



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

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

Maestría en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva

**Caracterización mineralógica y determinación del proceso de beneficio
para la recuperación de minerales de interés del área Narcisa Antonia
Código 690680, cantón Sozoranga, provincia de Loja**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Magíster en
Minas, Mención Mineralurgia y
Metalurgia Extractiva.

AUTOR:

Ing. Richard Vicente Calderón Córdova

DIRECTOR:

Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez Mg. Sc

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 05 de mayo de 2023

Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez Mg. Sc

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización mineralógica y determinación del proceso de beneficio para la recuperación de minerales de interés del área Narcisa Antonia Código 690680, cantón Sozoranga, provincia de Loja**, previo a la obtención del título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, de autoría del estudiante **Richard Vicente Calderón Córdova**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez Mg. Sc

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

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

Firma:

Cédula de Identidad: 1105119018

Fecha: 23 de mayo de 2023

Correo electrónico: richardc_cr@hotmail.com

Teléfono: 0988185701

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

Yo, **Richard Vicente Calderón Córdova**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización mineralógica y determinación del proceso de beneficio para la recuperación de minerales de interés del área Narcisa Antonia Código 690680, cantón Sozoranga, provincia de Loja**, como requisito para optar el título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

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

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

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

Firma:

Autor: Richard Vicente Calderón Córdova

Cédula: 1105119018

Dirección: Av. de los Paltas y Jamaica

Correo electrónico: richardc_cr@hotmail.com

Teléfono: 0988185701

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Trabajo de Titulación: Ing. Fernando Javier Rengel Jiménez Mg. Sc

Dedicatoria

Con mucho cariño dedico esta tesis de maestría a todos aquellos que me han apoyado en el camino. En primer lugar, gracias a mi familia por su amor incondicional, apoyo y comprensión. Gracias por estar siempre ahí para mí, animándome a seguir adelante y creyendo en mis habilidades.

Gracias a mis amigos por sus palabras de aliento, consejos y verdadera amistad. Gracias a todos los profesores que me guiaron y enseñaron a lo largo de mi carrera, y en especial a mi mentor por su paciencia, dedicación y sabios consejos. También me gustaría agradecer a mis compañeros de posgrado, ustedes son mi constante inspiración y motivación. Ha sido gratificante y gratificante compartir esta experiencia contigo.

Finalmente, dedico este trabajo a todas aquellas personas que han influido en mi vida y formación académica de una forma u otra. Gracias por ser parte de mi historia y contribuir a mi desarrollo personal y profesional. Este trabajo es el resultado de muchos esfuerzos, pero sobre todo es el resultado del amor y la dedicación de todas las personas que me han seguido en este camino.

Con cariño,

Richard Vicente Calderón Córdova

Agradecimiento

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todos los colegas que me han acompañado durante mi trabajo de investigación, en especial al Ing. Tomas Rivera por su apertura para el desarrollo de esta investigación, así como también al Ing. Renato González, ya que su colaboración fue fundamental para que pudiera llevar a cabo esta tarea de manera exitosa. Al Ing. Fernando Rengel pues su guía y el consejo fueron invaluable, y sin duda, contribuyeron en gran medida al logro de los objetivos propuestos.

No puedo dejar de mencionar el apoyo constante de mis padres Santos Calderón y Edita Córdova, mis hermanos Bryan Calderón y Anthony Calderón, y a mis amigos cercanos, quienes siempre estuvieron dispuestos a brindarme su ayuda y comprensión. Su paciencia y confianza en mí fueron fundamentales para alcanzar este logro.

Nuevamente, gracias por su colaboración y amistad. Me siento muy afortunado de contar con personas tan maravillosas como ustedes en mi vida, y espero poder corresponder de alguna manera en el futuro.

Atentamente,

Richard Vicente Calderón Córdova

TABLA DE CONTENIDOS

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	iv
Tabla de contenidos	vii
Índice de tablas:	x
Índice de ilustraciones:	xi
Índice de anexos:	xii
2 TÍTULO	1
3 RESUMEN	2
3.1 ABSTRACT	3
4 INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS:	5
OBJETIVO GENERAL.....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
5 MARCO TEÓRICO	6
5.1 MINERAL	6
5.2 MINERALOGÍA	6
5.3 MINERÍA.....	6
5.4 MINERÍA SUBTERRÁNEA.....	6
5.5 YACIMIENTO MINERAL.....	6
5.6 CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA.....	6
5.7 MUESTREO CHIP ROCK.....	7
5.8 DIFRACTOMETRIA DE RAYOS X (DRX).....	7
5.9 FLUORESCENCIA A DE RAYOS X (FRX).....	7
5.10 MICROSCOPIA ÓPTICA.....	7
5.11 SECCIONES PULIDAS.....	7
5.12 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	8

5.13	PESO ESPECIFICO	8
5.14	TRITURACIÓN.....	8
5.15	CRIBADO.....	8
5.16	HOMOGENIZACIÓN	8
5.17	CUARTEO	8
5.18	MOLIENDA.....	8
5.19	FLOTACIÓN.....	9
5.19.1	<i>Colectores.....</i>	9
5.19.2	<i>Espumantes.....</i>	9
5.19.3	<i>Depresores.</i>	10
5.19.4	<i>Activadores.....</i>	10
5.19.5	<i>Reguladores.</i>	10
5.20	CIANURACIÓN.....	10
6	METODOLOGÍA	11
6.1	ÁREA DE ESTUDIO.....	11
6.1.1	<i>Ubicación</i>	11
6.1.2	<i>Acceso</i>	12
6.1.3	<i>Geología Regional.....</i>	13
6.2	MATERIALES EMPLEADOS.....	14
6.3	EQUIPOS EMPLEADOS.....	15
6.4	METODOLOGÍA POR EMPLEARSE PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO	15
6.5	FASES DE LA INVESTIGACIÓN	16
6.5.1	<i>Fase de campo</i>	16
6.5.2	<i>Fase laboratorio.....</i>	16
6.5.3	<i>Fase de oficina</i>	16
6.6	LINEAMIENTOS PROPOSITIVOS.....	16
6.6.1	<i>Metodología para el primer objetivo: Realizar una campaña de muestreo de los materiales provenientes de la zona mineralizada del área minera Narcisa Antonia.....</i>	16
6.6.2	<i>Metodología para el segundo objetivo: Determinar la composición de minerales mediante el empleo de la difracción de rayos x, fluorescencia de rayos x y microscopia.....</i>	18
6.6.3	<i>Metodología para el tercer objetivo: Proponer un método de beneficio apropiado para recuperar los minerales de interés presentes en la zona minera.....</i>	20
7	RESULTADOS.....	25
7.1	RESULTADOS PARA EL PRIMER OBJETIVO: REALIZAR UNA CAMPAÑA DE MUESTREO DE LOS MATERIALES PROVENIENTES DE LA ZONA MINERALIZADA DEL ÁREA MINERA NARCISA ANTONIA.	25
7.2	RESULTADOS PARA EL SEGUNDO OBJETIVO: DETERMINAR LA COMPOSICIÓN DE MINERALES MEDIANTE EL EMPLEO DE LA DIFRACCIÓN DE RAYOS X, FLUORESCENCIA DE RAYOS X Y MICROSCOPIA.	26

7.2.1	<i>Difractometria de rayos X</i>	26
7.2.2	<i>Fluorescencia de rayos X</i>	27
7.2.3	<i>Sección Pulida</i>	27
7.3	RESULTADOS PARA EL TERCER OBJETIVO: PROPONER UN MÉTODO DE BENEFICIO APROPIADO PARA RECUPERAR LOS MINERALES DE INTERÉS PRESENTES EN LA ZONA MINERA.....	29
7.3.1	<i>Peso específico</i>	29
7.3.2	<i>Molienda</i>	29
7.3.3	<i>Análisis químico de cabeza</i>	30
7.3.4	<i>Ensayo de Flotación</i>	31
7.3.5	<i>Ensayo de Cianuración</i>	32
8	DISCUSIÓN	33
8.1	DISCUSIÓN DEL PRIMER OBJETIVO	33
8.2	DISCUSIÓN DE SEGUNDO OBJETIVO	33
8.3	DISCUSIÓN TERCER OBJETIVO	34
9	CONCLUSIONES	36
10	RECOMENDACIONES	38
11	BIBLIOGRAFÍA	39

Índice de tablas:

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio.....	11
Tabla 2. Materiales para la investigación.....	14
Tabla 3. Equipos empleados en la investigación	15
Tabla 4. Porcentajes de difracción de rayos x	26
Tabla 5. Porcentajes de fluorescencia de rayos X.....	27
Tabla 6. Porcentajes de los análisis de sección pulida.....	27
Tabla 7. Imágenes analizadas en sección pulida.....	28
Tabla 8. Pesos específicos del ensayo con el picnómetro.....	29
Tabla 9. Ley de cabeza del material muestreado	30

Índice de Ilustraciones:

Ilustración 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio	11
Ilustración 2. Acceso al área de estudio desde la ciudad de Loja	12
Ilustración 3. Mapa geológico del Sector Tacamoros	14
Ilustración 4. Cuadro de la metodología empleada	16
Ilustración 5. Veta de la mina Narcisa Antonia.....	25
Ilustración 6. Difractograma obtenido.....	26
Ilustración 7. Grafico de determinación de d80	30
Ilustración 8. Grafico de rendimiento de flotación.....	31
Ilustración 9. Cinética de la cianuración	32

Índice de Anexos:

Anexo 1. Granulometría de la molienda.....	41
Anexo 2. Datos del ensayo de Flotación	42
Anexo 3. Datos del ensayo de Cianuración	43
Anexo 4. Hoja de muestreo realizado en la mina	44
Anexo 5. Mapa de ubicación del área de estudio	45
Anexo 6. Geología regional del área de estudio	46
Anexo 7. Puntos de muestreo, en el frente de trabajo	47
Anexo 8. Certificado de traducción del resumen.....	48

1 Título

Caracterización mineralógica y determinación del proceso de beneficio para la recuperación de minerales de interés del área Narcisa Antonia Código 690680, cantón Sozoranga, provincia de Loja

2 Resumen

Este trabajo de investigación consistió en la caracterización mineralógica de los minerales presentes en la Mina Narcisa Antonia, para lo cual se realizó un muestreo mediante el método de Rock Chip, posteriormente estas muestras se las analizó por diferentes técnicas de caracterización como fueron la Sección Pulida, FRX y DRX obteniendo que los minerales presentes eran Cuarzo, Oligoclasa, Calcita, Biotita, Pirita, y Pirrotina.

Finalmente, los resultados de la caracterización mineralógica fueron utilizados para proponer un método de beneficio factible mediante la evaluación de las pruebas metalúrgicas de flotación y cianuración determinándose así que el proceso de cianuración es el adecuado para la extracción de los minerales de interés de esta área minea debido a que obtuvo un rendimiento del 80.06 %, frente a la flotación que obtuvo un 75.60%.

Palabras claves: *Caracterización, Pirrotina, Flotación, Cianuración.*

2.1 Abstract

This research work consisted in the mineralogical characterization of the minerals present in the Narcisa Antonia Mine, for which a sampling was carried out using the Rock Chip method, later these samples were analyzed by different characterization techniques such as Polished Section, XRF and XRD obtaining that the minerals present were Quartz, Oligoclase, Calcite, Biotite, Pyrite, and Pyrrhotite.

Finally, the results of the mineralogical characterization were used to propose a feasible beneficiation method through the evaluation of the metallurgical tests of flotation and cyanidation, determining that the cyanidation process is adequate for the extraction of the minerals of interest in this mining area because it obtained a yield of 80.06 %, compared to flotation which obtained 76.60%.

Keywords: *Characterization, Pyrrhotite, Flotation, Cyanidation*

3 Introducción

En el Ecuador en los años 1980 se inicia un auge minero debido al aumento de los precios del oro. Los mineros de la época encontraron importantes hallazgos de oro en Nambija, Guayzimi, Chinapintza y Ponce Enríquez, centrando sus actividades en una minería artesanal que realizaba la recuperación de oro mediante la amalgamación, lo que presentaba diversidad de problemas debido a la limitada tecnología de la época. (Estupiñán et al., 2021).

Actualmente el país se encuentra en la fase de exploración de la minería metálica y es una de las prioridades de desarrollo económico del gobierno nacional, es por ello por lo que cada vez hay más personas que se inician a esta actividad, las cuales muchas de las veces no tienen los recursos o la información técnica suficiente para llevar a cabo la exploración y beneficio de estos recursos naturales, presentándose problemas tanto de carácter ambiental como económico.

En la presente investigación lo que se busca es realizar la caracterización mineralógica y con estos resultados proponer un proceso de beneficio adecuado para el beneficio de minerales en la mina Narcisa Antonia de código 690680, ubicada en la provincia de Loja, cantón Sozoranga, parroquia Tacamoros, para así evitar los diferentes problemas que se pueden estar presentado en la extracción y beneficio, lo que representa una pérdida no solo para los involucrados sino también para el estado.

Es de vital importancia la experimentación de este trabajo ya que los pequeños mineros y mineros artesanales, han provocado cuantiosas pérdidas económicas, sociales y ambientales, debido a que no se desarrolla una minería técnica. Tal es el caso de Tacamoros, donde la mayoría de las labores mineras de pequeña minería y minería artesanal no cuentan con un modelo de explotación y beneficio adecuado, debido al desconocimiento de la geología y mineralogía de la zona.

Los objetivos planteados se centran en la realización de la caracterización mineralógica y la evaluación de los procesos de cianuración y flotación, siendo procesos necesarios por evaluarse para el desarrollo de esta investigación y el correspondiente análisis de los resultados obtenidos.

Objetivos:

Objetivo General

- Caracterización mineralógica de los geomateriales obtenidos del área minera Narcisa Antonia y determinar el proceso de beneficio adecuado.

Objetivos específicos

- Realizar una campaña de muestreo de los materiales provenientes de la zona mineralizada del área minera Narcisa Antonia.
- Determinar la composición de minerales de la zona de interés mediante el empleo de la difracción de rayos x, fluorescencia de rayos x y microscopia.
- Proponer un método de beneficio apropiado para recuperar los minerales de interés presentes en la zona minera.

4 Marco teórico

4.1 Mineral

Un mineral es una sustancia natural, de composición química definida. Normalmente es sólido e inorgánico, y tiene una cierta estructura cristalina. Es diferente de una roca, que puede ser un agregado de minerales o no minerales y que no tiene una composición química específica. (Cornelius Klein & Cornelius Hurlbut, 2003)

4.2 Mineralogía

La mineralogía es la rama de la geología que estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales que se encuentran en el planeta en sus diferentes estados de agregación. (Cornelius Klein & Cornelius Hurlbut, 2003)

4.3 Minería

La minería es una actividad económica que comprende el proceso de extracción, explotación y aprovechamiento de minerales que se hallan en la superficie terrestre con fines comerciales. (Banco Central del Ecuador, 2014).

4.4 Minería subterránea

Es aquel que se explota cuando el yacimiento está a moderadas profundidades que hacen inviable económicamente su extracción por cielo abierto, generalmente se basa en construir túneles o labores en la roca para acceder a las zonas mineralizadas y formar niveles de hundimiento, producción y transporte. Las labores subterráneas pueden ser horizontales, verticales inclinados conformadas por túneles, galerías, rampas, piques o chimeneas, ubicándose en diferentes niveles que permiten fragmentar, cargar y transportar desde el interior hasta la superficie. (Portal Minero S.A., 2006)

4.5 Yacimiento mineral

Los yacimientos minerales tanto metalíferos como no metálicos, son acumulaciones o concentraciones de una o más sustancias útiles que en su mayoría están distribuidos escasamente en la corteza exterior de la tierra. (Alan M. Bateman, 2014).

4.6 Caracterización mineralógica

Caracterizar mineralógicamente implica el conocimiento pleno de la zona de estudio que incluye las rocas, alteraciones, entre otros, para lograr el aprovechamiento en forma optimizada del recurso mineral y mejorar la eficiencia en la recuperación mediante el uso de técnicas como la difracción de rayos X, que complementada con la petrografía (microscopía

óptica y electrónica) permite además el estudio textural de los materiales. (Pozo Rodríguez, 2019).

4.7 Muestreo Chip Rock

Es un método de muestreo común utilizado en la exploración y evaluación de yacimientos minerales. Este método se utiliza para evaluar la calidad y cantidad del mineral en una veta y se basa en la extracción de pequeños trozos de roca llamados "chips". (Buenaventura Ingenieros S.A & Rodríguez Juan, 1996).

4.8 Difractometría de rayos X (DRX)

Esta técnica instrumental es una herramienta efectiva y complementaria para identificación de minerales, ya que permite obtener información mineralógica básica en forma rápida. Regularmente, es emplea como técnica de aproximación de análisis mineralógicos y va acompañada con análisis elementales por fluorescencia de rayos X (FRX). (Jorge Iván Londoño Escobar, 2010).

4.9 Fluorescencia a de rayos X (FRX)

Esta técnica instrumental permite elaborar un análisis rápido y ofrece información sobre la composición de las muestras para atender a las necesidades de los proyectos de investigación geológica en la caracterización de material de veta, en el seguimiento de un proceso metalúrgico y en la caracterización de residuos sólidos; por ejemplo, los análisis en las colas de los procesos metalúrgicos. Además, aporta información a la base de datos del equipo difractómetro de rayos X, lo cual permite confirmar con mayor exactitud la caracterización mineralógica realizada en el microscopio. (Jorge Iván Londoño Escobar, 2010).

4.10 Microscopia Óptica

La microscopia óptica permite realizar análisis conocidos como petrografía de mena. El microscopio óptico de luz reflejada y transmitida es el instrumento indicado para identificar sulfuros, silicatos, óxidos y demás minerales contenidos en una sección delgada pulida. Esta identificación se realiza teniendo en cuenta sus propiedades ópticas: color, pleocroísmo, anisotropía y reflexiones internas, entre otras. (Jorge Iván Londoño Escobar, 2010).

4.11 Secciones Pulidas

La sección pulida consiste en la preparación de muestras de materiales para la observación microscópica mediante un proceso de pulido para producir una superficie lisa y brillante. El propósito de este proceso es eliminar cualquier aspereza o irregularidad de la superficie de la muestra para que su estructura y funciones puedan verse más claramente. Las

piezas pulidas se utilizan a menudo en la investigación científica, especialmente en metalurgia, geología y petrología. (William Ness, 2004).

4.12 Análisis granulométrico

Sirve para determinar el tamaño de grano y conocer la distribución de las partículas del material a analizar. Para esta investigación se realiza el análisis granulométrico por tamizado en dos fases:

- Fase húmeda (deslamado), sirve para separar la porción más fina del material
- Fase seca, es la separación de diferentes tamaños de la muestra.

4.13 Peso específico

Es la relación que existe entre el peso y el volumen de un mismo material. Este parámetro se utiliza para la determinación de porcentajes de sólidos y realizar balances de materia. Para la determinación de este valor se utiliza el método del picnómetro.

4.14 Trituración

Consiste en reducir el tamaño del material para obtener una granulometría uniforme ya que la homogeneidad depende del tamaño de las partículas.

4.15 Cribado

Es la separación de las partículas en base a su tamaño a través de una superficie, generalmente una malla estándar.

4.16 Homogenización

Representa el grado de distribución de una propiedad a través de todo el material, esta va a depender del tamaño de las partículas por lo que previamente se realiza una trituración y un cribado. Varios son los métodos empleados, en esta ocasión se utiliza el método del roleo.

4.17 Cuarteo

Técnica que permite reducir la muestra en porciones similares con características iguales.

4.18 Molienda

La molienda implica determinar el tiempo óptimo de molienda a nivel laboratorio, ya que es una herramienta excelente para definir el grado de liberación de las partículas. En las pruebas de molienda se opera el molino de laboratorio durante diferentes tiempos para observar el efecto que tiene el tiempo de molienda en la granulometría y distribución de valores de los

productos obtenidos. Para definir el tiempo óptimo de molienda se tiene en cuenta que cuando menos el 60% del producto debe estar por debajo de la malla 200, con el objetivo de tener la menor cantidad de valor en la malla 60 en la cual no existe recuperación de valores y que el 90% de los contenidos de interés debe encontrarse debajo de la malla 100 en cuyos tamaños son factibles de recuperar (Metallurgy Corporation, 2020).

4.19 Flotación

La flotación es un método fisicoquímico para la concentración de partículas minerales suspendidas en agua, que consiste en separar por inyección de aire, partículas sólidas natural o artificialmente hidrofóbicas de homólogas hidrofílicas. Este proceso requiere de un tamaño de partícula generalmente inferior a 212 μm . (Guartán & Tamay, 2003). La clasificación de los reactivos se la realiza en base a su papel en la flotación en los grupos siguientes:

4.19.1 Colectores.

Son sustancias químicas usadas en la flotación para capturar minerales, el destino principal de los colectores es la hidrofobización selectiva de la superficie de las partículas de ciertos minerales en la pulpa de flotación; para crear condiciones favorables de su adherencia a las burbujas de aire para su ulterior extracción en concentrados. Los colectores disminuyen la humectación de las partículas del mineral y aumentan su capacidad de adherencia a las burbujas de aire. (Guartán & Tamay, 2003).

Los colectores pueden ser aniónicos y catiónicos; los colectores del tipo Aniónico son los más usados actualmente en la minería para la flotación de cobre, zinc, níquel, plomo, platas argentíferas, molibdeno y, en fin, todos los minerales asociados en parte con sulfuros. Los colectores Catiónicos, son reactivos muy populares para la flotación de minerales de carácter aniónico como silicio, talco, cuarzo y en general para minerales no metálicos. (Guartán & Tamay, 2003).

4.19.2 Espumantes.

Son sustancias tensoactivas heteropolares que pueden absorberse en la superficie de separación agua-aire. En la fase líquida de la pulpa de flotación su acción eleva la resistencia mecánica de las burbujas de aire, favorece su conservación en estado disperso, aumentando de esta forma la superficie de adherencia de las partículas de mineral flotante y la estabilidad de la espuma de flotación. La eficiencia del empleo de algunos agentes espumantes depende en

gran parte de pH de la pulpa. Su capacidad para la formación de la espuma es máxima cuando el reactivo se halla en forma molecular. (Luzuriaga Cueva, 2018)

4.19.3 Depresores.

La función de los reactivos consiste en evitar temporal o permanentemente la flotación de ciertos constituyentes minerales complejos sometidos a la flotación selectiva, sin que el mineral deseado sea fácilmente flotado. Entre los depresores inorgánicos, la cal es el reactivo más eficaz y económico para deprimir los sulfuros de hierro; para deprimir la galena se utiliza el dicromato, el sulfhidrato de sodio es un depresor de cobre, tal como sulfato de zinc es un depresor de zinc. (Luzuriaga Cueva, 2018).

4.19.4 Activadores.

La función de estos reactivos consiste en volver a hacer flotables a aquellos minerales que fueron deprimidos temporalmente en las operaciones de flotación selectiva. Entre los activadores más usados está el sulfato de cobre, que se usa para la activación del zinc, y el sulfhidrato de sodio en pequeñas cantidades se usa para la activación de óxidos de cobre. (Guartán & Tamay, 2003).

4.19.5 Reguladores.

La función de estos reactivos consiste en modificar la alcalinidad o la acidez (el pH) en los circuitos de flotación. Los circuitos ácidos han sido eliminados desde muchos años en la flotación, motivo por el cual los reguladores de pH que se mencionan son sustancias en su naturaleza y en su efecto. La cal es el agente regulador más comúnmente usado, sirve para levantar el pH y el ácido sulfúrico es utilizado para bajar el pH. (Luzuriaga Cueva, 2018).

4.20 Cianuración

El principio de este proceso se basa en la disolución del oro y plata presente en forma soluble del mineral molturado en una solución diluida de cianuro (usualmente NaCN o KCN) en presencia de cal y oxígeno, sin embargo, industrialmente se aplica el cianuro de sodio debido su bajo precio en el mercado internacional. La cianuración es un sistema simple, ya que el oro se disuelve con una gran facilidad y que las únicas condiciones que se requieren son: que el oro este libre y limpio; que la solución de cianuro del proceso no contenga elementos contaminantes que inhiban la reacción, y que se mantenga un apropiado abastecimiento de oxígeno a la solución en el transcurso de la reacción. (Valarezo Jaramillo, 2017).

5 Metodología

5.1 Área de estudio

5.1.1 Ubicación

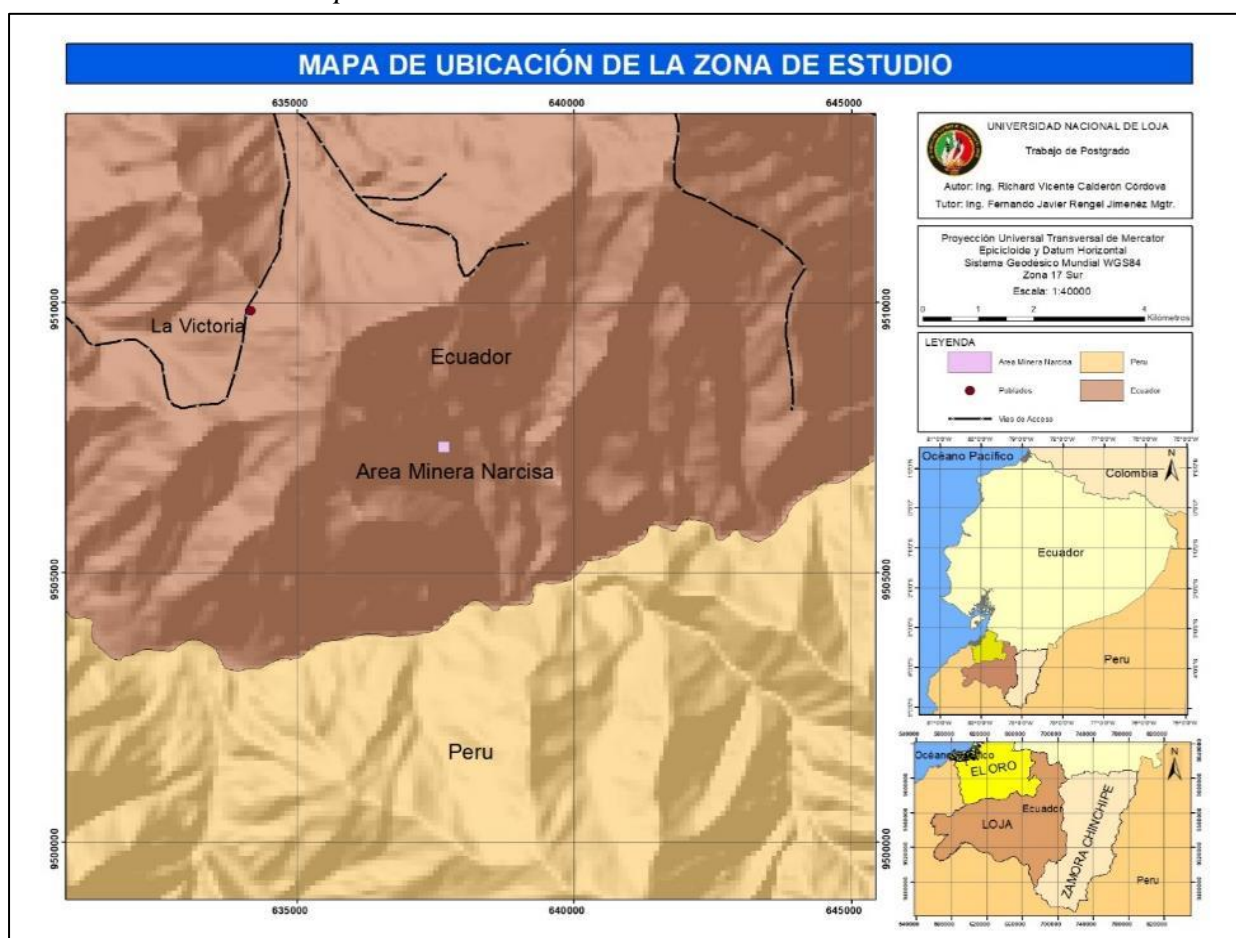
El área minera Narcisa Antonia de Código 690680 está ubicado en la provincia de Loja en el cantón Sozoranga parroquia Tacamoros. (Ver Ilustración 1), sus coordenadas son las siguientes:

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio

PUNTOS UTM WGS 84	X	Y
PP	637742.0	9507428.0
1	637742.0	9507228.0
2	637542.0	9507228.0
3	637542.0	9507428.0
4	637742.0	9507428.0

Fuente: El autor

Ilustración 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio

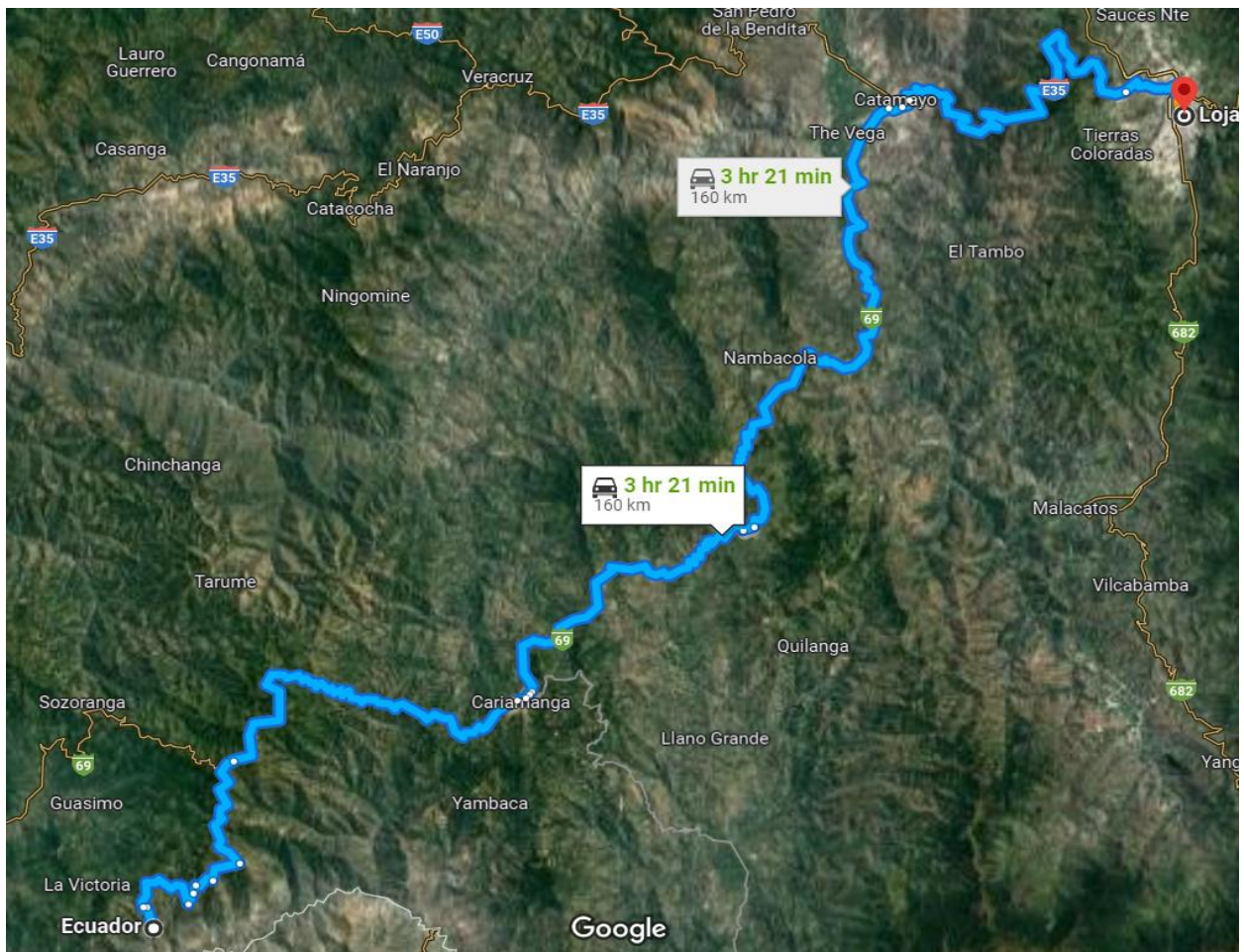


Fuente: El autor

5.1.2 Acceso

Desde la ciudad de Loja, partiendo desde el terminal terrestre se toma Av. Isidro Ayora (Carretera Panamericana), hasta la ciudad de Catamayo, posteriormente se debe tomar la ruta E69 con dirección hacia la ciudad de Gonzanamá que continúa hasta llegar a la ciudad de Cariamanga, por la misma ruta se debe llegar a la parroquia de Utuana, de donde se debe tomar el desvío hacia la parroquia de Tacamoros, a partir de aquí se toma una vía de tercer orden hacia el suroeste, la cual nos lleva hasta el área minea Narcisa Antonia (Ilustración 2).

Ilustración 2. Acceso al área de estudio desde la ciudad de Loja



Fuente: El autor

5.1.3 Geología Regional

5.1.3.1 Depósitos Coluviales (Qc).

Depósitos coluviales se encuentran principalmente en zonas de fuerte pendiente hacia el sur del área, margen derecha del Río Macará-Calvas. Están compuestos principalmente por material poco consolidado, cantos rodados, grava, arenas (INIGEM, 2018).

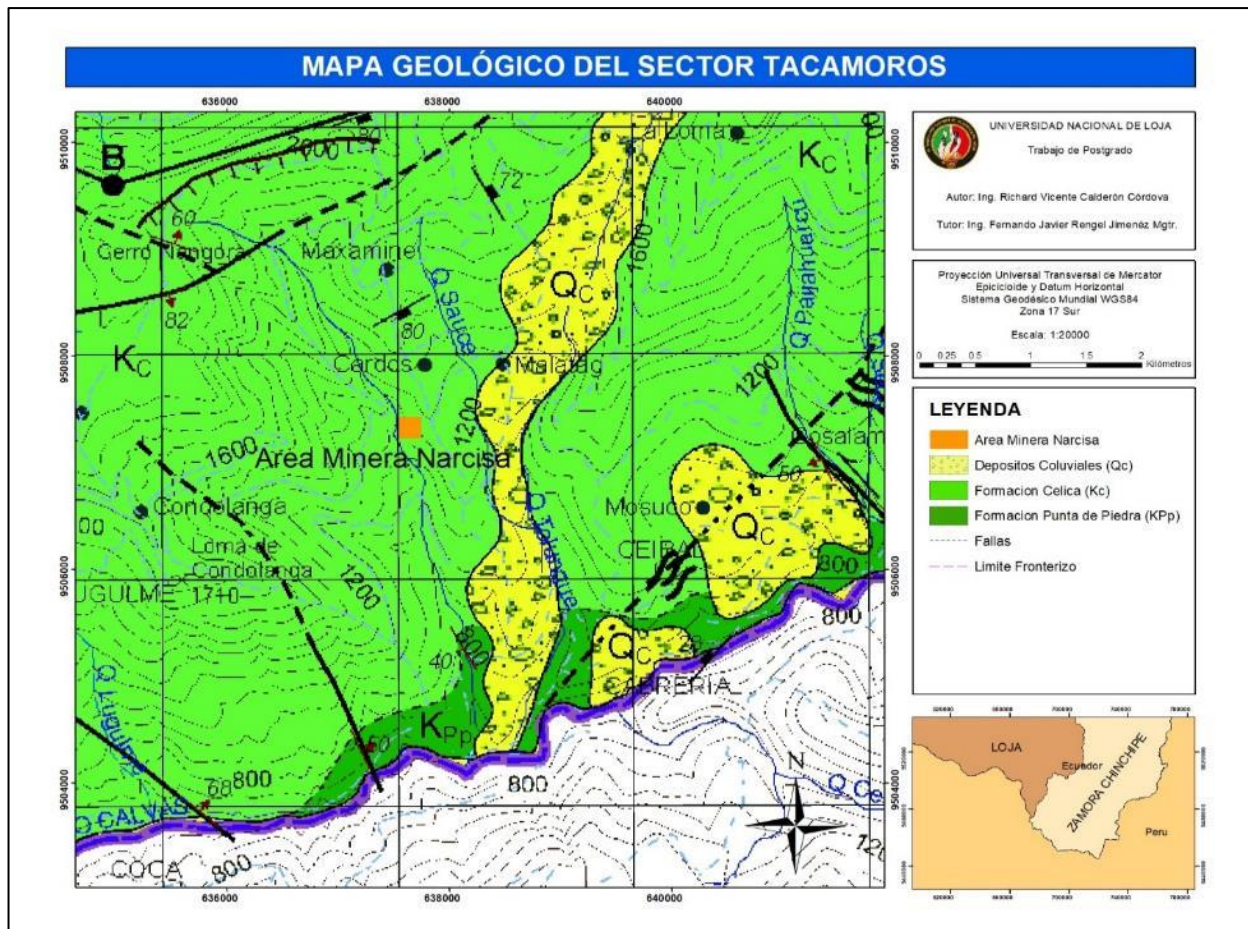
5.1.3.2 Formación Celica (Kc).

Se extiende por toda la zona estudio, se define como una secuencia volcanoclástica dominada por la presencia de tobas de cristales de coloración verdosa de composición andesítica y andesito-basáltica, además de brechas volcánicas que se intercalan con mantos de lava de composición basáltico-andesítica. Dentro de esta unidad se incluyen niveles sedimentarios sub horizontales de limolitas, lutitas carbonatadas y cherts. Esta unidad se encuentra sobre yaciendo transicionalmente a la Unidad Punta de Piedra e intruida por la Granodiorita Tangula hacia el este (Jaillard et al., 1996).

5.1.3.3 Unidad Punta de Piedra (KPP).

En general, se trata de rocas de color gris oscura con tonalidades verdosas en superficies frescas con una dominante textura afanítica, ocasionalmente se evidencia rocas con presencia de vesículas rellenas de arcillas, cuarzo y carbonato. En su litología típica incluye basaltos, andesitas, andesitas basálticas, pillow lavas de afinidad toleítica y una facie volcanoclástica conformada por hialoclastitas, tobas y brechas. Se encuentra sobreyacida discordantemente por la Formación Celica e intruída por la Granodiorita Tangula. (Arturo Egüez & Osman Poma, 2001).

Ilustración 3. Mapa geológico del Sector Tacamoros



Fuente: El autor

5.2 Materiales empleados

Para el desarrollo de la presente investigación, se utilizó el siguiente conjunto de materiales, equipos y software específicos para cada actividad a desarrollar (Ver Tabla 1).

Tabla 2. Materiales para la investigación

MATERIAL DE CAMPO	MATERIALES DE OFICINA
GPS	Hoja Geológica de Macará
Cinta	ArcGIS 10.5
Brújula	AutoCAD
Fundas para muestras	Google Earth Pro
Martillo Geológico	Paquete Office 365
Lupa	Moly - Cop Tools TM
Libreta de campo	Mining Light Elements

Fuente: El autor

5.3 Equipos empleados

A continuación, se detalla los equipos que se empleó para el desarrollo del trabajo de investigación (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Equipos empleados en la investigación

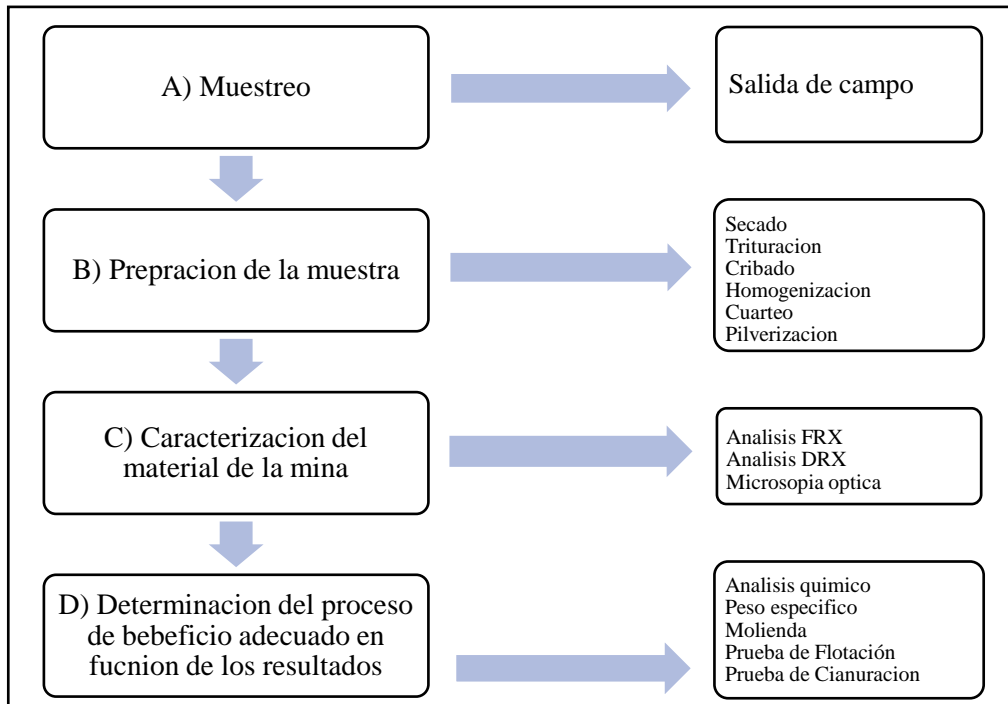
EQUIPOS EMPLEADOS			
1	Estufa para secado	8	Desecador de muestras
2	Equipo de trituración	9	Equipo de difracción de rayos X
3	Mallas ASTM para granulometría	10	Equipo de fluorescencia de rayos X.
4	Equipo de pulverización	11	Horno de fusión
5	Balanza de precisión	12	Molino de bolas
6	Pulidora Petropol Buehler	13	Calda de flotación
7	Pulidora Metasrv	14	Celda de cianuración

Fuente: El autor

5.4 Metodología por emplearse para el desarrollo del proyecto

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se contempló 4 etapas, la primera consistió en la realización de la salida de campo hacia el área minera Narcisa Antonia, en la cual se hizo el reconocimiento del área y el muestreo de los materiales para los respectivos ensayos de laboratorio. La segunda etapa se llevó a cabo la preparación de la muestra, que implicó una serie de pasos tales como secado, trituración, cribado, homogenización, cuarteo y pulverización para ejecutar los diferentes ensayos. La tercera etapa se ejecutó las diferentes técnicas de análisis que se pueden utilizar para caracterizar la muestra, tales como el análisis de fluorescencia de rayos X (FRX), el análisis de difracción de rayos X (DRX) y microscopía óptica. Por último, en la cuarta etapa, se procedió con determinación del proceso de beneficio adecuado en función de los resultados obtenidos en la caracterización de la muestra, esto incluyó la determinación del peso específico, molienda, y la evaluación de la flotación y cianuración para determinar qué proceso es el más adecuado para el material de la mina.

Ilustración 4. Cuadro de la metodología empleada



Fuente: El autor

5.5 Fases de la investigación

5.5.1 Fase de campo

Comprendió el reconocimiento del área de estudio, la realización de la toma de muestras para los correspondientes análisis.

5.5.2 Fase laboratorio

Se realizó ensayos de peso específico, peso específico, molienda, análisis FRX, análisis DRX, microscopía óptica, análisis químico y pruebas de flotación y cianuración.

5.5.3 Fase de oficina

Comprendió la interpretación de la información de la zona de estudio, analizando y discutiendo los resultados de la mineralogía sugiriendo el mejor proceso para el beneficio de minerales de interés económico.

5.6 Lineamientos propositivos

5.6.1 Metodología para el primer objetivo: Realizar una campaña de muestreo de los materiales provenientes de la zona mineralizada del área minera Narcisa Antonia.

En primera instancia se hizo un reconocimiento visual del campo minero con el fin de evaluar las condiciones en la que se encuentran las actividades mineras, posteriormente se

procedió con el ingreso al túnel para la recolección de las muestras en la veta, la información fue registrada en la ficha de campo (Ver Anexo 5), tomando coordenadas del sitio de muestreo, posteriormente las muestras se llevaron a laboratorio de la Universidad Técnica Particular de Loja para sus respectivos análisis, ello requirió la preparación las muestras pasando por las diferentes etapas tales como: secado, trituración, cribado, homogenización, cuarteo y pulverización, los procedimientos se detallan a continuación.

5.6.1.1 Secado

Consistió en la eliminación del agua de la muestra. El proceso fue el siguiente:

1. Se colocó en bandejas, y se etiquetó
2. Se introdujo en la estufa por 24 horas a temperatura promedio de 105°C.

5.6.1.2 Trituración

Consistió en reducir el tamaño del material para obtener una granulometría uniforme ya que la homogeneidad depende del tamaño de las partículas. Para efecto de este proceso se utilizó una trituradora de mandíbulas. La trituración se realizó de la siguiente manera:

1. Preclasificación manual del material. Se separó los fragmentos de roca con un tamaño mayor 5 pulgadas y se rompen con un combo a fin de evitar atascamientos en la máquina.
2. Con una pala o mano metálica se alimentó la trituradora. El proceso se realizó con aberturas descendentes: 20, 10 y 1 mm.

5.6.1.3 Cribado

La separación de las partículas en base a su tamaño fue realizada a través de una superficie, generalmente una malla estándar. En este caso se utilizó una malla de corte igual al 100% de la malla #10. El proceso fue el siguiente:

1. El material triturado fue dejado caer sobre la malla de corte (Malla #10). El material pasante se recolectó y el retenido volvió a la fase de trituración.
2. El proceso se repitió hasta que el 100% de la muestra pasó la malla #10

5.6.1.4 Homogenización

Representó el grado de distribución de una propiedad a través de todo el material, lo cual dependió del tamaño de las partículas por lo que se realizó previamente una trituración y

un cribado. Varios fueron los métodos empleados, en esta ocasión se utilizó el método del roleo, mismo que consistió en:

1. Colocar la muestra sobre un plástico grande con capacidad de contener la totalidad del material.
2. Hacer rodar el material de una esquina a otra, la operación se repitió varias veces hasta que se consideró que el material estaba homogenizado.

5.6.1.5 Pulverización

1. La pulverización del material se realizó para reducir el tamaño de partículas de manera tal que permitiera hacer los ensayos pertinentes. Se procedió de la siguiente manera:
2. Se tomó una muestra del material que pasara el tamiz #10.
3. Se esparció en un plástico, cuarteó el material y se tomó una muestra de 100 gramos.
4. Se colocó el material en el recipiente para pulverizar.
5. Se lo colocó en la máquina pulverizadora, aseguramos e iniciamos el modo de programa manual, que tiene una duración de 3 minutos con una velocidad de 700 rpm.

5.6.2 Metodología para el segundo objetivo: Determinar la composición de minerales mediante el empleo de la difracción de rayos x, fluorescencia de rayos x y microscopía.

Para la identificación de minerales presentes se procedió con los diferentes ensayos tales como análisis de FRX, análisis de DRX y microscopía. A través de estos ensayos de DRX y FRX se contrastó la información de la sección pulida y los diferentes porcentajes de mineral presentes en la muestra obtenida de la mina. En esta parte se buscó, a través de la aplicación de estas técnicas y las diferentes tecnologías disponibles, obtener la información mineralógica. Para esto se siguieron los procesos de control de calidad de los laboratorios de la Universidad Técnica Particular de Loja, los cuales se detallan a continuación.

5.6.2.1 Sección Pulida

Consistió en la elaboración de una briqueta con un espesor de 1cm. El procedimiento fue el siguiente:

1. Se eligió una muestra representativa, es decir una roca que macroscópicamente presente características interesantes.
2. Se tomó una muestra de material para ser deslamada.
3. Se dejó secar la muestra en la estufa para eliminar la humedad.

4. Se preparó una mezcla de resina y endurecedor en una relación 5:1 y se coloca sobre la cara de la briqueta que va a ser pegada para rellenar los poros.
5. Se pegó una de las mitades de la muestra en un soporte para secciones pulidas utilizando epoxi o una resina de montaje similar. Para esto hay que asegurarse de que la muestra esté nivelada y bien sujeta al soporte
6. Se procedió a igualar las caras de la briqueta por medio de papel de lija numerado (# 120, 240, 400, 600 y 800), se debe igualar las caras y eliminar las rayas
7. Se limpió cuidadosamente la muestra con agua destilada y un paño suave para eliminar cualquier residuo de pulido
8. Se dejó secar en la cámara de vacío por dos días.
9. Finalmente se analizó la sección pulida en un microscopio de luz transmitida.

5.6.2.2 Difractometría de rayos X

Esto nos permite saber detalladamente la mineralogía de un material utilizando. Su proceso fue el siguiente:

1. Se pulverizó una porción de muestra de entre 50 gr.
2. Se depositó el material a analizarse en un tubo de ensayo.
3. De la muestra del tubo se tomó una pequeña cantidad y se colocó en él porta muestras.
4. Utilizando un portaobjetos se distribuyó la muestra uniformemente, de tal manera que la superficie resultante se encuentre a nivel y sin irregularidades.
5. Se colocó la muestra en el equipo.
6. Se realizó la interpretación mediante software (E.V.A).

5.6.2.3 Fluorescencia de rayos X

Este ensayo permitió obtener la composición química del material. Su proceso fue:

1. Se pulverizó una porción de muestra, entre 10 y 20 gr.
2. Se colocó en un recipiente especial, que será colocado en un compartimento en la parte superior de la pistola de rayos X.
3. Se configuró el equipo con el programa.
4. Se extrajo los datos y se compara con los análisis mineralógicos macroscópicos y microscópicos.

5.6.3 Metodología para el tercer objetivo: Proponer un método de beneficio apropiado para recuperar los minerales de interés presentes en la zona minera.

Una vez caracterizadas mineralógicamente la muestra, se procedió a obtener su ley de cabeza, peso específico, molienda y análisis granulométrico, para proceder con la evaluación de los ensayos metalúrgicos de flotación y cianuración obteniendo sus rendimientos en la recuperación de los minerales y con esta información se sugirió el método adecuado de beneficio. Para esto se siguieron los procesos de control de calidad de los laboratorios de la Universidad Técnica Particular de Loja, los cuales se detallan a continuación.

5.6.3.1 Peso específico

Se emplea la siguiente formula:

$$\gamma = \frac{P2 - P1}{(P3 - P1) - (P4 - P2)}$$

Se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se limpió el picnómetro de 5 ml y se pesó (Peso del picnómetro vacío - P1).
2. Se introdujo una porción de muestra y se pesó (Peso del picnómetro más muestra - P2).
3. Se añadió agua al picnómetro hasta el borde, se tapó, se limpió el exceso y se pesó (Peso del picnómetro más muestra y agua - P4).
4. Se desechó la muestra y el agua, se eliminaron residuos, se llenó con agua y se pesó (Peso del picnómetro más agua - P3).
5. Finalmente se realizaron los cálculos (El ensayo se repitió 3 veces con el fin de realizar un análisis comparativo).

5.6.3.2 Molienda

El desarrollo de la prueba de molienda se basó en las características del material a procesar y las variables del molino de bolas.

Se tubo presente los siguientes parámetros de trabajo:

- Peso Muestra: 1000 gr.
- Volumen de Agua: 1000 ml.
- Dilución S/L: 1/1
- Carga de Molienda (Peso de las bolas de acero): 10.38 kg.
- Volumen del Cilindro: 0.0065 m³

- Velocidad Crítica (tc): 60 rpm

Su procedimiento fue el siguiente:

- Se limpió el equipo de molienda.
- Se introdujo en el cilindro la carga de molienda (bolas de acero).
- Se introdujeron 1000 g de muestra y 1000 ml de agua para tener una relación de pulpa 1:1.
- Luego se colocó la tapa del cilindro y se aseguró.
- Se colocó el cilindro sobre los rodillos giratorios
- La muestra fue molida en único tiempo.
- Concluida con la molienda, se descargó el equipo y se extrajo el material en un balde.
- Se dejó secar la muestra en una estufa con una temperatura aproximada de 105°C.
- Se homogeneizó, cuarteó y se extrajo una porción de 250 gr para análisis granulométrico.

5.6.3.3 Análisis químico

Esta técnica que se empleó para cuantificar y controlar el oro en la muestra. El procedimiento para los ensayos fue el siguiente:

Fusión:

1. Se colocaron en el crisol de fundición 30 gr de muestra a analizar previamente pulverizada.
2. Se adicionaron 100 gr de flux, 2.5 gr de harina y 1 gr de bórax en forma de capa.
3. Se ingresaron los crisoles etiquetados de manera ordenada al horno de fundición a 1000°C por el tiempo de 60 minutos.
4. Se sacaron los crisoles del horno y se vertió su carga fundente en las lingoteras.
5. Se dejó enfriar y posteriormente se separó el plomo de la escoria.
6. Se formó un regulo de plomo.
7. En orden se laminaron las perlas extraídas de cada copela.
8. Finalmente se cuantificó el peso de las perlas laminadas (dorés).

Copelación:

1. Se preparó el horno de copelación.
2. Se colocaron los régulos de plomo en las copelas etiquetadas y luego se ingresaron en orden al horno de copelación que trabajaría a una temperatura de 900°C.
3. La copelación podía demorar alrededor de dos a tres horas y dependería de la calidad del material a copelar.
4. Concluido el proceso se extrajeron las copelas y se dejaron enfriar.

Ataque químico:

1. Se limpiaron y etiquetaron los crisoles de porcelana que se utilizarían en el proceso.
2. Se diluyó agua destilada con ácido nítrico en las siguientes proporciones: 1:7, 1:3 y 1:1 respectivamente.
3. En los crisoles etiquetados se colocaron los dores laminados, y se atacó con la dilución de ácido colocando entre 5 y 10 ml de ácido en cada crisol.
4. Se los sometió al calor sobre una plancha calentadora a 150°C por 20 a 25 minutos.
5. El indicador de la eliminación de la plata fue el cambio de coloración en el doré de color plata a amarillo.
6. Finalmente se cuantificó el peso de los dores y se realizaron los cálculos de las leyes de oro.

5.6.3.4 Flotación

1. Se pesaron 500 gramos de muestra molida para cada uno de los tamaños de grano establecidos.
2. Se prepararon los reactivos efectuando la dosificación prevista en g/t; a esta dosificación se le añadió agua destilada en un balón de aforo de 100 ml de capacidad. Para esto se usó la siguiente fórmula

$$\text{Reactivo} = \frac{X * P * f}{p}$$

- En donde:
- X → Dosificación del reactivo
- P → Peso de la muestra a flotar
- f → Factor de disolución
- p → Pureza del reactivo

3. Cuando los reactivos se hubieron preparado y estuvieron listos, se procedió a realizar el ensayo de flotación. Se agregaron 500 gramos del material y 1000 ml de agua (dilución de la pulpa S/L) en la celda de flotación.
4. Se midió el pH inicial y mediante la adición de cal se consiguió el pH requerido.
5. Cuando inició la flotación se efectuó el primer acondicionamiento, en donde se usaron los diferentes reactivos cada cierto tiempo para flotar.
6. Se recogió el material acumulado en la celda de flotación (relave) y el concentrado para secarlos en la estufa a 105 °C durante 24 horas y luego ser pesados y preparar las muestras para el análisis al fuego que se realizaría posteriormente.

5.6.3.5 Cianuración

1. Se colocó 500 gr de material con 1000ml de H₂O, el cual esta con un tamaño de grano de 120µm, todo esto se coloca en el reactor con agitación de capacidad 20 litros para realizar el ensayo.
2. Se llevó a cabo la cianuración a 400 revoluciones por minuto (RPM), se tomó el pH inicial de la pulpa y se ajusta el pH al valor deseado 10 a 12.
3. La concentración de cianuro es de un 1 g/l la cual se debe mantener durante el tiempo de cianuración (8 horas), en cada tiempo establecido se toma 5ml de muestra para titular cianuro residual; al mismo tiempo se toma 50 ml de la solución cianurada, se envía al laboratorio para el análisis químico por ICP, para determinar la ley de Au, con estas leyes se grafica la curva de la cinética de cianuración en los tiempos programados.
4. Al final del ensayo se filtra al vacío la pulpa: las colas retenidas se secan y se pesan.

Determinación del cianuro residual:

Para determinar el cianuro residual por medio de titulación se toman 5ml de solución cianurada y en un vaso de precipitación se agregan 3 gotas de yoduro de potasio (KI) como indicador.

1. Luego se titula con nitrato de plata (AgNO₃) hasta el viraje de color amarillo claro.
2. Con el resultado del consumo de AgNO₃, se hace cálculos respectivos para determinar el cianuro residual, como se indica a continuación:

$$\% \text{Cianuro libre} = \frac{\text{Factor} * \text{Volumen de AgNO}_3 \text{ gastado}}{\text{Volumen de la muestra}}$$

Eliminación del Cianuro de las muestras antes de ser desechadas:

Para descartar la solución utilizada para la cianuración es necesario descontaminarla antes, para esto se utilizó peróxido de hidrogeno (H_2O_2).

1. Para esto se toma una muestra de 50 ml para calcular la cantidad de cianuro presente en la muestra.
2. Luego se procede a poner una cantidad de peróxido de hidrogeno en este caso fueron 400 ml para 15 litros.
3. Se deja agitar 20 min, y luego se vuelve a tomar una muestra de 50 ml para saber si la cantidad utilizada de H_2O_2 fue la suficiente para eliminación de cianuro.
4. Se contaba más de 15 litros de muestra, por lo que la muestra restante se le aplico el mismo procedimiento.

6 Resultados

6.1 Resultados para el primer objetivo: Realizar una campaña de muestreo de los materiales provenientes de la zona mineralizada del área minera Narcisa Antonia.

6.1.1.1 Muestreo

Los materiales en la mina Narcisa Antonia fueron tomados de la veta principal de la bocamina 1 (Ilustración 5), para esto se realizó un muestreo representativo, se aseguró de no contaminar la muestra, posteriormente se etiquetó y se trasladó al laboratorio para los respectivos análisis.

Ilustración 5. Veta de la mina Narcisa Antonia



Fuente: El autor

El material muestreado comprende una roca volcánica andesita de matriz afanítica de color gris oscuro perteneciente a la unidad punta de piedra la cual se encuentra atravesada por una veta de cuarzo con minerales como pirrotina, pirita y calcopirita. Todo esto fue extraído por el método de Chip Rock el cual es utilizado en la evaluación de yacimientos minerales para recolectar y analizar muestras de rocas. La técnica implica la obtención de fragmentos de roca llamados "chips" utilizando un martillo con un cincel. En este caso el muestreo se hizo cada metro en el frente de trabajo de la mina.

6.2 Resultados para el segundo objetivo: Determinar la composición de minerales mediante el empleo de la difracción de rayos x, fluorescencia de rayos x y microscopia.

6.2.1 Difracción de rayos X

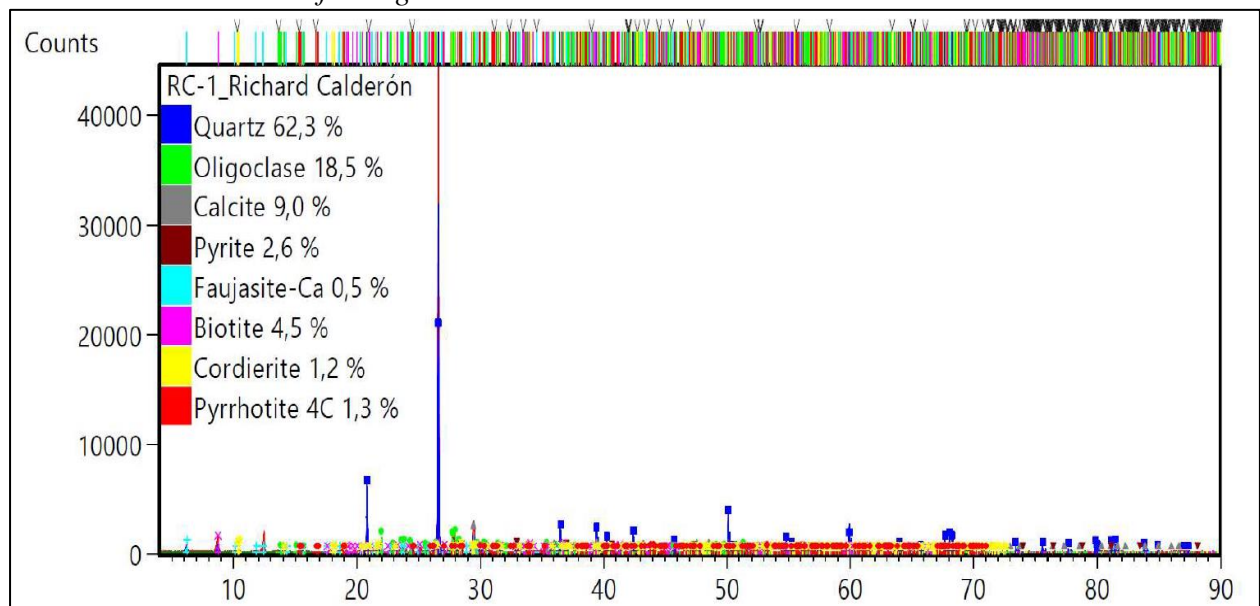
Los resultados arrojados por el equipo de difracción de rayos X sirvieron para realizar un análisis comparativo con los datos de los análisis mineralógicos visuales, gracias a esto se comprobó la alta presencia de carbonatos como la calcita, sílice y micas. En la Tabla 5 se presenta los elementos encontrados con su respectivo porcentaje.

Tabla 4. Porcentajes de difracción de rayos x

DIFRACTOMETRÍA DE RAYOS X		
Minerales	Formula Química	Porcentaje (%)
Cuarzo	SiO ₂	62.3
Oligoclasa	(Na, Ca) (Si, Al) ₄ O ₈	18.5
Calcita	CaCO ₃	9.0
Biotita	K (Mg, Fe) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (OH, F) ₂	4.5
Pirita	FeS ₂	2.6
Pirrotina	Fe ₇ S ₈	1.3
Corderita	(Mg, Fe) ₂ Al ₄ Si ₅ O ₁₈	1.2
Faujasita-Ca	(Mg, Na, K, Ca) _n (Si, Al) ₁₂ O ₂₄ ·15H ₂ O	0.5

Fuente: El autor

Ilustración 6. Difractograma obtenido



Fuente: El autor

6.2.2 Fluorescencia de rayos X

Los resultados obtenidos en la fluorescencia de rayos X (Tabla 5), indican la composición elemental química de la muestra y fueron útiles para identificar los minerales presentes en la muestra, además identificar la presencia de otros elementos en la muestra en concentraciones menores.

Tabla 5. Porcentajes de fluorescencia de rayos X

FLUORESCENCIA DE RAYOS X	
El	%
SiO ₂	57.2
Al ₂ O ₃	14.4
CaO	10.6
K ₂ O	10.6
Fe ₂ O ₃	7.52
S	4.0
ZnO	0.027

Fuente: El autor

6.2.3 Sección Pulida

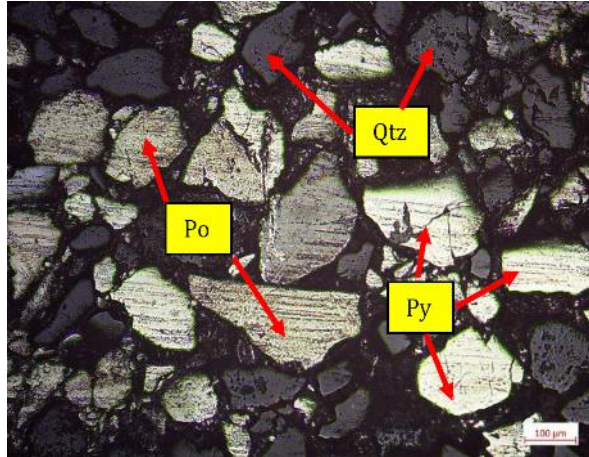
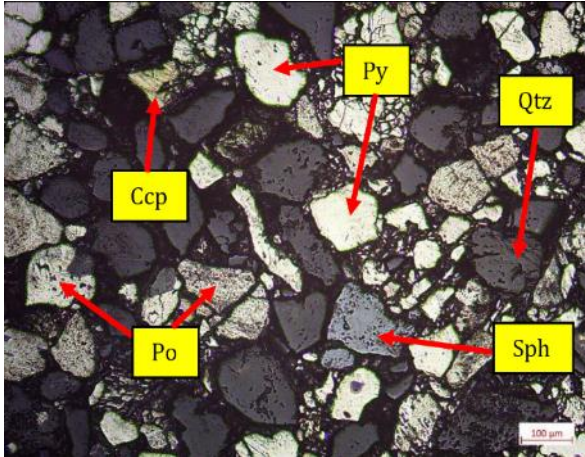
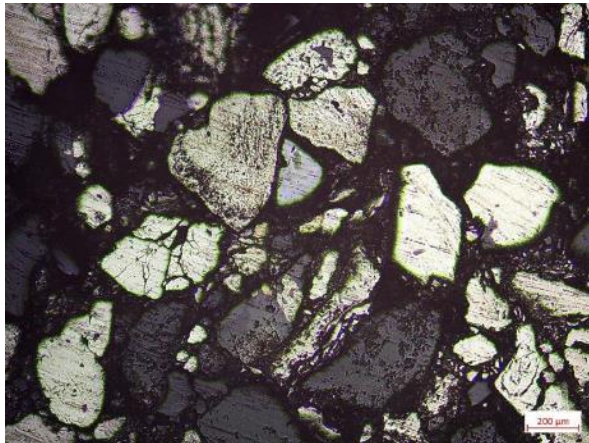
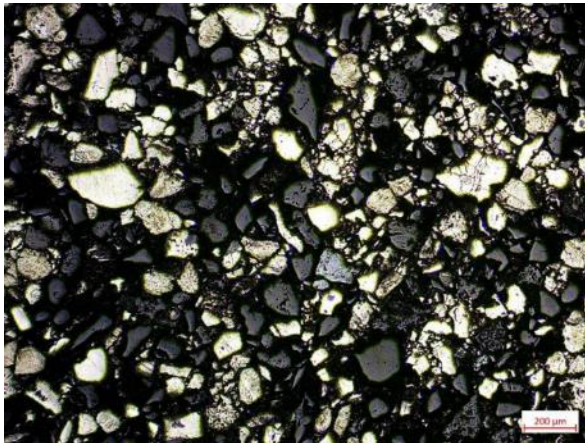
Los minerales se presentan en la sección pulida se muestran en la Tabla 6 con los siguientes porcentajes:

Tabla 6. Porcentajes de los análisis de sección pulida

SECCIÓN PULIDA		
Minerales	Formula Química	Porcentaje (%)
Pirita	FeS ₂	30 – 40
Cuarzo	SiO ₂	20 – 30
Pirrotina	Fe ₇ S ₈	10 – 20
Calcopirita	CuFeS ₂	5
Esfalerita	ZnS	<5

Fuente: El autor

Tabla 7. Imágenes analizadas en sección pulida

IMÁGENES EN SECCION PULIDA	
	
<p>Imagen A: Fragmentos alotriomorfos de pirrotina (Po), pirita (Py) y cuarzo (Qtz) diseminados.</p>	<p>Imagen B: Fragmentos alotriomorfos de esfalerita (Sph), pirrotina (Po), calcopirita (Ccp), pirita (Py) y cuarzo (Qtz) diseminados.</p>
IMÁGENES COMPLEMENTARIAS	
	

Fuente: El autor

En las microfotografías se observa la presencia de una paragénesis hidrotermal constituida por pirita (Py), calcopirita (Ccp), pirrotina (Po), calcopirita (Ccp), esfalerita (Sph) y cuarzo (Qtz) distribuidos de forma aleatoria (Imagen B). La pirita, siendo el mineral opaco más abundante, se pudo identificar por su gran reflectividad, dureza alta y color amarillo pálido. Los granos subidiomorfos de pirita tienen un tamaño promedio de 50 a 150 µm. La calcopirita (Ccp) con un color amarillo más intenso que la pirita se presenta de forma diseminada (Imagen B). La pirrotina es el sulfuro con más presencia después de la pirita con cristales subidiomorfos

a alotriomorfos con un tamaño promedio de 100 μm . Este mineral se reconoce por su color beige a pardo, anisotropía y su reflectancia menor a otros sulfuros similares como la pirita o la calcopirita. La esfalerita de color gris claro es el mineral menos abundante con granos alotriomorfos diseminados con granos promedio de 100 μm .

6.3 Resultados para el tercer objetivo: Proponer un método de beneficio apropiado para recuperar los minerales de interés presentes en la zona minera

6.3.1 Peso específico

Se utilizó el método del picnómetro, el ensayo se repitió dos veces y se promedió para así determinar el peso específico de 2.841 gr/cm^3 (Tabla 4) con un picnómetro de 10 ml y 20°C.

Tabla 8. Pesos específicos del ensayo con el picnómetro

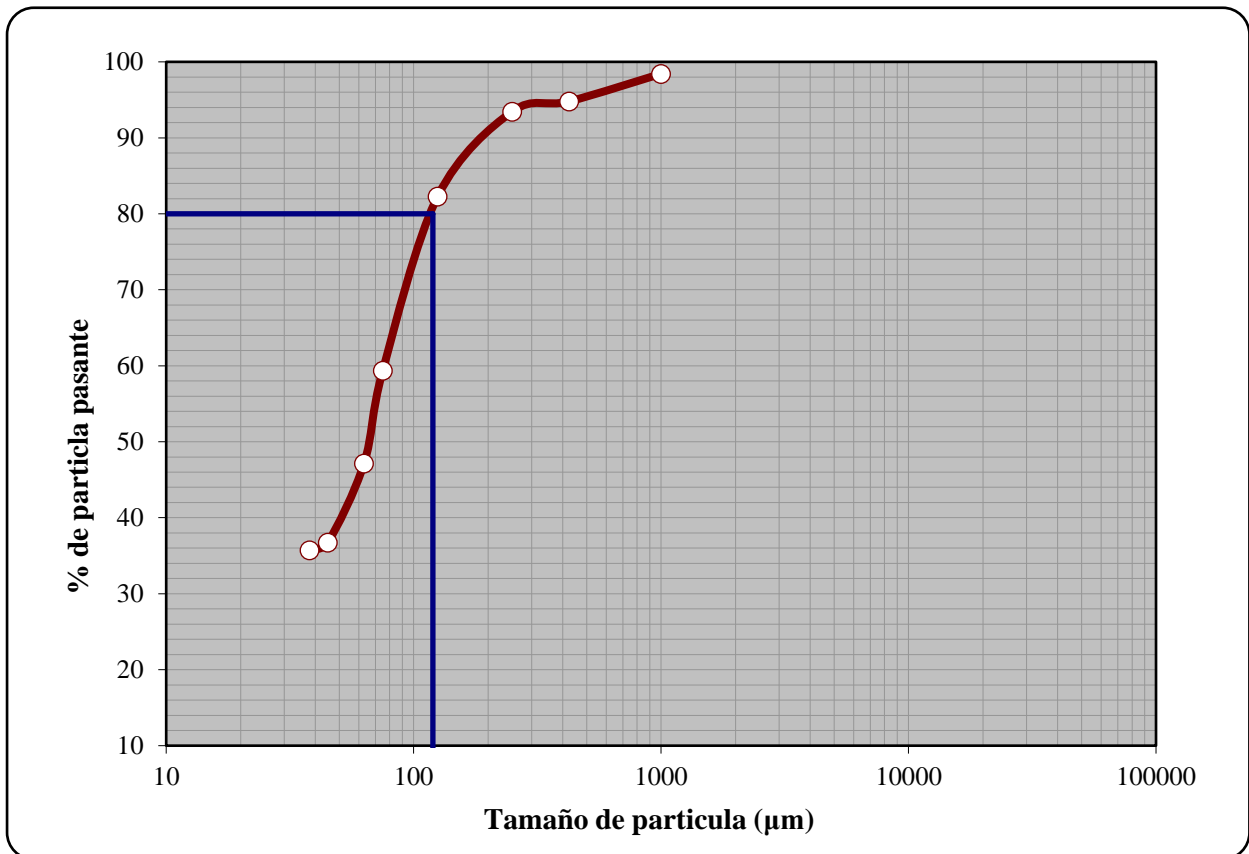
PESO ESPECIFICO	
Ensayos	gr/cm³
RC - A	2.818
RC - B	2.864
Promedio Total	2.841

Fuente: El autor

6.3.2 Molienda

Para el ensayo de molienda se procedió de acuerdo con las características del material, el tiempo de molienda se determinó empíricamente el cual fue de 45 minutos, obteniendo un d80 de 120 μm , necesario para las pruebas de flotación y cianuración.

Ilustración 7. Grafico de determinación de d80



Fuente: El autor

6.3.3 Análisis químico de cabeza

El análisis para determinar la ley de cabeza se realiza por medio de un análisis químico (fusión – copelación), del cual se realizó por duplicado, obteniéndose una ley de oro calculada de 13.667 gr/ton de oro (Tabla 10).

Tabla 9. Ley de cabeza del material muestreado

LEY DE CABEZA	
Ensayos	Ley de Au (gr/ton)
RC - A	12.556
RC - B	14.778
Promedio Total	13.667

Fuente: El autor

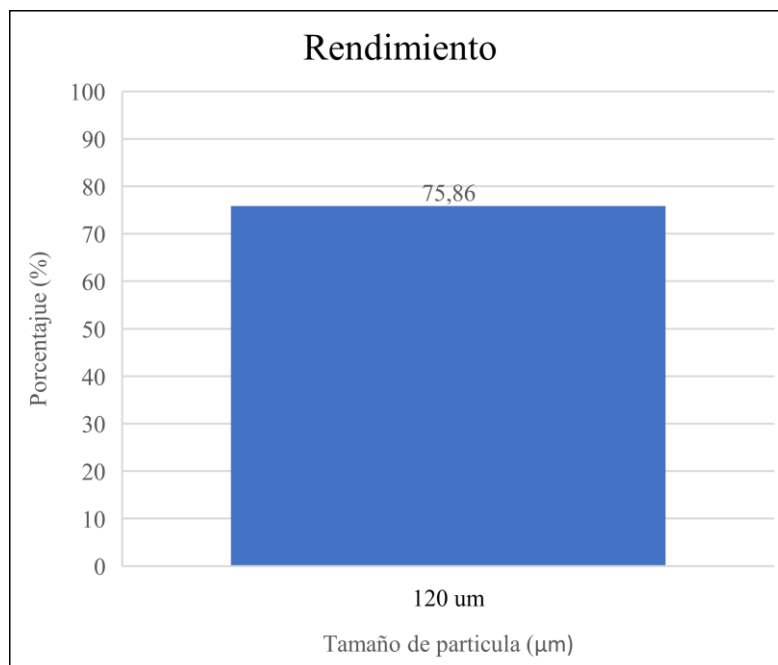
6.3.4 Ensayo de Flotación

Pasado el proceso de flotación se tuvo que el porcentaje de rendimiento alcanzados fue de 75.60%, lo cual es aceptable para este proceso de beneficio ya que la ley de concentrado fue de 83.62 gr/t de concentrado. El ensayo se consideró la mineralogía presente en la muestra, debido alta cantidad de sulfuros en específico del mineral pirrotina, y un tamaño de oro muy fino, para esto se seleccionó los reactivos disponibles en los laboratorios de la UTPL que fueron con Z6, ER-350, y Silicato de sodio, con un tamaño de grano de 120 μm . En este ensayo tanto el pH y la dosificación de reactivos (Anexo 2) se mantuvo constante.

Ilustración 8. Grafico de rendimiento de flotación

Tamaño de partícula: 120 μm
Peso de mineral 750 gr

Molienda: 45 min
pH: 11.4



Fuente: El autor

Es importante tener en cuenta que el rendimiento del proceso de flotación puede variar dependiendo de las condiciones de operación del sistema de flotación y de las características del mineral que se está procesando.

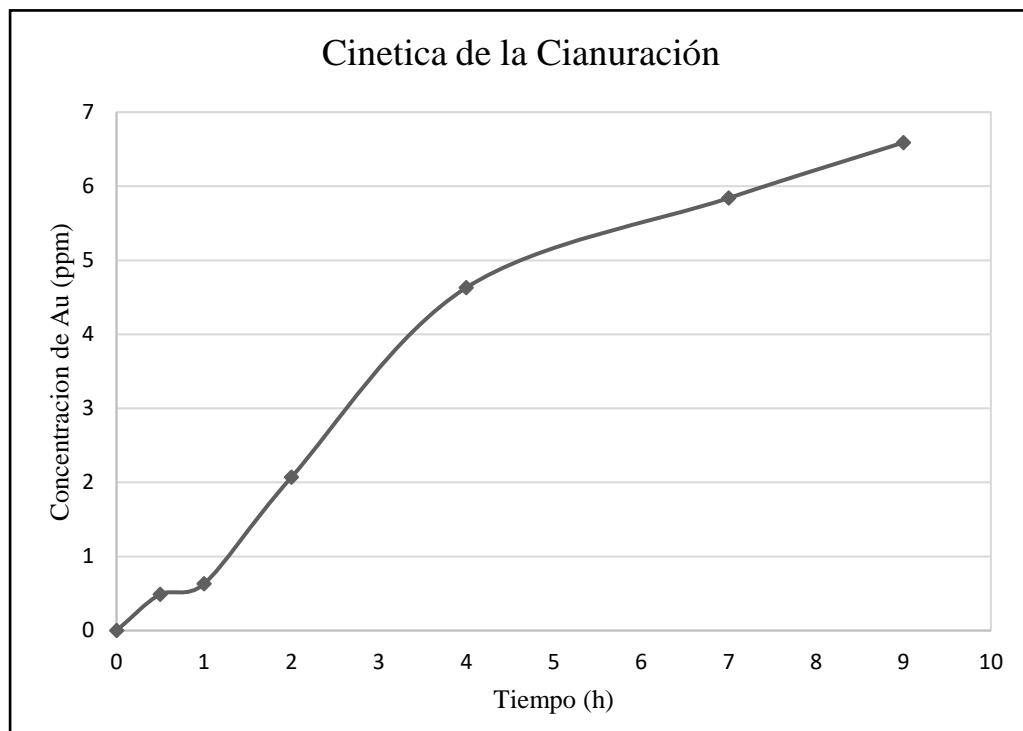
6.3.5 Ensayo de Cianuración

Según la curva de cinética representada en la Ilustración 9 se puede observar cómo al trabajar con una concentración de cianuro de 1 g/L el rendimiento es favorable, puesto que la curva alcanza valores de concentración de Au de 6.59 ppm, representando un rendimiento del 80.04%. Cabe recalcar que la curva de cinética no llega a ser asintótica lo que quiere decir que no se conoce el tiempo óptimo de cianuración, ya que el tiempo usado en este ensayo se establece en 9 horas donde se emplearon 10.30 gr de cal, teniendo un volumen final de 830 ml.

Ilustración 9. Cinética de la cianuración

Tamaño de partícula: 120 μm
Peso de mineral 500 gr
Dilución de pulpa: 2:1
Cianuro de sodio: 1 gr/l
Consumo de cal: 10.30 gr

Molienda: 45 min
pH: 10.51
Volumen de agua: 1000 ml
Tiempo de agitación: 9 horas
Volumen final: 830 ml



Fuente: El autor

7 Discusión

7.1 Discusión del primer objetivo

Para realizar una campaña de muestreo de los materiales provenientes de la zona mineralizada del área minera Narcisa Antonia fue necesario seguir una metodología estandarizada y rigurosa para garantizar la representatividad de las muestras y obtener resultados confiables, para ello se empleó la técnica de muestreo “Rock Chip” para recolectar muestras de roca en la zona de interés de la mina.

Cabe destacar que la técnica de muestreo “Rock Chip” permitió una recolección eficiente y representativa de las muestras de roca. Los puntos de muestreo fueron seleccionados cuidadosamente para abarcar la mayor área posible de la zona de interés, asegurando así una distribución adecuada de las muestras. Además, se tomó en consideración la apariencia visual de la roca y las observaciones geológicas relevantes durante la extracción de los fragmentos, lo cual contribuyó a una selección más precisa de las zonas con mayor concentración de minerales de interés.

Al analizar los resultados de los ensayos de laboratorio, se pudo observar una correspondencia significativa entre los minerales detectados en las muestras recolectadas mediante la técnica rock chip y aquellos esperados según los estudios geológicos previos. Los valores de contenido de minerales clave, como el cuarzo, pirrotina, calcita, se encuentran dentro del rango estimado, lo cual indica una alta confiabilidad en los resultados obtenidos a través del muestreo empleado.

7.2 Discusión de segundo objetivo

La caracterización del material obtenido de la veta de la mina Narcisa Antonia fue elemental para evaluar su mineralogía, para ello se realizó la elaboración de una sección pulida en la que se pudo apreciar microscópicamente los minerales presentes en la mina tales como cuarzo que es uno de los minerales más abundantes en la muestra y se caracteriza por su transparencia y dureza, la presencia de cuarzo indica que la veta de la mina contiene material de origen ígneo o metamórfico. La pirita, un sulfuro de hierro, también se encontró en la muestra, este mineral es conocido por su color dorado metálico y su brillo característico. Además de la pirita, se identificó la presencia de pirrotina, otro sulfuro de hierro, este mineral de color bronce, tiene propiedades magnéticas y su presencia refuerza la evidencia de la existencia de sulfuros en la mina. La calcopirita, un sulfuro de cobre y hierro, también se encontró en la muestra. Este mineral tiene un color amarillo dorado y a menudo se asocia con

depósitos de cobre, la presencia de calcopirita indica la posibilidad de la existencia de mineralizaciones de cobre en la veta de la mina. Finalmente, se identificó la presencia de esfalerita en la muestra, que es un mineral de sulfuro de zinc y se caracteriza por su coloración que puede variar de amarillo a marrón oscuro, su presencia sugiere la posibilidad de la existencia de depósitos de zinc en la mina.

Para corroborar y complementar los resultados obtenidos mediante la observación microscópica, se realizaron análisis de difracción de rayos X y fluorescencia de rayos X. Estos análisis permitieron confirmar la presencia de los minerales identificados y proporcionaron información adicional sobre su composición química.

En resumen, la caracterización mineralógica del material de la veta de la mina Narcisca Antonia reveló la presencia de cuarzo, pirita, pirrotina, calcopirita y esfalerita. Lo cual está acorde a la mineralogía reportada de acuerdo con los estudios de (INIGEM, 2018), en la hoja geológica de Macará la cual está relacionada a la geología del área de estudio.

Estos resultados son consistentes con la posible existencia de depósitos de sulfuros de hierro, cobre y zinc en la mina además de estar relacionados con depósitos de oro.

7.3 Discusión tercer objetivo

La propuesta de un método de beneficio adecuado para la explotación de minerales metálicos como el oro, comenzó con la evaluación de la ley de mineral la cual fue de 13.667 gr/ton. Posteriormente en función de los resultados de la caracterización mineralógica se pueden considerar diferentes estrategias de extracción y procesamiento para maximizar la recuperación de los minerales de interés y minimizar los costos asociados con la extracción y procesamiento del material. La mineralogía mostró la presencia de minerales de sulfuros como pirrotina, calcopirita, así como cuarzo y calcita, y con ello se procedió con la evaluación de dos métodos de beneficio tales como la flotación y la cianuración. Es importante considerar también la presencia de impurezas o elementos no deseados que puedan afectar la calidad de los minerales y la rentabilidad de la operación

Para la flotación se consideró reactivos que permitan la recuperación de oro con sulfuros de promedio sobre todo de la pirrotina el cual es un mineral inestable debido a la naturaleza de su formación, para ello se optó por el empleo de Z6, ER-350, y Silicato de sodio. Obteniendo un resultado de eficiencia del 75.86%, cabe recalcar que dicha eficiencia es podría subir usando otro tipo de reactivos, en este caso los ditiocarbamatos, que son una clase de colectores utilizados en la flotación de minerales de sulfuros metálicos, como el cobre, plomo y zinc.

Estos reactivos tienen una buena selectividad para estos minerales y también se ha encontrado que son útiles para la flotación de oro en presencia de pirrotina.(Barry A. Wills & James A. Finch, 2016).

Por otro lado, el otro proceso evaluado fue la cianuración el cual es un proceso utilizado para extraer oro y plata de los minerales mediante la adición de cianuro al mineral para disolver los metales. Este tubo un rendimiento de 80.06% con un gramo por litro y con un pH de 10.76. en 9 horas de ensayo.

Ambos métodos tuvieron un rendimiento aceptable a pesar de que la granulometría lograda en el d80 en la molienda fue de 120 μm . Por lo que se tiene que para este material en concreto se propone la cianuración.

8 Conclusiones

Luego de haber completado el trabajo y analizado los resultados la caracterización de los minerales presentes en la mina Narcisa Antonia, se llega a la conclusión de que:

- Los resultados de los ensayos de laboratorio respaldan la idoneidad del muestreo empleado con la técnica rock chip en la zona de interés de la mina. La correspondencia y precisión de los resultados en relación con las características mineralógicas y contenido de los minerales de interés validan la efectividad de esta técnica en la recolección de muestras representativas. Sin embargo, es importante reconocer las limitaciones y considerar otras estrategias de muestreo para una evaluación más completa del yacimiento.
- El análisis mediante Fluorescencia de rayos x (FRX) y Difracción de rayos x (DRX) permitió establecer la composición del material, con una presencia de cuarzo del 62 % con abundancia de SiO₂, junto con la calcita que se encuentra en un 9 % que se corresponde al CaO, constituyendo la ganga del mineral de estudio. Finalmente se compone de sulfuros en baja proporción como: pirrotina 1.3 % de calcopirita y 5 %.
- El material de mina de la concesión minera “Narcisa Antonia” fue sometido ensayos de análisis químico de cabeza, cuyos valores resultantes fueron promediados, estableciendo una ley de cabeza de 13.667 gr/ton.
- El análisis granulométrico del material nos permitió determinar que su tiempo de molienda estandarizado de acuerdo con las características del mineral quedo en tubo como resultado un tiempo de 45 min obteniendo un d80 de la malla # 120 establecer como 120 µm el tamaño de partícula para la evaluación de los procesos de beneficio.
- El resultado de la flotación para el mineral de la mina Narcisa Antonia tubo un rendimiento de 75.86% con los reactivos Z6, ER-350, y Silicato de sodio.
- Las condiciones óptimas para el mineral de cabeza del área minera Narcisa Antonia corresponden a un tamaño de partícula de 120 µm, una medida de pH de 10.51 y una concentración de cianuro de 1 g/L, la lixiviación química bajo estos parámetros de operación genera una recuperación de 80.06 % de oro.

- El proceso de beneficio propuesto en esta investigación para los materiales provenientes de la mina s Narcisa Antonia es el de cianuración al tener un mejor rendimiento frente a la flotación, cabe recalcar que su tiempo de molienda fue de 45 minutos y que sus condiciones de procesamiento pueden ser mejores al aumentar este tiempo y llegar a un d80 superior a la malla #200.

9 Recomendaciones

- Se recomienda hacer uso de la información obtenida en esta investigación dueños de la mina, para que tenga una referente del estado de la mineralogía de su área minera y puedan tener los resultados favorables en la explotación.
- Para la elaboración de la sección pulida es importante tener en cuenta que el proceso de pulido puede dañar la estructura original del sedimento, por lo que es recomendable realizar varias secciones pulidas para asegurarse de obtener una imagen precisa de la estructura y composición del sedimento.
- Es importante tener en cuenta que el rendimiento del proceso de flotación puede variar dependiendo de las condiciones de operación del sistema y de las características del mineral que se está procesando por tanto se recomienda experimentar con los colectores ditiocarbamatos de los cuales los más comunes entre ellos se tiene el dietilditiocarbamato (DDTC) y el diisopropilditiocarbamato (DIPDC), ya que estos colectores se caracterizan por ser selectivos y eficaces en la flotación de minerales de sulfuros metálicos en un rango de pH neutro a alcalino para así determinar si la recuperación con la flotación puede ser mayor.
- En futuras investigaciones se puede realizar ensayos de cianuración modificando otros parámetros como la concentración de sólidos, tiempo de agitación, inclusive el tipo de molienda. Esto permitirá mejorar la eficiencia de recuperación de Au para la muestra en estudio.
- Es fundamental reconocer las limitaciones inherentes a la técnica de muestreo rock chip. Dado que se extraen fragmentos pequeños de la superficie de la roca, es posible que se omita cierta información detallada sobre la variabilidad mineralógica a mayor profundidad. Por tanto, para obtener una evaluación más completa del yacimiento, se recomienda complementar este tipo de muestreo con otros métodos, como el muestreo de testigos de perforación.

10 Bibliografía

- Alan M. Bateman. (2014). *Yacimientos minerales de rendimiento económico* (Antikvariat).
- Arturo Egüez, & Osman Poma. (2001). La Cuenca Alamor Lancones en el contexto geodinámico de los Andes de Huancabamba, SW Ecuador. *Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Recursos Minerales y Geoquímica*, 19–22.
- Banco Central del Ecuador. (2014). *La minería ecuatoriana*. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla00.pdf>
- Barry A. Wills, & James A. Finch. (2016). *Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2010-0-65478-2>
- Buenaventura Ingenieros S.A, & Rodríguez Juan. (1996). Manual de muestreo en las unidades de producción de compañía de minas Buenaventura S.A. *Compañía de Minas Buenaventura S.A.*
- Cornelius Klein, & Cornelius Hurlbut. (2003, October). *Manual de Mineralogía*. <https://books.google.com.ec/books?id=umRMtQEACAAJ&lpg=PA353&hl=es&pg=PA353#v=onepage&q&f=false>
- Estupiñán, R., Romero, P., García, M., Garcés, D., & Valverde, P. (2021). Mining in Ecuador. Past, present and future. *Boletín Geológico y Minero*, 132(4), 533–549. <https://doi.org/10.21701/bolgeomin.132.4.010>
- INIGEM. (2018). Memoria Técnica de la hoja geológica de Macará a escala 1:100 000. In *INIGEM* (Vol. 40).
- Jaillard, E., Bengtson, P., Bonhomme, C., Jimenez, N., & Zambrano, I. (1996). Sedimentary and tectonic evolution of the arc zone of Southwestern Ecuador during Late Cretaceous and Early Tertiary times. In *Amyricun Eurth Sciuncrs* (Issue 2).
- Jorge Iván Londoño Escobar, J. M. B. J. C. M. M. (2010). *Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas*.
- Luzuriaga Cueva, J. L. (2018). *Flotación del mineral de mina de la concesión minera A.P, ubicada en el Distrito Nambija-Condominio Norte*. [Trabajo de Titulación, Universidad Técnica Particular de Loja].

<https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/22090/1/Luzuriaga%20Cueva%20Jorge%20Luis.pdf>

Metallurgy Corporation. (2020). *911 Metallurgist*. Definición de Tiempos de Molienda.

Portal Minero S.A. (2006). MANUAL GENERAL DE MINERIA Y METALURGIA. *Portal Minero Ediciones*.

Pozo Rodríguez, M. (2019). El papel de la caracterización mineralógica y geoquímica en el estudio de las culturas antiguas: ejemplos de excavaciones españolas en Oriente. *ISIMU*, 22, 93. <https://doi.org/10.15366/isimu2019.22.004>

Valarezo Jaramillo, M. D. (2017). *Evaluación hidrometalúrgica por cianuración de los concentrados de flotación de la empresa Ecoluxen S.A* [Universidad Técnica Particular de Loja]. <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/21196>

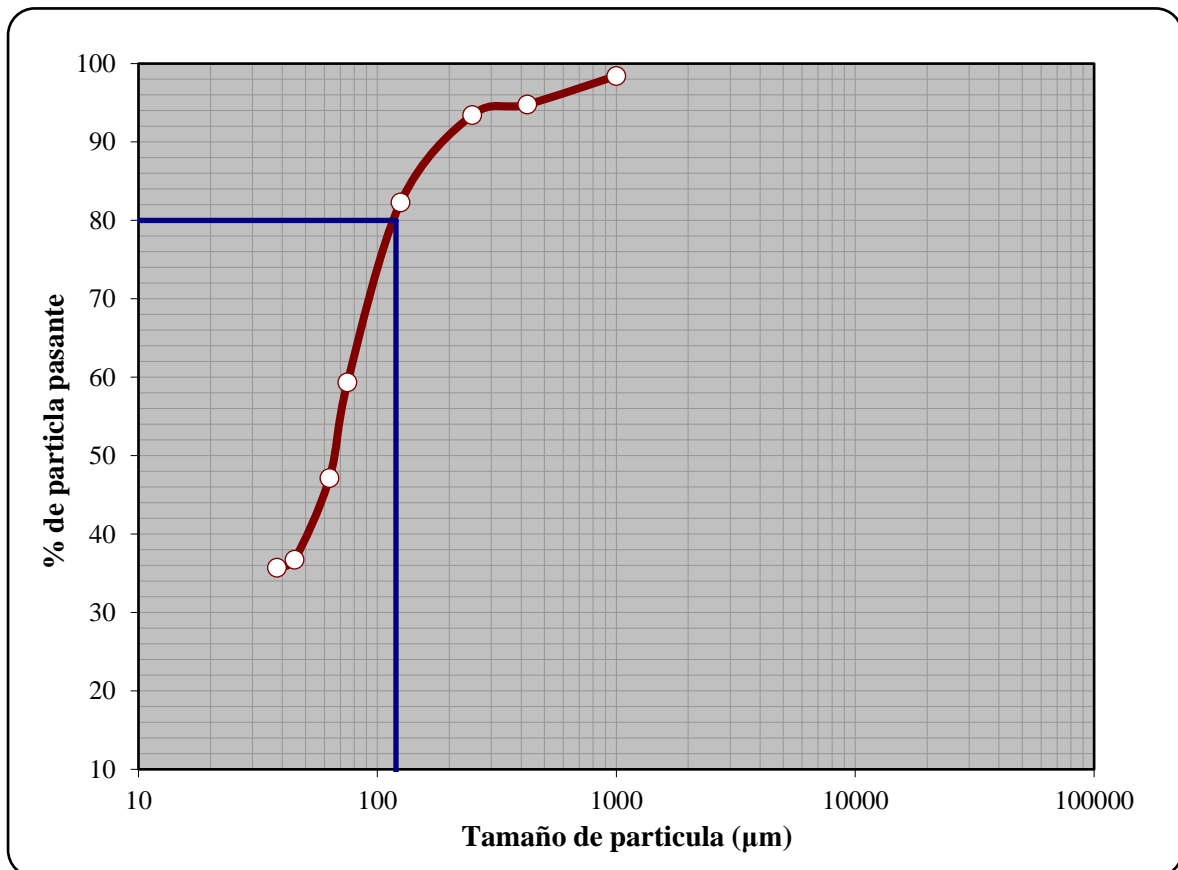
William Nesse. (2004). *Introduction to Optical Mineralogy* (Oxford University Press, Ed.; Third Edition, Vol. 1).

Anexos

Anexo 1. Granulometría de la molienda

Análisis granulométrico

No. Tamiz	Diámetro (μm)	W Tamiz (gr)	W Tamiz + Muestra (gr)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Material Pasante (%)
10	2000	331.41	331.53	0.00	0.00	0.00	100.00
18	1000	326.85	330.70	3.85	1.57	1.57	98.43
35	500	315.35	324.25	8.90	3.63	5.20	94.80
60	250	238.75	242.05	3.30	1.35	6.55	93.45
120	125	280.05	307.40	27.35	11.16	17.71	82.29
200	75	266.65	322.85	56.20	22.93	40.64	59.36
230	63	282.90	312.85	29.95	12.22	52.87	47.13
325	45	267.60	293.05	25.45	10.39	63.25	36.75
400	38	265.05	267.55	2.50	1.02	64.27	35.73
Fondo	-----	394.55	395.00	0.45	0.18	64.46	35.54
Lamas				87.10	35.54	100.00	0.00
Total				245.05	100.00		



Anexo 2. Datos del ensayo de Flotación

Parámetros de Flotación

Tamaño de partícula: 120 µm
Peso de mineral 750 gr

Molienda: 45 min
pH: 11.4

Acondicionamiento de reactivos

Operación	Tiempo	pH	Reactivos en gr/t				
			Z6 (100*)		ER-350 (75*)		Na ₂ SiO ₃ (250*)
Acondicionamiento	11´	11.5					250 g/t 100 ml
Acondicionamiento	4´	11.4	40 g/t	40 ml	40 g/t	53.3 ml	
Flotación A	3´						
Acondicionamiento	3´	11.35	35 g/t	35 ml	20 g/t	26.6 ml	
Flotación B	3´						
Acondicionamiento	2´	11.35	25 g/t	25 ml	15 g/t	20 ml	
Flotación C	3´						

Blance resultados de flotación

Entrada	Peso (kg)	0.75	10.250
	Ley (mg/kg)	13.77	
Concentrado	Peso (kg)	0.09299	7.776
	Ley (mg/kg)	83.62	
Relave	Peso (kg)	0.653	2.379
	Ley (mg/kg)	3.576	

Balance metalúrgico

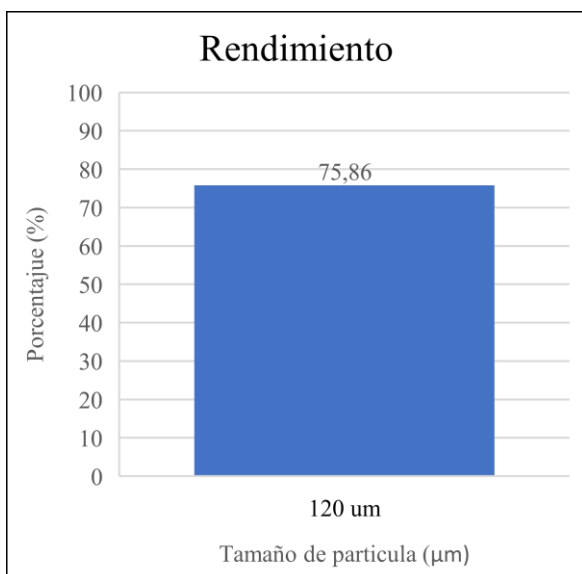
E	=	C	+	R
10.25	=	7.776	+	2.379
10.25	=	10.155		

Rendimiento de flotación

$$R = \frac{C}{E} \times 100$$

$$R = \frac{7.776}{10.25} \times 100\%$$

$$R = 75.86 \%$$



Anexo 3. Datos del ensayo de Cianuración

Parámetros de Cianuración

Tamaño de partícula: 120 μm
 Peso de mineral 500 gr
 Dilución de pulpa: 2:1
 Cianuro de sodio: 1 g/l
 Consumo de cal: 10.30 gr

Molienda: 45 min
 pH: 10.51
 Volumen de agua: 1000 ml
 Tiempo de agitación: 9 horas
 Volumen final: 830 ml

Control de Cianuración

Hora	Tiempo	pH	Titulación	Reposición	Concentración (mg/l) (ppm)
8:05	0 h	10.94	-----	-----	-----
8:35	0.5 h	10.43	0.5	0.5	0.49
9:05	1 h	10.64	0.65	0.35	0.63
10:05	2 h	10.57	0.4	0.6	2.07
12:05	4 h	10.53	0.35	0.65	4.63
15:05	7 h	10.7	0.2	0.8	5.84
17:05	9 h	10.5	0.45	-----	6.59

Balance resultados de Cianuración

Entrada	Peso (kg)	0.5	6.834
	Ley (mg/kg)	13.667	
Concentrado	Peso (l)	0.83	5.470
	Ley (mg/l)	6.59	
Relave	Peso (kg)	0.48	1.253
	Ley (mg/kg)	2.61	

Balance metalúrgico

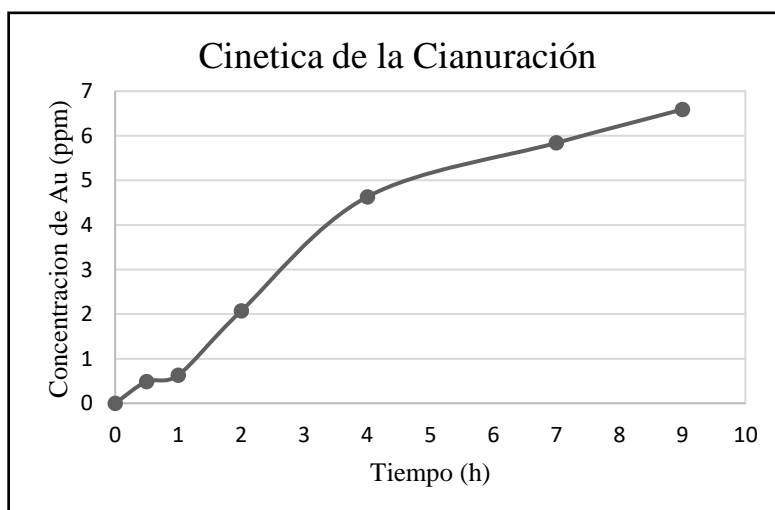
E	=	C	+	R
6.834	=	5.470	+	1.253
6.834	=	6.723		

Rendimiento de cianuración




$$R = \frac{C}{E} \times 100$$

$$R = \frac{5.470}{6.834} \times 100\%$$

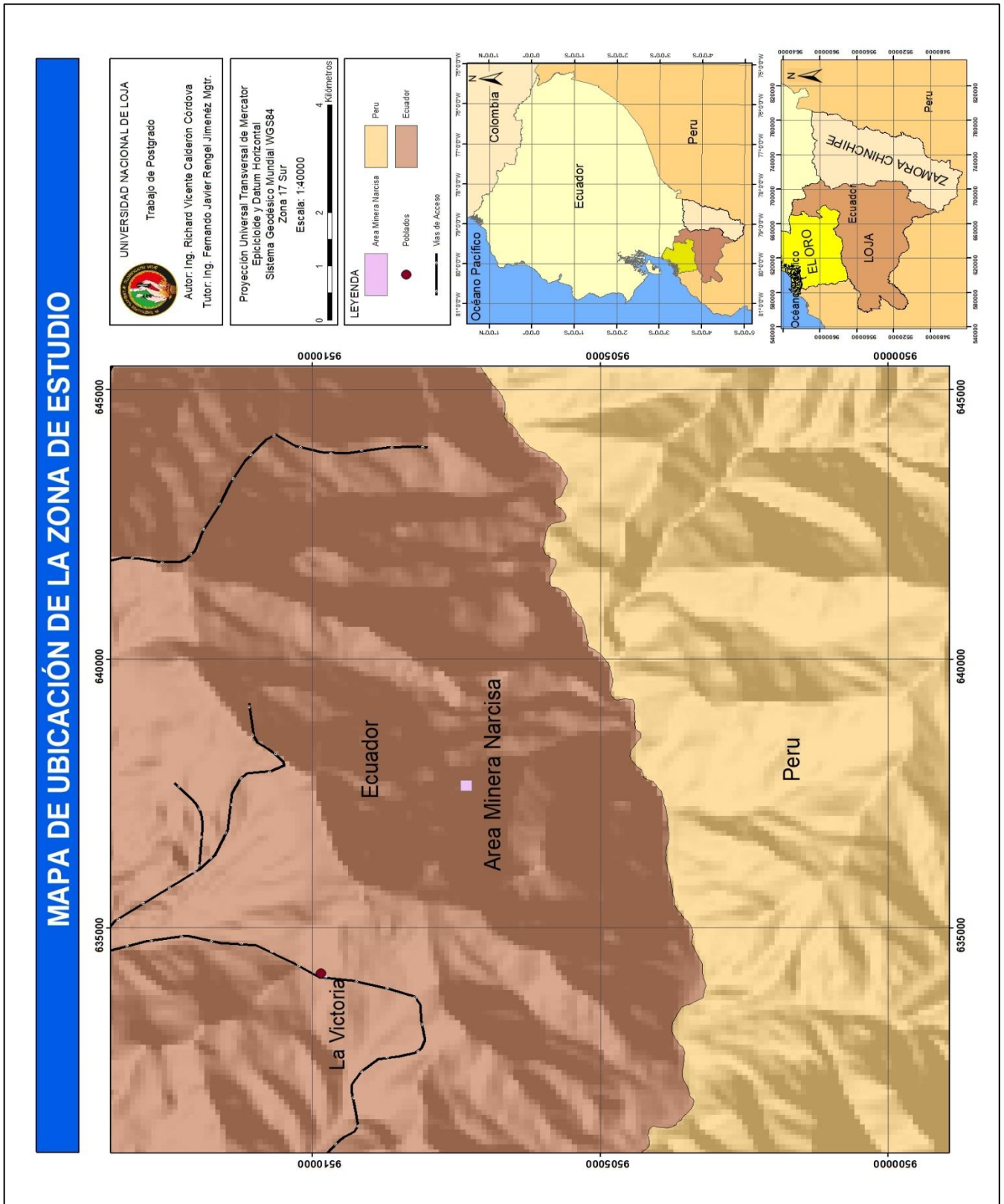
$$R = 80.04 \%$$



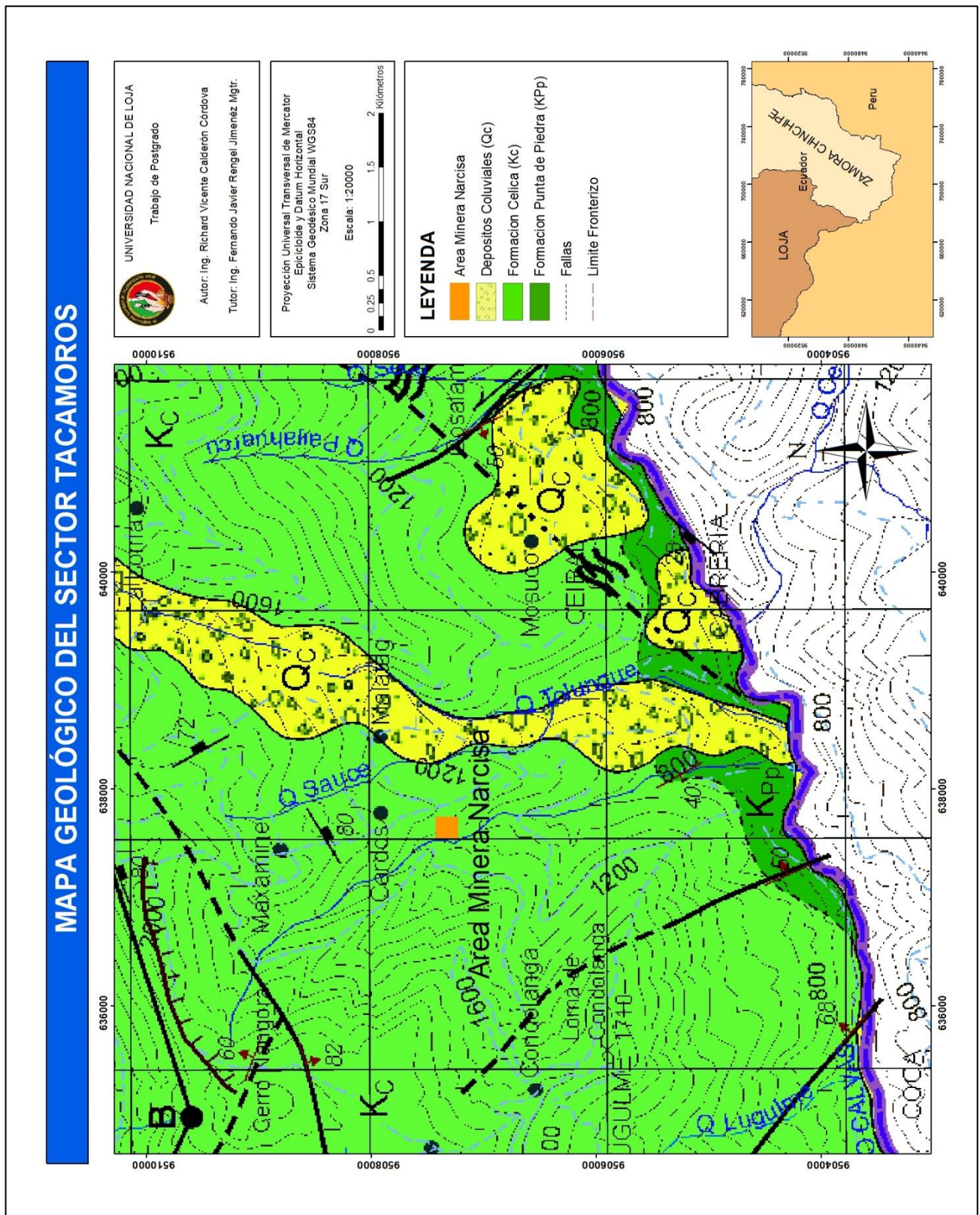
Anexo 4. Hoja de muestreo realizado en la mina

MUESTRA 1 - VETA BOCAMINA 1			
COORDENADAS	X: 637725 Y: 9507233 Z: 1202		DATUM: UTM WGS84 - 17S
	FOTO		
DIMENSIONES	A: 2	L: 5	  
FORMACIÓN GEOLÓGICA	Punta de Piedra		
CONTEXTO GEOLOGICO	Veta de la cual actualmente se extrae el material de la mina		
DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	<p>Es un frente de labores mineras se identificó una veta con minerales de cuarzo, sulfuros como pirrotina, entre otros. La roca es de textura afanítica de tonalidades grises verdosas tratándose de una andesita, la veta presenta oxidaciones en algunos puntos del frente de las labores mineras</p>		

Anexo 5. Mapa de ubicación del área de estudio



Anexo 6. Geología regional del área de estudio



Anexo 7. Puntos de muestreo, en el frente de trabajo



Anexo 8. Certificado de traducción del resumen

Loja, 19 de mayo del 2023

Yo, Anthony Ricardo Calderón Córdova, con cédula de identidad 1105638090, Licenciado en Pedagogía del idioma inglés registro Nro. 1031-2023-2655168.

CERTIFICO:

Que, he realizado la traducción al idioma inglés de él resumen del Trabajo de Titulación denominado **“Caracterización mineralógica y determinación del proceso de beneficio para la recuperación de minerales de interés del área Narcisa Antonia Código 690680, cantón Sozoranga, provincia de Loja”**, elaborado por el Ing. Richard Vicente Calderón Córdova con cédula de ciudadanía número 1105119018, graduado de la carrera de Ingeniería en Geología y Minas y egresado de la maestría en Minas con mención en Metalurgia y Mineralurgia Extractiva en la Universidad Nacional de Loja.

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

Atentamente:



Lcdo. Anthony Ricardo Calderón Córdova
C.I.: 1105638090