales penalizantes y de la existencia de oro libre que se presentan en láminas muy finas de 0.9 mm; bajo estas consideraciones se recomienda como proceso idóneo y eficaz para la recuperación del oro realizarlo mediante el proceso metalúrgico de lixiviación por agitación mecánica (cianuración).

Para tener mayor confiabilidad en cuanto a la recomendación del proceso y darle mayor veracidad a la presente investigación; se realizó el ensayo de cianuración del compuesto de las muestras anteriores, los resultados se muestran a continuación (ver tabla 6 y 7).

Tabla 6. *Resultados de Ley de Ensayo al Fuego y Ley de Recuperación por Lixiviación*

Muestra	oro (Au) soluble (g/ton)	Oro (Au) total (g/ton)
MJ-YS-MG	3.27	3.39

Nota: Resultados de ley de cabeza y de concentrados del material de mena del área minera Joya del Oriente II, realizado por el Laboratorio LAB – METALOR.

Tabla 7. *Resultados de Dosificación para la Prueba de Lixiviación*

	Densidad	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	1200	11	6

Nota: Resultados de la dosificación empleada para la prueba de lixiviación del material de mena del área minera Joya del Oriente II, realizado por el Laboratorio LAB – METALOR.

Previo a la prueba metalúrgica se realizó un análisis del compuesto de las tres muestras del material de mena para obtener una ley de cabeza la cuál fue de 3,39 g/ton, luego se procedió a realizar el ensayo con material de mena pasante del tamiz malla 200 (74 μ m) obteniendo una ley de oro soluble de 3,27 g/ton. La cuál se completó en un tiempo de 6 horas.

La prueba metalúrgica determinó un porcentaje de recuperación del 96% de oro, con un consumo de cal aproximado de 1,30 kg/l del material procesado y un consumo de cianuro de 2,90 kg/ton.

7. Discusión

La caracterización física, química y mineralógica de un material de mena es esencial para entender su composición y propiedades, y así poder determinar su posible uso o extracción económica. En este sentido, es importante analizar la composición química del material, así como su distribución mineralógica y su estructura cristalina.

En el proyecto “Propuesta de proceso hidrometalúrgico para la recuperación de oro a partir del mineral proveniente de la mina Epifanía” ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay- Ecuador realizado por Hernández & Pancho (2019) para la ejecución de la caracterización de los materiales de mena se empleó las técnicas de análisis químico de espectroscopia de absorción, ensayo al fuego; para el análisis mineralógico se realizó mediante microscopia óptica y de barrido electrónico; y para determinar las propiedades físicas se ejecutaron los ensayos para el cálculo del peso específico, densidad real y aparente.

De forma similar en el libro “Técnicas de caracterización y procedimientos empleados en la mineralogía aplica al beneficio de minerales” el autor Aragón (2021) señala que para realizar un estudio de caracterización mineralógica luego de un adecuado muestreo, se consideran tres etapas, en la primera que es el análisis químico y la misma se pueden emplear las técnicas de ensayo al fuego, absorción atómica, ICP-MS, fluorescencia de rayos X; en la segunda para determinar la ganga, se lo puede realizar mediante la técnica de difracción de rayos X; y en la tercera para la identificación y determinación del “cómo están” las especies minerales portadores de valores, su asociación entre sí y con la ganga, el tamaño y grado de liberación de las especies de valor se lo efectúa por la técnica de microscopia de barrido electrónico.

Bajo estas consideraciones en el presente trabajo se aplicaron técnicas similares para la caracterización del material de mena del área minera “Joya del Oriente II”, siendo así que para las características físicas se realizaron ensayos de contenido de humedad, peso aparente, peso específico y porosidad; para la caracterización química se aplicaron la técnica de ensayo a fuego y análisis químicos de espectroscopia de absorción y fluorescencia de rayos X; y la caracterización mineralógica se llevó a cabo mediante microscopia óptica y difracción de rayos X.

En cuanto a la elección del proceso de beneficio (metalúrgico) más eficaz en relación a las características del material de mena en el proyecto “Propuesta de proceso hidrometalúrgico para la recuperación de oro a partir del mineral proveniente de la mina Epifanía” ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay-Ecuador, se obtuvo como resultado que el porcentaje de recuperación de oro por lixiviación en 7 horas es de 90-92%, por lo que se considera un método adecuado y eficaz.

En relación a las características y tipo de minerales existentes en el material de mena en el presente estudio de igual forma se propone que el proceso de recuperación del mineral de interés oro, sea por lixiviación de agitación mecánica (cianuración), considerando además que en el ensayo por lixiviación de agitación mecánica que se realizó para dar mayor confiabilidad determinó que en un tiempo de agitación de 6 horas se recupera un 96% de oro.

En resumen, la caracterización física, química y mineralógica de un material de mena es esencial para entender su composición y propiedades, y así poder determinar su posible uso o extracción económica. Es importante utilizar una variedad de técnicas analíticas para obtener una imagen completa del material y su potencial económico.

8. Conclusiones

En el área minera Joya del Oriente II, que es el sector de estudio, existe un yacimiento de tipo stockwork con presencia de vetilleo de cuarzo, pirita diseminada y carbonatos; asociados a tenores de oro y plata.

La caracterización física del material de mena sirvió para conocer sobre las propiedades de las rocas como son peso específico, contenido de humedad y la porosidad, estos datos servirán como datos esenciales para determinar los métodos de extracción y procesamiento más adecuados.

De acuerdo con la caracterización química individual y por compósito del material de mena, los resultados promedio de ley de Au son de 3,61 g/ton.

La identificación de los minerales presentes en la mena permitió comprender su naturaleza y su comportamiento durante los procesos de extracción y beneficio.

La mayor parte del oro es microscópico y está asociado al cuarzo, carbonatos y a la pirita. Se debe recalcar que la mineralización es moderadamente refractaria, oro asociado a la pirita; sin embargo al someter la muestra a trituración y realizar gravimetría se pudo observar la liberación de oro con tamaño menores a 1 mm.

El estudio determina una asociación mineralógica característica para este tipo de depósitos, es decir que no tiene mayor contenido de elementos penalizantes y cianicidas; por lo que se puede recomendar un proceso de beneficio como es la lixiviación (cianuración).

Para darle mayor confiabilidad y veracidad a la presente investigación se realizó una prueba metalúrgica de lixiviación en la que se obtuvo como resultado un 96% de recuperación de oro en un tiempo de seis horas; lo que indica que el proceso recomendado es el adecuado.

9. Recomendaciones

Ejecutar el proceso de concentración gravimétrica previo al proceso de lixiviación con cianuro para conocer el comportamiento del material de mena.

Determinar la distribución y tamaño de partícula en el material de mena utilizando la técnica de microscopía electrónica de barrido

Conseguir la liberación del oro con una molienda fina pasante de la malla 200, para obtener una mejor recuperación en menor tiempo.

Es importante que en el área minera se aplique el proceso de recuperación de oro recomendado en la presente investigación.

Antes de cada proceso de recuperación de oro es importante realizar los análisis de ensayo el fuego para conocer el tenor del material a procesar y verificar la recuperación que se obtiene luego de cada proceso.

10. Bibliografía

- Bateman, A. (1982). *Yacimientos minerales de rendimiento económico* (sexta). Ediciones Omega.
- Dana, J., Hurlbut, C., & Klein, C. (1959). *Manual de Mineralogía* (2da ed.).
- Dorado, C. (1989). *Petrografía Básica*.
- González de Vallejo, L. F. M. O. L. O. C. (2002). *Ingeniería Geológica.pdf*. Pearson Educación.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS). (2010). *Técnicas mineralógicas químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas*.
- Lambert, Á. (2006). *Manual de muestreo para Exploración, minería subterránea y Rajo abierto*. <https://www.geologiaviva.info/wp-content/uploads/2021/07/Muestreo-de-Minerales.pdf>
- Mendebach, O., & Sussieck-Fornefeld, C. (1983). *Guía de Naturaleza Blume* .
- Metso. (2018). *Basics in Minerals Processing*.
- Ministerio de Minas y Energía- Ministerio del Medio Ambiente de Colombia. (2001). *Guía Minero Ambiental*.
<https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/handle/001/865/3%20Gu%EDa%20minero%20ambiental%20-%20Beneficio%20y%20transformaci%F3n.pdf;jsessionid=8626AFEBE5F99E16FD9E3C3DB4CA7849?sequence=3>
- Portal Minero S.A. (2006). *Manual General de Minería y Metalurgia*.
- IngeOexpert. (n.d.). *Tipos de muestreo en minería - Ingeoexpert*. Retrieved March 4, 2023, from <https://ingeoexpert.com/articulo/tipos-muestreo-mineria/>
- Pozo, M. (2019). *El papel de la caracterización mineralógica y geoquímica en el estudio de las culturas antiguas: ejmplos de excavaciones españolas en oriente*.
- Ros, A. (2017). *Recopilación sobre Metalurgia del Oro*. 5–6.
- Smirnov. (1976). *Geología de Yacimientos Minerales*. Mir Moscú.
- Zárate, G. (n.d.). *Muestreo y preparación de muestras de minerales de oro y plata*.

- Aragón Piña, A. (2021). *Técnicas de caracterización y procedimientos empleados en la mineralogía aplicada al beneficio de minerales*. México: Diseño y maquetación:índigo estudio gráfico. <https://doi.org/978-1-64086-927-1>
- Hernández Segovia, S. E., & Pancho Vega, L. G. (2019). *Propuesta de proceso hidrometalúrgico para la recuperación de oro a partir*.
- Lundin Gold Inc. (2016). *Technical Report on Feasibility Study*.
- Ospina, J., Osorio, J., & Serna, C. (2016). *Mineralogía del proceso de lixiviación de oro en minerales refractarios con soluciones de tiosulfato*.

11. Anexos

Anexo 1. Propiedades físicas del material de mena



Universidad Nacional de Loja
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos naturales no renovables
Laboratorio de Mecánica de Rocas

Técnico: Ing. Fernando Cuenca Fecha: 23/3/2023
Ensayo realizado por: Dickson Ortega y Jhuleydi Sanchez
Solicitante: Ing. Fernando Cuenca

COD	Peso Especifico			
	W. agregado	W. recip. Lleno H2O	W. agre.+ H2O	Peso Especifico
Muestra MJO1-YS-01	30	147.38	166.36	2.722
Muestra MJO-YS-02	30	147.38	166.35	2.720
Muestra MJO.YS-03	30	147.38	166.58	2.778

Observaciones: Ensayo realizado por el método del picnómetro.


COD	Peso aparente			
	W. saturado	W. sumergido	W. seco	W. aparente
M-01	133.586	83.273	131.7	2.612
M-02	243.968	131.333	242.28	2.611
M-03	131.541	82.021	131.02	2.641

COD	Porosidad
M-01	4.035
M-02	4.009
M-03	4.942

COD	pH
Muestra MJO1-YS-01	8.17
Muestra MJO-YS-02	8.20
Muestra MJO.YS-03	7.46

Observaciones: El pH se midió en muestras trituradas pasante del tamiz #200, y agitadas por cinco minutos en agua destilada.

Anexo 2. Resultados de ensayo al fuego

PLANTA DE BENEFICIO "REINA DEL CISNE II" PORTOVELO - EL ORO - ECUADOR RESULTADO DE ANÁLISIS											
 CORPORACION MINERA MIRANDA MINERMIR S.A											
FECHA	COD. LAB.	DESCRIPCION	ORIGEN	Au gr/tn	Ag gr/tn	Cu %	Pb %	Zn %	H ₂ O		
10/03/2023		MJ-YS-01	MINERAL	2.03	3.91	0.03					
		MJ-YS-02	MINERAL	7.10	4.12	0.02					
		MJ-YS-03	MINERAL	1.45	3.86	0.01					
_____ ORO Y PLATA ENSAYO AL FUEGO _____ COBRE ENSAYO DIGESTION ACIDA _____											
_____ Responsable de Laboratorio											

Anexo 3. Resultados de análisis químico de fluorescencia de rayos X y mineralógico de 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 TRES MUESTRAS**

PARA:

Fernando Michael Cuenca Montaña

Aprobado por:

Gerente General: Erika Gabriel

Informe de Ensayo No: OTIV-132			
REV	EDICION	EMITIDO PARA	FECHA
0	Primera	Información	03-Abr-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.			

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	3
II. ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X.....	4
Muestra MJO-YS-01.....	4
Muestra MJO-YS-02.....	5
Muestra MJO-YS-03.....	6
III. ANÁLISIS MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X	8
Muestra MJO-YS-01.....	8
Muestra MJO-YS-02.....	8
Muestra MJO-YS-03.....	8
IV. ANEXOS	10

I. INTRODUCCIÓN

A solicitud de Fernando Michael Cuenca Montaña, se ha realizado el análisis químico por fluorescencia de rayos X (FRX) y mineralógico por difracción de rayos X (DRX) de tres muestras.

Las muestras fueron recibidas en consistencia de polvo granulado, presentándose secas y en cantidades apropiadas para los análisis a realizar. El servicio corresponde a la orden de trabajo OTIV-132.

En el análisis químico por FRX se realizó la determinación semicuantitativa de los elementos desde el sodio ($Z=11$) al uranio ($Z=92$). Los elementos que no se reportan no han sido detectados por el equipo, debido a que se encuentran por debajo del límite de detección del elemento respectivo. Los resultados elementales han sido estequiométricamente expresados en óxidos. El método de preparación aplicado a las muestras fue pastilla prensada.

En el análisis mineralógico por DRX se realizó la determinación semicuantitativa de las fases cristalinas presentes en la muestra. El límite de detección de la técnica es aproximadamente 1%. La cuantificación de fases amorfas se evalúa a partir del 20% de contenido en la muestra. La identificación y cuantificación de fases de silicatos de cobre es limitada debido a que éstas carecen de ordenamiento estructural (baja cristalinidad). El método de preparación aplicado a las muestras fue de polvo aleatorio.

II. ANÁLISIS QUÍMICO POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X**Muestra MJO-YS-01****Análisis Químico
Semicuantitativo**

Fórmula	%
SiO ₂	52.15
Al ₂ O ₃	21.55
CaO	5.55
K ₂ O	4.61
Fe ₂ O ₃	3.59
SO ₃	1.59
MgO	1.51
Na ₂ O	0.50
TiO ₂	0.35
P ₂ O ₅	0.19
MnO	0.15
Rb ₂ O	0.02
SrO	0.01
ZnO	0.01
CuO	0.01
Cl	0.01

MUESTRA	LOI
MJO-YS-01	7.6

Muestra MJO-YS-02**Análisis Químico
Semicuantitativo**

Fórmula	%
SiO ₂	55.40
Al ₂ O ₃	17.25
CaO	7.37
Fe ₂ O ₃	4.07
K ₂ O	3.40
SO ₃	2.30
MgO	1.61
TiO ₂	0.41
Na ₂ O	0.20
P ₂ O ₅	0.16
MnO	0.15
CuO	0.02
ZnO	0.02
SrO	0.01
Rb ₂ O	0.01

MUESTRA	LOI
MJO-YS-02	7.6

Muestra MJO-YS-03**Análisis Químico
Semicuantitativo**

Fórmula	%
SiO ₂	49.61
Al ₂ O ₃	21.18
CaO	5.46
Fe ₂ O ₃	4.91
K ₂ O	4.67
SO ₃	3.09
MgO	2.02
TiO ₂	0.44
Na ₂ O	0.30
P ₂ O ₅	0.16
MnO	0.16
BaO	0.11
Rb ₂ O	0.01
ZnO	0.01
Cl	0.01
SrO	0.01
ZrO ₂	0.01
CuO	0.01

MUESTRA	LOI
MJO-YS-03	7.6

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 ($\mu\text{g/g}$).
- Limite de Detección de la técnica (L.D.): 100 ppm.

III. ANALISIS MINERALÓGICO POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Muestra MJO-YS-01

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Mica (Muscovita)*	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$	40
Cuarzo	SiO_2	34
Calcita	$CaCO_3$	8
Plagioclasa (Andesina)	$(Ca,Na)(Al,Si)_4O_8$	7
Clorita (Clinocloro)	$(Mg,Fe)_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$	6
Pirita	FeS_2	2
Anatasa	TiO_2	< L. D.

Muestra MJO-YS-02

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Cuarzo	SiO_2	47
Mica (Muscovita)*	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$	30
Calcita	$CaCO_3$	12
Clorita (Clinocloro)	$(Mg,Fe)_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$	6
Pirita	FeS_2	3
Anatasa	TiO_2	< L. D.

Muestra MJO-YS-03

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Mica (Muscovita)*	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$	41
Cuarzo	SiO_2	32
Clorita (Clinocloro)	$(Mg,Fe)_5Al(Si_3Al)O_{10}(OH)_8$	7
Calcita	$CaCO_3$	7
Plagioclasa (Andesina)	$(Ca,Na)(Al,Si)_4O_8$	5
Pirita	FeS_2	4
Dolomita	$CaMg(CO_3)_2$	< L. D.
Anatasa	TiO_2	< L. D.

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

* La mica puede contener otra fase de mineral laminar interestratificada. 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%.

IV. ANEXOS**CONDICIONES DE OPERACIÓN Y ANÁLISIS FRX:**

Equipo:	Espectrómetro
Tipo:	Longitud de onda dispersiva (WDXRF)
Ánodo	Pd (50kV, 4mA)
Temperatura de ambiente:	24 °C
Colimador:	S2
Cristales:	RX25, PET y LIF200
Detectores:	Contador de Centelleo y de Flujo.

CONDICIONES DE ANÁLISIS DRX:

Equipo:	Difractómetro
Tubo Co (35kV, 30mA):	KAlfa1: 1,78897 Å KAlfa2: 1,79285 Å
Filtro:	Kbeta: Fe
Detector:	LynxEye
Rango de medida desde $2\theta = 6^\circ$ hasta $2\theta = 75^\circ$	
Identificación: Base de datos del Centro Internacional de Datos para Difracción (ICDD).	
Cuantificación: Método Refinamiento Rietveld (TOPAS Structure Database y Fiz Karlsruhe ICSD).	

A continuación se presentan los difractogramas de las muestras analizadas.

Figura 1. Difractograma de la Muestra MJO-YS-01 con los respectivos minerales identificados

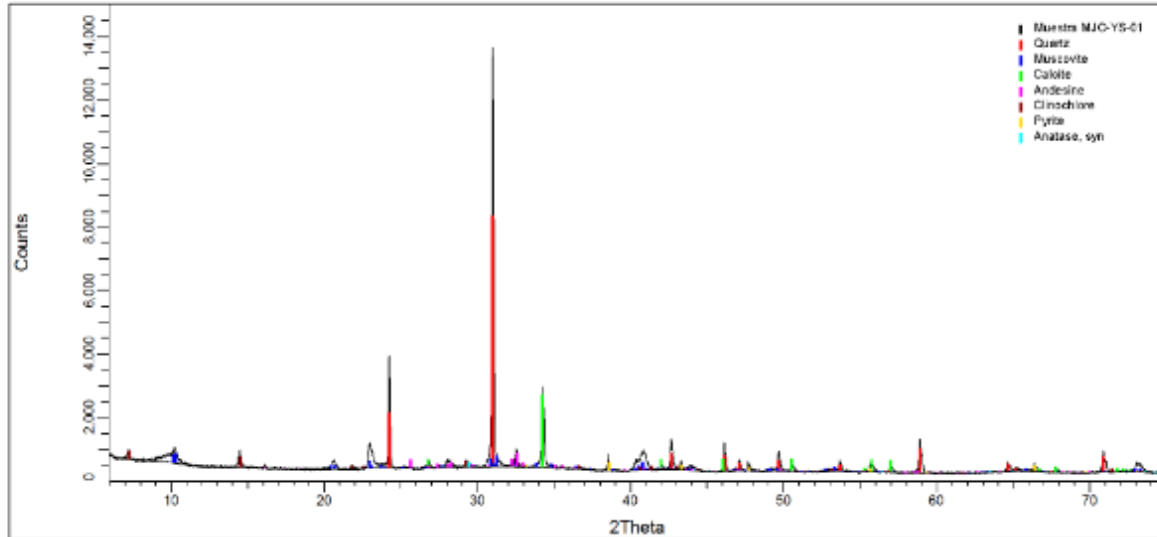


Figura 2. Difractograma de la Muestra MJO-YS-02 con los respectivos minerales identificados

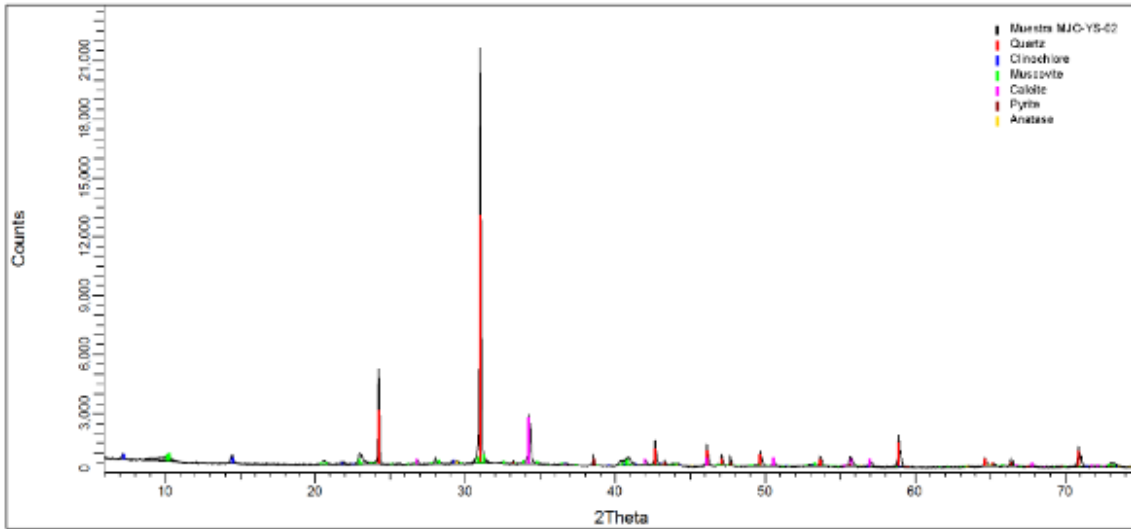
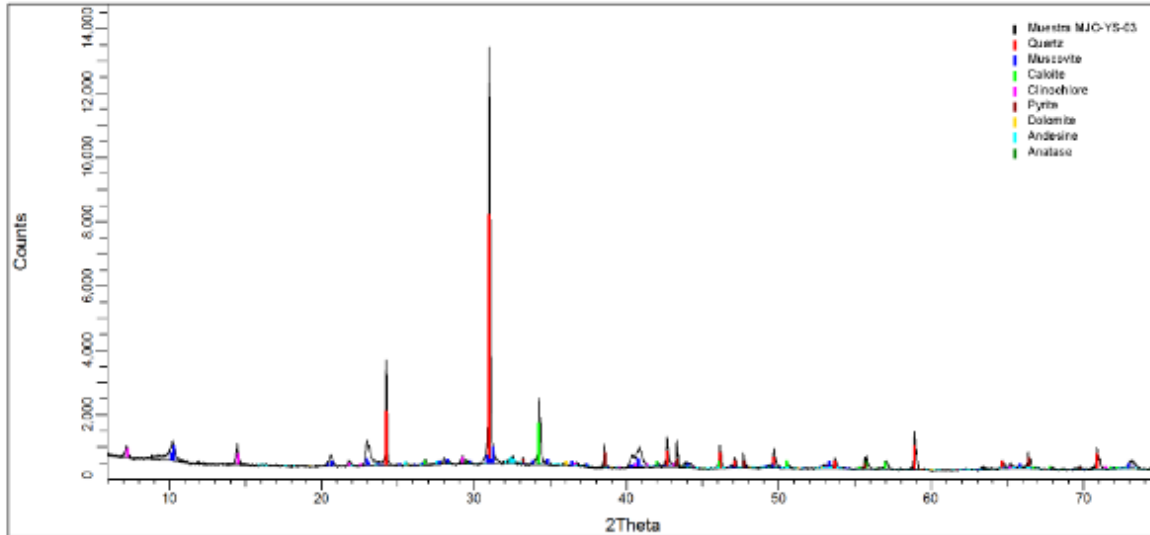


Figura 3. Difractograma de la Muestra MJO-YS-03 con los respectivos minerales identificados



Anexo 4. Resultados de prueba metalurgia por lixiviación mecánica



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. 03-1585
Solicitado Por:	Ing. Fernando Cuenca	
Empresa Minera:	Minero Artesanal	

MÉTODO: PRUEBA DE LIXIVIACIÓN Y ENSAYO AL FUEGO

DOSIFICACIÓN:

	Densidad (ρ)	Grado De alcalinidad INICIAL	Pueroza del Cianuro de sodio (CNNa)	Grado de alcalinidad FINAL	Tiempo de agitación con CNNa
Unidad	Gr/Lit	pH	ppm	pH	Horas
Muestra	1,500	9	1200	11	6

RESULTADOS:

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Oro (Au) Soluble g/TM	Oro (Au) Total g/TM
Cuarzo No. 1 Joya del oriente	3,27	3,39

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 1,30 Kg/TM de mineral procesado. Y un consumo de cianuro de 2,90 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"

Anexo 5. Certificado de Traducción

CERTIFICACIÓN:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del Trabajo de Titulación: **Caracterización físico-química y mineralógica del material de mena proveniente del área minera Joya del Oriente II, cantón Yanzatza, provincia Zamora Chinchipe, de la autoría del Ing. Fernando Michael Cuenca Montaña, con cédula de identidad Nro.1104281603, estudiante de la Maestría en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva de la Universidad Nacional de Loja.**

Lo certifico en honor a la verdad y autorizo a la interesada hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Loja, 04 de mayo de 2023



**VLADIMIR ALEXANDER
BURI FLORES**

Ing. Vladimir Alexander Buri Flores
Level, Intermediate English B1
Oxford English Academy Ecuador



CERTIFICATE OXFORD

English Academy Ecuador

In recognition of completion of the required course you are certified by Oxford

Vladimir Alexander Buri Flores

Level: Intermediate English, B1

Given on: 30th of May, 2022

Duration: 40 weeks - 238 hours

With all the rights, honors, and privileges thereunto appertaining

Mr. Alejandro Hernandez
DIRECTOR GENERAL

Director



Resolución Ministerial No. 000000-00000-2021-00111-A-00771296