



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

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

Carrera de Ingeniería en Minas

**Caracterización física, química y mineralógica de los relaves en la
recuperación de Au (oro) en la Sociedad Minera Areniscas, sector
Nambija.**

Trabajo de Integración
Curricular previo a la
obtención del título de
Ingeniera en Minas.

AUTORA:

Jessica Tatiana Benitez Luna

DIRECTOR:

Ing. José Francisco Ochoa Alfaro PhD.

Loja- Ecuador
2025

CERTIFICACIÓN

Loja, 07 de abril del 2025

Ing. José Francisco Ochoa Alfaro PhD.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Caracterización física, química y mineralógica de los relaves en la recuperación de Au (oro) en la Sociedad Minera Areniscas, sector Nambija**, previo a la obtención del título de Ingeniera en Minas, de la autoría del estudiante Jessica Tatiana Benitez Luna, con cédula de identidad Nro.1105213225, 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.



JOSE FRANCISCO
OCHOA ALFARO

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORÍA

Yo, **Jessica Tatiana Benitez Luna**, declaro ser la autora del presente Trabajo de Integración Curricular 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 Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual

Firma



Cédula de identidad: 1105213225

Fecha:

Correo electrónico: jessica.t.benitez@unl.edu.ec

Teléfono: +593 978734268

Carta de autorización por parte del autor

Yo, **Jessica Tatiana Benitez Luna**, declaro ser la autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Caracterización física, química y mineralógica del relave en la recuperación de oro en la mina Sociedad Minera Areniscas código 230, sector Nambija, provincia de Zamora Chinchipe**, como requisito para optar por el título de **Ingeniera en Minas**, 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 informáticas 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 Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja,

Firma

Cédula de identidad: 1105213225

Dirección:

Correo electrónico: jessica.t.benitez@unl.edu.ec

Teléfono: +593 978734268

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. José Francisco Ochoa Alfaro PhD.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la sabiduría y fortaleza para jamás rendirme en los días difíciles, por haberme guiado en esta travesía de mi vida universitaria, esto es el comienzo de una nueva etapa acompañada de el que nunca me ha dejado sola y ha sido mi refugio.

A mi querido papá Jorge, sus esfuerzos son el fruto de este logro, cada palabra de aliento, cada mensaje diario me hizo más fuerte, eres el gran ejemplo de que, con dedicación, esfuerzo y mucho trabajo siempre se sale adelante, gracias por trabajar sin descanso y darnos lo mejor a mí y mis hermanos. No puedo estar más agradecida, prometo devolverte cada una de las cosas que hiciste por mí. Gracias por ser mi primer maestro e inspirarme a perseguir mis sueños. Este logro es para ti, porque sin tu apoyo constante y sabiduría, no habría sido posible.

A mi querida mamá Irma, por sus consejos y apoyo incondicional que hizo que llegaría hasta aquí, eres un ejemplo de mujer valiente. Este logro te lo dedico a ti, quien ha sido mi mayor fuente de inspiración. Eres mi modelo a seguir, no tengo palabras para expresar lo agradecida que estoy por siempre alentarme a seguir en los momentos más difíciles.

Dedico este trabajo a mis padres con mucho amor y gratitud, gracias por ser la luz en mi camino, por enseñarme a jamás rendirme y siempre haber creído en mí.

A mis hermanos, Adriana y Mateo quienes han sido mis compañeros de vida, mis cómplices y mayor apoyo e inspiración para salir adelante. Gracias por creer en mí, y siempre estar ahí, celebrando mis logros y brindándome el apoyo en los momentos difíciles.

A mis sobrinos Santiago y Matías, gracias por llegar a alegrar mis días y motivarme a ser mejor por ustedes.

A mi pareja Jefferson, tu amor, paciencia y apoyo incondicional han sido esenciales para este logro.

A ti Virgencita del Cisne, esto jamás habría sido posible sin ti.

Tatiana Benitez Luna

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, quien ha sido mi fortaleza y guía en mi vida para alcanzar este logro.

A mis padres, por siempre confiar en mí, ser mi fuente de inspiración y apoyo siempre en este largo viaje. Su amor incondicional y sacrificio es el reflejo de este logro que es para ustedes.

A mis hermanos, gracias por su amor, risas y apoyo incondicional. Su presencia en mi vida es un regalo invaluable.

Mi agradecimiento a mi director del Trabajo de Integración Curricular Ing. José Francisco Ochoa Alfaro PhD., por su invaluable apoyo y guía a lo largo de este proceso. Su experiencia, paciencia y dedicación han sido fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A la planta docente de la Carrera de Minas, por brindarme sus conocimientos y experiencias que fueron indispensables para el logro de este trabajo. A la Universidad Nacional de Loja por permitirme formar parte de tan prestigiosa Universidad. Al Ing. Fermín González por su apoyo para el desarrollo de este trabajo.

De manera especial al Ing. Fernando Cuenca por su apoyo y orientación durante el desarrollo de mi trabajo. Estoy muy agradecida por el tiempo y paciencia que tuvo al resolver cada una de mis dudas.

A mis fieles y grandes amigos, Silvia y Carlos E, cada recuerdo que hemos creado juntos es invaluable. Su amistad es un regalo. Especialmente a mi querida amiga Silvia, gracias por siempre apoyarme y aun que no ha sido un camino fácil siempre ha estado apoyándome en las buenas y las malas.

A la Sociedad Minera Areniscas por permitirme el desarrollo de mi trabajo, mis más sinceros agradecimientos por abrirme las puertas.

A quienes con cariño llamo tíos, Hugo y Elena (+) que me cuidaron durante mi infancia, su apoyo y amor han sentado las bases para mi éxito académico.

A mi pareja Jefferson, quien compartió conmigo esta gran e inolvidable experiencia. Ha sido mi apoyo y me ha brindado animo y motivación cuando más lo necesitaba.

Tatiana Benitez Luna

Índice de contenidos

Portada.....	
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
Anexos.....	xii
1. Título	13
2. Resumen.....	14
3. Introducción	16
4. Marco teórico	18
4.1. Muestreo.....	18
4.1.1. Técnicas de muestreo	18
4.2. Propiedades fisicoquímicas y mineralógicas.....	19
4.2.1. Propiedades físicas-químicas	19
4.2.2. Ensayo al Fuego	19
4.3. Espectrofotometría de absorción atómica	20
4.4. Mineralogía	21
4.4.1. Difracción de rayos X	21
4.4.2. Fluorescencia de rayos x	22
4.5. Beneficio de Minerales.....	23
4.5.1. Proceso de beneficio de minerales	23
4.6. Métodos de recuperación de oro	24
4.6.1. Gravimetría.....	24
4.6.2. Flotación.....	25
4.6.3. Lixiviación	26
4.7. Relaves Mineros	28
4.8. Tipos de Relaves	28
5. Metodología	30

5.1.	Área de estudio.....	30
5.1.1.	Ubicación	30
5.1.2.	Acceso	30
5.1.3.	Geología Regional.....	31
5.1.4.	Procedimiento.....	33
5.1.5.	Materiales	33
5.2.	Metodología del primer objetivo.....	33
5.2.1.	Recolección de las muestras:.....	34
5.3.	Metodología del segundo objetivo	39
5.4.	Metodología del tercer objetivo	41
6.	Resultados	43
6.1.	Geología interior mina	43
6.2.	Descripción del método de extracción-recuperación.	44
6.2.1.	Etapas del método de gravimetría ocupado en la Sociedad Minera Areniscas	45
6.3.	Propiedades físicas del material de relave.....	45
6.3.1.	Peso específico	45
6.3.2.	Contenido de humedad.....	46
6.3.3.	Granulometría.....	47
6.4.	Propiedades químicas del relave	48
6.4.1.	pH y Conductividad	48
6.4.2.	Ensayo al fuego	49
6.5.	Análisis mineralógico del relave.....	51
6.5.1.	Mineralogía descriptiva.....	51
6.5.2.	Fluorescencia de Rayos X.....	52
6.5.3.	Difracción de rayos x	53
6.6.	Propuesta de un método o alternativa en la recuperación de oro.	55
6.6.1.	Propuesta de método	55
7.	Discusión.....	58
8.	Conclusiones	60
9.	Recomendaciones.....	61
10.	Bibliografía.....	62
11.	Anexos.....	65

Índice de Tablas

Tabla 1 Coordenadas UTM PSDAD-56	30
Tabla 2 Materiales empleados para el desarrollo	33
Tabla 3 Número de muestras	34
Tabla 4. Métodos de extracción de oro: flotación y cianuración	42
Tabla 5. Resultados del peso específico	45
Tabla 6. Contenido de humedad.	46
Tabla 7. Resultados del P80 mediante Rosin Rammler.....	47
Tabla 8. Conductividad y pH.....	48
Tabla 9. Ensayo al fuego	50
Tabla 10. Resultados de FRX	52
Tabla 11. Resultados de Difracción de rayos X de la muestra M01.....	53
Tabla 12. Resultados de Difracción de rayos X de la muestra M02.....	54
Tabla 13. Resultados de Difracción de rayos X de la muestra M03.....	55
Tabla 14. Determinación de Oro a través de cianuración	56
Tabla 15. Prueba de Flotación	56

Índice de Figuras

Figura 1. Espectroscopía de absorción atómica.....	21
Figura 2. Difracción de rayos x	22
Figura 3. Proceso fisicoquímico Método de flotación	25
Figura 4. Tiempos de retención según método lixivante	26
Figura 5. Lixiviación de oro en Pilas	27
Figura 6. Lixiviación por agitación	27
Figura 7. Mapa de Ubicación de la Planta de Beneficio “Areniscas”	30
Figura 8. Acceso al área de estudio	31
Figura 9. Geología Regional de Zamora	32
Figura 10. Cuarteo de la muestra	35
Figura 11. Peso específico	36
Figura 12. Contenido de humedad	36
Figura 13. Granulometría	37
Figura 14. Conductividad y pH	37
Figura 15. Etapas para el desarrollo de ensayo al fuego.....	38
Figura 16. Ensayo al fuego.....	38
Figura 17. Análisis macroscópico	39
Figura 18. Etapas para el desarrollo de fluorescencia de rayos x.....	40
Figura 19. Etapas para el desarrollo de difracción de rayos x.....	40
Figura 20. Geología Interior Mina Sociedad Minera Areniscas	44
Figura 21. Etapas de la Planta de Beneficio de la Sociedad Minera Areniscas	45
Figura 22. Gráfica de las muestras de relave de peso específico	46
Figura 23. Gráfica de contenido de humedad	47
Figura 24. Granulometría por Rosin Rammler	47
Figura 25. Resultados de pH	49
Figura 26. Resultados de conductividad	49
Figura 27. Resultados de zona de stock.....	50
Figura 28. Resultados de zona de relave	51
Figura 29. Muestra microscópica de la zona de stock.....	51
Figura 30. Muestra microscópica de relave.....	52
Figura 31. Difractograma de la muestra M01.....	53
Figura 32. Difractograma de la muestra M02.....	54
Figura 33. Difractograma de la muestra M03.....	55

Figura 34. Propuesta de Cianuración.57

Anexos

Anexo 1. Geología Interior Mina Sociedad Minera Arenisca	66
Anexo 2. Granulometrías por el P80.....	67
Anexo 3. Ensayo al fuego	73
Anexo 4. Ensayo de FRX en el Laboratorio de la Universidad Técnica Particular de Loja ...	77
Anexo 5. Ensayo de DRX en el Laboratorio de la Universidad Técnica Particular de Loja...	78
Anexo 6. Proceso metalúrgico de agitación mecánica	81
Anexo 7. Prueba de flotación	82
Anexo 8. Certificado de traducción	83

1. TÍTULO

Caracterización física, química y mineralógica de los relaves en la recuperación de Au (oro) en la Sociedad Minera Areniscas, sector Nambija.

2. RESUMEN

La Planta de Beneficio de la Sociedad Minera Areniscas código “230” se encuentra ubicado en la parroquia San Carlos de las Minas, provincia de Zamora Chinchipe. El material que se procesa en la planta se trata de un yacimiento mineral de tipo skarn que contiene mineralización de oro y minerales secundarios como son carbonatos de calcio y manganeso; el yacimiento se ubica dentro de la formación triásica Piuntza que está conformada por rocas volcánicas andesíticas, sedimentos volcanoclásticos epiclásticos calcáreos y skarn.

El proceso de recuperación actual de la planta no es el más eficiente debido a que existe una recuperación aproximada del 65% del mineral de interés que es el oro; por lo que un porcentaje importante del oro se va en los relaves.

Esta investigación tiene el propósito de realizar un estudio y análisis de los relaves y determinar un método idóneo para la recuperación del oro, es por ello que se planteó objetivos para analizar las propiedades físicas del material de relave como son peso específico, contenido de humedad, granulometría; propiedades químicas tales como pH, conductividad, ensayo al fuego para determinar la ley de oro existente en el material de relave. Además, análisis mineralógicos para conocer los elementos y minerales que se encuentran presentes mediante los ensayos de fluorescencia de rayos x y difracción de rayos x.

Con la información recolectada de la caracterización del relave se propuso un método eficaz para el proceso de beneficio, a partir de todos los análisis realizados se identificó el tipo de minerales existentes en el relave, composición química y ley de oro presente. Con esta información y considerando la presencia de minerales como son óxidos y leyes bajas de oro se consideró pertinente realizar el proceso de lixiviación por agitación mecánica (cianuración).

Palabras claves: Relave, caracterización física y química, análisis mineralógico, método de lixiviación por agitación mecánica.

Abstract

The Beneficiation plant of the Areniscas Mining Company, code "230" is located in San Carlos de las Minas parish, Nambija neighborhood, Zamora Chinchipe Province. The recovery process used in the plant is the gravimetric method. The material processed in the plant is a skarn-type mineral deposit that contains gold mineralization and secondary minerals such as calcium and manganese carbonates; the deposit is located within the Triassic Piuntza formation, which consists of andesitic volcanic rocks, calcareous epiclastic volcanic sediments and skarn.

The current recovery process at the plant is not the most efficient because there is an approximate recovery of 65% of the mineral of interest, which is gold; therefore, a significant percentage of the gold is lost in the tailings.

This research aims to conduct a study and analysis of the tailings and determine a suitable method for gold recovery, to achieve this, objectives were set to analyze the physical properties of the tailings material such as specific weight, moisture content, granulometry; chemical properties such as pH, conductivity, fire test to determine the gold grade existing in the tailings material. Additionally, mineralogical analysis were performed to identify the elements and minerals present through x-ray fluorescence and x-ray diffraction tests.

Based on the collected from the characterization of the tailings, an effective method for the beneficiation process was proposed. From the analyses, the type of minerals existing in the tailings, chemical composition and gold content were identified. Considering the mineral such as oxides and low gold grades, it was deemed pertinent to carry out the leaching process by mechanical agitation (cyanidation).

Keywords: Tailings, physical and chemical characterization, mineralogical analysis, mechanical agitation leaching method.

3. INTRODUCCIÓN

La Sociedad Minera Areniscas código 230, perteneciente a la Concesión Minera Asonambile código 501423, esta ubicada en la Provincia de Zamora Chinchipe, cantón Zamora, parroquia San Carlos de las Minas, barrio Nambija, es una área en la que se realiza la explotación del material de interés oro, el cual es procesado en la planta de beneficio mediante el método de gravimetría. Para ello, se determinó la caracterización físico, química y mineralógica del material de relave de la disposición final que permita determinar los minerales valiosos que aún están presentes en esta etapa.

El presente trabajo de investigación se resume el proceso de la caracterización; el cual para su cumplimiento de acuerdo al proyecto debidamente aprobado por las instancias pertinentes me permitió realizar, visitas in situ, de su trabajo de campo, al igual que sus análisis físicos, químicos y mineralógicos, que me permitió la identificación de los minerales presentes en el relave y el porcentaje de cada uno de ellos, en miras a su utilización del método mas adecuado de acuerdo a las características encontradas

Para el desarrollo de cada uno de los objetivos se emplea técnicas de muestreos, ensayos granulométricos, densidad, pH, conductividad, ensayo al fuego, y análisis, en especial difracción de rayos x y fluorescencia de rayos x que se plasman en el presente documento como resultado de su aplicación metodológica correspondiente, en este contexto los valores tanto cualitativos como cuantitativo me permite identificar y cuantificar los minerales que se encuentran presentes en el material de relave. Una vez identificado las cantidades de minerales y sus propiedades físicas como químicas se efectuó una comparativa entre el método de cianuración y flotación, además de, pruebas piloto para ambos métodos con la finalidad de determinar el método más idóneo para la recuperación de oro en el material de relave.

Objetivos

Objetivo General

- Caracterizar los relaves en la recuperación de oro en la mina Sociedad Minera Areniscas código 230, sector Nambija, provincia de Zamora Chinchipe.

Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físicas y químicas del relave de la mina Sociedad Minera Areniscas código 230.
- Desarrollar el análisis mineralógico del relave de la mina Sociedad Minera Areniscas código 230.
- Proponer un método o alternativa en la recuperación de oro de acuerdo con las características físicas químicas y mineralógicas del relave de la mina Sociedad Minera Areniscas código 230.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Muestreo

En referencia a lo expuesto por Ortiz (2015), el muestreo es la acción de levantar o recolectar una porción representativa en cantidad y calidad, del mineral en estudio para proceder a su respectivo análisis de laboratorio y pruebas en planta piloto. Con ello se puede comprender la composición, propiedades y el comportamiento del mineral a lo largo del proceso de beneficio

Dichas muestras para ser representativas deben evidenciar con tal precisión la variabilidad del depósito mineral y avalar que las decisiones tomadas en base a los resultados del análisis sean adaptables a toda la operación (Ortíz, 2015).

4.1.1. Técnicas de muestreo

Sin duda alguna, en un proceso de muestreo, el uso de equipos y técnicas adecuadas garantiza la efectividad o la acertada representatividad de la muestra. De entre estas técnicas Aragón (2021) recomienda:

Muestreo por canaleta

Este tipo de muestreo es adecuado para mineralización distribuida uniformemente en forma de vetas, largueros, y difusiones. Este consiste en realizar pequeños cortes o zanjas transversales de entre 30 a 50 cm de profundidad en la canaleta; mientras que, en la falda las ranuras son longitudinales. Ahí se depositarán las muestras subdivididas por tramos sistemáticos (Ekka, 2020).

Muestreo por mallas

Esta técnica de muestreo es exclusiva para ripios o relaves cuyas características incluyan una baja altura y amplia extensión (Vega, 2014). Para el mismo autor, el proceso parte con la elaboración de una malla similar a la de desmontes, y en sus vértices o puntos se obtiene la muestra; para ello es habrá hecho previamente una excavación de 30 a 50 cm, de profundidad.

Muestreo por sondaje

Según Ekka (2020), este tipo de muestreo aplica cuando el relave es muy alto y de gran extensión; ya que en este caso el muestreo superficial no sería representativo del total. En estos casos se levanta una malla regular de sondajes. dentro de este tipo de técnicas la más recomendable para ejecutarse son los sondajes de polvo y con sistema de aire reverso, u otros métodos como el sistema Becker.

Grab sample

El Grab sample, corresponde en español a la técnica de muestreo aleatorio, y la misma en referencia a lo descrito por Talon/LPE (2024), consiste en tomar al azar una muestra de un afloramiento rocoso a evaluar, para examinar la presencia de elementos de alto valor. Es de advertir que las muestras aleatorias solo pueden proporcionar una instantánea de la información contenida; por lo tanto, por su caracterización no son representativas individualmente, sin embargo, conllevan un papel importante en la investigación especialmente preliminar.

4.2. Propiedades fisicoquímicas y mineralógicas

Desde el posicionamiento de Cuenca (2023), las propiedades fisicoquímicas y mineralógicas hacen referencia a los materiales, caracterizándolos especialmente en el contexto de la geología y o la minería, así como se presenta a continuación:

4.2.1. Propiedades físicas-químicas

Cuenca (2023) explica que, al ser los relaves mineros residuos derivados del procesamiento de minerales en la minería. Es de advertir que sus propiedades físico-químicas pueden variar relativamente dependiendo del tipo de material procesado, los métodos de extracción empleados y los escenarios geográficos y ambientales de la mina.

Así, de entre las propiedades físicas más importantes se puede considerar la textura y granulometría determinado por el tamaño de las partículas, la densidad de los residuos, color, humedad, porosidad, conductividad térmico-eléctrica, y permeabilidad.

Por otro lado, de entre las propiedades químicas relativas a la caracterización de un relave en rastreo de un extra beneficio o reprocesamiento, se puede anotar su PH, químicos utilizados en el proceso de extracción, o su composición química en sí respecto al contenido de minerales no recuperados.

Según lo explica Cuenca (2023), con los análisis microscópicos se hace factible la disposición de la reductibilidad o flotabilidad de los minerales; en tal virtud, para proceder a la liberación de determinado mineral y por ende beneficio, se requiere conocer su cantidad presente.

4.2.2. Ensayo al Fuego

El ensayo al fuego es un procedimiento tradicional usado desde la antigüedad o durante siglos para la determinación de metales preciosos, como el oro y la plata, en muestras de minerales o concentrados. Así el Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador

(IIGE, 2020) lo describe como un método analítico basado en la capacidad del oro de resistir la oxidación y volatilización cuando se somete a temperaturas extremadamente altas. El análisis se efectúa a través de un recipiente cerámico llamado crisol, en el cual la muestra es fundida (De la Cuesta, 2023).

En tal contexto, para hacer que la muestra se derrita de manera controlada, se utilizan ciertos reactivos llamados fundentes, que son productos químicos que ayudan a la separación de los componentes de la muestra, uno de ellos es el carbonado de sodio. Estos fundentes son clave para conseguir dos fases líquidas diferentes durante el proceso: la primera llamada escoria, y la segunda la fase metálica. La primera fase se forma a partir de las impurezas y se convierte en una sustancia líquida compuesta mayormente por silicatos. La escoria flota en la parte superior del crisol y se desecha. (IIGE, 2020).

Para la fase metálica, durante el proceso de fusión, se agrega plomo en forma de litargirio (PbO) o directamente como metal. El plomo fundido tiene una afinidad natural por metales preciosos, por lo que, a medida que la muestra se calienta, el oro que está disperso en el mineral se une con el plomo fundido, creando una aleación de plomo y oro (De la Cuesta, 2023).

4.3. Espectrofotometría de absorción atómica

Tal como lo explican Berrezueta y Dominguez (2010) la espectrofotometría de absorción atómica (EAA) consiste en una técnica analítica direccionada a caracterizar la concentración de elementos metálicos en muestras líquidas. Esta técnica se basa en la absorción de luz por átomos libres en estado gaseoso. El tipo de espectrometría estará con relación a la cantidad física medida tras dicha interacción, por ello esta técnica tiene como principio general el cálculo de energía absorbida o contenida por el elemento químico a caracterizar, previo hacer incidir sobre una muestra conteniendo dicho elemento, una radiación de luz monocromática determinada (Martínez, 2015). La radiación absorbida se determina por contraste entre la radiación inicial y la radiación posterior de la interacción con la muestra.

En la figura 1, constituye un esquema básico de un espectrómetro de AA.

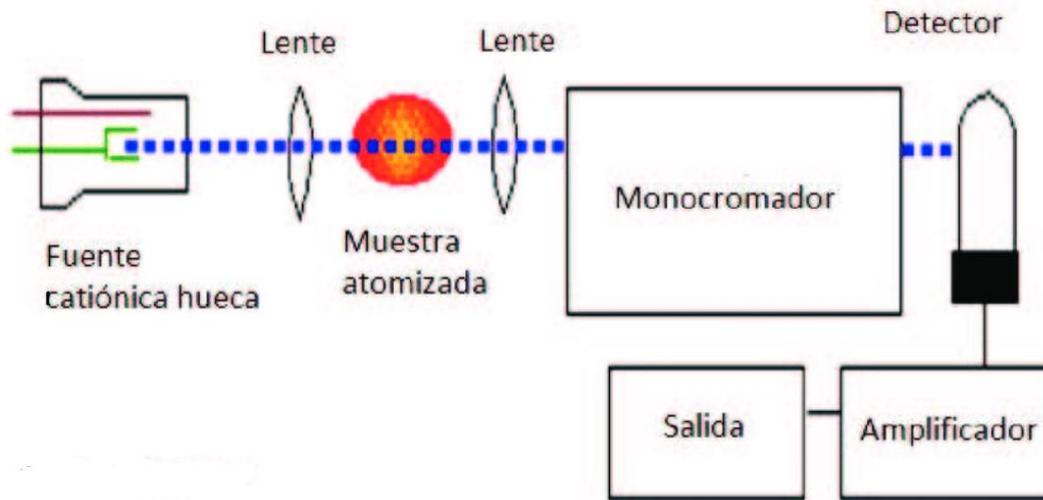


Figura 1. Espectroscopía de absorción atómica

Nota: Tomado de *Espectroscopía de Absorción Atómica con llama y su aplicación para la determinación de Plomo y control de productos cosméticos* (p. 5), por Gallegos et al. (2012), Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador.

4.4.Mineralogía

Considerando que la caracterización mineralógica, es el proceso encaminado a identificar y cuantificar los minerales existentes en una muestra, la Difracción de rayos X es una de las técnicas más recomendadas según Aragón (2012) para el efecto.

4.4.1. Difracción de rayos X

La Difracción de Rayos X (DRX), es una técnica utilizada usualmente para identificar la estructura cristalina de materiales y con ello los minerales que se encuentran mayormente en una muestra (Empírica, 2021). La misma fuente explica que la técnica se basa en la interacción de los rayos X con los átomos de un cristal, proporcionando información sobre la disposición atómica y las dimensiones de la celda unitaria del cristal.

En la figura 2 muestra un arreglo experimental encaminado a visualizar la difracción de rayos x de un cristal.

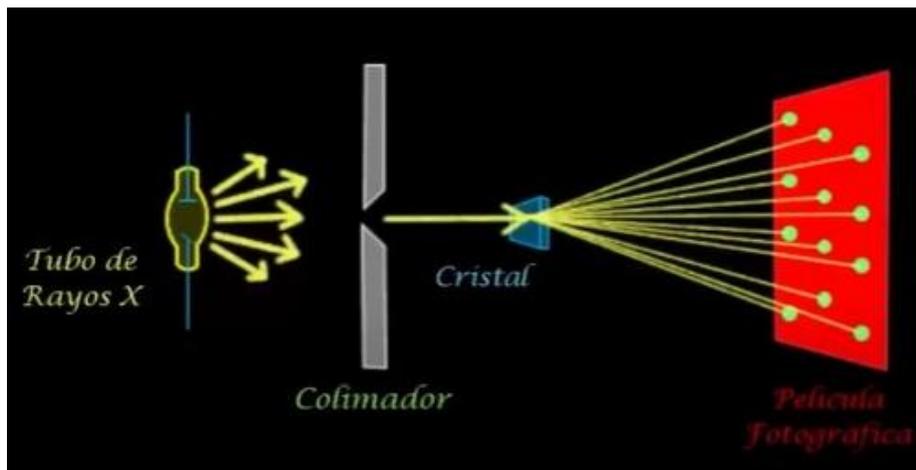


Figura 2. Difracción de rayos x

Nota: Educatina.com (2015).

La DRX de polvos, Aragón (2012) la denomina así “porque trabaja con polvos resultantes de una molienda fina en un mortero de ágata, la granulometría que se requiere de estos polvos debe ser menor a 44 micrómetros, y que corresponde al paso del polvo por una malla 325” (p. 32).

Para el análisis, el polvo se coloca sobre un porta muestra en forma de una película compactada de acrílico, en una cavidad generalmente cuadrada de alrededor de 1 cm², cuyo espesor es inferior a un milímetro; el polvo se compacta en este espacio en una distribución aleatoria no orientada para reducir orientaciones preferenciales; puesto que, de lo contrario, se distorsionarían las intensidades reales de las señales de difracción, que son generadas por los planos cristalinos presentes (Aragón, 2021).

4.4.2. Fluorescencia de rayos x

Otro de los métodos analíticos comunes utilizados en la determinación de la composición elemental de una muestra es la Fluorescencia de Rayos X (XRF). Este es un proceso muy común en minería, geología, metalurgia, y en muchos otros campos, debido a su capacidad para analizar muestras de manera rápida, no destructiva y con buena precisión (González, 1995).

La XRF se basa en la interacción de los rayos X con los átomos presentes en una muestra. Cuando una muestra es irradiada con un haz de rayos X de alta energía, los átomos de la muestra emiten rayos X secundarios o fluorescentes que son característicos de los elementos presentes en la muestra (Gantiva, 2009). Esto permite identificar y cuantificar esos elementos.

En procesos de beneficio minero con propósitos auríferos la XRF aplicaría en cada una de las etapas del beneficio de la siguiente manera:

En la etapa inicial de exploración, la XRF se usa para identificar y cuantificar los elementos presentes en las rocas, suelos o sedimentos en los que se sospecha que hay depósitos de oro. Si bien la XRF no detecta oro directamente en concentraciones muy bajas, puede ser útil en el análisis de minerales asociados con el oro, como el arsénico (As), plata (Ag), cobre (Cu), plomo (Pb), entre otros. La presencia de estos elementos puede ser un indicador de posibles depósitos de oro (González, 1995).

Durante la extracción, la XRF se emplea para verificar la ley del mineral, es decir, la cantidad de metales valiosos como el oro, y las impurezas presentes en el mineral. Aunque el oro no es siempre fácilmente detectable en concentraciones muy bajas mediante XRF, sí permite un análisis rápido de otros metales importantes que acompañan al oro en el mineral extraído, lo que da indicios de la calidad del mineral (González, 1995).

Durante las operaciones de beneficio, como la flotación o cianuración, Gantiva (2009) explica que se generan concentrados de minerales ricos en oro y relaves. Así la XRF es útil para análisis de concentrados, verificando la composición de los concentrados; y monitoreo de relaves para asegurarse de que el oro ha sido eficientemente recuperado. Si los relaves contienen cantidades considerables de oro, indica que el proceso de extracción no ha sido eficaz, y se pueden realizar ajustes en el proceso (Gantiva, 2009).

4.5. Beneficio de Minerales

Según la definición de Folchi (2024), el beneficio de minerales se refiere al conjunto de operaciones mecánicas, químicas o biológicas desarrolladas para obtener determinados elementos metálicos presentes en rocas específicas, y en las que se moviliza, transforma y consume una gran cantidad de materia.

Tal proceso es fundamental en la industria minera y su propósito es producir un óptimo valor a partir de una materia prima determinada, para consecuentemente derivarse bien sea en un producto triturado con cierta forma y tamaño, o la máxima recuperación de metales a partir de un mineral complejo (Metso: Autotec, 2024).

4.5.1. Proceso de beneficio de minerales

En el contexto descrito previamente, el proceso de beneficio de minerales permite separar los minerales de interés de la ganga o el material no útil, y así conseguir concentrados de mayor pureza que pueden ser empleados en la industria.

Tales procesos, de acuerdo con lo planteado por el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA, 2014) frecuentan incluir diferentes etapas, así:

Lavado: El barro o lodo y restos de materia orgánica son eliminados de los minerales

Trituración: Los trozos de roca extraídos de la mina, se reducen de tamaño para hacerlos más manejables para las etapas subsecuentes.

Molienda: Las partículas de mineral dejadas gruesas en la etapa de trituración se someten a una extra disminución de su tamaño.

Homogeneización: Mezcla cuidadosamente la molienda para lograr una muestra representativa que refleje la composición promedio del depósito mineral

Clasificación: Segregación de la mezcla en diferentes fracciones en referencia a propiedades físicas, tales como forma, tamaño, densidad, composición química, entre otras.

Concentración: Eliminación en mayor cantidad posible del material no deseado o ganga para incrementar la proporción de mineral valioso en una muestra.

4.6. Métodos de recuperación de oro

Considerando las diferentes propiedades que posee el mineral del oro, existen diferentes métodos para su proceso de extracción. En concordancia a ello, la aplicación del método correcto garantiza la máxima rentabilidad de recuperación de beneficio. Seguidamente se describe cuatro de los métodos de extracción de oro más usuales.

4.6.1. Gravimetría

En el ámbito de beneficio minero, es bien sabido que el método gravimétrico es uno de los procesos más antiguos y recurrentes para la recuperación de oro. Dicho método se basa en la diferencia de densidad entre el oro y la ganga que lo comprende. Es así, que el oro en relación al resto de minerales que integran la ganga posee una alta densidad de aproximadamente 19.3 g/cm³ (Metso, s.f.). Según la misma fuente, este contraste permite separar el oro del material estéril utilizando fuerzas gravitacionales; como la relativa a la concentración por gravedad o separación en agua, y la separación en medio pesado o separación en medio denso.

De entre las técnicas más comunes en los procesos de recuperación Gravimétrica, Metso (s.f) destaca los Jigs, los cuales recurren al movimiento del agua para estratificar las partículas según su densidad. Las partículas más densas, como el oro, se asientan en el fondo y se recogen.

Otro de estos recursos lo constituyen las canaletas las mismas que son estructuras sesgadas por donde se desliza la pulpa. Algunas de estas canaletas pueden ser helicoidales también llamadas espirales, aunque éstas no son adecuadas para el beneficio de los concentrados conseguidos por medio del lavado en canaletas comunes. Como sea el diseño de la canaleta, el efecto de ellas siempre va a dar como resultado el asentamiento del oro por su alta densidad, en las trampas o ranuras de la canaleta o el fondo en el caso de los espirales (Metso, s.f.).

Las Mesas Vibratorias también es otro recurso de recuperación gravimétrica. La vibración de estas mesas hace que el agua fluya sobre ellas, conllevando que las partículas más pesadas se muevan en una dirección opuesta a las más ligeras.

Por último, se menciona a los concentradores Centrífugos, estos emplean la fuerza centrífuga para optimizar la separación de partículas densas. Algunos ejemplares incluyen el concentrador Falcon y el concentrador Knelson (JXSC, 2020).

4.6.2. Flotación

Tal como lo menciona Castro (s.f., p. 6) “la flotación es un proceso físico-químico, cuyo objetivo es la separación de especies minerales, a través del uso de la adhesión selectiva de burbujas de aire a partículas minerales”.

Su operación aplica tal como se presenta en la secuencia ilustrada en la figura 3, a continuación:

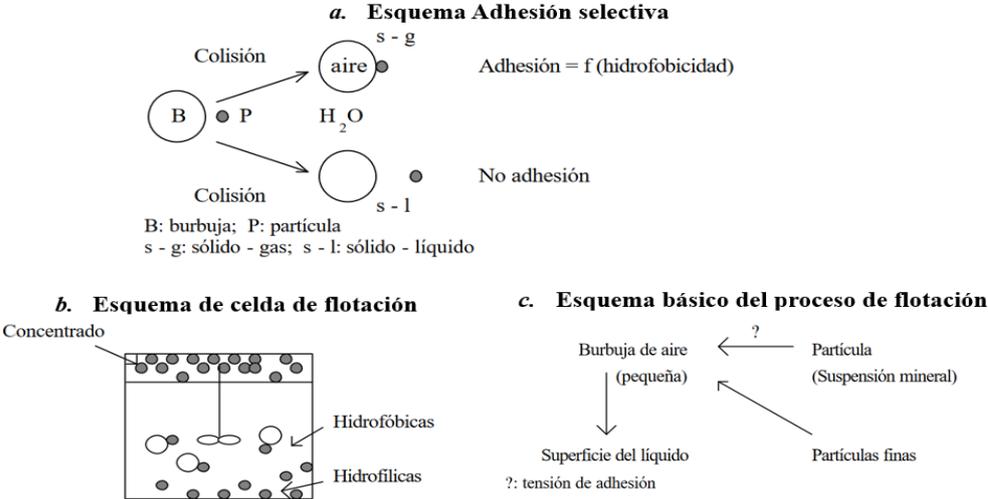


Figura 3. Proceso físico-químico Método de flotación

Nota: Método de flotación, Castro (s.f.).

En la figura previa se confirma que el proceso de flotación tiene su fundamento en las diferencias en las propiedades hidrofóbicas de las partículas minerales; es decir, a la tendencia natural o inducida que tienen las sustancias a repeler el agua (Bravo, s.f). El mismo autor confirma que las partículas de minerales valiosos entre ellos el oro, se tornan hidrofóbicas al añadirles reactivos específicos tales como: xantatos, ditiofosfatos y otros compuestos organosulfurados, lo que permite que se adhieran a las burbujas de aire introducidas en la pulpa.

El proceso en sí inicia con la introducción de la pulpa en celdas de flotación donde se inyecta aire. Las partículas hidrofóbicas se adhieren a las burbujas de aire y flotan a la superficie, formando una espuma que se recolecta como concentrado (Ministerio de Minería y Energía de Chile – MMECH., 2006).

El proceso en sí inicia con la introducción de la pulpa en celdas de flotación, a dicha pulpa previamente en su etapa de molienda se ha incorporado reactivos espumantes cuya finalidad es producir burbujas resistentes, seguido de reactivos colectores tendientes a su vez a impregnar las partículas de sulfuros de metales a recuperar, con características necesarias para que se separen del agua y se peguen a las burbujas. Las partículas hidrofóbicas se adhieren a las burbujas de aire y flotan a la superficie, formando una espuma que se recolecta como concentrado (MMECH., 2006).

Otros de los reactivos empleados en la flotación incluyen los depresantes cuyo fin es provocar un efecto inverso al de los reactivos colectores, para evitar la recolección de otras especies minerales no deseables; y, los Modificadores de pH los cuales permiten estabilizar la acidez de la pulpa, originando el ambiente necesario para que ocurra el proceso de flotación (Bravo, s.f.).

4.6.3. Lixiviación

Cuando no se puede asegurar un óptimo valor metálico de un mineral a través de los métodos mecánicos en grandes volúmenes de mineral de baja ley, la lixiviación constituye una eficiente alternativa, tanto como complemento o a su vez como proceso general. Este método constituye un proceso hidrometalúrgico empleado en la extracción de metales valiosos del mineral, como el oro; mediante la disolución del metal deseado del mineral en una solución alcalina a base de reactivos químicos como el cianuro en mayor recurrencia, y el tiosulfato en menor recurrencia, cualquiera de ellos en presencia de oxígeno (MMECH., 2006).

Gran parte del proceso de lixiviación reside en la preparación de la alimentación por medio del chancado, molienda y en algunos casos, pre-concentración y tostado; ya que, según el MMECH (2006, p.143), “normalmente la separación se realiza con la creación de un tiempo de retención destinado a que los elementos químicos penetren en la alimentación”

En la figura 4, se muestra los tiempos de retención, según el método de lixivante.

Métodos de lixiviación	Calibre de alim. típico	Tiempo típ. de ret.
En vertederos de desechos	-1500 mm (60")	10 años
En pilas	-150 mm (6")	1 año
Por agitación (grueso)	-200 micrones (malla 65)	2-24 horas
Por agitación (fino)	-10 micrones	5-10 minutos

Figura 4. Tiempos de retención según método lixivante

Nota: Metso (s.f.)

De entre los procesos de lixiviación referidos en la figura previa, los más recurrentes por su efectividad en la recuperación de oro se destaca la lixiviación en pilas aplicado a fragmentos

más gruesos de minerales de bajo grado, y lixiviación por agitación para fracciones finas de minerales de alto grado (Metso, s.f.).

Lixiviación en Pilas: Su proceso implica la apilación del mineral triturado en grandes montones sobre una superficie impermeable y se rocía el reactivo químico disolvente sobre ellas. La solución es bombeada desde la superficie para asegurar su recirculación (Metso, s.f.).

En la figura 5, se muestra un flujograma de la lixiviación de oro en pilas.

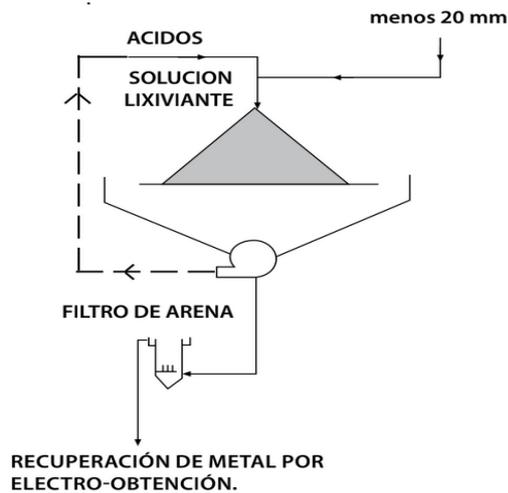


Figura 5. Lixiviación de oro en Pilas

Nota: Metso (s.f.)

Lixiviación en Tanques o por agitación: En este circuito la alimentación es más fina. Se mezcla con la solución disolvente (Cianuración) en tanques agitados especialmente diseñados, donde se mantiene en suspensión para asegurar un contacto óptimo entre el mineral y el reactivo (MMECH., 2006).

En la figura 6 se muestra la lixiviación por agitación con alimentación fina- 200 micrones.

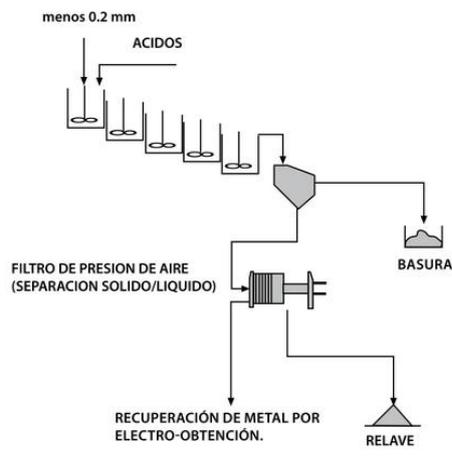


Figura 6. Lixiviación por agitación

Nota: Metso (s.f.)

4.7. Relaves Mineros

Dos de los espacios donde primordialmente se vierten los desechos de la industria minera lo constituyen las escombreras, cuyo repositorio son los fragmentos de roca producto de la extracción de un mineral; y los relaves, los cuales hacen referencia a presas en las que se vierte residuos derivados de la extracción económica de un metal desde su mena; dichos residuos lo constituyen material integrado por la mezcla de minerales triturados y en ciertos casos soluciones de procesos (Anawar, 2024)

Para Ortiz (2015, p. 43) “los relaves constituyen el subproducto de la minería”. Dicha definición, el autor la explica indicando que después de obtener la mena que contiene un producto económicamente recuperable, ese mineral se extrae en una planta de procesamiento; y una vez que se obtiene del material mineral, el flujo de desechos resultante se denomina relaves mineros.

Los minerales comúnmente recuperados de procesos mineros alrededor del mundo son oro, cobre, plata, hierro, plomo, zinc, uranio y carbón (Dammert, 2021). Éstos, a su vez, se utilizan en la fabricación de muchas cosas, entre las que principalmente se destaca piezas mecánicas, cables eléctricos para transmisión de energía, joyas entre otros. Debido a una serie de factores, no todo el producto se recupera durante el proceso de extracción y generalmente queda algo de producto residual. Por lo tanto, los relaves pueden volverse valiosos en el futuro dependiendo de las mejoras tecnológicas y las condiciones del mercado que permitan su reprocesamiento.

4.8. Tipos de Relaves

Hoy en día, existen varios tipos de depósitos de relaves, esto en consideración al tipo de minería que se ejecuta, al método de procesamiento utilizado, y la forma de contener los residuos. Así se resalta los siguientes:

a) Tranque de Relave:

Este tipo de relave se caracteriza por el levantamiento de muro a base de la fracción más gruesa y compactada del relave, procedente de una hidrocución, lo cual constituye la operación que separa sólidos gruesos de sólidos muy finos, a través de la impulsión por flujo de agua (Anawar, 2014). La Lama o los residuos finos, se ubican en la cubeta del depósito.

b) Embalse de relave:

En este tipo de relave el muro de contención se levanta a base de material alledaño, puede ser tierra o rocas, más conocido como empréstito; y su impermeabilización se centra en el coronamiento y talud interno.

Por otra parte, también se reconoce como embalses de relave a ciertos depósitos donde la concavidad del terreno permite omitir o considerar como innecesaria la construcción de algún muro de contención (Anawar, 2014).

c) Relave Espesado:

Este tipo de depósito lo constituyen residuos mineros cuya superficie es previamente sometida a un proceso de sedimentación antes de su disposición final, para retirar gran parte del agua contenida, todo esto con el apoyo de un Espesador. El agua sustraída puede ser reutilizada en otras operaciones, incluso para procesos de potabilización

Un relave de espesado debe estar construido de tal forma que limite que el relave fluya a otras áreas diferentes a las del sitio acreditado, y así mismo contar con un sistema de tanques de recuperación de agua sobrante que pudiese fluir fuera del depósito (Bastías, 2014).

d) Relave Filtrado:

El relave de filtrado comparte ciertas características al relave de espesado, ya que aquí los residuos son filtrados de tal manera que se asegure la eliminación de la mayor cantidad de agua posible, aún más que el espesado, hasta establecer una humedad inferior al 20% (Anawar, 2014). El resultado un material más seco y sólido en referencia a otros tipos de relaves.

e) Relave en pasta:

En resumen, este tipo de relave contiene menos agua que los relaves convencionales, pero más que los relaves filtrados, posicionándolo en un término intermedio en cuanto a grado de humedad y densidad.

f) Otros tipos:

Adicional a los tipos de relave ya mencionados, existen otros tipos de depósitos menos convencionales como: los depósitos en rajos abandonados, los depósitos en minas subterráneas, entre otros (Anawar, 2014).

5. METODOLOGÍA

5.1. Área de estudio

5.1.1. Ubicación

La Planta de Beneficio de la Sociedad Minera “Areniscas” Código 230 se encuentra ubicada en la parroquia San Carlos de las Minas en el Distrito Minero de Nambija perteneciente a la Provincia de Zamora (ver figura 7), el cual está a 36 km de la ciudad de Zamora.

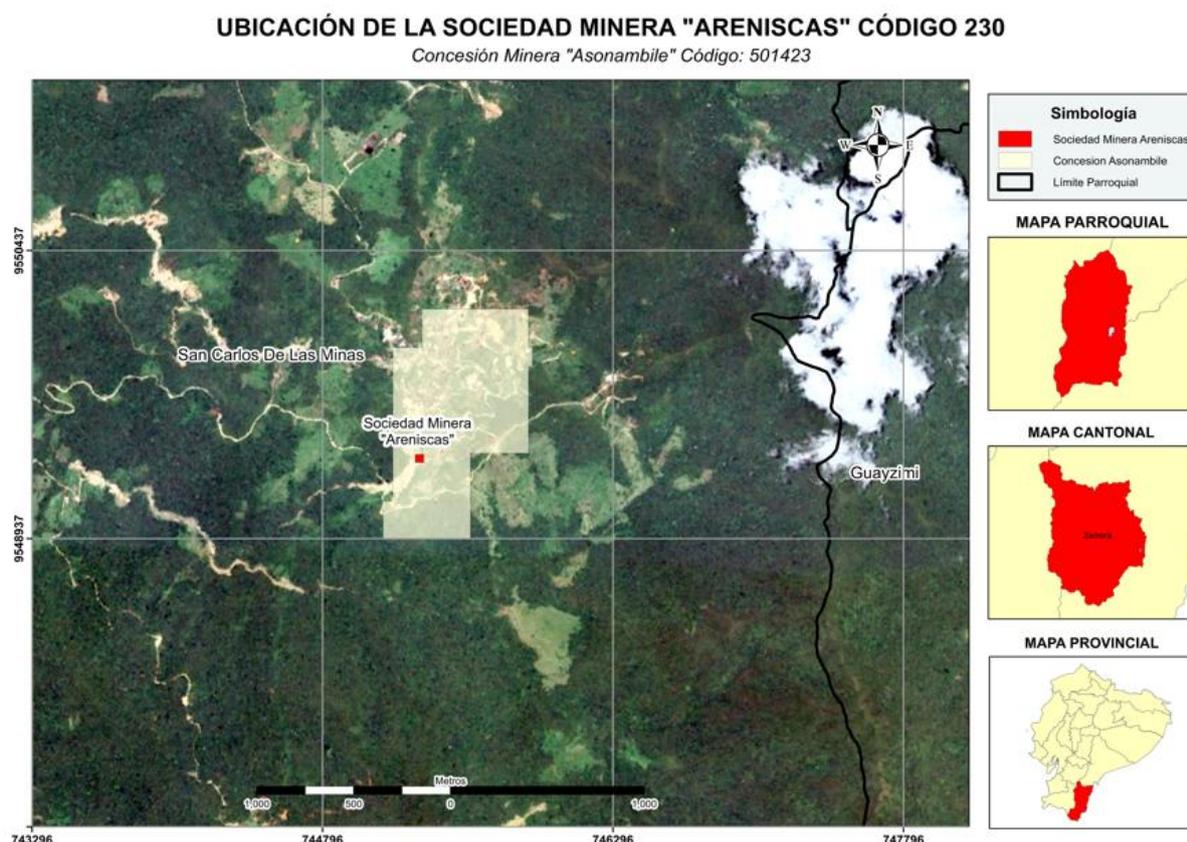


Figura 7. Ubicación de la Planta de Beneficio “Areniscas”

Geográficamente la Sociedad Minera Areniscas se encuentra limitada dentro de la Concesión Minera Asonambile código “501423” con las coordenadas UTM PSAD-56 como se muestra a continuación:

Tabla 1. Coordenadas UTM PSDAD-56

<i>Puntos</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>
1	746668.27	9549639.34
2	746668.27	9549682.85
3	746713.21	9549639.34
4	746713.21	9549682.85

5.1.2. Acceso

El acceso a la Sociedad Minera “Areniscas” se lo realiza desde la ciudad de Loja tomando la ruta E45 y E50 hasta la ciudad de Zamora, luego hasta el barrio Namirez en la cual

se va en dirección Sureste tomando una vía de tercer orden hasta la parroquia de San Carlos de las Minas, específicamente en el barrio Nambija, en un tiempo aproximado desde la ciudad de Loja de 1 h 50 min con una distancia total de 84,9 km

La figura 8 muestra el acceso desde la ciudad de Loja hasta el área de estudio en el barrio Nambija.

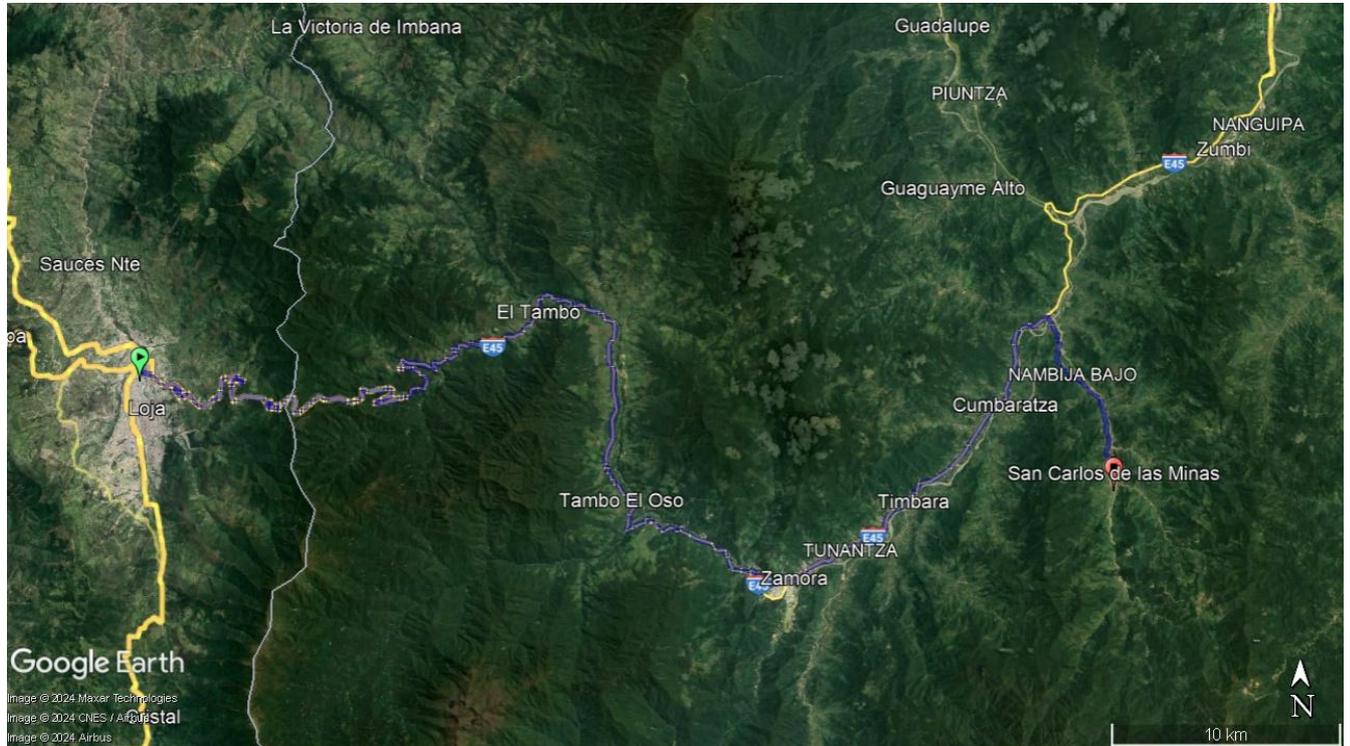


Figura 8. Acceso al área de estudio.

Nota: Google Earth, 2024

5.1.3. Geología Regional

Según la carta geológica de Zamora, la mayor parte del Cinturón de Nambija está definido por la Unidad Piuntza del Triásico Superior, representada por rocas volcánicas andesíticas y sedimentos volcanoclásticos epiclásticos calcáreos. En la figura 9 se observa que la Sociedad Areniscas se encuentra dentro de la formación Piuntza.

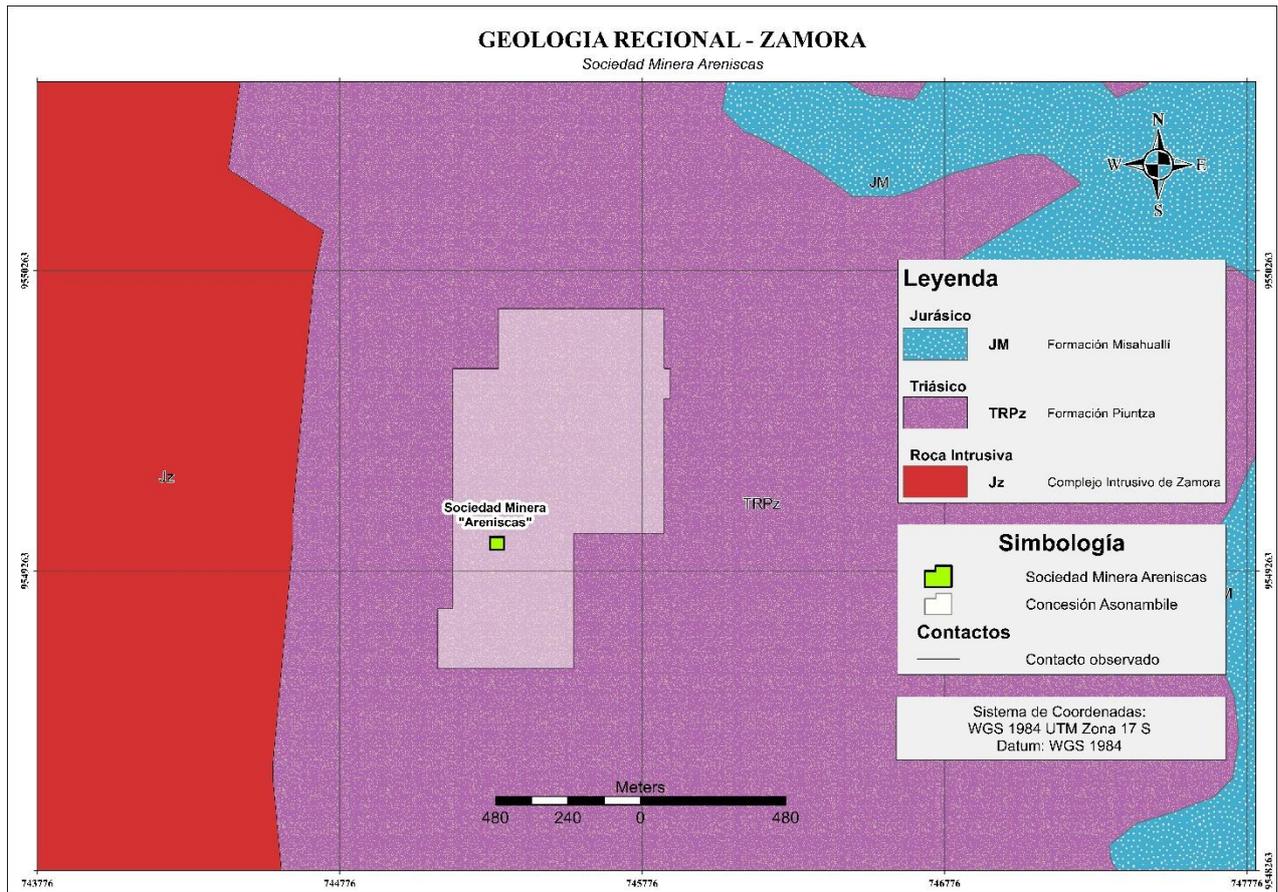


Figura 9. Geología Regional de Zamora.

Unidad Piuntza. Según Litherland, Aspden y Jemielita (1994), es la primera formación estratigráfica del Triásico en ser identificada en el Ecuador, compuesta por rocas volcánicas sedimentarias con buzamiento bajo. Situada entre los límites del batolito de Zamora, en donde producto del metamorfismo de contacto ha generado los llamados skarns, ricos en hierro y oro en áreas mineras como Nambija, Piuntza y Maria Elena.

La litología de la Unidad Piuntza esta caracterizada por una diversidad de rocas que incluye calizas, lutitas calcáreas, areniscas, tobas de grano fino, así como flujos volcánicos y brechas de composición andesita-dacita. En el sector de Nambija el espesor de esta unidad alcanza un mínimo de 300 metros. (Litherland, Aspden, & Jemielita, 1994)

Formación Misahuallí. Formada por rocas volcánicas continentales del cinturón subandino del período Jurásico. Estas rocas supreyacen a la Formación Santiago y está cubierta por la Formación Hollín. Comprende tobas, brechas tobáceas violetas a rosadas, lutitas rojas y conglomerados. (Litherland, Aspden, & Jemielita, 1994)

Complejo Intrusivo de Zamora. El cinturón de Nambija está rodeado por el Batolito de Zamora que este compuesto por diorítica-granodiorítica y edad jurásica. Además, el

Complejo Intrusivo de Zamora tiene un largo aproximadamente de 200km y 50km de ancho. (Baldock, 1982)

5.1.4. Procedimiento

El proyecto se basó en tres fases: campo, laboratorio y oficina.

Fase de campo: se realizó una visita in-situ para conocer el proceso ocupado en la Planta de Beneficio para la extracción del mineral oro (Au). Además, se recolectó muestras de la zona de stock y del material de relave para continuar con la fase de laboratorio.

Fase de Laboratorio: se efectuó una serie de ensayos para determinar las características físicas, químicas y mineralógicas del material de relave y de stock procesado en la planta.

Fase de oficina: se registró y analizó cada uno de los datos obtenidos en campo. Esta fase es de gran relevancia para la interpretación detallada de los resultados.

5.1.5. Materiales

Se procedió a utilizar los siguientes materiales que se muestran a continuación:

Tabla 2. Materiales empleados para el desarrollo.

Campo	Laboratorio	Oficina
Libreta de campo	Balanza	Computadora
Fundas de muestreo	Ta mices	ArcGIS 10.5
Marcador	Picnómetro	AutoCAD 2024
Equipo de protección personal	Taras o recipientes.	Paquete Office 2018
Cámara Fotográfica	Embudo	Resultados de los análisis de ensayo al fuego, difracción y fluorescencia de rayos x.
	Vaso de precipitación	
	Electrodos	
	Horno de secado	

5.2. Metodología del primer objetivo

“Determinar las propiedades físicas y químicas del relave de la mina Sociedad Minera Areniscas código 230.”

Para el desarrollo del primer objetivo, se describió a detalle el proceso y cada una de las etapas en el procesamiento del material de interés, oro. Además, conocer la geología interior mina proporcionada por la Sociedad Minera Areniscas para correlacionarla con los análisis mineralógicos.

5.2.1. *Recolección de las muestras:*

Para la recolección de muestras se consideró la metodología de muestreo por cono y tiempos: es decir se realizó en función de cómo el material a muestrear se encuentra. En el presente caso, se obtuvo dos muestreos uno de la zona de stock y otro del relave.

Para el protocolo de muestreo de la zona de stock, se utilizó el método de cono debido a la forma cónica en la que se encontró el material, recolectando muestras en la parte central de las secciones, dividiendo el cono en secciones aproximadas de 1 m², a las muestras tomadas se procedió a realizar un corte de cuartos opuestos desechando dos de ellos y conservar los dos restantes, recolectando un total de 2 muestras para determinar así la ley del material.

El segundo muestreo se obtuvo del relave, producto del procesamiento del mineral mediante un muestreo aleatorio, durante determinados horarios: de 8H00 a 9H00, 12H00 a 13H00 pm y de 15h00 a 16H00. El total de muestras recolectadas de relave fueron de 6.

Las muestras tomadas de la zona de stock son únicamente para conocer la ley de cabeza del material a analizar, mientras que las muestras de relave fueron destinadas para la caracterización físico, química y mineralógica.

En la tabla 3 se detalla el número de muestras recolectadas.

Tabla 3. Número de muestras.

Muestras	
	<i>Número de muestras</i>
<i>Zona de stock</i>	2
<i>Relave</i>	6

Las muestras recolectadas fueron depositadas en fundas de muestreo (ziploc), totalmente herméticas con su debida codificación para llevar un orden e identificación de cada una, la cantidad de muestra recolectada fue de 2 kg aproximadamente.

Las muestras fueron transportadas y almacenadas en el laboratorio de Mecánica de rocas y Materiales de la Universidad Nacional de Loja para sus respectivos análisis.

Una vez ingresadas las muestras al laboratorio como primer paso se procedió a homogenizar y cuartear la muestra obtenida de la zona de relave con el fin de obtener una muestra representativa para el desarrollo de las propiedades físico y químicas previstas.

En la figura 10 se muestra el cuarteo realizado a la muestra de relave para los respectivos análisis.



Figura 10. Cuarteo de la muestra

Propiedades físicas y químicas de los relaves

Las propiedades físicas y químicas se analizaron en la Universidad Nacional de Loja en el laboratorio de Mecánica de Rocas y Materiales.

Peso específico: Debido a que el relave es un material fino no necesitó trituración si no que directamente se procedió a utilizar el método del matraz con las 6 muestras obtenidas de relave. Para el peso específico se lo realizo mediante la norma **ASTM D854**.

Para el cálculo del peso específico se lo obtuvo mediante la siguiente fórmula:

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

W_{AF} = *Peso del agregado fino*

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

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

ρ_w = *Peso específico del agua a temperatura ambiente*



Figura 11. Peso específico.

Contenido de humedad se recolectó 6 muestras de relave, las cuales estuvieron hermetizadas para que no pierda su humedad y así ser llevada al laboratorio para el procedimiento. Se ocupó la norma **ASTM D2216**.

Para conocer el contenido de humedad se utilizará la siguiente fórmula:

$$W (\%) = \frac{\text{Peso de la muestra húmeda} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra seca}} \times 100 (\%)$$



Figura 12. Contenido de humedad

Granulometría se desarrolló el proceso para un total de 6 muestras tomando una muestra representativa, el proceso se efectuó mediante la serie fina de tamices (#8, #10, #12, #16, #20, #30, #40, #50, #60, #80, #100, #200). Los relaves pueden ir desde 2mm a micras.

Luego, se agitó los tamices para que la muestra se vaya distribuyendo según su granulometría, una vez realizado este proceso se pesó el tamiz con la muestra que quedo y se registró su peso y así se repitió el proceso con cada uno de los tamices. (fig. 13)

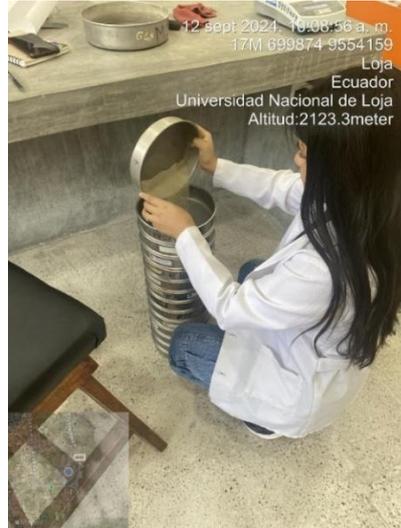


Figura 13. Granulometría

Para determinar el tamaño de partícula P80 resultante del ensayo de granulometría se utilizó el método de Rosin Rammler.

Se usó las siguiente formula:

$$F(x) = 1 - e \left\{ - \left(\frac{x}{K_{RR}} \right)^m \right\}$$

Conductividad y pH se realizó el ensayo para 6 muestras de relave. Se preparó la muestra en una proporción de 3 a 1 en la cual 1 es la muestra de relave y 3 de agua destilada. Para de esa manera continuar con el ensayo.

Al final se observó el resultado obtenido en el medidor del pH y seguidamente conductividad.



Figura 14. Conductividad y pH

Ensayo al fuego para el procedimiento del ensayo se ocupó el total de 6 muestras de relave para ser enviada al laboratorio acreditado de Albexus, con la finalidad de conocer la ley de oro aun presente en los relaves.

En la fig. 15 se muestra el proceso ocupado para el desarrollo del análisis.

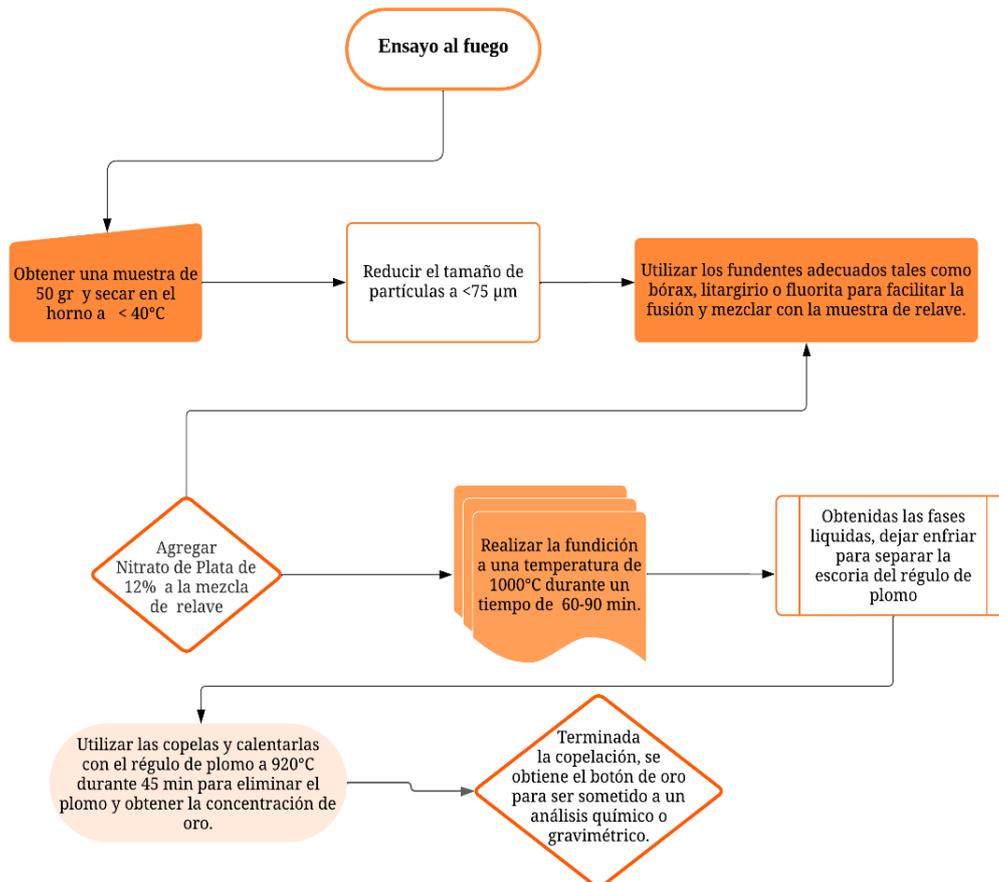


Figura 15. Etapas para el desarrollo de ensayo al fuego

Nota: Guerrón & Narváez (2020)



Figura 16. Ensayo al fuego

5.3. Metodología del segundo objetivo

“Desarrollar el análisis mineralógico del relave de la mina Sociedad Minera Areniscas Código 230.”

Para el cumplimiento del segundo objetivo, se procedió a realizar los análisis microscópico y mineralógico tales como fluorescencia de rayos x y difracción de rayos x.

Se analizaron un total de 3 muestras de relave, seleccionadas de manera representativa entre las 6 muestras totales de relave obtenidas, y posteriormente fueron enviadas al laboratorio de la Universidad Técnica Particular de Loja.

Análisis mineralógico, mediante el uso del microscopio se realizó el análisis del material de relave para observar los minerales presentes. El ensayo se realizó mediante un aumento de 100x al tamaño del mineral de relave en el cual no se evidenció la presencia del mineral de interés oro.



Figura 17. Análisis macroscópico

Fluorescencia de Rayos X, el análisis permitió determinar la composición química de las muestras correspondientes empleado con el equipo Espectrómetro de Rayos X portátil marca Bruker S1 Turbo SD. El análisis fue desarrollado por el laboratorio de la Universidad Técnica Particular de Loja.

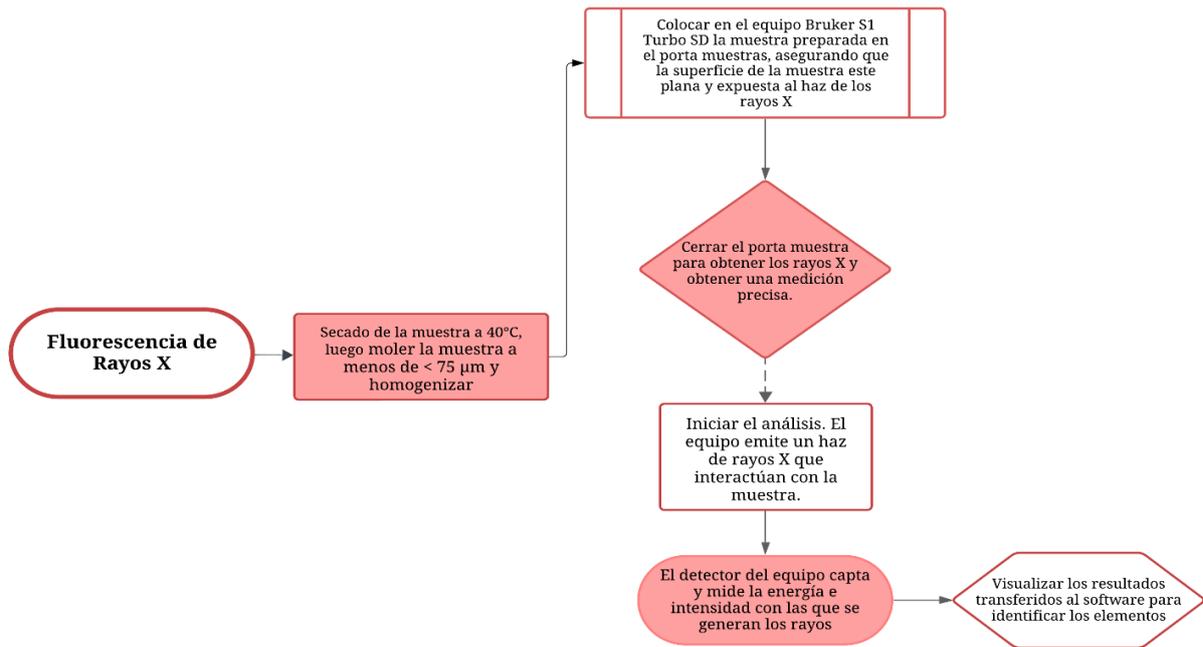


Figura 18. Etapas para el desarrollo de fluorescencia de rayos x.

Nota: (Malvern Panalytical, 2020)

Difracción de rayos X, el análisis mineralógico semicuantitativo refleja la composición de la parte cristalina de la muestra. Se efectuó empleando el Difractómetro D8 ADVANCE, el software para determinación cualitativa y semicuantitativa HighScore Plus y la base de datos de la Crystallography Open Data Database. El análisis fue desarrollado por el laboratorio de la Universidad Nacional de Loja.

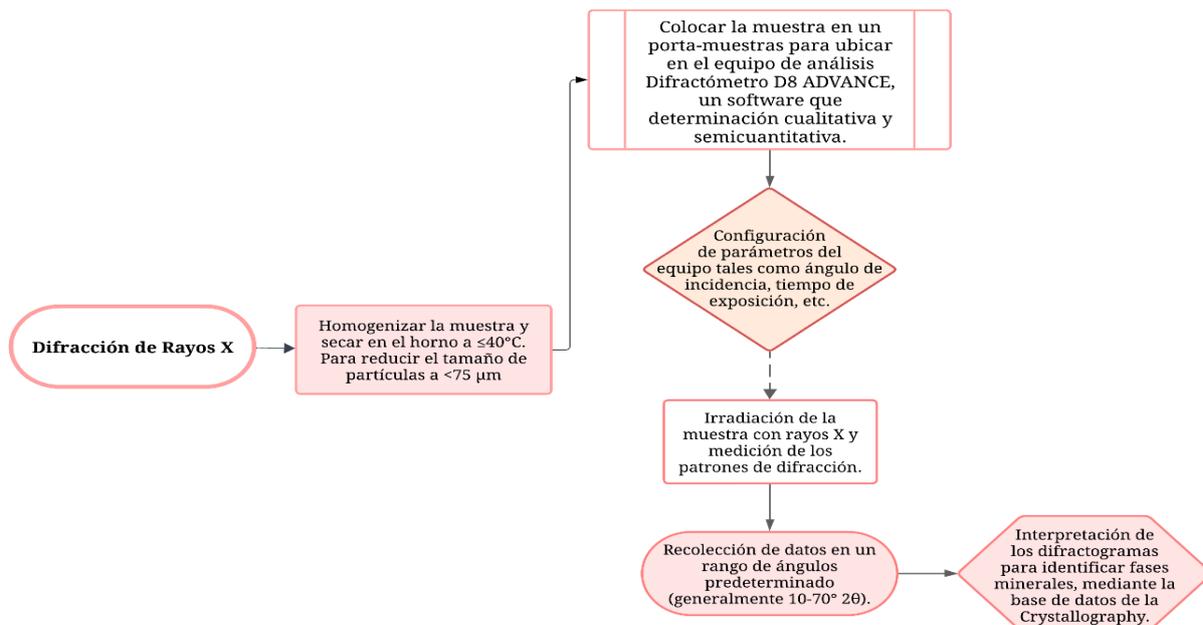


Figura 19. Etapas para el desarrollo de difracción de rayos x.

Nota: INSTITUTO POTOSINO (2021)

5.4. Metodología del tercer objetivo

“Proponer un método o alternativa para la recuperación de Oro de acuerdo con las características físicas, químicas y mineralógicas del relave de la mina Sociedad Minera Areniscas Código 230.”

Una vez obtenidos los resultados de la caracterización física como; peso específico, contenido de humedad, granulometría; de las propiedades químicas como; pH, conductividad, ensayo al fuego y los ensayos mineralógicos como; fluorescencia de rayos x y difracción de rayos x de los relaves. Se realizó un análisis de la información obtenida que permite interpretar e identificar las características del material que influyen en la recuperación de oro. Con base en estos resultados, se planteó un método o alternativa de recuperación de oro en los relaves que sea técnicamente viable.

Existe diversos métodos de recuperación de oro, en la presente investigación se tomó como referencia la flotación y cianuración, de acuerdo con la caracterización del mineral (relave); para el análisis de estos dos métodos se desarrolló una matriz de carácter comparativo que resume las características de los métodos de recuperación de oro, que sirvió para recomendar el método más eficaz. Además, se realizó una prueba piloto de cada método de recuperación con el objetivo de conocer el porcentaje de recuperación.

Tabla 4. Métodos de extracción de oro: flotación y cianuración

	Métodos de recuperación	
	Flotación	Cianuración
Descripción	La flotación se basa en la adhesión de partículas de oro a burbujas de aire en una pulpa acuosa. Además, se usa reactivos químicos para la separación de los minerales.	Es un proceso hidrometalúrgico que se disuelve en soluciones de cianuro en ambientes de pH alcalino.
Características Físicas	Se requiere que las partículas sean finas, menores a 72 μm , es importante obtener partículas pequeñas para que puedan ser afectadas por las burbujas de aire.	No se requiere un tamaño específico de partículas, sin embargo, las partículas deben estar lo suficientemente finas.
Características Químicas	Se utiliza colectores y espumantes. Su pH debe estar entre los valores de 9 a 11	Uso de Cianuro El pH debe estar entre 9 y 11.
Características Mineralógicas	Efectiva en minerales que contengan sulfuros, además, es eficiente para oro libre.	Efectiva en minerales que contienen óxidos y ausencia de cianicidas (sulfuros).
Eficiencia	Alcanza una eficiencia mayor al 90% en buenas condiciones. Sin embargo, en condiciones de bajas concentraciones la recuperación puede ser menor.	Es eficiencia incluso en concentraciones bajas. Puede alcanzar una recuperación mayor al 95%.
Costos Operativos	Costoso debido al uso de reactivos químicos y equipos.	Aunque requiere uso de cianuro, a largo plazo es rentable debido a su eficiencia.

Nota. Obtenido de Medina, (2023) y Abad (2020)

6. RESULTADOS

Los resultados se presentan de manera organizada en función de los objetivos planteados en la presente investigación; de acuerdo con la información obtenida a partir de la caracterización física, química y mineralógica del material de relave, lo cual está orientado a proponer un proceso eficaz para la recuperación del material de interés (oro).

6.1. Geología interior mina

En la figura 16, se presenta la geología de interior mina de la Sociedad Minera Areniscas, ubicada en el sector minero Nambija, la cual pertenece a la unidad geológica Piuntza, se presenta una diversidad geológica notable que comprende andesita basáltica, pórfido y skarn. La información geológica fue proporcionada por la Sociedad Minera Areniscas.

La andesita basáltica es una roca volcánica que tiene composición de basalto y andesita, se encuentra principalmente compuesta por augita y plagioclasa, además tiene concentraciones de óxidos en bajas cantidades, es de grano fino y presenta tonalidades oscuras. El pórfido, cuenta con presencia de fenocristales de minerales como cuarzo, feldespatos, entre otros, dichos pórfidos se encuentran asociados a los procesos de intrusión.

Actualmente el material que se encuentra procesando en la planta de beneficio se trata de un skarn, el cual cuenta con una estructura de carácter masiva, van desde un grano fino a medio con una tonalidad amarillo-verdoso, en ocasiones la tonalidad varía debido a la existencia de granates. (Ver Fig. 20)

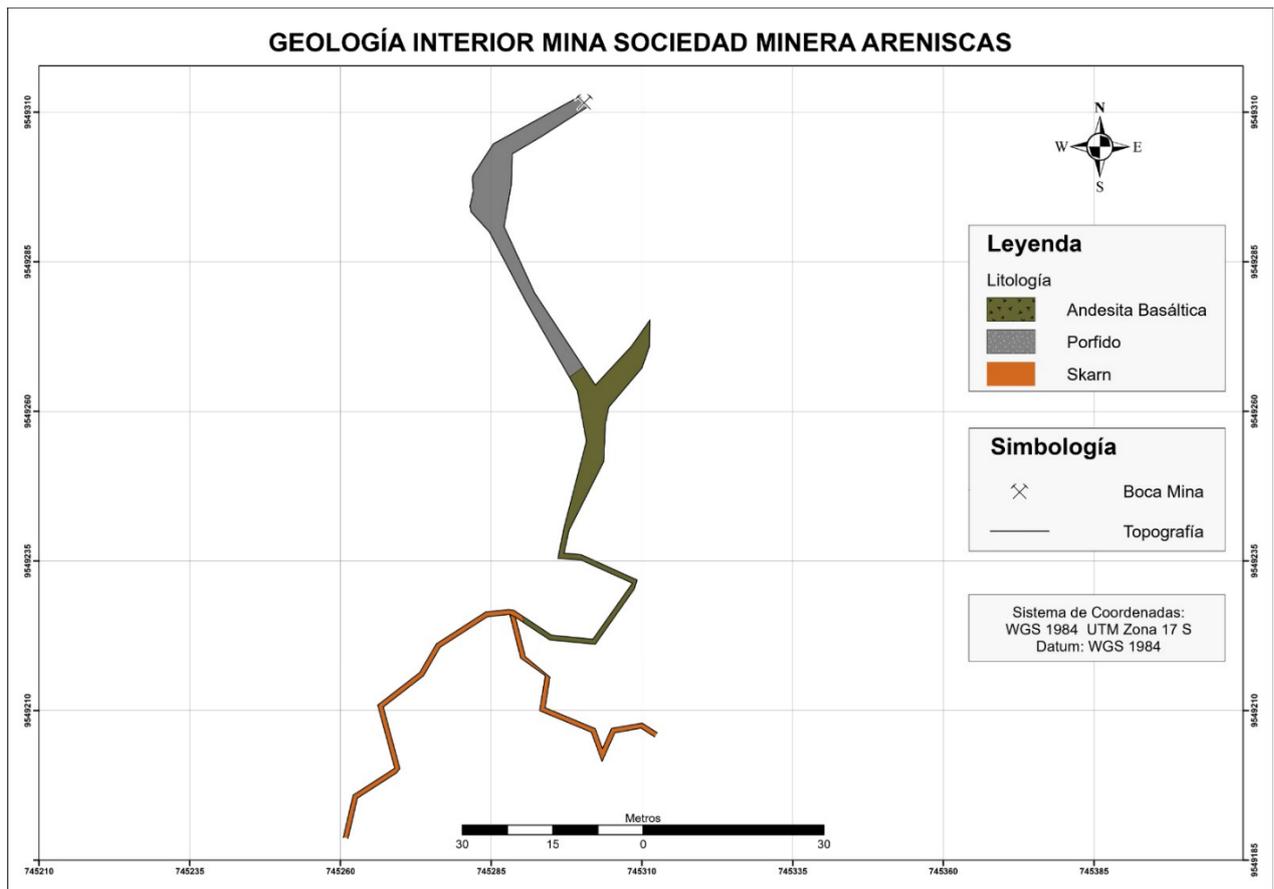


Figura 20. Geología Interior de la Mina Sociedad Minera Areniscas

6.2.Descripción del método de extracción-recuperación.

El proceso de recuperación del mineral en la Planta de Beneficio Sociedad Minera “Areniscas” comienza con la explotación del material en la mina, que luego es transportado y almacenado en la zona de stock, en esta zona se clasifica el material para luego ser acarreado hasta la trituradora de mandíbulas, donde comienza el proceso de conminución que se encarga de reducir el tamaño para facilitar su tratamiento posterior.

Una vez triturado, el mineral es transportado a través de bandas transportadoras hacia el molino chileno, en donde se realiza la molienda para liberar las partículas valiosas del mineral.

Finalmente, el producto resultante de los molinos es dirigido a las canaletas, donde por gravimetría se hace la recuperación del mineral (oro)

En la figura 21 se muestra el método de recuperación gravimétrico ocupado en la Sociedad Minera Areniscas.

6.2.1. Etapas del método de gravimetría ocupado en la Sociedad Minera Areniscas

ETAPAS DE LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA SOCIEDAD MINERA ARENISCAS

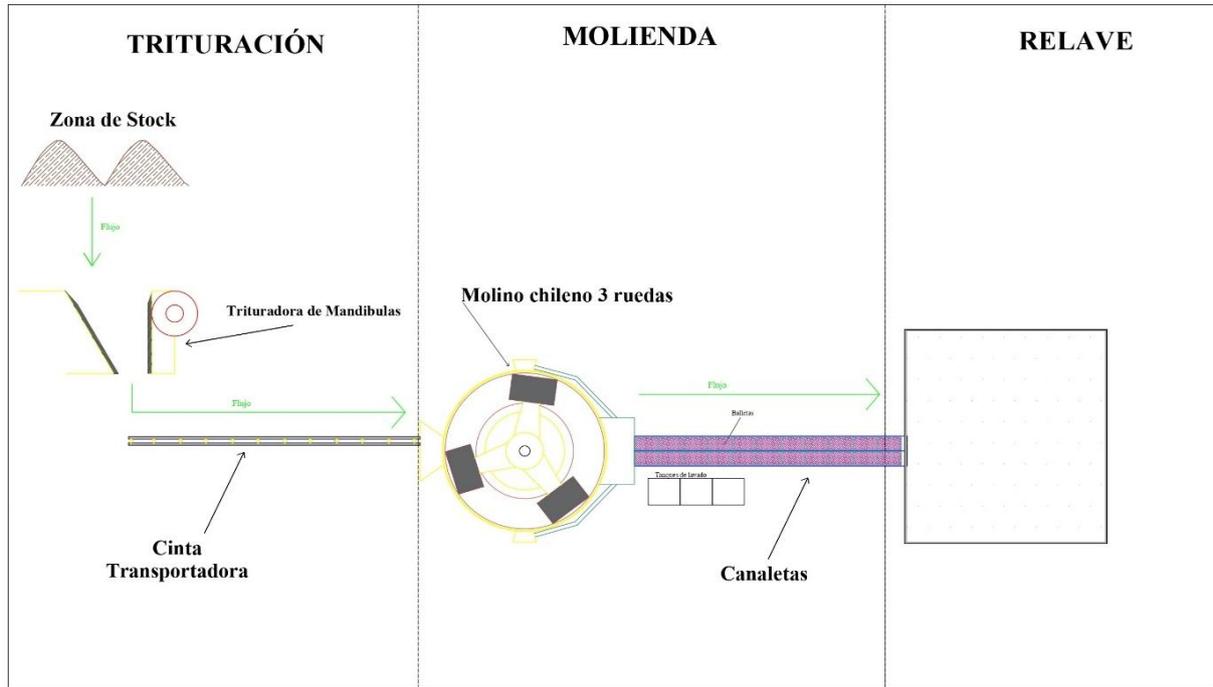


Figura 21. Etapas de la Planta de Beneficio de la Sociedad Minera Areniscas.

6.3. Propiedades físicas del material de relave

Se realizó el análisis de las propiedades físicas del material de relave con el fin de conocer las características del material, la cual sirvió para obtener una idea más clara para proponer un método de procesamiento más idóneo de recuperación del mineral (oro) del material de relave en la Sociedad Minera Areniscas.

En la presente investigación se analizaron las siguientes propiedades físicas: peso específico, contenido de humedad y granulometría; se realizó el análisis a 6 muestras.

6.3.1. Peso específico

En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos del relave.

Tabla 5. Resultados del peso específico

Muestra	Peso específico (g/ml) [g/cm ³]
1	2.094
2	2.138
3	2.128
4	2.137
5	2.094
6	2.138
Promedio	2.121 g/cm³

El peso específico permite calcular la densidad, con la finalidad de conocer la cantidad de minerales presentes.

En la figura 22, se presentan los resultados del peso específico de las 6 muestras de relave las cuales tienen un promedio de 2.121 gr/cm³, con valores que oscilan entre 2.094 y 2.138. Dicha variabilidad indica una ligera diferencia en la densidad de las muestras.

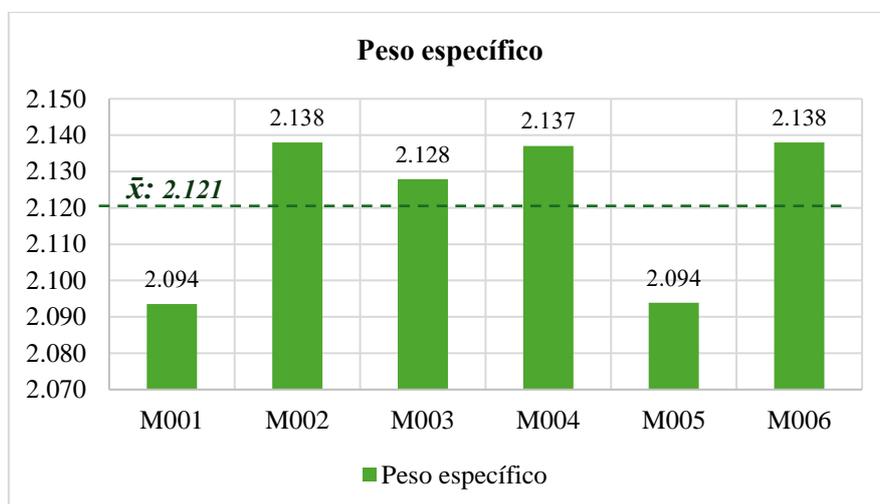


Figura 22. Gráfica de las muestras de relave de peso específico.

6.3.2. Contenido de humedad

En la tabla 6 se presentan los valores obtenidos de las muestras referente a los contenidos de humedad siendo el promedio de 25.935 para un total de 6 muestras.

Tabla 6. Contenido de humedad.

Muestra	Contenido de humedad [%]
M01	28.716
M02	28.724
M03	23.870
M04	21.926
M05	28.368
M06	24.002
Promedio	25.935 %

A continuación, se muestran los valores de contenido de humedad obtenidos en los relaves en la fig. 23.

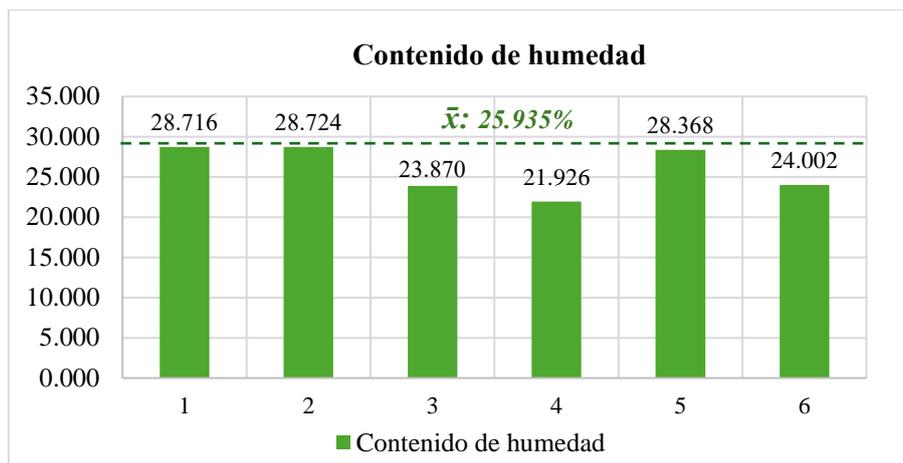


Figura 23. Gráfica de contenido de humedad.

6.3.3. Granulometría

La granulometría fue realizada mediante el método de Rosin-Rammler en el cual se determina el P80, con la finalidad de controlar la efectividad de la molienda conociendo el tamaño adecuado para una mejor liberación de los minerales, el procedimiento mediante el P80 se muestra en el Anexo 4. Granulometrías por el P80.

Tabla 7. Resultados del P80 mediante Rosin Rammler

Muestras	P80 (µm)
M01	95.78
M02	150.04
M03	193.7
M04	111
M05	116.3
M06	82.79

Se muestra en la fig. 24 la granulometría obtenida de seis muestras de relave.

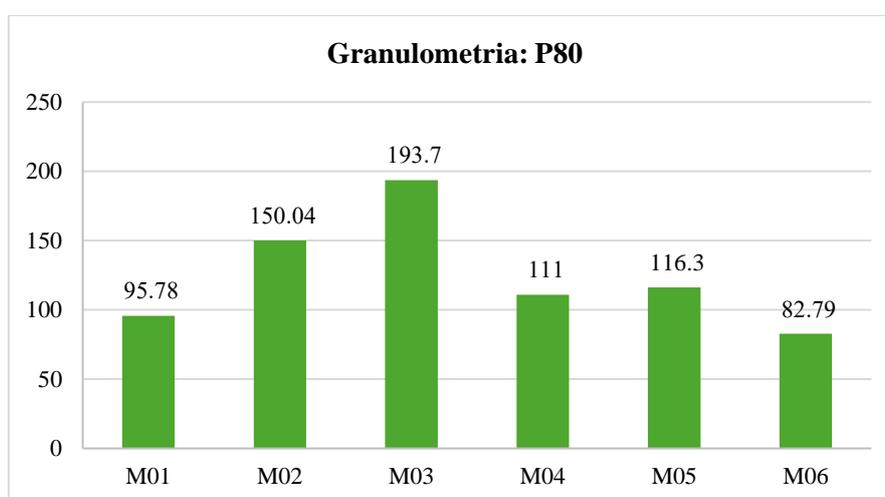


Figura 24. Granulometría por Rosin-Rammler.

La granulometría por Rosin-Rammler determino un P80 que va desde 82.72 micras hasta 150.4 micras. Sin embargo, la muestra M03 (193.7 micras) muestra una gran variación en relación con las 5 muestras restantes por lo que se procedió a eliminarla debido a que pudo tratarse de un error al momento que se realizó una granulometría manual. Los valores de las 5 muestras indica que el 80% de las partículas de la muestra de relave se encuentra dentro de la malla #100 y #200.

El tamaño de partículas determinado es importante para la recuperación de oro ya que permite conocer la eficiencia en los métodos de extracción. Obtener partículas más finas (por debajo de 75 μm) tienden a facilitar el proceso de liberación de oro como también la optimización de tiempos en la disolución de oro.

6.4. Propiedades químicas del relave

Para la caracterización del material de relave se realizó los análisis químicos tales como: pH, conductividad y ensayo al fuego, con el fin de conocer la recuperación de oro en la Sociedad Minera.

6.4.1. pH y Conductividad

A continuación, en la tabla 8 se muestra los valores obtenidos de cada una de las muestras.

Tabla 8. Conductividad y pH

Muestra	pH	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)
M01	8.615	81.7
M02	8.485	101.3
M03	8.608	73.2
M04	8.325	78.6
M05	8.568	96.5
M06	8.489	82.5
Promedio	8.515	85.633 $\mu\text{S/cm}$

Se muestra un promedio de 8.515 para el pH lo cual se define como alcalino, mientras que se obtuvo un promedio de 85.633 $\mu\text{S/cm}$ (microsiemens por centímetro) para la conductividad, tal cual se muestra en las figuras 25 y 26.

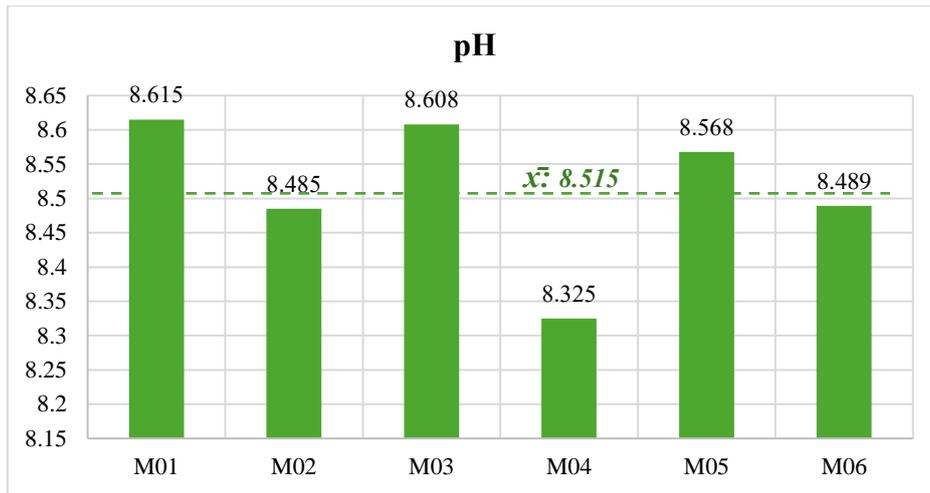


Figura 25. Resultados de pH



Figura 26. Resultados de conductividad

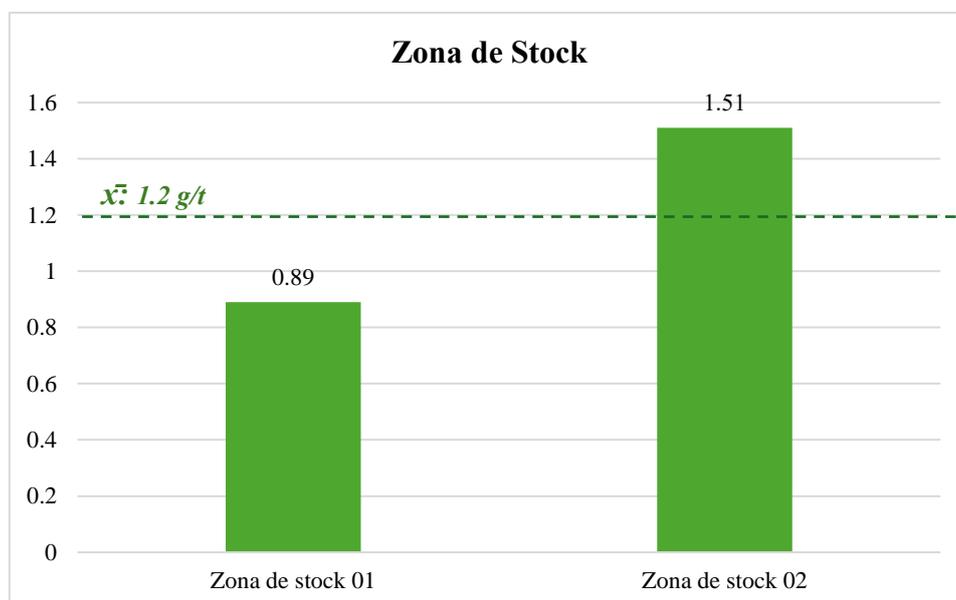
6.4.2. Ensayo al fuego

Se realizó el análisis químico de ensayo al fuego para determinar la ley de Au presente en el relave. En la tabla 9 se muestra los resultados obtenidos del análisis.

Tabla 9. Ensayo al fuego

Ensayo al fuego		
	Identificación de la muestra	Au (g/t)
Muestras de ley de cabeza (stock)	Zona de stock 01	0.89
	Zona de stock 02	1.51
	Promedio	1.2 g/t
Muestras de relave	M01	0.33
	M02	0.46
	M03	0.57
	M04	0.62
	M05	0.54
	M06	0.47
	Promedio	0.498 g/t
Compósito (6 muestras)		0.78 g/t

El análisis determinó un promedio de 1.2 g/t de las 2 muestras de la zona de stock con la finalidad de conocer la ley de cabeza del material. Además, la ley promedio de 0.498 g/t de las 6 muestras de relave y el compósito de las 6 muestras en una, obteniendo un valor de ley de 0.78 g/t.

**Figura 27.** Resultados de zona de stock

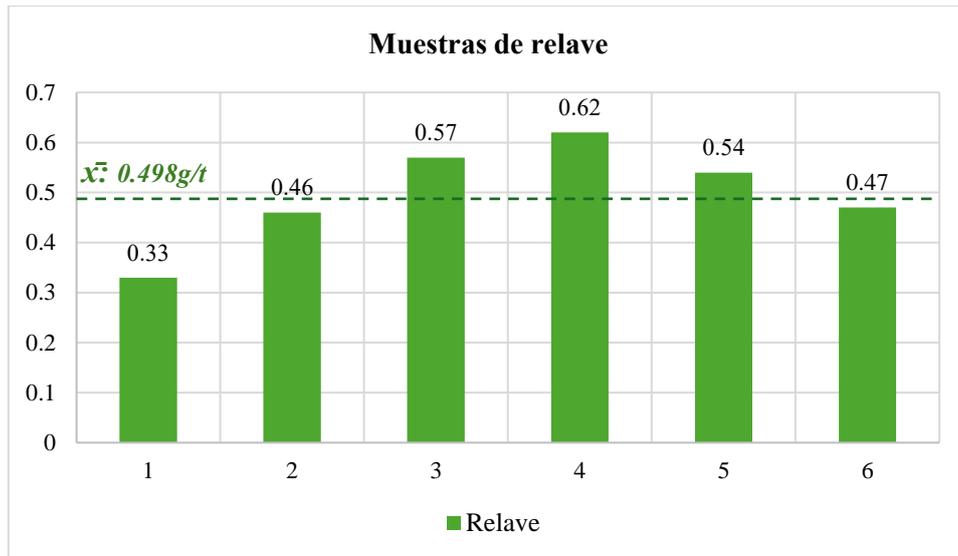


Figura 28. Resultados de zona de relave

6.5. Análisis mineralógico del relave.

El conocimiento de la geología de interior mina es fundamental para el desarrollo del análisis mineralógico ya que permitió correlacionar las características litológicas con los posibles minerales presentes en el material procesado.

Se desarrollo el análisis mineralógico con la finalidad de conocer los minerales presentes en el material de relave, para de esa manera elegir un método o alternativa para una mayor eficiencia en la recuperación de oro.

6.5.1. Mineralogía descriptiva

Se efectuó un análisis microscópico del material de la zona de stock y relave tal cual se muestra en la figura 29 y 30

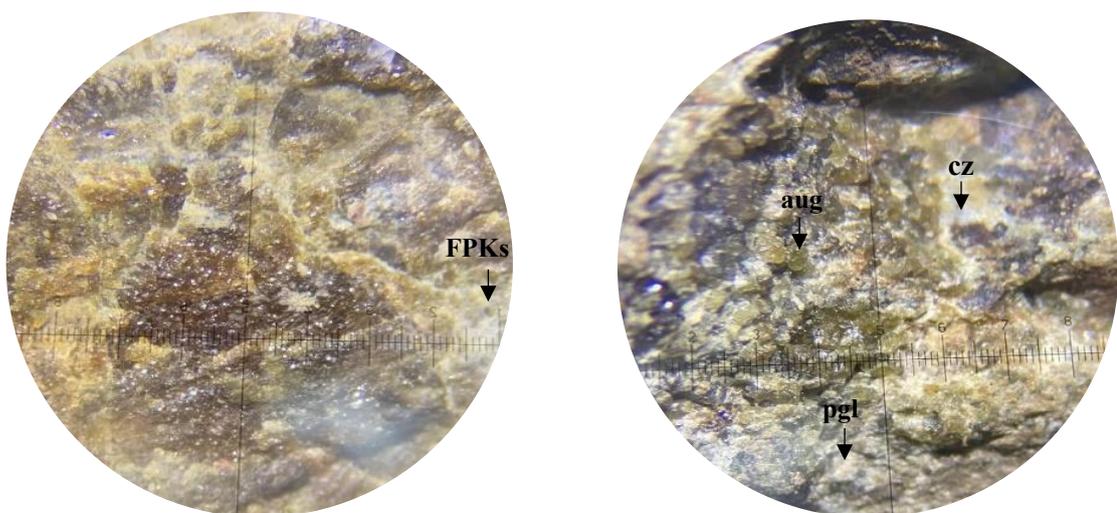


Figura 29. Muestra microscópica de la zona de stock.

En el análisis microscópico de la roca perteneciente al material de stock se identificó varios minerales entre ellos cuarzo (cz), que presento una tonalidad opaca. Las plagioclasas (PGLs) con tonalidad gris oscuros, mientras que los feldespatos (FPKs) en mayores cantidades con tonalidad grisáceas. Además, de augita (dp) con una tonalidad verde oscuro.

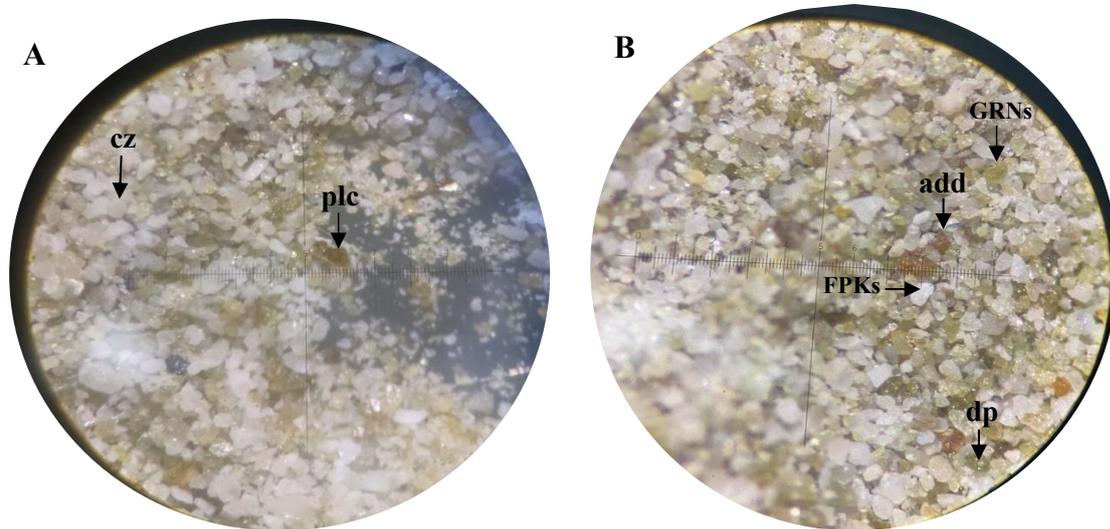


Figura 30. Muestra microscópica de relave.

En la Fig. 30 se muestra la mineralogía mediante el microscopio presente en el relave, revelando minerales en la fotografía (A) tales como cuarzo (cz) y mica (plc). Mientras que en la fotografía (B) se muestran minerales como granates (GRNs), andradita (add), feldespatos (FPKs). y diopsidos (dp).

6.5.2. Fluorescencia de Rayos X

En la Tabla 10 se muestra los resultados de fluorescencia de rayos x, el cual muestra la composición química que presenta el relave.

Tabla 10. Resultados de FRX

	Muestra 1 (M01)	Muestra 2 (M02)	Muestra 3 (M03)
Al ₂ O ₃ (%)	14.5	14.7	15
SiO ₂ (%)	54.1	55	55.3
MnO (%)	0.6	0.61	0.66
S (%)	0.3	0.2	0.2
K ₂ O (%)	3.2	3.4	3.5
CaO	18.2	16.6	17.9
PbO	ND	ND	ND
Fe ₂ O ₃	5.5	5.1	5.6
ZnO	0.02	0.09	ND

Las muestras (M01, M02, M03), indican una composición química presente en óxidos, cada una de las muestras cuentan con una composición de:

Dióxido de silicio (SiO₂), con rangos de 54.1 % a 55.3%, que evidencia la presencia de silicatos como cuarzo, feldespatos o micas. Oxido de calcio (CaO), que varía entre 16.6% y

18.2%, este óxido se encuentra asociado a minerales calcáreos como calcita o plagioclasa. Óxido de aluminio (Al_2O_3), con porcentajes que van de 14.5% a 15%, dicho óxido está asociado a minerales aluminosos como feldespatos y micas.

El óxido férrico (Fe_2O_3) está presente en cantidades de 5.1% a 5.6% siendo moderadas, asociado a minerales como; hematita o magnetita. Además del óxido de potasio (K_2O) con cantidades que varían entre 3.2% a 3.5%, está asociado a minerales como ortoclasa o biotita, mientras que el manganeso (MnO), azufre (S) y zinc (ZnO) tienen un porcentaje menor.

La determinación de elementos va desde el sodio hasta el uranio. En este análisis solo se detectan elementos dentro de este rango específico.

6.5.3. Difracción de rayos x

Se muestra los resultados mineralógicos de Difracción de Rayos X de las tres muestras de relave, mostrando la semicuantificación de las fases mineralógicas.

6.5.3.1. Muestra M01

La figura 31 presenta el difractograma de la muestra M01, la cual determino una fase mineralógica constituida mayormente por ortoclasa con un 42.1%, seguidamente de andradita en un 23.3%, diópsido con 19.7% y cuarzo con un 15 %.

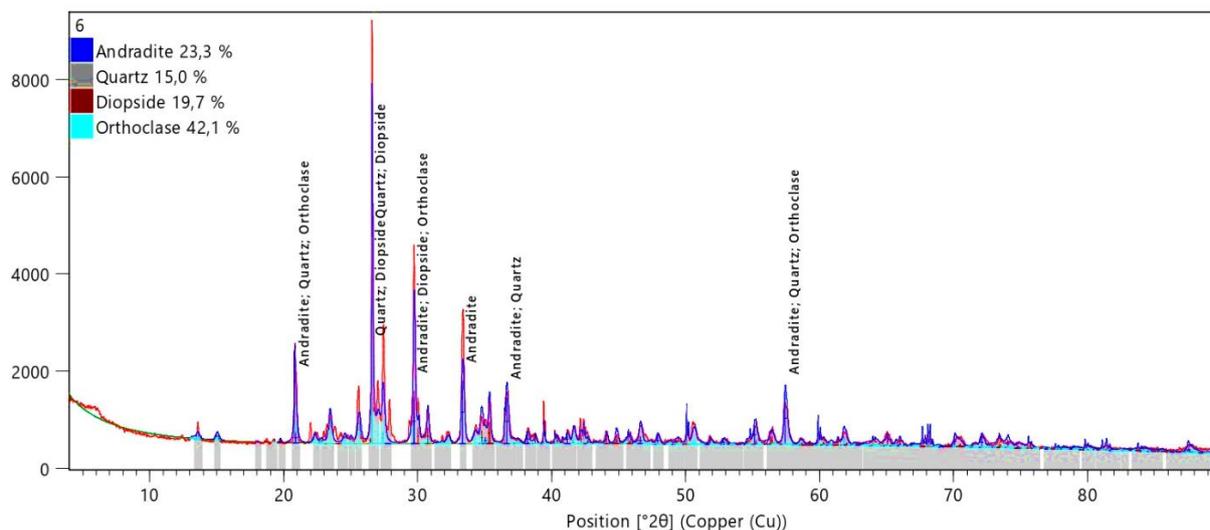


Figura 31. Difractograma de la muestra M01

Nota: (Universidad Técnica Particular de Loja, 2024)

Tabla 11. Resultados de Difracción de rayos X de la muestra M01

	Fases Mineralógicas	Semicuantificación (%)
M01	Andradita	23.3
	Cuarzo	15.0
	Diópsido	19.7
	Ortoclasa	42.1

6.5.3.2. Muestra M02

La figura 32 presenta el difractograma de la muestra M02, la cual determino mayormente una fase mineralógica constituida por ortoclasa con un 38.2%, seguidamente de andradita con un 19.6%, cuarzo con un 17 %, diópsido con 16.3% y albita con un 8.2%.

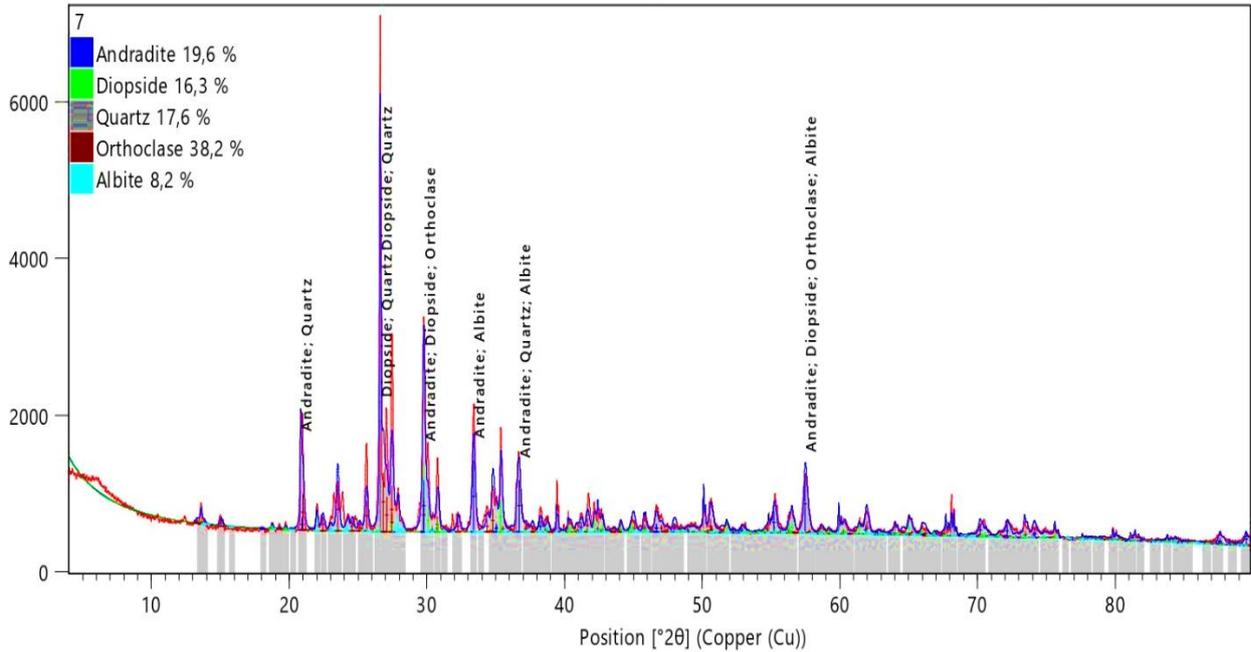


Figura 32. Difractograma de la muestra M02

Nota: (Universidad Técnica Particular de Loja, 2024)

Tabla 12. Resultados de Difracción de rayos X de la muestra M02

	Fases Minerales	Semicuantificación (%)
M02	Andradita	19.6
	Diópsido	16.3
	Cuarzo	17.6
	Ortoclasa	38.2
	Albita	8.2

6.5.3.3. Muestra M03

La figura 33 presenta el difractograma de la muestra M03, la cual determino una fase mineralógica constituida mayormente por feldespatos con un 35.6 % seguidamente de andradita con 25.6 %, diópsido con 18.6 %, cuarzo con un 11.4 % y albita con 8.8 %.

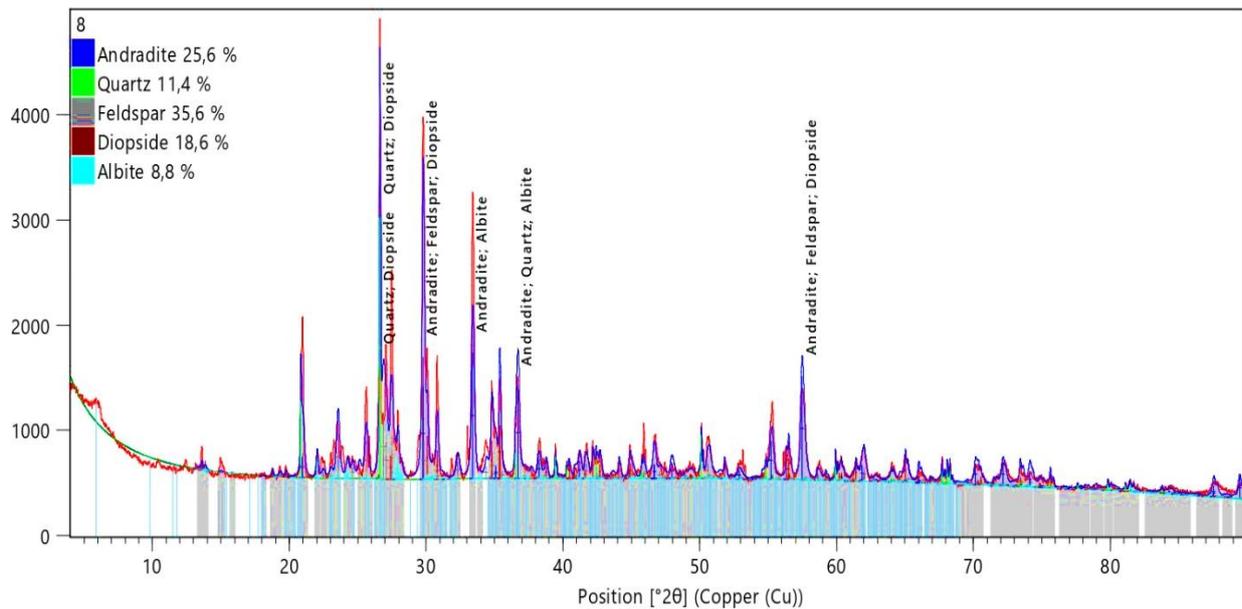


Figura 33. Difractograma de la muestra M03

Nota: (Universidad Técnica Particular de Loja, 2024)

Tabla 13. Resultados de Difracción de rayos X de la muestra M03

	Fases Minerales	Semicuantificación (%)
M03	Andradita	25.6
	Cuarzo	11.4
	Feldespato	35.6
	Diópsido	18.6
	Albita	8.8

6.6. Propuesta de un método o alternativa en la recuperación de oro.

La propuesta de un método o alternativa en el proceso de recuperación del mineral de interés oro dentro de la Sociedad Minera Areniscas, se realizó en base a un análisis técnico que dependió del análisis de diversos factores como las características físicas, químicas y mineralógicas.

El análisis químico realizado en la zona de stock dio como resultado una ley promedio de cabeza de 1.2 g/t , mientras que el compuesto de seis muestras de relave cuenta con una ley de 0.78 g/t indicando que el mineral de interés oro se encuentra aún presente en la disposición final, considerando la recuperación obtenida del material es conveniente realizar un tratamiento al relave mediante un método de recuperación.

6.6.1. Propuesta de método

6.6.1.1. Cianuración

Determinada la caracterización físico-química y mineralógica de los relaves, se identificó que es un material compuesto en su mayoría por óxidos y que no presenta minerales cianicidas ni penalizantes; además de poseer concentraciones bajas de 0.78 g/t en el relave; por

lo que se recomienda como método más efectivo para recuperar el oro, el proceso metalúrgico de agitación mecánica (cianuración), este método es más apropiado debido al alto rendimiento en la recuperación del mineral de acuerdo a sus características.

Para ello se procedió a realizar una prueba piloto para corroborar la teoría. En la tabla 14 se muestra el resultado obtenido:

Tabla 14. Determinación de Oro a través Cianuración (Agitación Intensiva)

Muestra	Au Oro- Total g/t	Au Oro- Cianurable g/t	Consumo de Cal kg/t	Consumo de Cianuro kg/t	Tiempo de Agitación horas
Relave	0.78	0.68	pH 11 2.50	VL 1.00	10

El análisis realizado mediante el proceso metalúrgico de agitación mecánica (cianuración) determino una ley de 0.78 g/t con una recuperación de oro cianurable de 0.68 g/t, lo que indica un porcentaje de recuperación de 87.2%

6.6.1.2. Flotación

El método de cianuración no se ajusta a las características obtenidas en la caracterización debido a la ausencia de cianicidas. Sin embargo, se realizó la prueba piloto de flotación para determinar el porcentaje de recuperación.

Tabla 15. Prueba de Flotación

CABEZA ENSAYADA	Au 0.78 g/t						
PRODUCTO	%	LEYES (%) * g/t			RECUPERACIÓN (%)		RATIO
	PESO	As	*Au	*Ag	Au	Ag	CONC.
CABEZA CALCULADA	100.00		0.65	1.61	100.00	100.00	
CONCENTRADO BULK	1.05		36.00	56.38	58.14	36.86	95.24
RELAVE	98.95		0.28	1.03	41.86	63.14	

De acuerdo con el balance metalúrgico de oro se observa una recuperación de 58.14% con un radio de concentración de 95.24 toneladas de arena para obtener 1 tonelada de concentrado. En el concentrado se obtiene 36.00 gramos de oro por tonelada.

6.6.1.3. Análisis técnico

De acuerdo con la caracterización y las pruebas piloto es importante mencionar que la cianuración es más efectiva debido a las condiciones del material, ofreciendo mayores ventajas a diferencia del método de flotación. En primer lugar, la flotación requiere un tamaño de

partículas menores a 72 μm para ser efectiva, mientras que para la cianuración no tiene una influencia significativa, aunque requiere que las partículas sean lo suficientemente pequeñas para una buena disolución de oro, lo que permite una reducción en costos de energía para la molienda. Además, el método de flotación es eficiente en minerales tales como los sulfuros, mientras que para cianuración es necesario la presencia de óxidos y que no presenten minerales cianicidas (sulfuros), lo que se ajusta a las características obtenidas del relave analizado.

Ambos métodos requieren un pH que va de 9 a 11, este parámetro es importante ya que de esa manera se puede ajustar el pH, agregando las cantidades de sustancias alcalinas deseadas. Sin embargo, la cianuración es efectiva en condiciones de bajas concentraciones de oro a diferencia de la flotación que se obtiene una menor eficiencia en bajas concentraciones. Es por ello por lo que es ideal para material de relave que contiene menores cantidades de ley de oro.

Para una mayor confiabilidad del método propuesto y proporcionar mayor validez a la investigación se realizó las pruebas correspondientes determinando que la prueba metalúrgica mediante el método de cianuración (agitación mecánica) tuvo una recuperación de 87.2 %, mientras que para el método de flotación fue de 58.14%. Por lo cual se corrobora la información teórica con la prueba realizada que el método más idóneo para la recuperación de oro en los relaves es cianuración.

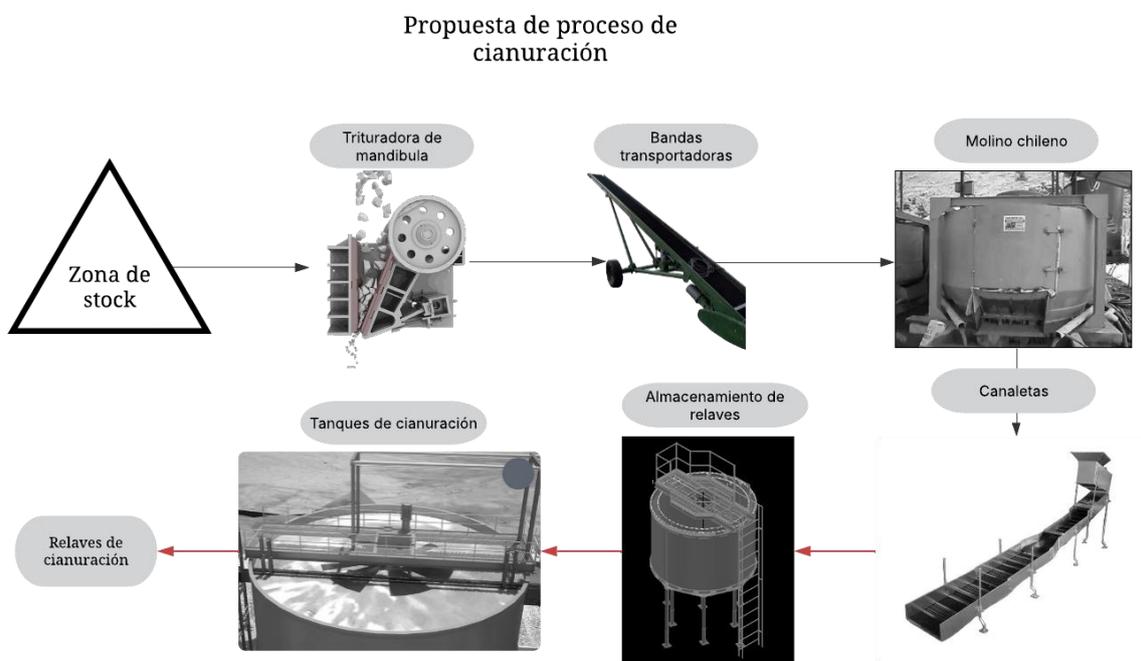


Figura 34. Propuesta de Cianuración.

Nota. Etapas de la propuesta para la recuperación de oro mediante el método de cianuración

7. DISCUSIÓN

En el proyecto de investigación realizado en la Planta de Beneficio de la Sociedad Minera “Areniscas” código 230, se realizó la caracterización física, química y mineralógica del material de relave, el área minera se encuentra ubicada en el barrio Nambija, cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe.

El problema de investigación se basó en la falta de tecnificación y caracterización del material de relave, el cual es indispensable para conocer los porcentajes de recuperación de oro y las cantidades aún existentes de minerales.

Según lo mencionado por Hernández y Pacho (2019), en el trabajo de titulación denominado “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).” Propone un proceso hidrometalúrgico a través de estudios de caracterización física, tales como peso específico y granulometría, mientras que, para la caracterización química sugiere propiedades como ensayo al fuego, pH y conductividad; y para análisis mineralógico mediante difracción de rayos x. Los ensayos mencionados permitieron en la presente investigación una caracterización detallada del material de relave con el fin de obtener un método de recuperación idóneo para el tratamiento de relaves.

Como menciona Enríquez, et. al. (2022), en su “Estudio de caso para el aprovechamiento de relaves mineros procedentes de la concesión Campanillas, Zamora Chinchipe-Ecuador, como agregado para la elaboración de adoquines” detalla que el material de relave analizado procedente de la Unidad Piuntza, tratándose de una roca tipo skarn, el cual presento características como; peso específico de 2.1-2.7 g/cm³, granulometría correspondiente a la malla #100 (121.81 μm) y con un pH con tendencias a un medio básico.

En el presente trabajo se presentan técnicas similares para la caracterización de material de relave de la Sociedad Minera “Areniscas” código 230, este al igual que el estudio de Enríquez, (2022), se encuentra presente en la Unidad Piuntza, con una roca tipo skarn, tratándose de la misma geología y tipo de roca, con una peso específico de 2.121 g/cm³, y pH alcalino con tendencias a un medio básico. La granulometría se encuentra presente en las mallas #100 y #200 de abertura de 75 a 150 μm, teniendo características similares a las de Enríquez, et. al.

Aragón (2021), en su libro denominado “Técnicas de caracterización y procedimientos empleados en la mineralogía aplicada al beneficio de minerales” indica que existen técnicas analíticas tradicionales como Fluorescencia de Rayos X (*FRX*), la cual forma parte de las

industrias minero-metalúrgicas más importantes, además de Difracción de Rayos X (*DRX*) que es la más adecuada para determinar la ganga y obtener una buena caracterización mineralógica.

Enríquez, et.al. (2022), para determinar la mineralogía del relave aplicó ensayos de fluorescencia de rayos x, indicando la presencia en mayores porcentajes de óxido de calcio (CaO), silicio (SiO_2) y aluminio (Al_2O_3). Además, difracción de rayos x obteniendo los siguientes minerales mayoritarios; cuarzo, ortoclasa y andradita.

Tomando en cuenta cada una de las consideraciones expuestas anteriormente se implementó en el presente proyecto de investigación estrategias similares para el análisis mineralógico del relave del área de estudio desarrollando los análisis de Fluorescencia de rayos x para la identificación de los elementos tales como; Dióxido de silicio (SiO_2), Oxido de calcio (CaO), y Oxido de aluminio (Al_2O_3). El ensayo de difracción de rayos x, permitió conocer la mineralogía del relave, determinando minerales presentes en óxidos como; Andradita, Cuarzo, Diópsido, Ortoclasa, Albita y Feldespató. Obteniendo elementos y minerales similares al del relave estudiado por Enríquez, et.al. (2022)

De acuerdo con Ponce (2022), en su trabajo de investigación titulado “Evaluación Metalúrgica de Cianuración de Minerales de oro y plata de baja ley para Proyecto Metalúrgico” menciona que debido a la presencia de óxidos se procedió a realizar una prueba a un material con características granulométricas de malla 200, con una ley de 0.272 g/t obteniendo una recuperación del 98.52% en concentraciones de ley de oro bajas. En el presente trabajo de investigación tomando en cuenta la presencia de óxidos y ausencia de cianicidas se procedió a elegir el método de cianuración. Además, debido a las bajas concentraciones de la ley del material de relave de 0.78 g/t, la cianuración es más eficiente en menores leyes tal como lo menciona Ponce (2022), por lo que se considera un método adecuado. Mediante los ensayos realizados se determinó que el método de cianuración permite una recuperación de 87.2 % con una malla de #100 y #200.

8. CONCLUSIONES

- La Sociedad Minera “Areniscas” código 230, se encuentra ubicada geológicamente en la Unidad Piuntza, la cual está representada por volcánicas andesíticas y sedimentos volcanoclásticos epiclásticos calcáreos. La zona de explotación está caracterizada por roca skarn y el método ocupado para la extracción del material es gravimetría.
- La caracterización física dio como resultado un promedio de peso específico de 2.121 g/cm^3 ; contenido de humedad promedio de 25.935% y una granulometría por el método de Rosim-Rammler con un rango de $82.79 \mu\text{m}$ hasta $150.04 \mu\text{m}$ lo que indica que esta en la malla 100 y 200.
- La caracterización química de las 6 muestras de relave mostro un pH promedio de 8.515 (medio alcalino) y una conductividad de 85.633. El análisis de ensayo al fuego determino una ley promedio de cabeza de 1.2 g/t, además, una ley promedio del material de relave de 0.498 g/t y un compuesto de las 6 muestras de relave en una de 0.78 g/t.
- La mineralogía descriptiva efectuada en el material de relave mostro minerales tales como; cuarzo, mica, granates, feldespatos, andradita y diópsido.
- El análisis mineralógico determinado a las 3 muestras representativas de relave indico una composición de elementos en mayores porcentajes de dióxido de silicio (SiO_2) de 54.1, 55 y 55.3 respectivamente; oxido de calcio (CaO) en cantidades de 18.2, 16.6 y 17.9 respectivamente; oxido de aluminio (Al_2O_3) con 14.5, 14.7 y 15 respectivamente
- El análisis de difracción de rayos x en las 3 muestras de relave muestra una mineralógica del material de relave en mayores cantidades de ortoclasa con 42.1% y 38.2% en la muestra M01 y M02. Feldespatos en la muestra M03 con 35.6%, seguidamente de andradita 23.3%, 19.6% y 25.6%. Además, diópsido con 19.7%, 16.3% y 18.6%, cuarzo con 15%, 17.6% y 11.4% respectivamente cada una y albita con 8.2% y 8.8% en la muestra M02 y M03.
- El método metalúrgico de cianuración permite obtener una mayor eficiencia con un porcentaje de recuperación de 87.2 %, a diferencia del método de flotación que puede no alcanzar la eficiencia deseada debido a las condiciones del material, con un porcentaje de recuperación de 58.14%.

9. RECOMENDACIONES

- Recolectar el mayor número de muestras y realizar un correcto muestreo para una mayor efectividad en cada uno de los ensayos.
- Desarrollar una correcta toma de muestras
- Ejecutar monitoreos constantes en el material de relave para conocer los porcentajes aun presentes en este punto y realizar mejoras constantemente.
- Efectuar una molienda más fina para una mejor liberación de las partículas de interés, antes de realizar el método de gravimetría.
- Se recomienda desarrollar una prueba piloto de cianuración del material de relave.
- Llevar a cabo un análisis mineralógico más detallado con la construcción laminas delgadas y secciones pulidas para determinar el tamaño de los minerales.
- Usar el método de recuperación propuesto en este trabajo de investigación para el tratamiento del material de relave en la recuperación de oro.
- Se sugiere el uso de este tema de investigación como base de nuevas investigaciones.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, R. (2020). *"Flotación, Lixiviación Alcalina, Biolixiviación y Cianuración Para La Recuperación de Oro."* Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud.
- Anawar, H. (24 de Mayo de 2024). *Sustainable rehabilitation of mining waste and acid mine.* Obtenido de Journal of environmental: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479715300499>
- Aragón, A. (2021). *Técnicas de caracterización y procedimientos aplicados en la minerología aplicada al beneficio de minerales.* México: Ibbuku.
- Bastías, L. (2014). *Estabilidad química de relaves y escorias.* España: Editorial Académica Española.
- Berrezueta, E., & Dominguez, M. (2010). *Técnicas aplicada a la caracterización y aprovechamiento de recursos geológicos mineros. Vol 1.* España: Red Minería XXI. .
- Cuenca, F. (2023). *Caracterización físico-química y mineralógica del material de mena.* Obtenido de https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/26995/1/FernandoMichael_CuencaMontano.pdf
- Dammert, A. (2021). *Economía minera.* España: Fondo Editorial de la PUCP.
- De la Cuesta, J. (2023). *Cartilla Práctica Sobre Elaboración De Las Minas Y Reconocimiento Y Beneficio De Los Metales.* Madrid: Creative Media Partners, LLC.
- Ekka, M. (05 de 27 de 2020). *Methods of rock, soil, stream sediments, vegetation and vapour sampling.* Obtenido de DSPMU UNIVERSITY, RANCHI.: <https://dspmuranchi.ac.in/pdf/Blog/SAMPLING%20METHODS-%20ROCK,%20SOIL,%20SEDIMENT,%20VEGETATION,%20VAPOUR.pdf>
- Empírica. (2021). *EMPIRICA.* Obtenido de <https://empiricaconsultores.cl/difraccion-de-rayos-x-para-la-identificacion-de-minerales-de-arcilla/>
- Enríquez et al., (2022). Estudio de caso para el aprovechamiento de relaves mineros procedentes de la concesión Campanillas, Zamora Chinchipe-Ecuador, como agregado para la elaboración de adoquines CASE STUDY FOR THE USE OF MINING TAILING
- Espín, D., Jarrín, J., & Escoba, O. (15 de Noviembre de 2017). *MANEJO, GESTIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL.* Obtenido de <file:///C:/Users/Maria/Downloads/wfuertes,+RCSD-V2N4-ART1.pdf>
- Folchi, M. (13 de mayo de 2024). *SciELO Brasil.* Obtenido de Los efectos ambientales del beneficio de minerales metálicos: <https://doi.org/10.1590/S0104-87752005000100003>

- Gantiva, N. (2009). *Caracterización del espectrómetro de fluorescencia de rayos X y sus aplicaciones*. Uniandes: Méjico.
- González, M. (1995). *Análisis de materiales por fluorescencia de rayos X*. Bilbao: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao.
- Hernández, S., & Pancho, L. (2019). Propuesta de proceso hidrometalúrgico para la recuperación de oro a partir.
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2020). "ANÁLISIS QUÍMICO PARA LA DETERMINACIÓN DE ORO" POR EL MÉTODO DE ENSAYO AL FUEGO. Obtenido de https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/instructivo_analisis_quimico_para_la_determinacion_de_oro_por_el_metodo_de_ensayo_al_fuego_2020.pdf
- Manrique, M. (23 de mayo de 2024). *INGEMMET*. Obtenido de Caracterización geoquímica y mineralógica de relaves de mineros: file:///C:/Users/Maria/Downloads/B078_Caracterizacion_geoquimica_LaCienaga-LaLibertad.pdf
- Martínez, M. (2015). *Análisis instrumental: Espectrometría de Absorción atómica*. Obtenido de <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/138418/Mart%C3%ADnez%20-%20An%C3%A1lisis%20Instrumental.%20Espectrometr%C3%ADa%20de%20Absorci%C3%B3n%20At%C3%B3mica%20%28EAA%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Medina, A. (2023). "Análisis comparativos de flotación y cianuración en la recuperación de oro de material de mina San Juan, en el cantón y parroquia Portovelo, provincia El Oro." Universidad Nacional de Loja-UNL.
- Metso: Autotec. (9 de Mayo de 2024). *Basics in minerals processing*. Obtenido de https://www.metso.com/globalassets/insights/ebooks/mo-basics-in-mineral-processing-handbook_lowres.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2016, 12 de julio). *REGLAMENTO AMBIENTAL DE ACTIVIDADES MINERAS*. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/>
- Ortiz, R. (2015). *Relaves mineros: Diagnóstico de plantas acumuladoras de metales*. Perú: U. Nacional del Altiplano.
- Ponce, E. (2022). "EVALUACIÓN METALÚRGICA DE CIANURACIÓN DE MINERALES DE ORO Y PLATA DE BAJA LEY PARA PROYECTO METALÚRGICO"
- Sandoval , F., Albán , J., Carvajal , M., Chamorro , C., & Pazmiño, D. (2002). *Minería, minerales y desarrollo sustentable en América del Sur*. (CIPMA, Ed.)

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. (2014). *Metales y aleaciones, no ferrosos*. Obtenido de <https://www.studocu.com/en-us/document/universidad-nacional-de-colombia/termodinamica/aleaciones-no-ferrosas/8204007>

Universidad Nacional de Loja. (2021). *GUÍA PARA LA FORMULACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE INTEGRACIÓN CURRICULAR O TITULACIÓN*. Obtenido de <https://www.unl.edu.ec/investigacion/guias-investigacion>

Vega, H. (2014). *DISEÑO DE MALLAS DE MUESTREO EN PRESENCIA DE*. Obtenido de <http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/6669/1/TESIS%20DISE%C3%91O%20DE%20MALLAS%20DE%20MUESTREO.Image.Marked.pdf>

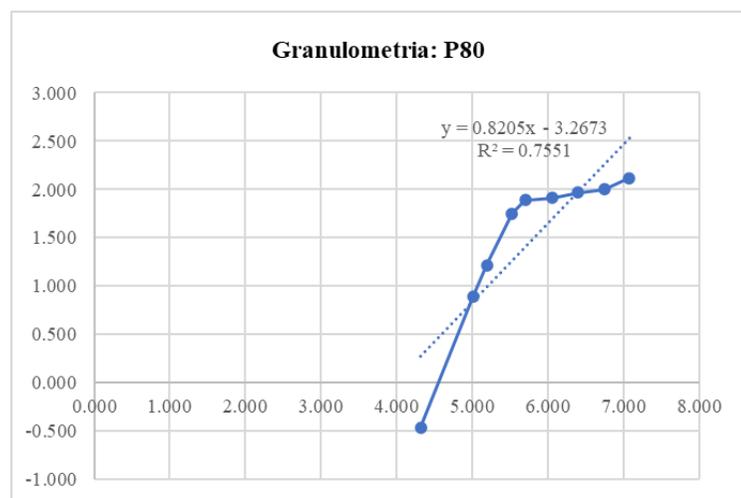
11. ANEXOS

Anexo 1. Geología Interior Mina Sociedad Minera Areniscas

Anexo 2. Granulometrías por el P80

M001

Malla	Abertura (um)	Masa (g)	% Masa retenida	% Acumulado retenido	% Acumulante pasante	In(In(100/100-F))	In(d)
8	2360	0	0	0	100		
10	2000	0	0	0	100		
12	1700	0	0	0	100		
16	1180	0.1	0.025	0.025	99.975	2.116	7.073
20	850	0.15	0.037	0.062	99.938	1.999	6.745
30	600	0.07	0.017	0.079	99.921	1.965	6.397
40	425	0.15	0.037	0.117	99.883	1.910	6.052
50	300	0.07	0.017	0.134	99.866	1.889	5.704
60	250	0.74	0.184	0.318	99.682	1.749	5.521
80	180	12.49	3.101	3.418	96.582	1.217	5.193
100	150	21.63	5.370	8.788	91.212	0.889	5.011
200	75	179.41	44.540	53.328	46.672	-0.464	4.317
Pasante del 200	75	188	46.672	100			
Total		402.81					



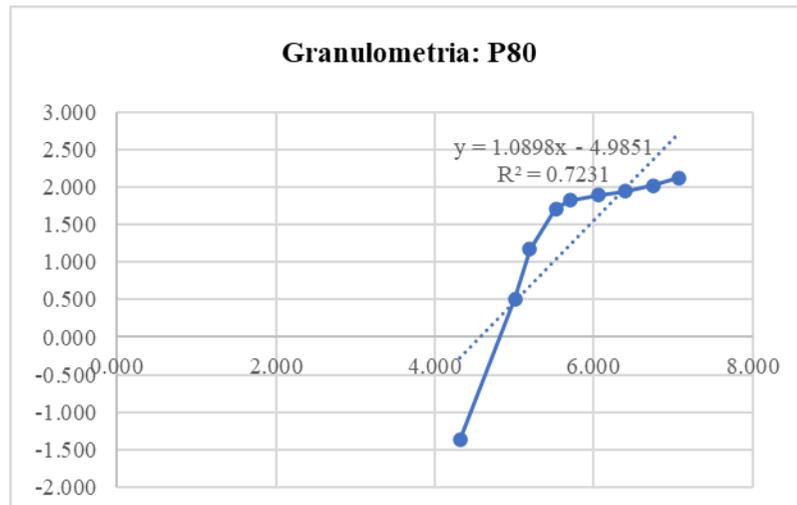
$$K_{RR} = \text{EXP } 3.2673 / 0.8205 = 53.63$$

$$F(x) = 1 - e \left\{ - \left(\frac{x}{K_{RR}} \right)^m \right\}$$

P80 = 95.78 micras

M002

Malla	Abertura (um)	Masa (g)	% Masa retenida	% Acumulado retenido	% Acumulante pasante	In(In(100/100-F))	In(d)
8	2360	0	0	0	100		
10	2000	0	0	0	100		
12	1700	0	0	0	100		
16	1180	0.1	0.024	0.024	99.976	2.122	7.073
20	850	0.13	0.031	0.054	99.946	2.017	6.745
30	600	0.16	0.038	0.092	99.908	1.944	6.397
40	425	0.16	0.038	0.130	99.870	1.894	6.052
50	300	0.32	0.076	0.206	99.794	1.822	5.704
60	250	0.79	0.187	0.393	99.607	1.712	5.521
80	180	15.08	3.566	3.959	96.041	1.172	5.193
100	150	63.66	15.055	19.013	80.987	0.507	5.011
200	75	247.9	58.625	77.638	22.362	-1.374	4.317
Pasante del 200	75	94.56	22.362	100			
Total		422.86					



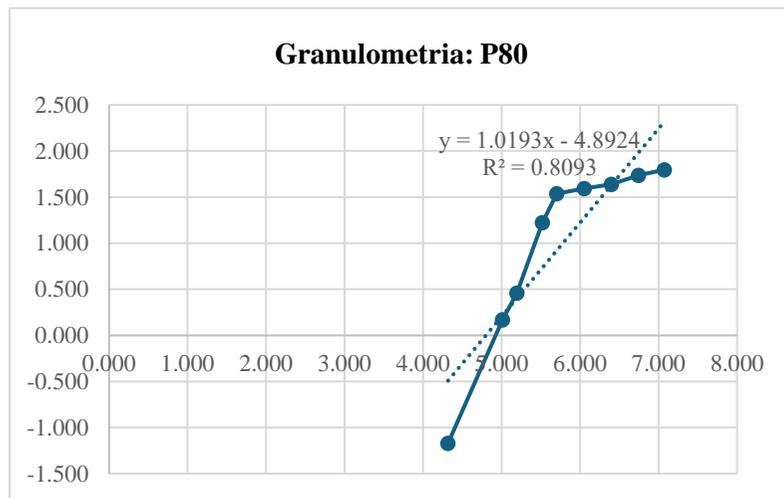
$$K_{RR} = 96.96$$

$$F(x) = 1 - e \left\{ - \left(\frac{x}{K_{RR}} \right)^m \right\}$$

$$P80 = 150.04 \text{ micras}$$

M003

Malla	Abertura (um)	Masa (g)	% Masa retenida	% Acumulado retenido	% Acumulante pasante	ln(ln(100/100-F))	ln(d)
8	2360	3.04	0.725	0.000	100		
10	2000	0.36	0.086	0.086	99.914		
12	1700	0.12	0.029	0.114	99.886		
16	1180	0.53	0.126	0.241	99.759	1.797	7.073
20	850	0.44	0.105	0.346	99.654	1.735	6.745
30	600	0.97	0.231	0.577	99.423	1.640	6.397
40	425	0.62	0.148	0.725	99.275	1.595	6.052
50	300	0.94	0.224	0.949	99.051	1.539	5.704
60	250	10	2.384	3.332	96.668	1.224	5.521
80	180	72.24	17.219	20.552	79.448	0.459	5.193
100	150	41.86	9.978	30.529	69.471	0.171	5.011
200	75	179.56	42.800	73.330	26.670	-1.171	4.317
Pasante del 200	75	108.85	25.946	99.275			
Total		419.53					



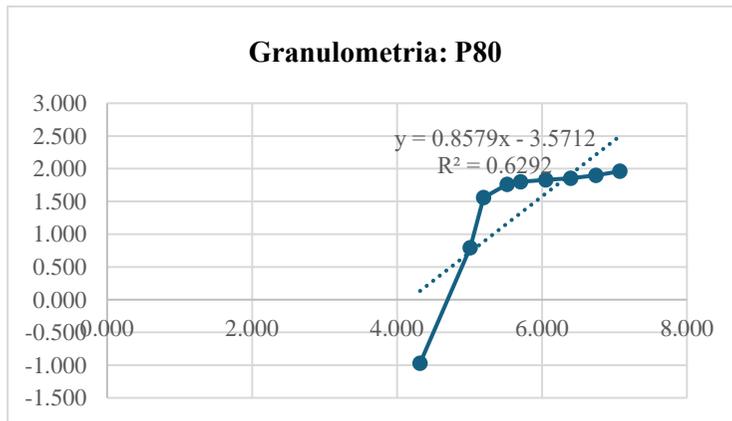
$K_{RR} = 121.48$

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{K_{RR}}\right)^m}$$

$P_{80} = 193.7$ micras

M004

Malla	Abertura (um)	Masa (g)	% Masa retenida	% Acumulado retenido	% Acumulante pasante	ln(ln(100/100-F))	ln(d)
8	2360	0.62	0.124	0.000	100		
10	2000	0.09	0.018	0.018	99.982		
12	1700	0.11	0.022	0.040	99.960		
16	1180	0.21	0.042	0.082	99.918	1.961	7.073
20	850	0.21	0.042	0.124	99.876	1.901	6.745
30	600	0.21	0.042	0.166	99.834	1.856	6.397
40	425	0.16	0.032	0.198	99.802	1.828	6.052
50	300	0.2	0.040	0.238	99.762	1.798	5.704
60	250	0.31	0.062	0.301	99.699	1.759	5.521
80	180	2.77	0.555	0.856	99.144	1.560	5.193
100	150	50.71	10.162	11.018	88.982	0.791	5.011
200	75	286.72	57.459	68.477	31.523	-0.971	4.317
Pasante del 200	75	156.68	31.399	99.876			
Total		499					



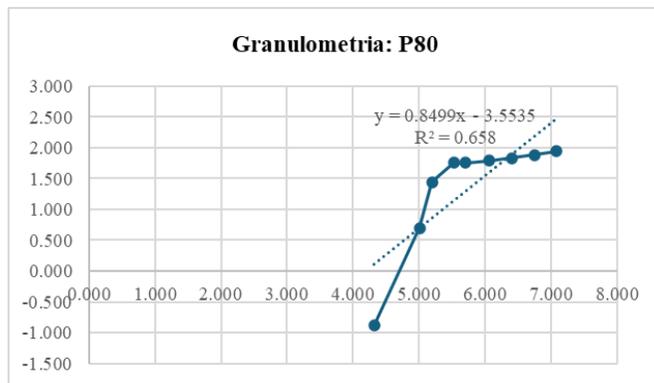
$K_{RR} = 64.25$

$$F(x) = 1 - e \left\{ - \left(\frac{x}{K_{RR}} \right)^m \right\}$$

P80 = 111 micras

M005

Malla	Abertura (um)	Masa (g)	% Masa retenida	% Acumulado retenido	% Acumulante pasante	In(In(100/100-F))	In(d)
8	2360	0.92	0.184	0.000	100		
10	2000	0.06	0.012	0.012	99.988		
12	1700	0.08	0.016	0.028	99.972		
16	1180	0.33	0.066	0.094	99.906	1.941	7.073
20	850	0.22	0.044	0.138	99.862	1.885	6.745
30	600	0.26	0.052	0.190	99.810	1.835	6.397
40	425	0.27	0.054	0.245	99.755	1.794	6.052
50	300	0.3	0.060	0.305	99.695	1.757	5.704
60	250	0.02	0.004	0.309	99.691	1.755	5.521
80	180	5.64	1.130	1.439	98.561	1.445	5.193
100	150	59.49	11.924	13.363	86.637	0.699	5.011
200	75	263.26	52.767	66.130	33.870	-0.883	4.317
Pasante del 200	75	168.06	33.685	99.816			
Total		498.91					



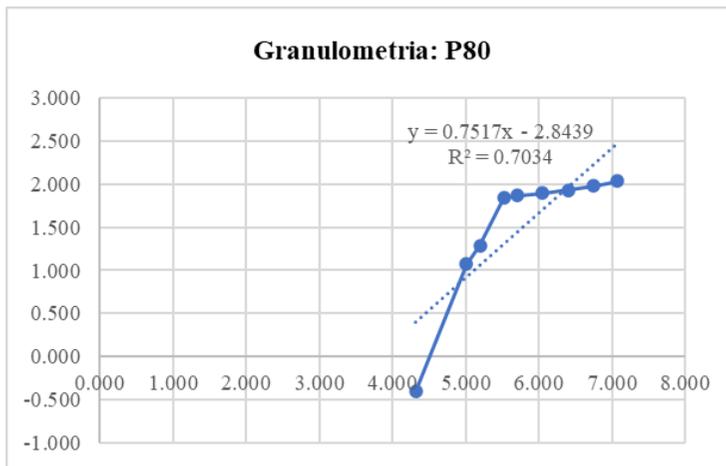
$K_{RR} = 65.44$

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{K_{RR}}\right)^m}$$

$P_{80} = 116.3$ micras

M006

Malla	Abertura (um)	Masa (g)	% Masa retenida	% Acumulado retenido	% Acumulante pasante	ln(ln(100/100-F))	ln(d)
8	2360	0.42	0.084	0.000	100		
10	2000	0.03	0.006	0.006	99.994		
12	1700	0.07	0.014	0.020	99.980		
16	1180	0.13	0.026	0.046	99.954	2.039	7.073
20	850	0.12	0.024	0.070	99.930	1.983	6.745
30	600	0.15	0.030	0.100	99.900	1.932	6.397
40	425	0.15	0.030	0.130	99.870	1.893	6.052
50	300	0.13	0.026	0.156	99.844	1.866	5.704
60	250	0.14	0.028	0.185	99.815	1.840	5.521
80	180	12.49	2.505	2.690	97.310	1.285	5.193
100	150	13.16	2.640	5.329	94.671	1.076	5.011
200	75	230.09	46.150	51.479	48.521	-0.409	4.317
Pasante del 200	75	241.49	48.437	99.916			
Total		498.57					



$K_{RR} = 43.96$

$$F(x) = 1 - e \left\{ - \left(\frac{x}{K_{RR}} \right)^m \right\}$$

P80 = 82.79 micras

Anexo 3. Ensayo al fuego



INFORME DE ENSAYO

Nº. 31979

Cliente	: <u>Jessica Tatiana Benitez</u>
Dirección	: <u>Loja</u>
Tipo de Muestra	: <u>Mineral</u>
Envase	: Funda Plástica
Condición de la Muestra	: En buenas condiciones para analizar
Recepción de Muestra Nº	: 22210
Fecha de Recepción de Muestras	: 2024-09-16 08:12:25.0
Fecha Inició Análisis	: 2024-09-16
Fecha Terminó Análisis	: 2024-09-16
Fecha de Emisión del Informe	: 2024-09-16

Los datos subrayados son proporcionados por el cliente. Albøxus no es responsable por dicha información.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio Albøxus

Las actividades del laboratorio se realizan en la sede principal, Piñas.
Los testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses

**CINTHIA
MELINA
RIOS
AGUILAR**
Cinthia Ríos Aguilar
Jefe de Laboratorio

Digitally signed by CINTHIA
MELINA RIOS AGUILAR
DN: c=CINTHIA MELINA
RIOS AGUILAR,
serialNumber=0752223198-
310124174253
ou=ENTIDAD DE
CERTIFICACION DE
INFORMACION, o=SECURITY
DATA S.A. 2, c=EC
Date: 2024.09.16 17:42:53
+05'00'

ALB-FOR-07 Ver. 06 27/10/2023

Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYO

Nº. 31979

RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Comp.	Cod.	Au	Ag
	Nº	Alb.	g ¹	g ¹
Zona de Stock / MAD4	1	121522	0.80	12.20
Muestra 1 (M01)	1	121523	0.33	11.20
Muestra 2 (M02)	1	121524	0.46	11.65
Muestra 3 (M03)	1	121525	0.57	1.43

Comp. N°: Número de muestras que conforman el compuesto // Cod. Alb.: Código Alboxus.
Los resultados solo están relacionados con los ítems de ensayo.
Las muestras fueron proporcionadas por el cliente.

MÉTODOS:

1. Au, Ag: ALB-MET-01: Determinación de los g de Au y Ag por ensayo al fuego.
2. Cu, Ni, Zn, Pb, Fe, Al, Si, Mn, S, P: ALB-MET-02: Determinación de metales por Digestión con HNO₃ (a) con Absorción Atómica.
3. Au, Plata: ALB-MET-04: Determinación de Au y Ag por absorción atómica con técnica de flujo.
4. Hierro: NTP 5228.15.1078 (Revisada el 2017). Carbonímetro de Hierro.
5. Au (ERVAO): ALB-MET-03: Determinación de Au por ensayo al fuego - AAO.
6. Cu (Mofaneto): ALB-MET-06: Determinación de cobre por mofanetía.

COMENTARIOS:

FINAL DEL DOCUMENTO

INFORME DE ENSAYO

N°. 35728

RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Comp.	Cod.	Au
	Nº	Alb.	g/t
Stock Muestra 004	1	127232	1.51

Comp. N°: Número de muestras que conforman el compuesto // Cod. Alb.: Código Albexxus
Los resultados solo están relacionados con los ítems de ensayo.
Las muestras fueron proporcionadas por el cliente.

MÉTODOS:

1. Au, Ag: ALB-MET-01. Determinación de Au y Ag por ensayo al fuego.
2. Cu, Pb, Zn, AS, Fe: ALB-MET-02. Determinación de Metales por Digestión con HNO₃ (cc) por Absorción Atómica.
3. Au, Ag (Pureza): ALB-MET-04. Determinación de Au y Ag por copelación en barras doré.
4. Humedad: NTP 122.015 1974 (Revisado el 2017). Contenido de Humedad.
5. Au (EF/AAS): ALB-MET-05. Determinación de Au por ensayos al fuego – AAS.
6. Cu (Volumetría): ALB-MET-06. Determinación de cobre por volumetría.

COMENTARIOS:

FINAL DEL DOCUMENTO

Anexo 4. Ensayo de FRX en el Laboratorio de la Universidad Técnica Particular de Loja.



**DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS
LABORATORIO DE GEOQUÍMICA ANALÍTICA**

Asunto: Informe de Fluorescencia de Rayos X

Método: Mining Light Elements (MLE) y Soil FP

Solicitante: Jessica Tatiana Benitez Luna

Fecha de entrega: 20 de septiembre de 2024

En la siguiente tabla se presentan los valores de composición química, obtenidos mediante Fluorescencia de Rayos X (FRX) de las muestras correspondientes al Exp. 0049-2024, empleando el equipo Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X portátil marca Bruker S1 Turbo SD.

MUESTRA	Al₂O₃ (%)	SiO₂ (%)	MnO (%)	S (%)	K₂O (%)
M01	14.5	54.1	0.6	0.3	3.2
	CaO (%)	PbO (%)	Fe₂O₃ (%)	ZnO (%)	-
	18.2	ND	5.5	0.02	-
M02	Al₂O₃ (%)	SiO₂ (%)	MnO (%)	S (%)	K₂O (%)
	14.7	55	0.61	0.2	3.4
	CaO (%)	PbO (%)	Fe₂O₃ (%)	ZnO (%)	-
	16.6	ND	5.1	0.09	-
M02	Al₂O₃ (%)	SiO₂ (%)	MnO (%)	S (%)	K₂O (%)
	15	55.3	0.66	0.2	3.5
	CaO (%)	PbO (%)	Fe₂O₃ (%)	ZnO (%)	-
	17.9	ND	5.6	ND	-

Estos resultados corresponden a la composición química de la muestra expresada en elementos mayoritarios (>1%), minoritarios (<1 a 0,1%) y trazas (ppm).

Anexo 5. Ensayo de DRX en el Laboratorio de la Universidad Técnica Particular de Loja.



Universidad Técnica Particular de Loja
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Departamento de Geociencias
Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos X
Cliente: Jessica Benitez Luna
Fecha: 20-09-2024

INFORME DE DRX

A continuación, se presenta el informe de análisis mineralógico por Difracción de Rayos X de la muestra correspondiente al PED049; empleando el Difractómetro D8 ADVANCE, el software para determinación cualitativa y semicuantitativa HighScore Plus y la base de datos de la Crystallography Open Database.

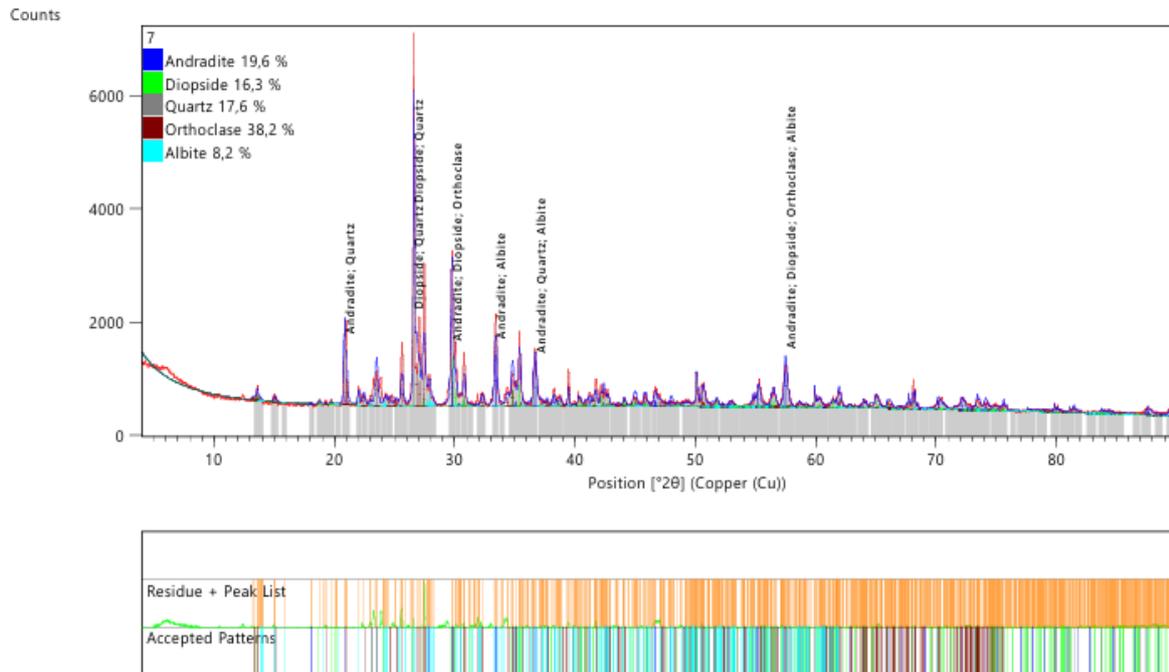
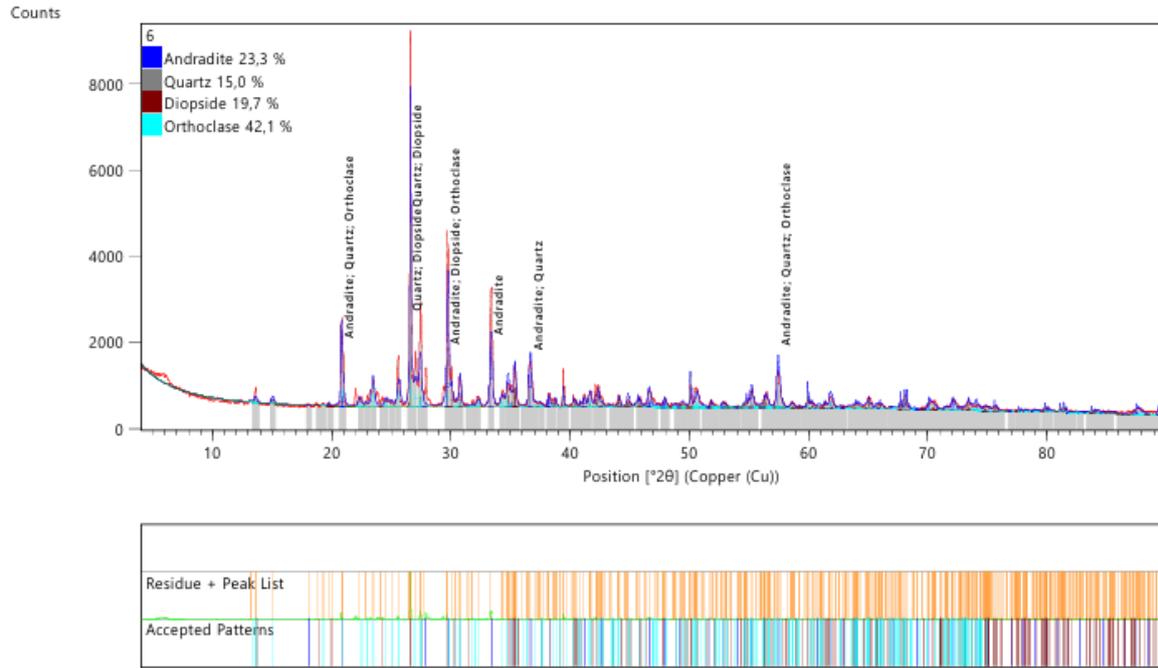
Muestra	Fases Minerales	Semicuantificación (%)
M01 (6)	Andradita	23.3
	Cuarzo	15.0
	Diópsido	19.7
	Ortoclasa	42.1
M02 (7)	Andradita	19.6
	Diópsido	16.3
	Cuarzo	17.6
	Ortoclasa	38.2
	Albita	8.2
M03 (8)	Andradita	25.6
	Cuarzo	11.4
	Feldespato	35.6
	Diópsido	18.6
	Albita	8.8

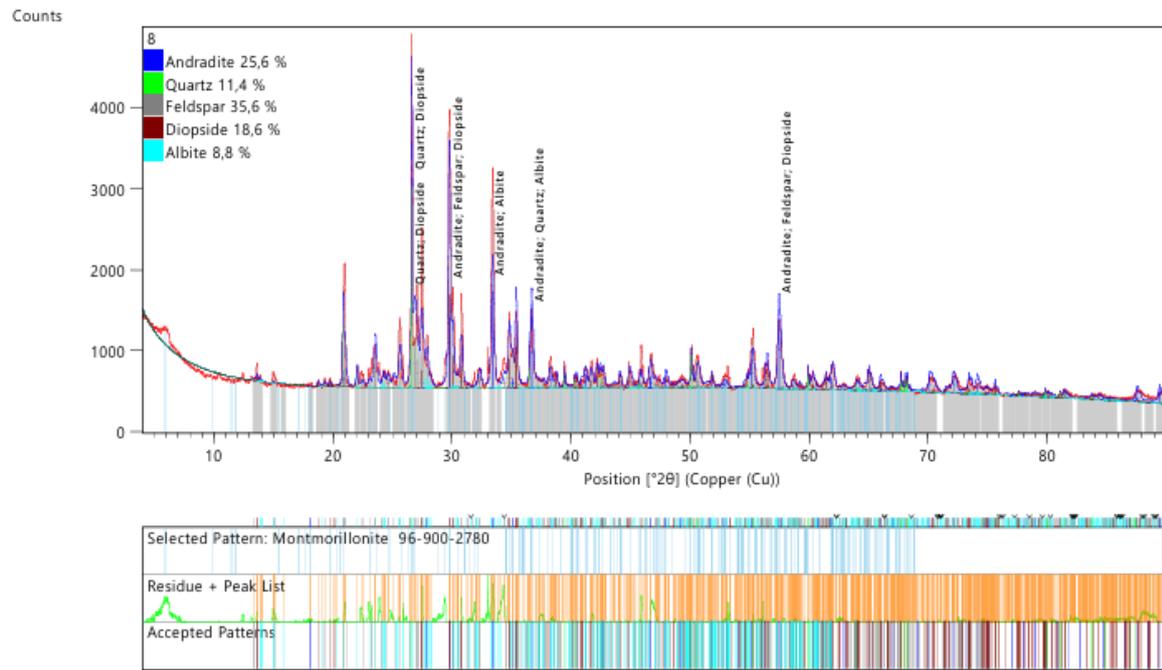
Este análisis mineralógico semicuantitativo refleja la composición de la parte cristalina de la muestra. La misma puede contener fases amorfas. El laboratorio no se hace responsable por el muestreo previo al análisis.



Mgr. Renato Gonzalez Z.
Laboratorio de Beneficio de
Minerales

P. D.: Se adjuntan difractogramas





Anexo 6. Proceso metalúrgico de agitación mecánica.



INFORME DE ENSAYOS

N° 25-0272

RESULTADOS

C - Lab	Comp. N°	*IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Elemento	Au Oro - Total	Au Oro - Cianurable	Ag Plata - Total	Cobre	Arsenico	Hierro	Consumo de Cal	Consumo de Cianuro	Tiempo de Agitación
			Unidades	g/t	g/t	g/t	%	%	%	kg/t	kg/t	horas
			Método	E.F	CN^	E.F	AA	AA	AA	pH 11	VL	---
25-0821	1	ARENA		0,78	0,68	2,30				2,50	1,00	10,00

Anexo 7. Prueba de flotación.



INFORME DE ENSAYOS

Razón Social:
Solicitante: Tatiana Benítez
Nombre del producto: Arena

Referencia: GL-N° 8960-25
Fecha de reporte: 27/01/2025

PRUEBAS DE FLOTACION EXPERIMENTAL- ARENA							
Las pruebas de flotacion se realizaron con los siguientes parametros							
El mineral presenta las siguientes leyes:							
Oro	0.78			g/t			
Plata	2.30			g/t			
PRUEBA#1							
Dilución	2/1						
Ph Natural :	7.0						
Ph operacion:	7.0						
DOSIFICACION DE REACTIVOS:				PUNTO DE ADICIÓN:			
Xantato Z-6	20 g/t			Acondicionador			
Ditiofosfato 404	20 g/t			Acondicionador			
Ditiofosfato 242	80 g/t			Acondicionador			
Espumante 250	80 g/t			Acondicionador			
CuSO4	400 g/t			Acondicionador			
BALANCE METALURGICO :							
PRUEBA#1							
PRODUCTO	%	LEYES (%)		* g/t	RECUPERACIÓN (%)		RATIO CONC.
		As	*Au		*Ag	Au	
CABEZA CALCULADA	100.00		0.65	1.61	100.00	100.00	
CONCENTRADO BULK	1.05		36.00	56.38	58.14	36.86	95.24
RELAVE	98.95		0.28	1.03	41.86	63.14	
CABEZA ENSAYADA			0.78	2.30			
CONCLUSIONES:							
De acuerdo al balance metalúrgico de oro se observa una recuperacion de 58.14 %							
con un ratio de concentracion de 95.24 toneladas de arena para obtener 1 tonelada de concentrado							
En el concentrado se obtiene 36.00 gramos de oro por tonelada.							

Anexo 8. Certificado de traducción.

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Loja, 20 de enero de 2025

Yo, **Adriana Katherine Benitez Luna**, con cedula **1105213233**, Licencia en Ciencias de la Educación mención inglés. **Registro Senescyt 1031-2019-2074587**

CERTIFICO:

Haber llevado a cabo la traducción del español al inglés del resumen del trabajo de integración curricular denominado: **Caracterización física, química y mineralógica del relave en la recuperación de Au (oro) en la mina Sociedad Minera Areniscas código 230, sector Nambija, provincia de Zamora Chinchipe** de la autora **Jessica Tatiana Benitez Luna**, con número de cedula **1105213225**, estudiante de la Carrera de Minas de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja. Dicho estudio se encontró bajo la dirección del Ing. José Francisco Ochoa Alfaro PhD, previo a la obtención del título de Ingeniera en Minas

Es todo cuanto puedo certificar con fidelidad a la verdad y concedo permiso al interesado para utilizar este documento en el ámbito académico correspondiente.

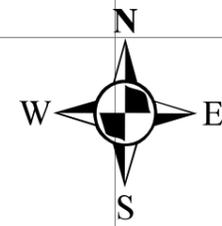
Atentamente,



Adriana Katherine Benitez Luna

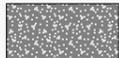
C.I.:1105213233

GEOLOGÍA INTERIOR MINA SOCIEDAD MINERA ARENISCAS




Leyenda

Litología

-  Andesita Basáltica
-  Porfido
-  Skarn

Simbología

-  Boca Mina
-  Topografía

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

Sistema de Coordenadas:
WGS 1984 UTM Zona 17 S
Datum: WGS 1984

Geología Interior Mina - Areniscas

Jessica Tatiana Benitez Luna

Ing. José Francisco Ochoa Alfaro PhD.

Esc: 1:500

Fecha: 10/01/2025

