



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 físico-química y mineralógica del material de la Concesión Minera “Nicolas 1” Código Catastral (102826), para el mejoramiento del proceso de beneficio, en la parroquia El Carmen de Pijilí, cantón Camilo Ponce Enríquez, Provincia del Azuay.**

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

**Autor:**

Ing. Sergio Estuardo Rojas Guano

**Director:**

Mg. Hernán Luis Castillo García. PhD.

Loja – Ecuador

2023

Educamos para Transformar

## Certificación

Loja, 19 de mayo de 2023

Mg. Hernán Luis Castillo García. PhD.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización físico-química y mineralógica del material de la Concesión Minera “Nicolas 1” Código Catastral (102826), para el mejoramiento del proceso de beneficio, en la parroquia El Carmen de Pijilí, cantón Camilo Ponce Enríquez, Provincia del Azuay.**, previo a la obtención del título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, de la autoría del **estudiante Sergio Estuardo Rojas Guano**, con **cedula de identidad Nro. 1600450413** 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.

Mg. Hernán Luis Castillo García. PhD.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

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

**Firma:**

**Cédula de Identidad:** 160045013

**Fecha:** 22 de mayo de 2023

**Correo electrónico:** sergio.rojas@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0998241698

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

Yo, **Sergio Estuardo Rojas Guano** declaro ser autor del Trabajo de del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización físico-química y mineralógica del material de la Concesión Minera “Nicolas 1” Código Catastral (102826), para el mejoramiento del proceso de beneficio, en la parroquia El Carmen de Pijilí, cantón Camilo Ponce Enríquez, Provincia del Azuay**, como requisito para optar por el título de **MSc. Minas con 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 del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

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

**Firma:**

**Autor:** Sergio Estuardo Rojas Guano

**Cédula de Identidad:** 160045013

**Fecha:** 22/05/2023

**Correo electrónico:** sergio.rojas@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0998241698

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Directora del Trabajo de Titulación:** Mg. Hernán Luis Castillo García. PhD.

## **Dedicatoria**

El presente trabajo investigativo lo dedico a mis padres y a mi esposa por ser el apoyo incondicional para lograr culminar esta nueva meta.

***Sergio Estuardo Rojas Guano***

## **Agradecimiento**

Primeramente, agradezco a Dios por regalarme la vida y por darme la sabiduría para obtener este título, a la Universidad Nacional de Loja por permitirme formar parte de tan prestigiosa institución, a mis docentes por impartir su conocimiento en mi formación académica y por formar grandes profesionales que aportan al desarrollo del país.

A mi director del Trabajo de Titulación por guiarme en este proceso académico, brindarme su tiempo y conocimiento para poder culminar mi proyecto de titulación.

A mis compañeros y amigos de esta carrera por compartir este trayecto académico, y dejar huellas de compañerismo y amistad.

***Sergio Estuardo Rojas Guano***

## Índice de Contenidos

|  |            |
|--|------------|
| <b>Portada</b> .....                                     | <b>i</b>   |
| <b>Certificación</b> .....                               | <b>ii</b>  |
| <b>Autoría</b> .....                                     | <b>iii</b> |
| <b>Carta de autorización por parte del autor</b> .....   | <b>iv</b>  |
| <b>Dedicatoria</b> .....                                 | <b>v</b>   |
| <b>Agradecimiento</b> .....                              | <b>vi</b>  |
| <b>Índice de Contenidos</b> .....                        | <b>vii</b> |
| <b>Índice de tablas</b> .....                            | <b>x</b>   |
| <b>Índice de anexos:</b> .....                           | <b>xii</b> |
| <b>1. Título</b> .....                                   | <b>1</b>   |
| <b>2. Resumen</b> .....                                  | <b>2</b>   |
| 2.1. Abstract.....                                       | 3          |
| <b>3. Introducción</b> .....                             | <b>4</b>   |
| <b>4. Marco Teórico</b> .....                            | <b>6</b>   |
| 4.1. Etapas de la Actividad Minera .....                 | 6          |
| 4.1.1. Prospección.....                                  | 6          |
| 4.1.2. Exploración.....                                  | 6          |
| 4.1.3. Explotación.....                                  | 7          |
| 4.1.4. Beneficio o Procesamiento del Mineral.....        | 7          |
| 4.1.4.1. Lavado. ....                                    | 8          |
| 4.1.4.2. Trituración o Chancado. ....                    | 8          |
| 4.1.4.3. Molienda.....                                   | 8          |
| 4.1.4.4. Homogenización.....                             | 8          |
| 4.1.4.5. Clasificación. ....                             | 8          |
| 4.1.4.6. Concentración. ....                             | 8          |
| 4.1.4.6.1. Concentración Gravimétrica.....               | 8          |
| 4.1.4.6.2. Flotación.....                                | 9          |
| 4.1.4.6.2.1. Fundamentos de flotación de minerales. .... | 9          |
| 4.1.4.6.3 Cianuración. ....                              | 11         |
| 4.1.5. Transformación.....                               | 12         |
| 4.2.1. Fundición y tostación .....                       | 12         |
| 4.1.7. Refinación .....                                  | 13         |
| 4.1.8. Comercialización .....                            | 13         |

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| 4.1.9.       | Cierre de Minas .....                                       | 13 |
| 4.2.         | Caracterización Mineralógica de Minerales Auríferos .....   | 13 |
| 4.2.1.       | Técnicas de Caracterización Mineralógica.....               | 14 |
| 4.2.1.1.     | Microscopia Óptica. ....                                    | 14 |
| 4.2.1.2.     | Petrografía.....  | 17 |
| 4.2.1.3.     | Difractometría de Rayos x. ....                             | 19 |
| 4.2.2.       | Caracterización Física de Minerales. ....                   | 19 |
| 4.2.2.1.     | Caracterización Física. ....                                | 19 |
| 4.2.2.2.     | Densidad del mineral. ....                                  | 20 |
| 4.2.3.       | Caracterización Química.....                                | 21 |
| 4.2.2.1.     | Potencial de Hidrógeno (pH). ....                           | 21 |
| 4.2.2.2.     | Ensayo al Fuego.....  | 21 |
| 5.           | <b>Metodología</b> .....                                    | 22 |
| 5.1.         | Características Físico-geográficas del Área en Estudio..... | 22 |
| 5.1.1.       | Ubicación y Acceso.....                                     | 22 |
| 5.1.2.       | Clima .....   | 26 |
| 5.1.3.       | Geomorfología .....   | 26 |
| 5.1.4.       | Hidrología .....  | 26 |
| 5.1.5.       | Hidrografía .....   | 27 |
| 5.1.6.       | Geología Regional .....                                     | 27 |
| 5.2.         | Materiales y Equipos .....                                  | 28 |
| 5.3.         | Métodos y técnicas .....                                    | 30 |
| 5.3.1.       | Metodología Para el Primer Objetivo.....                    | 31 |
| 5.3.1.1      | Trabajo de Campo.....                                       | 31 |
| 5.3.1.1.1.   | Observación.....  | 31 |
| 5.3.1.1.2.   | Tipos de Muestreo y Selección de Muestras.....              | 31 |
| 5.3.1.2.     | Metodología de Laboratorio.....                             | 32 |
| 5.3.1.2.1.   | Caracterización Mineralógica.....                           | 33 |
| 5.3.1.2.1.1. | Microscopia de Láminas Delgadas.....                        | 33 |
| 5.3.1.2.1.2. | Difracción de Rayos X.....                                  | 33 |
| 5.3.1.2.1.3. | Análisis Petrográficos y Mineralógicos.....                 | 35 |
| 5.3.1.2.2.   | Caracterización Física.....                                 | 36 |
| 5.3.1.2.2.   | Peso Específico.....  | 36 |
| 5.3.1.2.3.   | Caracterización Química.....                                | 36 |
| 5.3.2.       | Metodología Para el Segundo Objetivo.....                   | 37 |
| 5.3.2.1.     | Caracterización Mineralógica de la Cabeza.....              | 37 |
| 5.3.3.       | Metodología para el tercer objetivo .....                   | 37 |



|  |           |
|--|-----------|
| 5.3.3.1. Recuperación de Oro por Flotación.....                                  | 38        |
| 5.3.3.2    Recuperación de oro por cianuración.....                              | 38        |
| <b>6. Resultados .....</b>   | <b>39</b> |
| 6.1.    Resultados del Primer Objetivo.....                                      | 39        |
| 6.1.1.    Toma de Muestras.....  | 39        |
| 6.1.2.    Caracterización Mineralógica.....                                      | 40        |
| 6.1.2.1.    Microscopía Óptica. (Estudio de láminas delgadas).....               | 40        |
| 6.1.2.1.    Petrografía.....   | 42        |
| 6.1.2.2.    Difracción de rayos x.....   | 49        |
| 6.1.3.    Caracterización física .....   | 50        |
| 6.1.3.1.    Color.....   | 50        |
| 6.1.3.2.    Densidad .....   | 51        |
| 6.1.3.3.    Porosidad .....  | 51        |
| 6.1.4.    Caracterización Química .....  | 52        |
| 6.1.4.1.    Análisis Químico. Determinación de oro y plata por ensayo al fuego.. | 52        |
| 6.2.    Resultados del segundo objetivo .....                                    | 52        |
| 6.3.    Resultados para el tercer objetivo.....                                  | 53        |
| 6.3.1.    Flotación.....   | 53        |
| 6.3.2.    Cianuración .....  | 54        |
| 7. Discusión.....  | 55        |
| 8. Conclusiones .....  | 58        |
| 9. Recomendaciones .....   | 59        |
| 10. Bibliografía .....   | 60        |
| 11. Anexo.....   | 64        |

## Índice de tablas

### Índice de tablas:

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Densidades de algunos minerales .....                           | 20 |
| <b>Tabla 2.</b> Coordenadas del área Nicolás 1 en PSAD_56 y WGS_84 .....        | 22 |
| <b>Tabla 3.</b> Materiales y equipos .....                                      | 28 |
| <b>Tabla 4.</b> Identificación de muestras .....                                | 31 |
| <b>Tabla 5.</b> Difracción de rayos x veta VRBON-SR001 .....                    | 49 |
| <b>Tabla 6.</b> Medición de densidad específica .....                           | 51 |
| <b>Tabla 7.</b> Medición de densidad aparente .....                             | 51 |
| <b>Tabla 8.</b> Porosidad de las rocas .....                                    | 52 |
| <b>Tabla 9.</b> Medición de pH.....   | 52 |
| <b>Tabla 10.</b> <i>Cuantificación de minerales</i> .....                       | 53 |
| <b>Tabla 11.</b> <i>Prueba de Flotación del mineral de cabeza</i> .....         | 54 |
| <b>Tabla 12.</b> <i>Resultados obtenidos por el método de cianuración</i> ..... | 54 |
| <b>Tabla 13.</b> <i>Valores de cabeza de oro</i> .....                          | 56 |

## Índice de figuras:

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Principio fundamental de la flotación .....   | 11 |
| <b>Figura 2.</b> Microscopio petrográfico de luz transmitida y reflejada, con analizador de imágenes acopiado..... | 15 |
| <b>Figura 3.</b> Diferentes tipos de muestras de oro.....  | 16 |
| <b>Figura 4.</b> Oro electrum asociado a minerales consumidores de cianuro y oxígeno .....                         | 17 |
| <b>Figura 5.</b> Difractómetro de rayos x .....  | 19 |
| <b>Figura 6.</b> Mapa de ubicación concesión minera “Nicolás 1” código catastral 102826. ...                       | 23 |
| <b>Figura 7.</b> Mapa de vías de acceso a la concesión minera “Nicolás 1” código 102826 ...                        | 24 |
| <b>Figura 8.</b> Equipos de laboratorio .....  | 29 |
| <b>Figura 9.</b> Esquema de metodología empleada .....   | 30 |
| <b>Figura 10.</b> Caracterización de minerales .....   | 32 |
| <b>Figura 11.</b> Trituración y preparación de las muestras.....   | 34 |
| <b>Figura 12.</b> Difractómetro .....  | 35 |
| <b>Figura 13.</b> Toma de muestras y codificación .....  | 39 |
| <b>Figura 14.</b> Láminas delgadas de la veta VRBON-SR001 .....  | 40 |
| <b>Figura 15.</b> Láminas delgadas de la veta VGMBON-SR002 .....   | 41 |
| <b>Figura 16.</b> Láminas delgadas de la veta VPBBO-SR003.....   | 41 |
| <b>Figura 17.</b> Láminas delgadas de la veta VBBCN-SR004.....   | 42 |
| <b>Figura 18.</b> Estado de sulfuración veta VRBON-SR001.....  | 42 |
| <b>Figura 19.</b> Análisis petrográfico veta VRBON-SR001.....  | 43 |
| <b>Figura 20.</b> Estado de sulfuración veta VSMBONSR002 .....   | 44 |
| <b>Figura 21.</b> Análisis petrográfico veta VSMBON-SR002 .....  | 45 |
| <b>Figura 22.</b> Estado de sulfuración. Veta VPBBO-SR003 .....  | 46 |
| <b>Figura 23.</b> Análisis petrográfico veta VPBBO-SR003.....  | 47 |
| <b>Figura 24.</b> Análisis petrográfico de la veta VBBCN-SR004.....  | 48 |
| <b>Figura 25.</b> Estado de sulfuración, veta VBBCN-SR004 .....  | 49 |
| <b>Figura 26.</b> Difractograma de la muestra VRBON-SR001 .....  | 50 |

**Índice de anexos:**

|  |    |
|--|----|
| <b>Anexo 1.</b> <i>Análisis petrográfico de las muestras</i> ..... | 64 |
| <b>Anexo 2.</b> <i>Difracción de rayos x</i> .....                 | 65 |

## **1. Título**

**Caracterización físico-química y mineralógica del material de la Concesión Minera  
“Nicolas 1” Código Catastral (102826), para el mejoramiento del proceso de  
beneficio, en la parroquia El Carmen de Pijilí, cantón Camilo Ponce Enríquez,  
Provincia del Azuay**

## 2. Resumen

A nivel mundial la minería, a pequeña o gran escala, es una de las inversiones preferidas por diversos empresarios, pues los ingresos son altos, no solo para el inversor sino también para el estado. El Ecuador es un país con potencial minero, tiene reservas de oro, plata y cobre, según el Banco Central del Ecuador los minerales constituyen el tercer producto no petrolero que más se exporta.

El presente trabajo de investigación está enfocado en realizar la caracterización físico, química y mineralógica del material de la concesión minera Nicolas 1 para el mejoramiento del proceso de beneficio, código catastral 102826 cantón Ponce Enríquez, parroquia El Carmen de Pijilí.

Para este estudio se realizaron pruebas de caracterización físico, química y mineralógica las misma que permitieron identificar la composición química y la estructura de los minerales, también se realizó el análisis de cabeza de los minerales principales como son oro, plata, cobre y arsénico cuyo objetivo fue conocer en qué cantidad se encuentran presentes cada uno de ellos para evaluar si la veta a explotar es económicamente rentable.

Con el análisis petrográfico en la zona de estudio se determinó la presencia de pirita, arsenopirita, feldespatos y carbonatos. Además, se identificó que el oro se encuentra encapsulado en la arsenopirita por lo que existe valores representativos de arsénico, la muestra VSMBO-SR002 contiene un valor de 11.54 % de arsénico y el valor más bajo fue de 0.10% en la muestra VPBBO-SR003.

Para recuperar el oro se aplicaron métodos metalúrgicos como cianuración y flotación, con los cuales se corroboró que el oro se encuentra encapsulado en la arsenopirita. La cantidad de oro recuperada por ambos métodos fue de 1.65 g/t concluyendo que el método más adecuado para la recuperación de oro fue cianuración a pesar de su contenido de arsénico.

*Palabras claves: Análisis físico-químico, análisis mineralógico, procesos de beneficio de los minerales. Metalurgia,*

## 2.1. Abstract

It is widely known that mining, whether small or large, is a preferred investment for businessmen across the globe due to its high income, both for the investor and the government. Ecuador is a country with mining potential. It has gold, silver and copper reserves. According to the Central Bank of Ecuador, minerals are the third most exported non-oil product.

The present research work is focused on the physical, chemical and mineralogical characterization of the Nicolas 1 mining concession material for the improvement of the beneficiation process. There is a cadastral code 102826 for this parcel, located in the Ponce Enriquez canton, El Carmen de Pijili parish.

For this study, physical, chemical and mineralogical characterization tests were carried out to identify the chemical composition and structure of the minerals, also the head analysis of the main minerals such as gold, silver, copper and arsenic was carried out to know in what quantity each of them is present in order to evaluate if the vein to be exploited is economically profitable.

The petrographic analysis in the study zone determined the presence of pyrite, arsenopyrite, feldspars and carbonates. Moreover, gold is encapsulated in arsenopyrite, so arsenic values are representative. The sample VSMB0-SR002 contained a value of 11.54 % of arsenic and the lowest value was 0.10% in the sample VPBBO-SR003.

To recover gold, metallurgical methods such as cyanidation and flotation were applied. It was confirmed that gold is encapsulated in arsenopyrite. Both methods recovered 1.65 g/t. This concluded that the most suitable method for gold recovery was cyanidation despite its arsenic content.

**Keywords:** Physical-chemical analysis, mineralogical analysis, mineral beneficiation processes. Metallurgy,

### 3. Introducción

A nivel mundial la minería, a pequeña o gran escala, se ha convertido en una de las inversiones preferidas por diversos empresarios, pues los ingresos son altos, no solo para la persona que invierte sino también para el estado ecuatoriano ya que percibe de regalías, pagos de patentes, etc.; también es muy conocido que este tipo de explotación tiene un control riguroso, sobre todo a nivel ambiental, pues la actividad incluye necesariamente el uso de equipos, maquinaria, dispositivos y compuestos químicos que son parte del proceso y por tanto pueden ser potenciales contaminantes del entorno y la comunidad.

Según las cifras que maneja el Banco Central del Ecuador (MINERGÍA, 2022), los minerales constituyen el tercer producto no petrolero que más se exporta, con este antecedente se puede decir que la minería es un negocio altamente rentable por lo cual es importante que los concesionarios mineros antes de realizar la exploración y explotación realicen un estudio de caracterización del material, a nivel físico-química y mineralógica producido en la mina, mismo que permitirá conocer la distribución mineralógica presente en la zona, a más de poder identificar minerales de interés económico, de mena, ganga, etc.

El problema de muchos concesionarios mineros es, el trabajar de manera artesanal y/o desconocer los beneficios que puede presentar el conocer claramente los materiales que se trabajan, para ello es necesario una caracterización físico-química y mineralógica a la hora de explotar la mina.

En el presente trabajo de investigación se realizó, una caracterización físico-química y mineralógica del material de la concesión minera Nicolás 1, para el mejoramiento del proceso de beneficio y determinar el mejor método para beneficiar de minerales de esta concesión.

La concesión minera “**Nicolás 1**” en busca de una mejor recuperación del mineral considera indispensable aplicar técnicas convencionales de caracterización físico-química y mineralógica, mismas que permitan identificar la presencia de minerales en especial oro y estimar la cantidad de oro que se puede recuperar en el proceso de beneficio de minerales de una forma sencilla y económicamente rentable.

Para dar cumplimiento a la investigación propuesta se ha planteado los siguientes objetivos:



### **Objetivo general**

- Analizar la caracterización físico-química y mineralógica del material de la concesión minera Nicolas 1 para el mejoramiento del proceso de beneficio, código catastral 102826, cantón Ponce Enríquez, parroquia El Carmen de Pijilí.

### **Objetivos específicos**

- Identificar la composición química y las características fisicoquímicas del material a procesar en la concesión minera Nicolas 1.
- Estimar el porcentaje de oro que se puede obtener del material a procesar en la concesión minera Nicolas 1.
- Evaluar el método de beneficio con mayor porcentaje de recuperación, basado en la caracterización física química y mineralógica del material producido en el área Nicolas 1.

El alcance de la investigación se centra en analizar cuál es el mejor método para la recuperación de minerales en el proceso de beneficio, partiendo de la mineralogía. Dentro de los limitantes para realizar este trabajo es el tiempo, debido a que existen varios métodos y parámetros que se pueden analizar para realizar una investigación más detallada.

## 4. Marco Teórico

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, s.f.)

La exploración y explotación de los recursos mineros estará basada en una estrategia de sostenibilidad ambiental pública que priorizará la fiscalización, contraloría, regulación y prevención de la contaminación y remediación ambiental, así como el fomento de la participación social y la veeduría ciudadana. (Ecuador, 2009)

### 4.1. Etapas de la Actividad Minera

Las fases de la actividad minera son: prospección, exploración, explotación, beneficio, fundición, refinación, comercialización y cierre de minas. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2011)

#### 4.1.1. *Prospección*

Consiste en la búsqueda de indicios de áreas mineralizadas. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2011). El inicio de la prospección es la definición de los tipos de minerales se buscan y comprende la exploración de yacimientos, que se hace en base a mapas de distinto tipo, fotografías aéreas, imágenes satelitales, antecedentes mineros, geológicos, geofísicos, geoquímicos, etc. (Banco Central del Ecuador, s.f.)

Los métodos de prospección más utilizados son:

- **Geología**, es el levantamiento o mapeo de la superficie, la identificación de rocas aflorantes, así como fenómenos de alteración en las rocas.
- **Geoquímica**, comprende el análisis químico de las rocas para buscar evidencias de los elementos buscados o de otros que sean indicadores (vectores) de la mineralización.
- **Geofísica**, busca caracterizar las condiciones físicas de las rocas, pues estas pueden ser afectadas o cambiar por efectos de la alteración hidrotermal o la mineralización. (Banco Central del Ecuador, s.f.)

#### 4.1.2. *Exploración*

Consiste en la determinación del tamaño y forma del yacimiento, así como del contenido y calidad del mineral en él existente. La exploración podrá ser inicial o avanzada e incluye también la evaluación económica del yacimiento, su factibilidad técnica y el

diseño de su explotación; (Tribunal Constitucional del Ecuador, 2009) (Asamblea Nacional del Ecuador, 2011)

La exploración incluye también la evaluación económica del yacimiento. Esta fase comprende las siguientes actividades: mapeo geológico; muestreo geoquímico de sedimentos a lo largo de drenajes; muestreo sistemático de suelo y líneas de geofísica; y, muestreo de afloramientos y sondajes. (Banco Central del Ecuador, s.f.)

En otras palabras, la exploración viene a ser la etapa donde se evalúa un yacimiento y sus características, para determinar si su explotación es posible desde el punto de vista geológico, económico, social y ambiental. Toda mina nueva empieza como un proyecto de exploración; sin embargo, la mayoría de los proyectos de exploración no llegarán a convertirse en minas. (Copyright Embajada de Canadá en República Dominicana, 2015)

#### **4.1.3. Explotación**

La explotación comprende el conjunto de operaciones, trabajos y labores mineras destinadas a la preparación y desarrollo del yacimiento y a la extracción y transporte de los minerales; (Asamblea Nacional del Ecuador, 2011). Entre sus principales actividades se encuentran: apertura y/o mejora de vías; instalación de campamentos y equipos de producción; extracción, triturado, transporte, molienda y concentración; construcción y operación de escombreras y depósito de relaves; transporte de concentrados a puerto marítimo; y cierre de la mina. (Banco Central del Ecuador, s.f.)

Para cualquier estudio de investigación metalúrgica, se elige primero que tipo de mineral a estudiar y cuáles son sus acompañantes mineralógicos, su asociación mineralógica y de acuerdo con este estudio se puede elegir un método adecuado para el procesamiento del mineral.

#### **4.1.4. Beneficio o Procesamiento del Mineral**

Consiste en un conjunto de procesos físicos, químicos y/o metalúrgicos a los que se someten los minerales producto de la explotación con el objeto de elevar el contenido útil o ley de los mismos. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2011). El beneficio de los minerales consiste en el proceso de lavado, trituración, molienda, homogenización, clasificación y concentración. (Servicio Geológico Mexicano, 2017)

#### **4.1.4.1. Lavado.**

Se elimina el lodo y material orgánico presente en los materiales a procesar

#### **4.1.4.2. Trituración o Chancado.**

El objetivo es disminuir del tamaño de los trozos de roca provenientes de la mina. En esta etapa ingresan las rocas grandes que provienen directamente de la mina. El objeto es la reducción de tamaño hasta pocos milímetros, que no se debe realizar directamente en molino por la poca eficiencia que implica alimentar rocas grandes en la molienda. (Villacís, 2009)

#### **4.1.4.3. Molienda.**

El objetivo es esta etapa es la reducción del tamaño de partículas relativamente gruesas dejadas por la trituración. A esta etapa ingresa el mineral procesado de la trituración. En la molienda se separan o liberan las especies metálicas de valor, fenómeno indispensable previo a la concentración. A la salida del molino no todo el mineral alcanza el tamaño requerido en la concentración por eso es necesario la clasificación, que recircula la fracción gruesa a la molienda mientras la fracción de menor tamaño avanza en su procesamiento. (Villacís, 2009)

#### **4.1.4.4. Homogenización.**

Mezcla de la molienda para compensar las variaciones de la granulometría y composición química. (Servicio Geológico Mexicano, 2017)

#### **4.1.4.5. Clasificación.**

Separación de una mezcla en dos o más fracciones en base al tamaño. (Servicio Geológico Mexicano, 2017)

#### **4.1.4.6. Concentración.**

Es la separación del mineral o metal útil de la ganga. La concentración de minerales es la operación en la cual se eleva el tenor o concentración (en porcentaje) de una mena o mineral determinado, mediante el uso de equipos de separación sólido-sólido produciéndose así la segregación de dos o más especies mineralógicas y generar una corriente enriquecida en un mineral de interés. (Oswaldo Bustamante, 2008).

##### **4.1.4.6.1. Concentración Gravimétrica.**

La concentración gravimétrica es un proceso de separación que aprovecha la diferencia de peso específico entre el mineral valioso (en el caso del oro es de 19,3) y la

ganga a fin de obtener materiales de valor. El proceso se basa en la diferencia de peso específico entre los minerales a separar, los cuales, conjugados con la acción de fuerzas hidráulicas, fricción y gravedad, mantienen un comportamiento distinto en las partículas de mineral valioso y la ganga, manteniendo las partículas ligeramente alejadas unas de otras para que puedan moverse con facilidad y separarse en capas de mineral valioso y ganga. Es así que mientras mayor es la diferencia de peso específico entre los metales útiles, mayor será la efectividad de separación. (Velín, 2014)

Sin embargo, para que exista una separación eficiente es necesario que exista realmente una liberación de las especies útiles de la ganga ya que, si la ganga aún está asociada al mineral de valor, el peso específico del mineral útil será disminuido. (Velín, 2014)

Este tipo de concentración de minerales constituye una alternativa sencilla, libre del uso de reactivos contaminantes, de alta eficiencia y de bajo costo, por lo que es muy utilizado en minerales de baja ley, especialmente con material aluvial y como tratamiento previo a la cianuración. Depende de la presencia de oro libre, la asociación de sulfuros, asociación con silicatos y ganga y el tamaño de partícula. El oro libre, por su naturaleza se recuperará en bajas cantidades, pero como concentrado de alta ley. (Velín, 2014)

#### **4.1.4.6.2. Flotación.**

La flotación de minerales es un proceso físico-químico que consiste en la separación o concentración de minerales y otras especies químicas, donde se aprovecha las propiedades hidrofóbicas e hidrofílicas de las partículas sólidas o minerales, en medios acuosos y apoyada por inyección de burbujas de agua. (Global, Multi-Cloud Database, s.f.)

La etapa de flotación es aplicada después de las etapas de reducción de tamaño, donde se obtendrán minerales con un tamaño adecuado para su correcta liberación y separación (Concentración de minerales). Al finalizar este proceso de procesamiento de minerales se van a obtener dos productos, uno de ellos es el concentrado o producto enriquecido que contiene al metal de importancia, y el otro producto representa a todos los elementos pobres, no valiosos o que no son de interés conocido como relave. (Global, Multi-Cloud Database, s.f.)

##### **4.1.4.6.2.1. Fundamentos de flotación de minerales.**

La flotación de minerales depende del proceso de adhesión de la partícula sólida (mineral) a la burbuja de gas (o burbuja de aire) dentro de la celda de flotación, y a su vez

esta viene determinada por la propiedad hidrofóbica o hidrofílica en la superficie de la partícula, estas son las propiedades superficiales de las partículas. Ver figura 1.

En este proceso se dan una serie de reacciones de tipo físico-químicas en las interfases de los diferentes estados en las que se encuentran las diferentes especies mineralógicas o partículas minerales, el medio acuoso y el componente gaseoso. Estas reacciones se pueden influenciar con el uso de sustancias químicas (reactivos químicos). (Global, Multi-Cloud Database, s.f.)

En los procesos de flotación generalmente se acude a la propiedad hidrofóbica de la partícula para que estas partículas puedan salir al exterior de la celda. En caso de que las partículas no tengan tal propiedad, se puede recurrir a ciertos reactivos químicos como los colectores para adaptarla al proceso. (Global, Multi-Cloud Database, s.f.)

La gran mayoría de minerales no poseen una propiedad superficial hidrofóbica por lo que se les debe inducir a través de la adición de reactivos tensoactivos, de esta manera se provoca una reducción de la tensión superficial en la interfase solido-agua y permite que los minerales se adhieran a la burbuja que ascenderá a la superficie, para posteriormente ser removida por rebalse en la superficie de la celda. (Global, Multi-Cloud Database, s.f.)

Por otro lado, aquellos minerales con propiedad superficial hidrofílica permanecen en el medio acuoso donde crea enlaces superficiales con los grupos iónicos del agua por lo que irán a depositarse en la parte inferior de la celda de flotación, a este proceso físico-químico se le conoce como adsorción de agua. (Global, Multi-Cloud Database, s.f.)

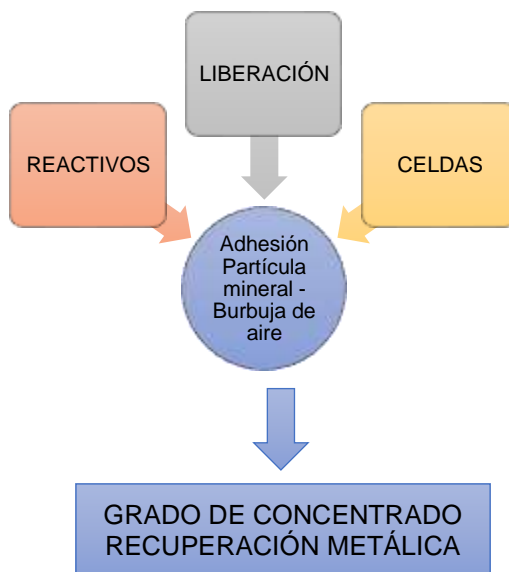
Estos procesos físico-químicos que se dan en la flotación de minerales se dan en diferentes interfases. (Global, Multi-Cloud Database, s.f.)

- Solido/liquido
- Liquido/gas
- Solido/gas

Para mayor comprensión en la figura 1 se muestra resumido el principio de la flotación.

**Figura 1**

*Principio fundamental de la flotación*



*Nota:* obtenido de: (Colqui, 2017)

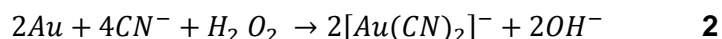
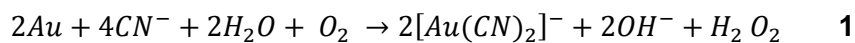
#### **4.1.4.6.3 Cianuración.**

La cianuración es un proceso electroquímico de disolución de oro y otros componentes presentes en el mineral mediante el uso de soluciones alcalinas de cianuro, donde se combina la oxidación de oro y la acción de las sales de cianuro para convertirlos en complejos cianurados estables en soluciones acuosas. (Velín, 2014)

La cianuración del oro es un sistema complejo debido al hecho que partículas de oro que se producen como aleaciones o compuestos que están incrustadas en un mineral matriz y la interacción galvánica puede tener lugar entre las fases. (Velín, 2014)

Las sales de cianuro son el agente formador de complejos que permite mantener la especie oxidada en solución, éstas son más eficientes y selectivos en la recuperación de oro y plata, poseen bajo costo y alta estabilidad de los complejos en comparación con los que se pueden formar con otras especies. (Velín, 2014)

Este proceso implica una serie de reacciones que ocurren en la superficie del sólido, por lo que se afirma que el principio básico de la cianuración es un medio donde las soluciones alcalinas débiles tienen una acción directa preferencial sobre el oro contenido en el mineral y conduce a las siguientes reacciones. (Velín, 2014)



Durante el proceso el oro se oxida y forma el ion dicianuroauroso  $[Au(CN)_2]^-$ , este ion presenta una gran estabilidad permaneciendo en la solución cuando la concentración de cianuro libre es cero. La oxidación de oro elemental se produce gracias a la acción del oxígeno que es el agente oxidante más empleado en la lixiviación del oro por su potencial de oxidación y facilidad de obtención a partir del aire. En la ecuación [1], el oxígeno al reducirse produce la reacción catódica y el peróxido de hidrogeno es descompuesto. La ecuación [2] representa la reacción anódica propuesta por Elsner, misma que describe disolución de oro. (Velín, 2014)

#### **4.1.5. Transformación**

Es la modificación mecánica o química del mineral extraído y beneficiado a través de un proceso industrial, después del cual resulta un producto diferente y no identificable con el mineral en su estado natural. (Servicio Geológico Mexicano, 2017)

- **Hidrometalurgia.** Recuperación de los metales de sus menas o de sus concentrados, disolviéndolos mediante algún reactivo para luego precipitarlo (lixiviación).
- **Pirometalurgia.** Se utiliza calor para la obtención de los metales (tostación, calcinación, coquización, fundición, cocción, secado, refinación, etc.).
- **Biometalurgia.** Obtención del metal mediante un proceso confiado a la acción de bacterias.
- **Electrometalurgia.** Trata la extracción y refinación de los metales por el uso de la corriente eléctrica (proceso electrolítico o electrólisis). (Servicio Geológico Mexicano, 2017)

#### **4.2.1. Fundición y tostación**

La fundición consiste en el proceso de fusión de minerales, concentrados o precipitados de éstos, con el objeto de separar el producto metálico que se desea obtener, de otros minerales que los acompañan. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2011)

Son procesos pirometalúrgicos cuyas aplicaciones se recomiendan en el caso de metales de alta ley tales como concentrados diversos. En el caso de la **tostación** este se considera un proceso previo, es decir que se trata de un pretratamiento a efectos de que el mineral o concentrado se vuelva dócil a algún proceso de ataque químico con reactivos



convencionales. En la **fundición** los metales son colectados por fusión debido a altas temperaturas, siendo así que se concentra en el fondo del recipiente que los contiene, usualmente un crisol. Además, la fundición en pequeña escala se realiza al oro físico obtenido por diversos procesos lo que permite un afino, pero además permite homogenizar el material como aleación, del oro y sus impurezas. (AMALAR, s.f.)

#### **4.1.7. Refinación**

Consiste en el proceso destinado a convertir los productos metálicos en metales de alta pureza. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2011)

#### **4.1.8. Comercialización**

Consiste en la compraventa de minerales o la celebración de otros contratos que tengan por objeto la negociación de cualquier producto resultante de la actividad minera. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2011)

#### **4.1.9. Cierre de Minas**

Consiste en el término de las actividades mineras y el consiguiente desmantelamiento de las instalaciones utilizadas en cualquiera de las fases referidas previamente, si no fueren de interés público, incluyendo la reparación ambiental de acuerdo al plan de cierre debidamente aprobado por la autoridad ambiental competente. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2011)

El Estado propenderá a la industrialización de los minerales producto de las actividades de explotación, promocionando la incorporación del valor agregado con máxima eficiencia, respetando los límites biofísicos de la naturaleza. En todas las fases de la actividad minera, está implícita la obligación de la reparación y remediación ambiental de conformidad a la Constitución de la República del Ecuador, la ley y sus reglamentos. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2011)

## **4.2. Caracterización Mineralógica de Minerales Auríferos**

El estudio de caracterización es un conjunto de técnicas empleadas para conocer la mineralogía de una muestra y poder identificar minerales de interés económico, de ganga, penalizantes, etc., así como determinar grados de liberación y asociaciones de los mismos. (Jimenez, 2018)

El conocimiento de las propiedades físicas y químicas de los minerales resulta de vital importancia para determinar su génesis, y sus aplicaciones tecnológicas. Se hace uso de técnicas de caracterización de avanzada como: difracción de rayos x, fluorescencia de rayos x, microscopía electrónica de barrido, espectrofotometría de absorción atómica y análisis térmico, además, de determinaciones analíticas como: volumetría, gravimetría y espectrofotometría ultravioleta y visible. También se usan técnicas preliminares como la inspección visual y reconocimiento de características susceptibles al tacto o sentidos, es decir, determinaciones con capacidades sensoriales, con el fin de reconocer el comportamiento del mineral, su morfología, relaciones de elementos y especies mineralógicas constituyentes, así como su comportamiento a altas temperaturas, transformaciones y degradación, para generar con certeza, las metodologías y procedimientos experimentales que darán vía al posible uso alternativo de cada mineral en estudio. (Vera, s.f.)

El aporte de la mineralogía es fundamental en los estudios mineros modernos. Su importancia en la caracterización de depósitos y en lo que se ha denominado mineralogía de procesos ha tomado fuerza en los últimos años debido a sus múltiples aplicaciones en el procesamiento mineral. En el campo del procesamiento de minerales auríferos constituye una herramienta útil en la definición y evaluación de procesos de beneficio que complementa los análisis químicos convencionales, ya que los análisis químicos por si solos no permiten identificar totalmente las causas por las cuales se presentan dificultades durante el beneficio de minerales ni pueden evitar la realización de operaciones innecesarias que representan costos elevados. Los análisis mineralógicos suministran información sobre las especies minerales y sus características. Con ello se facilita interpretar los resultados de las pruebas metalúrgicas y establecer las posibles causas de las dificultades en estos procesos. (Mojica y otros, 2010)

#### **4.2.1. Técnicas de Caracterización Mineralógica**

Dentro de las técnicas mineralógicas tenemos: la microscopía óptica, petrografía, difracción de rayos x, separación gravimétrica por medios densos y magnética.

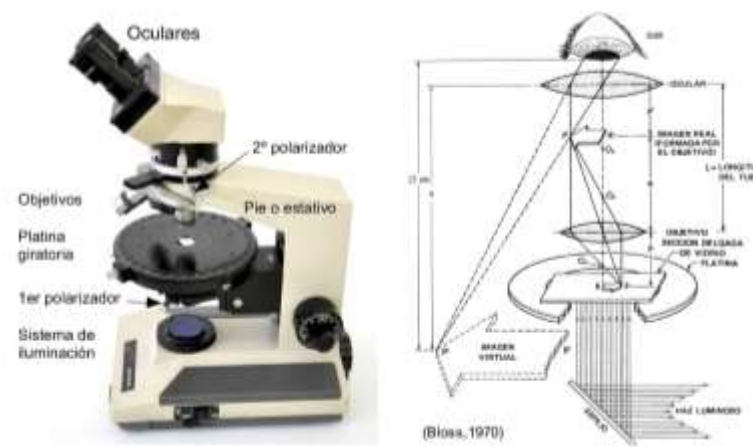
##### **4.2.1.1. Microscopía Óptica.**

La observación microscópica es la técnica aceptada para identificar, describir y clasificar las rocas y minerales. Para ello es necesario elaborar secciones de roca muy delgadas para aprovechar las propiedades ópticas de los minerales de transmisión y reflexión de luz. La microscopía óptica permite realizar análisis conocidos como petrografía de mena. El microscopio óptico de luz reflejada (figura 2) 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. Con cierta regularidad es necesario hacer concentración de minerales mediante separación gravimétrica y magnética con el fin de facilitar la identificación mineralógica y reducir la cantidad de material que se va a estudiar; de esta forma, se incrementa la posibilidad de encontrar minerales escasos en la naturaleza, como el oro. (Mojica y otros, 2010)

**Figura 2**

*Microscopio petrográfico de luz transmitida y reflejada, con analizador de imágenes acopiado*



*Nota:* Obtenido de Servicio Geológico Mexicano, (2017)

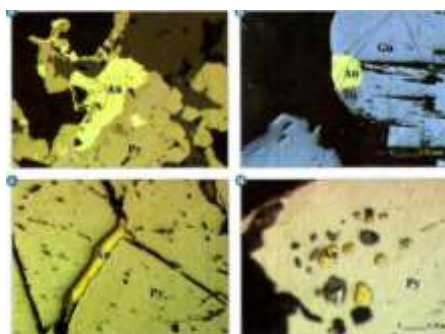
Las **láminas o secciones delgadas** son preparaciones que se realizan en rocas para su estudio con microscopio petrográfico, y que consisten en rodajas de la roca de un espesor de unas 30  $\mu\text{m}$  que se adhieren a láminas de vidrio mediante resina epoxi, para posteriormente ser recubiertas con un cubreobjetos. El objetivo de preparar una lámina delgada dejándola a 30  $\mu\text{m}$  es para permitir que la luz la atraviese. El microscopio petrográfico posee un polarizador que convierte la luz que emite en luz polarizada, un analizador, que es una lente que polariza la luz perpendicularmente al polarizador. Las observaciones se pueden realizar con el analizador activado o sin él. Cuando se observa una lámina delgada al microscopio la luz atraviesa el polarizador y una vez polarizada atraviesa la lámina delgada y llega al analizador (si está activado) y luego al observador. A partir de la observación, con y sin analizador, de las distintas propiedades de los minerales en láminas delgadas, se puede conseguir su identificación. (Escuela Politécnica Nacional, s.f.)

Con información obtenida mediante esta técnica, aplicada al procesamiento de minerales, es posible establecer:

- a. **Composición mineralógica de la mena.** El aspecto primordial en el estudio de depósitos es el conocimiento de los minerales que conforman la mineralización y la proporción entre cada uno de ellos, en especial de aquellos que pueden interferir en los procesos de beneficio. (Mojica y otros, 2010)
- b. **Ocurrencia del oro.** La forma como ocurre el oro en los depósitos (figura 3) determina algunos de los factores que inciden en la refractariedad de la mena cuyas características permiten definir el proceso de beneficio que debe emplearse. (Mojica y otros, 2010)

**Figura 3**

*Diferentes tipos de muestras de oro*

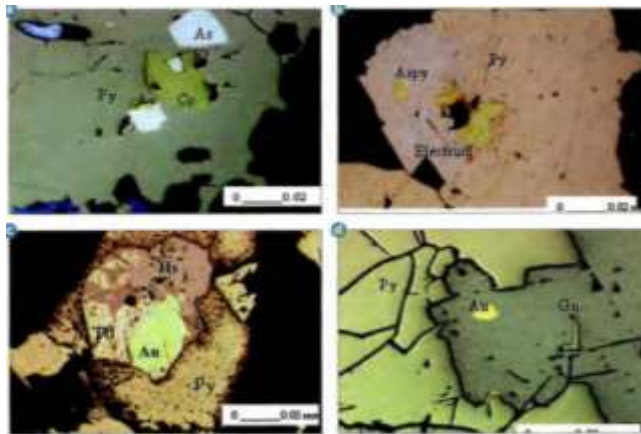


*Nota:* Obtenido de Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas aurífera, (2010)

- c. **Distribución de tamaño del grano del oro.** El conteo sucesivo de los granos de oro, sus dimensiones y su asociación a otros minerales permite caracterizar la ocurrencia de oro en el depósito e indica la recuperación esperada. (Mojica y otros, 2010)
- d. **Asociaciones minerales.** La determinación precisa de minerales huésped del oro es primordial, ya que de ello depende el manejo de materiales durante los procesos de trituración, molienda y concentración, lo mismo que las reacciones que tengan lugar durante la lixiviación del oro (ver figura 4). Algunos minerales incrementan la refractariedad, como los generadores de ácidos o consumidores de cianuro y oxígeno, entre los cuales se pueden mencionar arsenopirita, pirrotina y telururos de oro y plata. (Mojica y otros, 2010)

**Figura 4**

*Oro electrum asociado a minerales consumidores de cianuro y oxígeno*



*Nota:* Obtenido de Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas aurífera, (2010)

#### **e. Relaciones texturales y secuencias de depositación.**

La relación intergranular entre los minerales que conforman la mena y las texturas que presentan, indica las condiciones de formación del depósito y las secuencias de depositación de minerales. Estas mismas características intervienen en el comportamiento de los procesos de preparación de la pulpa para la cianuración y, eventualmente, inciden como factor de refractariedad física; por ejemplo, el encapsulamiento, la distribución granulométrica y el grado de liberación. (Mojica y otros, 2010)

#### **f. Alteraciones minerales.**

En geología, la **alteración de los minerales** es el conjunto de las modificaciones de las propiedades fisicoquímicas de los minerales y, por lo tanto, de las rocas, por reacciones abióticas —agentes atmosféricos en el origen de la alteración meteorológica o meteorización, aguas subterráneas responsable de la alteración del subsuelo, aguas termales en el origen de la alteración hidrotermal— o bióticas —raíces de plantas involucradas en la microdivisión, comunidades microbianas telúricas específicas: cianobacterias, micro hongos, arqueobacterias, que colonizaron las rocas y los minerales en la Tierra durante miles de millones de año. (Wikipedia, 2022)

#### **4.2.1.2. Petrografía.**

El estudio de los minerales y rocas mediante el microscopio de luz polarizada es una de las técnicas más ampliamente utilizada por los geólogos, ya que no solo permite

reconocer y cuantificar la composición mineralógica de una muestra, sino también establecer sus características texturales, y por consiguiente inferir su ámbito genético. Aunque es una técnica aplicable a cualquier tipo de material, adquiere especial relevancia en muestras donde los constituyentes mineralógicos son de pequeño tamaño, y en consecuencia difíciles de reconocer a simple vista o con la ayuda de una lupa de bolsillo. El análisis petrográfico de una muestra, de mineral o roca, se sustenta en tres pilares básicos: el microscopio de luz polarizada, las láminas delgadas y las propiedades ópticas de los minerales. (Pozo M. , El papel de la caracterización mineralógica y geoquímica en el estudio de las culturas antiguas: ejemplos de excavaciones españolas en oriente, 2019)

El Microscopio petrográfico es un instrumento óptico que permite ampliar la resolución y el campo visual hasta mil veces si se desea (Mojica y otros, 2010), el microscopio petrográfico es en muchos aspectos similar al microscopio convencional denominado biológico. La diferencia más notable es el empleo de luz polarizada para el estudio óptico de los minerales. En un haz de luz normal, no polarizado, las ondas vibran en muchas direcciones diferentes. Sin embargo, es posible filtrar o alterar un haz de luz para hacer que todas las ondas vibren en una dirección paralela a un plano determinado. La luz, se dice entonces que esta polarizada. El empleo de los dos polarizadores orientados con una diferencia de  $90^\circ$  y la presencia entre ambos de materia cristalina es el fundamento del estudio óptico de los minerales mediante el microscopio petrográfico. (Pozo M. , El papel de la caracterización mineralógica y geoquímica en el estudio de las culturas antiguas: ejemplos de excavaciones españolas en oriente, 2019)

El estudio, identificación y clasificación de minerales y rocas con el microscopio petrográfico se realiza habitualmente en láminas delgadas. En una lámina delgada la muestra original se ha adelgazado hasta alcanzar un grosor de 0,03 mm (30  $\mu\text{m}$ ), valor éste que está estandarizado para toda lámina delgada de mineral o roca. Las propiedades ópticas de los minerales sirven como criterio para su identificación, diferenciándose minerales opacos y no opacos, y dentro de los segundos minerales isótropos y anisótropos (uniáxicos y biáxicos). (Pozo M. , El papel de la caracterización mineralógica y geoquímica en el estudio de las culturas antiguas: ejemplos de excavaciones españolas en oriente, 2019)

Como complemento del estudio petrográfico se emplea con frecuencia la microscopía electrónica de barrido (SEM en inglés). Un haz de electrones sustituye a la luz permitiendo observaciones con mayor resolución a elevados aumentos. Además, incorpora un sistema de análisis puntual que permite conocer la composición química de

los constituyentes de la muestra. El pequeño tamaño de las muestras que se pueden examinar la convierte en una técnica idónea en materiales arqueológicos y relacionados con el arte. (Pozo M. , El papel de la caracterización mineralógica y geoquímica en el estudio de las culturas antiguas: ejemplos de excavaciones españolas en oriente, 2019)

#### **4.2.1.3. Difractometría de Rayos x.**

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). Sin embargo, su mayor utilidad está en servir como herramienta de investigación para determinar parámetros cristalográficos en la identificación y el análisis de compuestos sólidos. (Figura 5)

Con la difractometría de rayos X es posible identificar los minerales de mena asociados y los minerales finogranulares de alteración hidrotermal en depósitos auríferos. (Mojica y otros, 2010)

**Figura 5**

*Difractómetro de rayos x*



*Nota:* Obtenido de Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas aurífera, 2010

#### **4.2.2. Caracterización Física de Minerales.**

##### **4.2.2.1. Caracterización Física.**

La primera fase es una identificación de las **características físicas** de la muestra de mineral dentro de ellas tenemos:

**A. Color.** Es una de las principales propiedades ya que es la más fácilmente observable. Sirve como un criterio distintivo ya que muchos minerales poseen un color característico; a los que tienen color constante se les llaman idiocromáticos, y a los que tienen colores que varían mucho se les llaman alcromáticos, en el caso de esos últimos las variaciones se deben a la presencia de pigmentos, inclusiones y otras impurezas. (Sistema de Geológico Mexicano, 2017)

**B. Porosidad.** La porosidad se define como el volumen de espacios vacíos en el volumen total de la roca, y se estima en %. La porosidad puede ser primaria (deposicional o predeposicional) o secundaria (diagenética). Para caracterizar petrográficamente la porosidad se emplean resinas coloreadas por pigmentos, normalmente de azul (azul de metileno), que son introducidas en el sistema poroso de los componentes, sedimentos o rocas. (Unversidad de Alicante, 2019)

#### 4.2.2.2. Densidad del mineral.

La densidad de los minerales se define como la masa que tiene una unidad de volumen de una determinada cantidad de masa, en este caso de mineral. La fórmula para obtener la densidad es igual a la masa de un objeto entre el volumen que desplazó dicha masa. (Avellaneda, 2018)

$$p = \frac{m}{v}$$

**Tabla 1**

*Densidades de algunos minerales*

| <b>Mineral</b>   | <b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b> |
|--|------------------------------------|
| Oro (Au)   | 19.3                               |
| Galena (PbS)   | 7.6                                |
| Pirita (FeS <sub>2</sub> )                             | 5.2                                |
| Olivino (Mg, Fe) <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ]      | 3.2 -4.4                           |
| Calcita (CaCO <sub>3</sub> )                           | 2.7                                |
| K-feldespato<br>[K(AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )] | 2.6                                |
| Cuarzo (SiO <sub>2</sub> )                             | 2.6                                |
| Halita (NaCl)  | 2.2                                |

*Nota:* Obtenido de Avellaneda, (2018)

La densidad de una roca depende tanto de su composición mineral como de su porosidad. La densidad generalmente aumenta a medida que disminuye la acidez; por lo



tanto, hay una progresión de aumento de densidad desde el ácido a los tipos de rocas ígneas básicas a ígneas ultrabásicas. (GEOLOGIAWEB, s.f.)

#### **4.2.3. Caracterización Química.**

La caracterización química en el proceso de extracción de un mineral sirve como herramienta para:

- Estudios de explotación y exploración minera.
- Caracterización química de materiales auríferos.
- Seguimiento y control de procesos metalúrgicos.

En el análisis de minerales es importante identificar y cuantificar las especies químicas presentes. Los elementos que se encuentra asociados al oro y plata (generalmente son: Fe, Zn, Pb; Cu, Ag, S y As). Debido a que los procesos metalúrgicos extractivos requieren del manejo de pulpas, es necesario determinar algunas características fisicoquímicas del mineral tales como: Densidad, nivel de acidez, tipo de sales solubles, velocidad de sedimentación, viscosidad de pulpa y porcentaje de retención de líquidos. Melgarejo (2010) presentan una síntesis de las técnicas analíticas más utilizadas en la caracterización mineral y su aplicación a la exploración y explotación minera. En su investigación hace una clasificación en 2 grupos, el primero incluye las técnicas de mayor uso, llamadas técnicas convencionales y el segundo grupo abarca técnicas menos accesibles. (Avellaneda, 2018), (Melgarejo y otros, 2010)

##### **4.2.2.1. Potencial de Hidrógeno (pH).**

Según la clasificación de los rangos de pH de los suelos del Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos, los relaves entre superficie y los 0.5 m corresponden a “ultra ácidos - extremadamente ácidos”, de los 0.50 m a 1.0 de profundidad a “fuertemente ácidos - ligeramente ácidos” y para aquellos de mayor profundidad a “neutros - muy fuertemente alcalinos”. (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 2022).

##### **4.2.2.2. Ensayo al Fuego.**

Es un método analítico que consiste en fundir a la muestra usando reactivos adecuados para obtener dos fases líquidas: una escoria constituida principalmente por silicatos complejos y una fase metálica constituida por plomo, el cual colecta el oro (Au); que posteriormente será sometidos a Análisis Químico. (Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador, s.f.)

## 5. Metodología

### 5.1. Características Físico-geográficas del Área en Estudio

#### 5.1.1. Ubicación y Acceso

La concesión minera Nicolás 1 se encuentra ubicada en la parroquia Carmen de Pijilí, a 1200 m.s.n.m, a 27 km al este-noreste de la capital del cantón Camilo Ponce Enríquez, mismo que se encuentra ubicado en la provincia del Azuay aproximadamente a 200km al suroeste de la Ciudad de Cuenca, es decir situada al Oeste de la provincia (ver figura 6). La concesión minera Nicolás 1 se encuentra en las coordenadas que se detalla en la tabla 2.

**Tabla 2**

*Coordenadas del área Nicolás 1 en PSAD\_56 y WGS\_84*

| PUNTO      | DATUM PSAD-56 17S |         | DATUM WGS-84 17S |           |
|------------|-------------------|---------|------------------|-----------|
|            | X                 | Y       | X                | Y         |
| <b>PP</b>  | 659000            | 9676400 | 658748.59        | 9676035.4 |
| <b>P1</b>  | 659500            | 9676400 | 659248.59        | 9676035.4 |
| <b>P2</b>  | 659500            | 9676100 | 659248.59        | 9675735.4 |
| <b>P3</b>  | 659800            | 9676100 | 659548.59        | 9675735.4 |
| <b>P4</b>  | 659800            | 9675600 | 659548.59        | 9675235.4 |
| <b>P5</b>  | 660000            | 9675600 | 659748.59        | 9675235.4 |
| <b>P6</b>  | 660000            | 9675100 | 659748.59        | 9674735.4 |
| <b>P7</b>  | 659300            | 9675100 | 659048.59        | 9674735.4 |
| <b>P8</b>  | 659300            | 9675200 | 659048.59        | 9674835.4 |
| <b>P9</b>  | 659100            | 9675200 | 658848.59        | 9674835.4 |
| <b>P10</b> | 659100            | 9675400 | 658848.59        | 9675035.4 |
| <b>P11</b> | 659000            | 9675400 | 658748.59        | 9675035.4 |

Nota: Elaborado por El Autor, (2023)

El acceso a la zona de estudio es mediante vías de primer orden, desde la ciudad de Quito se avanza hacia la vía Alóag-Santo Domingo, hasta la ciudad de Santo Domingo, seguida de la Troncal a la Costa, hasta el sector de San Carlos (Balao). Posteriormente se toma una vía de segundo orden hasta llegar al sector de San José, luego se toma una vía de tercer orden hasta llegar a la mina “Nicolás 1”. En la figura 7 se muestra el ingreso a área minera “Nicolás 1” desde San Carlos hasta la concesión minera en estudio.

Figura 6

Mapa de ubicación concesión minera "Nicolás 1" código catastral 102826.

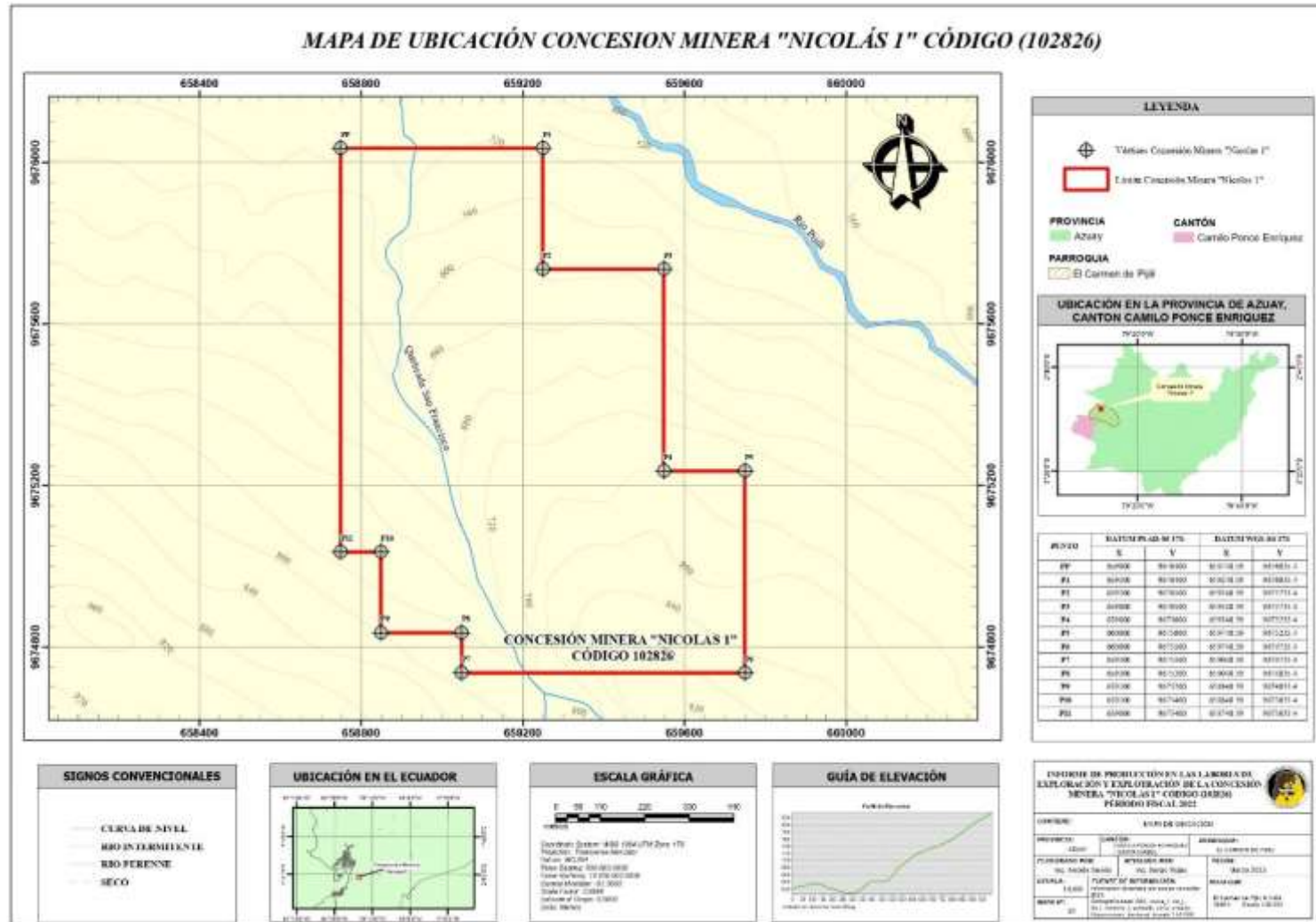
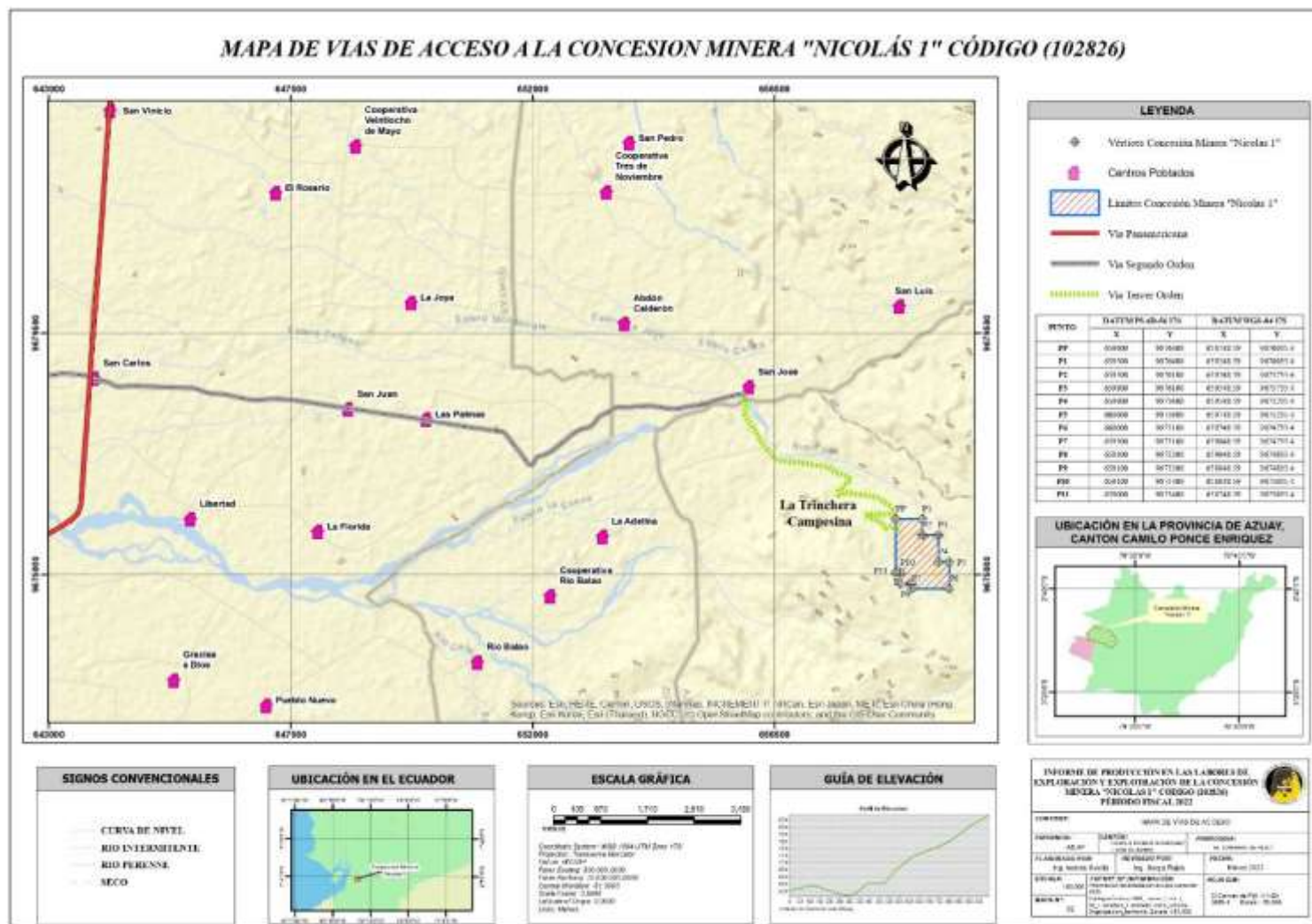


Figura 7.

Mapa de vías de acceso a la concesión minera "Nicolás 1" código 102826



### **5.1.2. Clima**

Por otro lado, de acuerdo con el mapa de isotermas del INAHMI y por las características de altitud y temperatura que presenta la parroquia Carmen de Pijilí, hay una variabilidad en cuanto a la temperatura media anual, en un rango que va desde los 6 a 8°C en la zona alta hasta los 24 a 26 grados en la zona baja. (PDOT, El Carmen de Pijilí, 2012). (GAD Parroquial Rural. El Carmen de Pijilí, 2019 - 2023)

### **5.1.3. Geomorfología**

La altitud del territorio oscila entre los 108 m.s.n.m de las partes más bajas hasta los 3672 m.s.n.m en la parte más alta de la parroquia, según la topografía 1:50000 del Instituto Geográfico Militar (IGM). A pesar de su relieve montañoso no se encuentran mesetas ni altiplanos. Las pendientes van desde 0 a 5% en las planicies de la parte baja del territorio hasta pendientes superiores al 50% en las escarpadas alineaciones montañosas que se reparten por el territorio.

En cuanto a la geomorfología la zona de estudio se caracteriza por presentar geoformas en la parte este del área, representadas por la predominancia de un relieve volcánico montañoso y escarpado con pendientes de 60-75%, relieve volcánico colinado alto con pendientes de 30-75%, relieve volcánico con pendientes de 15-30% y un relieve colinado con pendientes de 8-15%. Las geoformas están representadas por las vertientes abruptas con pendientes de 30-60%, vertientes irregulares con pendientes de 3-15% y las terrazas bajas se caracterizan por tener pendientes bajas 8-15%. (Núñez, 2018)

### **5.1.4. Hidrología**

La zona de estudio forma parte de la cuenca hidrográfica del río Balao. Los principales ríos que recorren el área de estudio son La Florida, Aguas Ricas y Pijilí, los cuales descargan sus aguas en el río Balao y posteriormente en el Océano Pacífico. En la zona existen dos microcuencas: la microcuenca del Río Florida y del Río Agua Rica. Microcuenca del Río Florida: Sus afluentes principales provienen de las estribaciones del Cerro Patahuasí, estos son la Quebrada Florida (que da nombre al río), al que se une la Quebrada Tinte Pungo por el norte, la Quebrada San Juan y el Río El Chorro por el sureste, y varias quebradas intermitentes. (Núñez, 2018)

**Microcuenca del Río Agua Rica:** Sus afluentes principales, las quebradas Pie de Escaleras y Jesús María nacen en las estribaciones del Pico Panecillo y el Monte Escaleras, los cuales se unen al Agua Rica desde el sur formando el río del mismo nombre. El río Pijilí es resultado de la confluencia de los ríos Agua Rica y Florida provenientes de

las zonas altas. La unión es a la altura de la población del Carmen de Pijilí. Se observaron cerca de una veintena de quebradas, y son tres las quebradas más importantes, la Quebrada San Marcos y San Francisco (desde el sur); y Quebrada Rosa de Oro (fluye desde el norte). (Núñez, 2018)

#### **5.1.5. Hidrografía**

El río La Jagua, el río Balao Grande y el río Gala drenan el área al oeste hacia el Océano Pacífico. La parroquia tiene una superficie de 370,52 km<sup>2</sup>. (GAD Parroquial Rural. El Carmen de Pijilí, 2019 - 2023).

#### **5.1.6. Geología Regional**

**Unidad Pallatanga (KPa)**, forma un cinturón bordeado por fallas a lo largo de las estribaciones orientales de la Cordillera Occidental. La secuencia consiste principalmente de lavas basálticas en almohadillas, doleritas y pillow lavas, con afinidades geoquímicas de plateau oceánico y probablemente fueron parte del Plateau Oceánico del Caribe. Esta mejor expuesta en el valle de Chanchan al oeste de Huigra y en la ruta de Pallatanga-Alausí. Hacia el este se encuentra en contacto fallado con rocas metamórficas a lo largo de la Falla Bulubulu y al oeste contra el Grupo Angamarca y la Unidad Yunguilla a lo largo de la Falla Multitud. Existen zonas de intensa cizalla y en algunos lugares los basaltos están tectónicamente intercalados con otras unidades. (Núñez, 2018)

**Grupo Saraguro (E-Ms)**, forma secuencia de rocas volcánicas subaéreas, calcoalcalinas, intermedias a ácidas, de edad Eoceno Medio Tardío a Mioceno Temprano. El grupo está en contacto discordante o fallado con la Unidad Pallatanga y rocas metamórficas. Predominan composiciones andesíticas a dacíticas, pero son comunes rocas riolíticas. Estas rocas han sido metamorfizadas y alteradas por el batolito de Chaucha. (Núñez, 2018)

**Rocas intrusivas.** El Batolito de Chaucha aflora alrededor de Chaucha, Naranjal y El Carmen de Pijilí. Consiste principalmente de rocas granodiorita y tonalitas con biotita-hornblenda. Hacia el norte, intrusiones lineales de rocas granodioríticas con biotita-hornblenda se encuentran en el contacto entre la Unidad Pallatanga y las rocas metamórficas. Dioritas con hornblenda de grano medio a grueso, ocurren linealmente al SE de las granodioritas, la mayor de las cuales aflora en Molleturo y se extiende al N hasta el Río Patul. (Núñez, 2018)

**Granodiorita (GGd).** Inicialmente fue cartografiado como parte del Batolito de Chaucha por Pratt y otros. Las granodioritas afloran extensamente a lo largo de las estribaciones occidentales de la cordillera. Los principales afloramientos se localizan al sureste en los poblados de Naranjal, Santa Cruz, El Carmen de Pijilí y Paguancay. Las granodioritas se encuentran intruyendo a las unidades del basamento oceánico y gran parte de las secuencias turbidíticas eocénicas, generando metamorfismo de contacto (IIGE, 2018). La edad propuesta para estas rocas es Mioceno medio-superior. (Núñez, 2018)

**Diorita (DD).** Se presentan como pequeños cuerpos localizados al oeste del poblado El Carmen de Pijilí y en el sector Rosa de Oro. Poseen una textura holocristalina, levemente silicificadas y cloritizadas. Se interpreta que las dioritas se encuentran intruyendo a los basaltos de la Unidad Pallatanga y a las granodioritas, colocándolas en el Mioceno superior como cuerpos más jóvenes. (Núñez, 2018)

## 5.2. Materiales y Equipos

Dentro de los materiales utilizados para el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación se utilizaron diversos materiales y equipos que se detallan en la tabla 3 se pueden apreciar los equipos utilizados para los ensayos de laboratorio.

**Tabla 3**

*Materiales y equipos*

| <b>Materiales y equipos de Gabinete</b>   |   |                   |
|---|---|-------------------|
| Fotografías aéreas, Hoja geológica de Machala, Carta topográfica de Machala, PDOT Cantón Camilo Ponce Enríquez 2014 -2030, Laptop, Software y herramientas tipo GIS(ArcGIS), AutoCAD, Adobe ilustrador, Microsoft Office.   |   |                   |
| <b>Materiales de Campo</b>  |   |                   |
| GPS Garmin, Chaleco Reflectivo, Casco, Gafas, Guantes, Botas, Linterna, Cámara fotográfica.   |   |                   |
| <b>Topográfico</b>  | <b>Geológico</b>  | <b>Geotécnico</b> |
| - Brújula tipo Brunton<br>- GPS   | - Brújula tipo Brunton<br>- Martillo Geológico<br>- Libreta de campo<br>- Lupa de bolsillo 30x<br>- Ácido Clorhídrico al 10%<br>- Fundas Herméticas (ziploc)<br>- Punta<br>- Combo<br>- Marcador<br>- Cinta masking | - Pala            |
| <b>Laboratorio</b>  |   |                   |
| Refractómetro, molino de bolas, máquina cortadora de roca, máquina devastadora, pulidora, disco magnético de diamante, lija, corta objetos, cubreobjetos, estufa, horno, tamices granulométricos, microscopio de luz reflejada y microscopio óptico, balanza semianalítica, pHmetro, calibrador, tamiz, probetas. Ver figura 8. |   |                   |

*Nota:* Elaborado por El Autor, (2023)

**Figura 8**

*Equipos de laboratorio*

Microscopio de Luz polarizada



Máquina cortadora



Pulidora





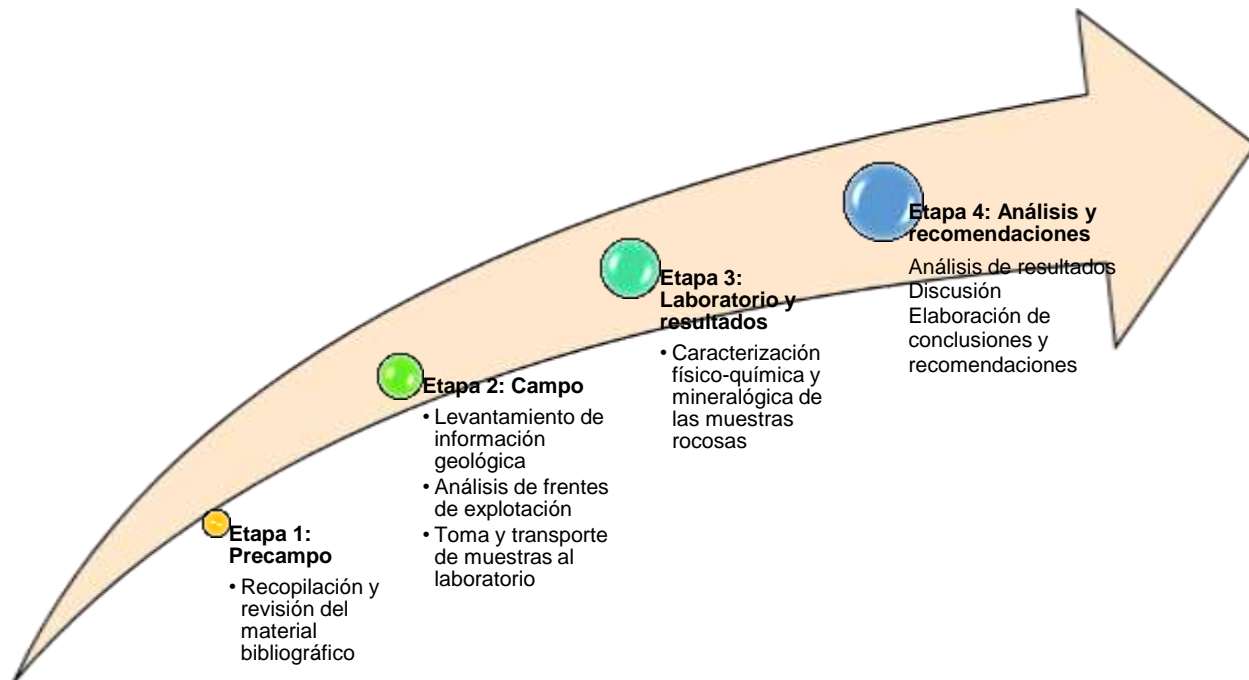
### 5.3. Métodos y técnicas

Para el trabajo denominado “**Caracterización físico-química y mineralógica del material de la concesión minera Nicolas 1 para el mejoramiento del proceso de beneficio, código catastral 102826 cantón Ponce Enríquez, parroquia El Carmen de Pijilí**” se utilizó un conjunto de métodos y técnicas como: Método Científico, Descriptivo, Deductivo, Analítico, de Campo, Experimental, Técnica de Observación; mismos que fueron aplicados conforme al avance de la investigación, para cumplir con los objetivos planteados en este trabajo.

El método descriptivo nos permitió describir las características fisicoquímicas de las rocas e identificar su composición química, mientras que el método experimental permitió manipular una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas, donde, su objetivo es describir de qué modo y por qué causa se produce o puede producirse un fenómeno. Bajo este criterio se estableció un orden cronológico, para dar cumplimiento a los objetivos planteados, como se observa en la figura 9.

**Figura 9**

*Esquema de metodología empleada*



Nota: Elaborado por El Autor, (2023)

### **5.3.1. Metodología Para el Primer Objetivo**

“Identificar la composición química y las características fisicoquímicas del material a procesar en la concesión minera Nicolás 1”.

Para dar cumplimiento a este objetivo se llevaron las muestras al laboratorio petrográfico de la Escuela Politécnica Nacional, laboratorio de la facultad de geología y minas de la Universidad Central del Ecuador, para realizar la caracterización físico-química y mineralógica; al laboratorio GoldenLabs donde se realizó el ensayo de cianuración y flotación. Con la ayuda del método experimental y analítico se logró identificar la composición química y las características fisicoquímicas que presenta el material rocoso proveniente del área minera Nicolás 1.

#### **5.3.1.1 Trabajo de Campo.**

##### **5.3.1.1.1. Observación.**

La observación es una técnica in situ, la cual permitió por medio de la visualización identificar las características macroscópicas de las vetas que se encuentran en explotación el área Nicolás 1.

##### **5.3.1.1.2. Tipos de Muestreo y Selección de Muestras.**

Para la toma de muestras se utilizó el muestreo aleatorio simple, el cual garantiza que todas las vetas en explotación del área minera Nicolás 1, tengan la misma posibilidad de ser incluidas en la muestra. Para realizar el estudio se tomaron 5 muestras de roca de 5 frentes de explotación minera del área Nicolás 1 de forma aleatoria. Para la toma de muestras de mano se utilizó fundas ziploc, mismas que fueron identificadas con un código como se muestra en tabla 4, dicho código está compuesto por las iniciales del nombre del frente de explotación, las iniciales del nombre del recolector, seguidas del número de muestra. El tamaño de cada muestra fue de 2 a 3 Kg para que sea representativo de la población.

**Tabla 4**

*Identificación de muestras*

| <b>COD</b>   | <b>Nombre de la veta</b> |
|--------------|--------------------------|
| VRBON-SR001  | Gold mining              |
| VGMBON-SR002 | Peña Bravo               |
| VPBBO-SR003  | Veta Roja                |
| VBBCN-SR004  | Veta Bosque              |
| VCN - SR005  | Veta Cedillo             |

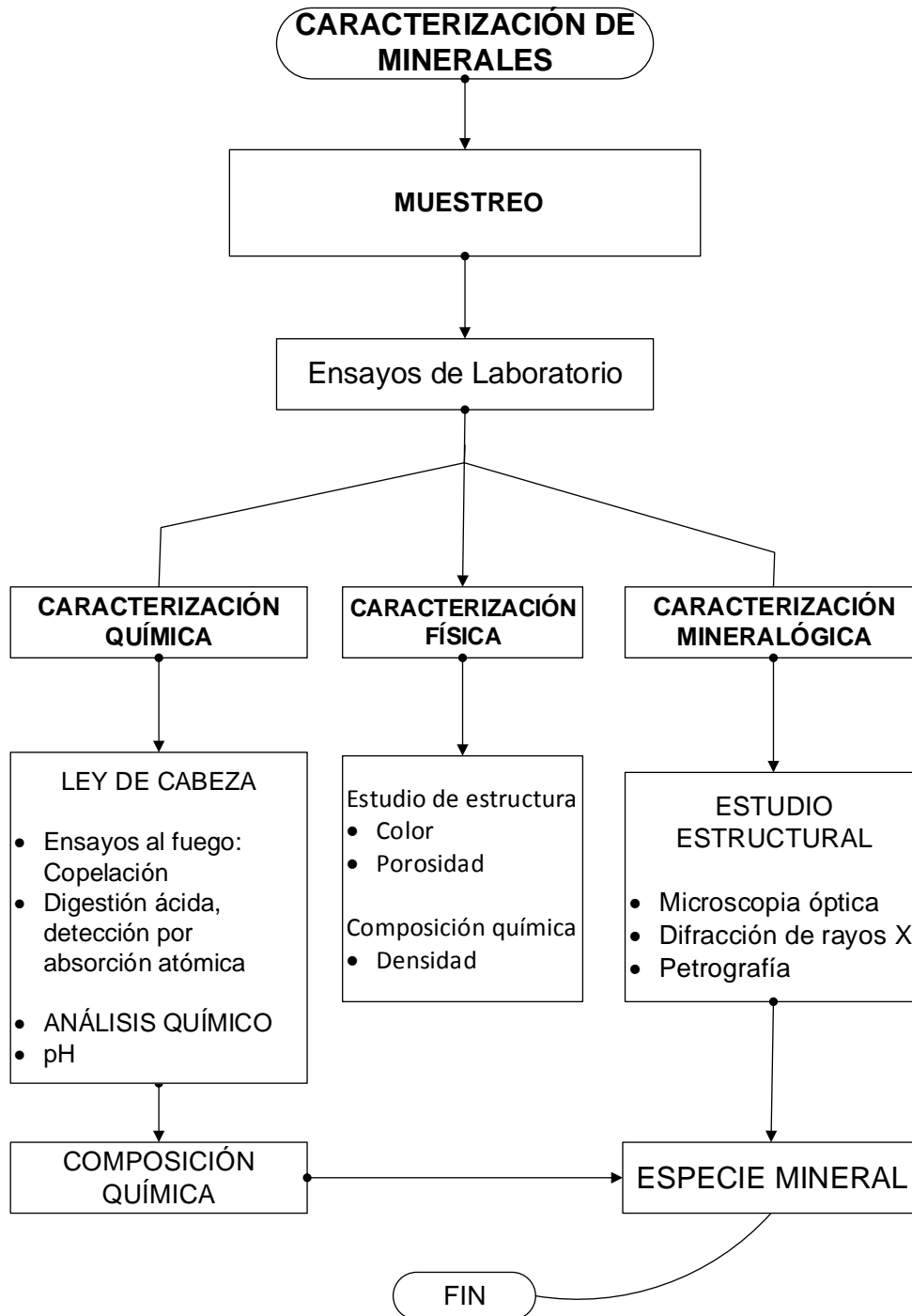
*Nota:* Elaborado por El Autor, (2023)

### 5.3.1.2. Metodología de Laboratorio.

Para cumplir con el primer objetivo de este trabajo se planteó una metodología (Fig. 10) que involucra un análisis fisicoquímico y petrográfico del material extraído de la concesión minera Nicolás 1.

Figura 10

Caracterización de minerales



Nota: Elaborado por El Autor, (2023)

### **5.3.1.2.1. Caracterización Mineralógica.**

#### **5.3.1.2.1.1. Microscopía de Láminas Delgadas.**

Para la toma de las muestras de mano primeramente se identificó que las vetas (VRBON-SR001, VGMBON-SR002, VPBBO-SR003, VBBCN-SR004, VCN1-SR005) de cada frente minero se encuentren frescas, a continuación, se procedió a realizar la toma de muestras de forma perpendicular a la dirección de bandeamiento en forma de canal.

Cada una de las muestras de mano tomadas se colocó en una funda ziploc, mismas fueron identificadas con su código respectivo como se muestran en la tabla 4. Para la preparación de láminas delgadas de cada una de las muestras se seleccionó la parte más representativa (es decir, la parte más mineralizada) y fresca de la roca, a la cual se realiza un corte en forma paralela (chuleta) con un espesor de aproximadamente 1 cm, posteriormente esta sección se cortó en forma rectangular con dimensiones de 27\* 46 mm. A continuación, se procedió a pulir una de las caras con la devastadora usando el disco magnético de diamante de 600, 220 y 100 grits.

Una vez eliminada las huellas del disco de la cara pulida continuamos puliendo con la devastadora con las lijas de carburo de silicio de P800 grits, P1500 y P2500, esta cara pulida debe presentar un acabado brillante uniforme para evitar las burbujas y mantener una horizontalidad de esta cara.

Se procede a pegar la cara pulida con epoxy en una lámina petrográfica pulida y una vez endurecida la muestra se procedió a cortar la cara pulida con un espesor aproximadamente de 1mm. Este procedimiento se lo realiza en una máquina cortadora de láminas delgadas que utiliza un vacío que sujeta el portaobjetos al brazo del vacío mientras es cortado por el disco de borde continuo de diamante.

Una vez cortada se procede a rebajar la muestra hasta un aproximado de 30 micras en la máquina en la pulidora de láminas delgadas, una vez lijada la muestra se procedió a rebajar a mano para brindarle un acabado final a la lámina delgada con los pulimentos de carburo de silicio de 400, 800 y 1200 grits. Una vez alcanzado el espesor deseado se procedió a cubrir la lámina delgada con bálsamo de Canadá y con un cubreobjetos.

#### **5.3.1.2.1.2. Difracción de Rayos X.**

Para realizar el análisis de las muestras VRBON-SR001, VGMBON-SR002, VPBBO-SR003 y VBBCN-SR004 por difracción de rayos x primeramente se trituró a cada una de las muestras por separado (ver figura 11). La trituración se realizó con la ayuda del

molino de mandíbulas, posteriormente se procedió a realizar la molienda en el molino de tungsteno con malla número 100 obteniendo como resultado partículas finas (polvo) a las cuales se cuarteó y se llevó a secar en el horno a 50 °C por 24 horas.

**Figura 11**

*Trituración y preparación de las muestras*

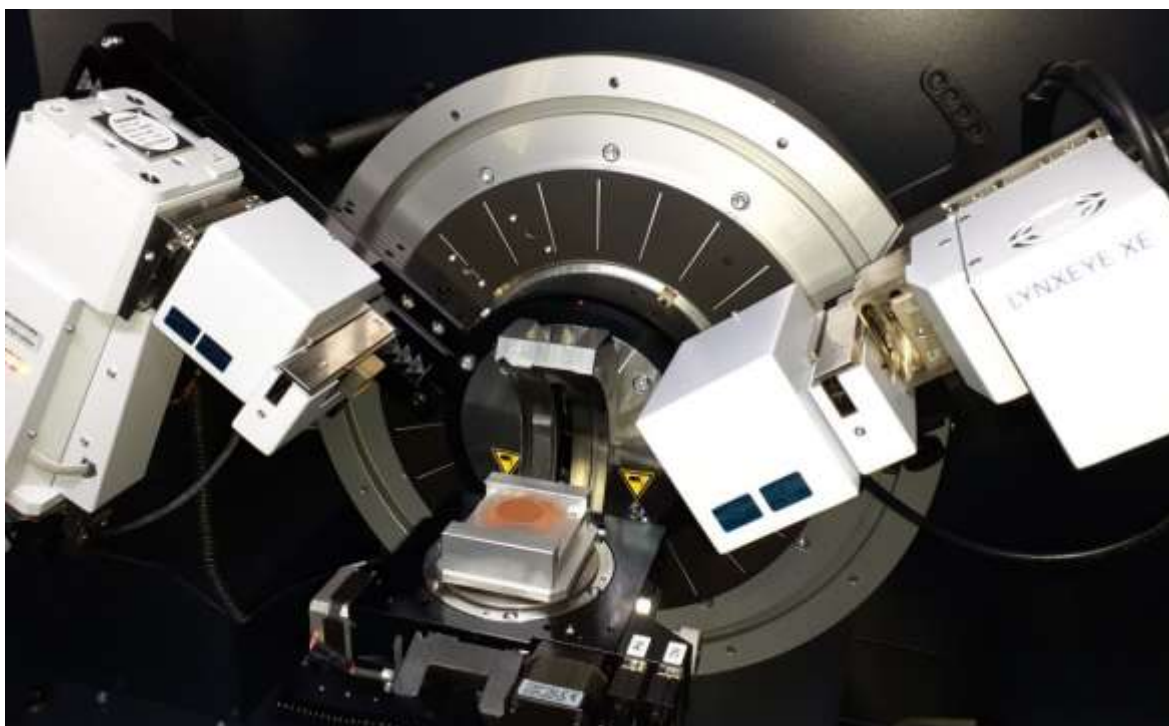


Nota: Elaborado por El Autor, (2023)

Con las muestras secas se procedió realizar el análisis por difracción de rayos x en el difractograma Drx BRUKER (Ver figura 12) según las especificaciones del fabricante. Se colocó la muestra dentro de detector de rayos x y se procede a realizar la lectura de las ondas de luz absorbida por cada una de las muestras. Para la simulación de los respectivos gráficos se realizó el montaje de muestra en soporte y análisis de 5 a 60 grados 2 teta, con slide 0,2 mm y detector 1D LYNXEYE.

**Figura 12**

*Difractómetro*



*Nota:* Obtenido de la Universidad Central del Ecuador, (2023)

#### **5.3.1.2.1.3. Análisis Petrográficos y Mineralógicos.**

Se realizó las secciones pulidas para las muestras VRBON-SR001, VGMBON-SR002, VPBBO-SR003 y VBBCN-SR004 y se procede a cortar la muestra con dimensiones de 27\*46mm; posteriormente se procede a pegar una de las caras con epoxy sobre un portaobjetos. A continuación, se procedió a pulir una de las caras con la máquina pulidora hasta un espesor aproximado de 1 mm y se pasó la muestra por la máquina devastadora con lijas de carburo de silicio de P800, P1500 y P2500 grits. La cara pulida debe presentar un acabado brillante uniforme y se procedió a dar un acabado final con la suspensión de diamante de 6 $\mu$ , 3 $\mu$  y 1 $\mu$  en la pulidora. Esto con el fin de eliminar rayas previamente hechas por las lijas de carburo de silicio.

Una vez obtenido este acabado brillante procedemos a revisar en el microscopio de luz reflejada.

#### **5.3.1.2.2. Caracterización Física.**

Se procede a realizar los ensayos de porosidad y densidad a las muestras VRBON-SR001, VGMBON-SR002, VPBBO-SR003, VBBCN-SR004 para lo cual se tomó 5 muestras de roca del mismo tamaño de cada una de las vetas en estudio y se colocó en la estufa a 70 °C por 24 horas y pesar. Dicho proceso se realiza cada 24 horas hasta que las muestras alcancen un peso constante, es decir hasta cuando la diferencia entre pesos sea menor o igual al 0.1%.

#### **5.3.1.2.2. Peso Específico.**

El peso específico se determinó mediante el ensayo del picnómetro, para su desarrollo fue necesario utilizar los siguientes materiales: un picnómetro de 5 mL, agua destilada, mineral de muestra y una balanza electrónica. Primeramente, se pesó el picnómetro vacío (P1), a continuación, se pesó el picnómetro más muestra (P2), luego se procedió a aforar con agua destilada el picnómetro más muestra (P4) y se limpió el picnómetro, luego se llenó con agua y se procedió a pesar (P3).

#### **5.3.1.2.3. Caracterización Química.**

### **“ANÁLISIS QUÍMICO PARA LA DETERMINACIÓN DE ORO” POR EL MÉTODO DE ENSAYO AL FUEGO**

Para realizar este ensayo se procedió a secar 1 Kg de muestra en la estufa por 24 horas, posteriormente se procedió a triturar y a moler la muestra con la trituradora de mandíbulas y un molino de discos hasta reducir el tamaño de la muestra, es decir hasta llevar a malla 250 micrones. A continuación, se procedió a homogenizar y cuartear la muestra para obtener una porción representativa de la muestra. Toda la muestra triturada y molida es homogenizada en una superficie de mezclado y reducida de cantidad con la ayuda de un cuarteador.

Posteriormente se procedió a pulverizar la muestra con el objetivo reducir el tamaño mediante el uso de una pulverizadora de anillos. La porción representativa de la muestra se la obtuvo por homogenización y cuarteo de toda la muestra, a la cual se colocó nitrato de potasio y se procedió a fundir a 1000°C en el horno durante 1 hora. A continuación, se procedió a copelar a la muestra a una temperatura de 900 °C y se espera hasta que la copela absorba todo el plomo (Por lo regular es espera entre 1h30 – 2h30) para obtener una esfera denominada dore. Dicha esfera es sometida al ataque de ácidos con el objetivo

de llevar a la muestra a una fase líquida. A la muestra líquida se coloca en el espectrómetro de Absorción Atómica y se corre la muestra para obtener la lectura de concentración de oro.

### **5.3.2. Metodología Para el Segundo Objetivo**

*“Estimar el porcentaje de oro que se puede obtener del material a procesar en la concesión minera Nicolas 1”.*

Para estimar el porcentaje de oro existente en las muestras obtenidas del área Nicolás 1 primeramente se realizó el estudio de cabeza de minerales en cual se determinó la cantidad de oro en gramos por tonelada, posteriormente para estimar el porcentaje de oro que se puede recuperar de dichas muestras en estudio se realizó el ensayo de cianuración y de flotación.

#### **5.3.2.1. Caracterización Mineralógica de la Cabeza.**

Para la determinar los minerales que se encuentran presentes en las muestras en estudio se aplicaron los siguientes métodos:

- Determinación de oro y plata por ensayo al fuego.
- Determinación de metales por digestión con HNO<sub>3</sub> por absorción atómica.
- Determinación de oro y plata por copelación en barras doré.

### **5.3.3. Metodología para el tercer objetivo**

*“Evaluar el método de beneficio con mayor porcentaje de recuperación, basado en la caracterización física química y mineralógica del material producido en el área Nicolas 1”.*

Para evaluar el método de beneficio con mayor porcentaje de recuperación de oro en el área Nicolás 1 se procedió a realizar un compost de a las muestras de las vetas VRBON-SR001, VGMBON-SR002, VPBBO-SR003, y VBBCN-SR004 obteniendo como resultado una muestra a la cual se le realizó la recuperación de oro por los métodos de flotación y cianuración. Para comparar los valores de recuperación de oro se realizó en ensayo de cianuración a la muestra VCN1-SR005 (En los valores de cabeza se identificó que presenta el efecto pepita).



### **5.3.3.1. Recuperación de Oro por Flotación.**

Para la recuperación de oro por el método de flotación se utilizó 1000 g de muestra molido a malla 68% -200 y 2 litros de agua local para formar una pulpa con un 33% de sólidos en la celda de flotación cuya velocidad del impulsor para acondicionamiento fue de 1400 rpm. Posteriormente se agitó y se homogenizó la pulpa durante 2 minutos y se midió el pH.

A continuación, se procedió a acondicionar la pulpa durante 8 minutos, lapso en el que se agregan los reactivos colectores (z-6; mt-736) y 6 minutos después se añadió el espumante (350). También se redujo la velocidad del impulsor a 1350 rpm, se midió el pH de la flotación, se procedió a abrir la válvula de aire y empezó la flotación de sulfuros.

Cinco minutos después, termina la flotación y se dejó decantar los productos, se secó y se preparó la muestra para los análisis correspondientes.

### **5.3.3.2 Recuperación de oro por cianuración.**

La cianuración es uno de los métodos más utilizados en las plantas de beneficio para lixiviación (recuperación) de oro y plata, se fundamenta en la disolución de metales preciosos de un mineral previamente molido, en una solución alcalina diluida de cianuro de sodio. Para el ensayo de cianuración se tomó 1000 g del compost de las muestras, a dicha muestra se procedió a realizar los procesos de secado, trituración, homogenizado y cuarteado.

Se tomó 500 mg de muestra y mediante el proceso de molienda se redujo el tamaño hasta llegar a obtener partículas de 200 micrones; a la muestra se añadió 2 litros de agua local para formar una pulpa, con la ayuda de un agitador mecánico de capacidad máxima de 25 L, con regulación electrónica de velocidad de 50 a 2000 rpm se procedió a agitar la mezcla y se midió el pH. A continuación, se tomó 30 ml de pulpa, se filtró en un embudo con papel filtro dejando caer sobre un matraz, posteriormente se tomó 5 ml de la solución filtrada a la cual se añadió 1 g de cianuro (NaCN) más 3 gotas del indicador yoduro de potasio (KI) y se empezó la titulación con nitrato de plata (AgNO<sub>3</sub>) hasta que esta cambie de coloración, va de transparente a turbio, finalmente se midió el volumen consumido de AgNO<sub>3</sub> en la bureta.

## 6. Resultados

### 6.1. Resultados del Primer Objetivo

#### 6.1.1. Toma de Muestras

A las muestras en estudio se realizó la prueba de efervescencia con HCl 10% para determinar la presencia de minerales carbonatados, se dejó caer sobre la muestra una pequeña cantidad de ácido dando como resultado una reacción de oxido-reducción, es decir se produjo una efervescencia lo cual indica la presencia de carbonatos. Ver figura 13.

**Figura 13**

*Toma de muestras y codificación*



### 6.1.2. Caracterización Mineralógica

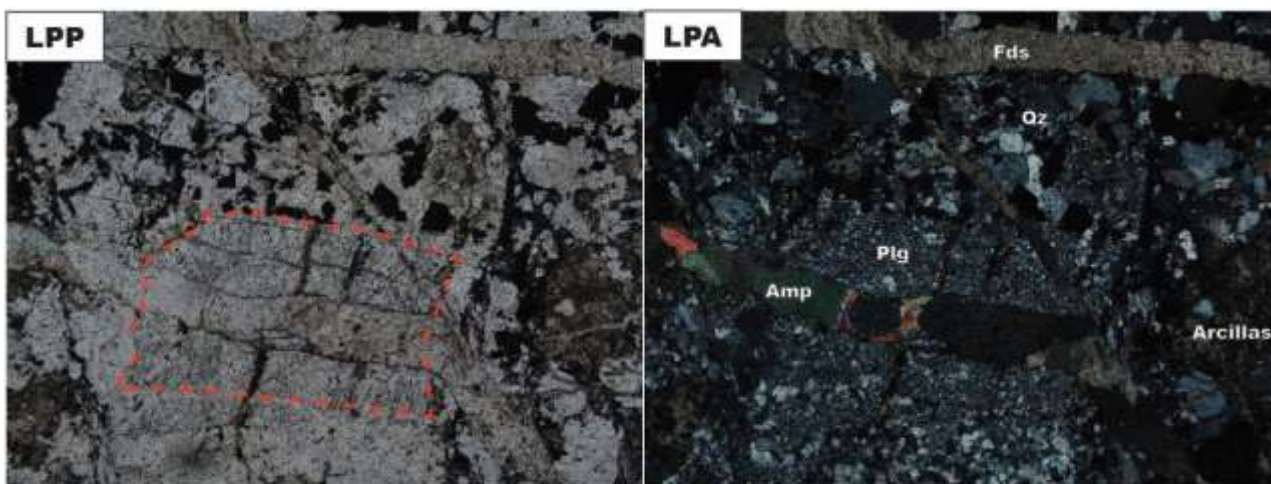
Se realizó el estudio de caracterización físico químico y mineralógica a las muestras provenientes de la concesión minera Nicolás 1 para identificar la composición mineralógica y la estructura que presentan cada una de ellas. Dentro de los análisis realizados tenemos: la microscopía óptica, la petrografía y la difracción por rayos x.

#### 6.1.2.1. Microscopía Óptica. (Estudio de láminas delgadas).

El estudio de las láminas delgadas permitió clasificar las rocas según su textura y su composición mineralógica, dicho estudio se realizó con las 4 muestras (VRBON-SR001, VGMBON-SR002, VPBBO-SR003 y VBBCN-SR004) cuyos resultados se muestran en las figuras 14, 15, 16 y 17. A la muestra VCN-SR005 no se realizó el estudio de láminas delgadas debido a que la muestra se encuentra altamente meteorizada y disgregada.

Figura 14

*Láminas delgadas de la veta VRBON-SR001*

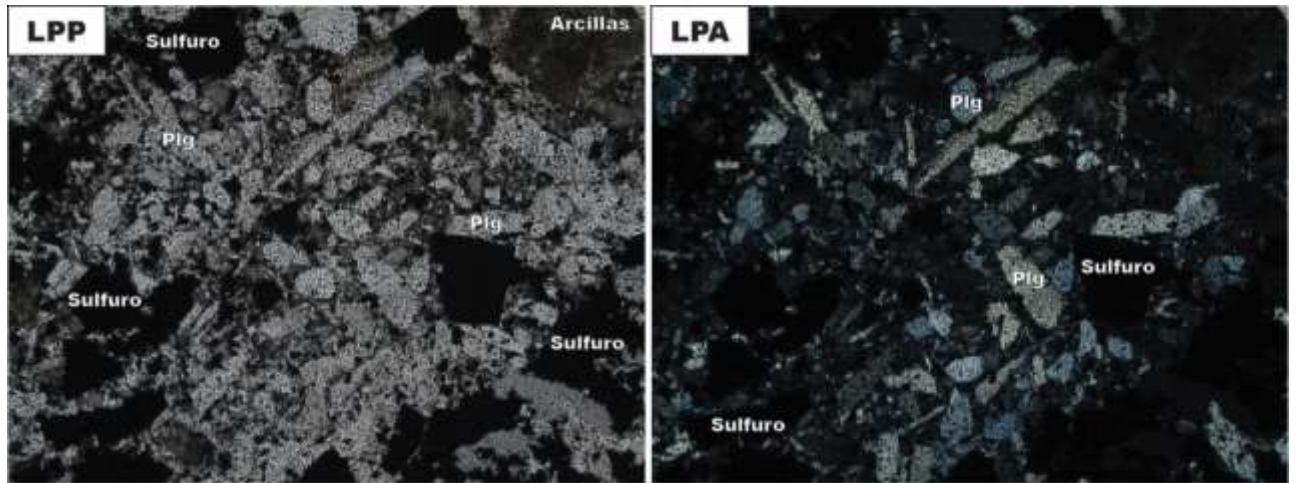


**Descripción:** La presente lámina delgada tiene una matriz cuarzosa de grano medio y con una disposición de mosaico, sobre la matriz los colores de interferencia verdes, rojos y amarillos de segundo orden indican una cristalización de anfíbol de forma alargada y subhedral a anhedral debido a la alteración presente.

Como productos de alteración se pueden apreciar venas de feldspatos transformándose a arcillas y hacia la izquierda de la lámina se observan las arcillas junto a la matriz cuarzosa y a los minerales opacos. Se infiere que hacia la mitad de la lámina existe un relicto de plagioclasa que debido a su alteración se presenta como un agregado criptocristalino.

**Figura 15**

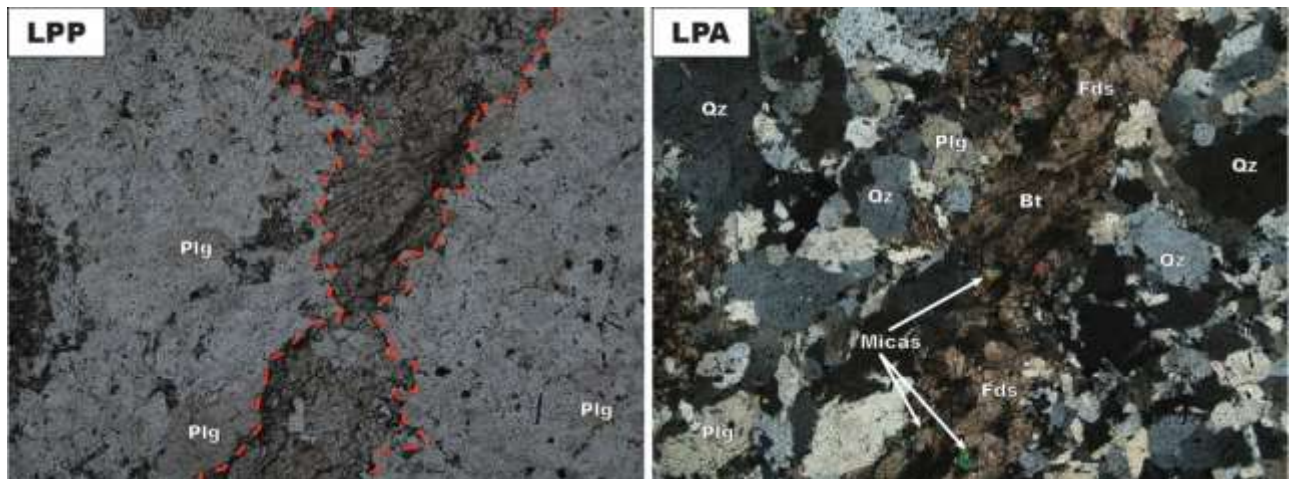
*Láminas delgadas de la veta VGMBON-SR002*



**Descripción:** La sección de esta lamina delgada no muestra una dirección preferencial de los minerales. Este agregado microcristalino evidencia claramente una fase temprana de alteración de las plagioclasas a arcillas, esto debido al carácter “sucio” de los cristales. Alta presencia de opacos (sulfuros) con caras cristalinas bien desarrolladas, cristales muy euhédricos.

**Figura 16**

*Láminas delgadas de la veta VPBBO-SR003*

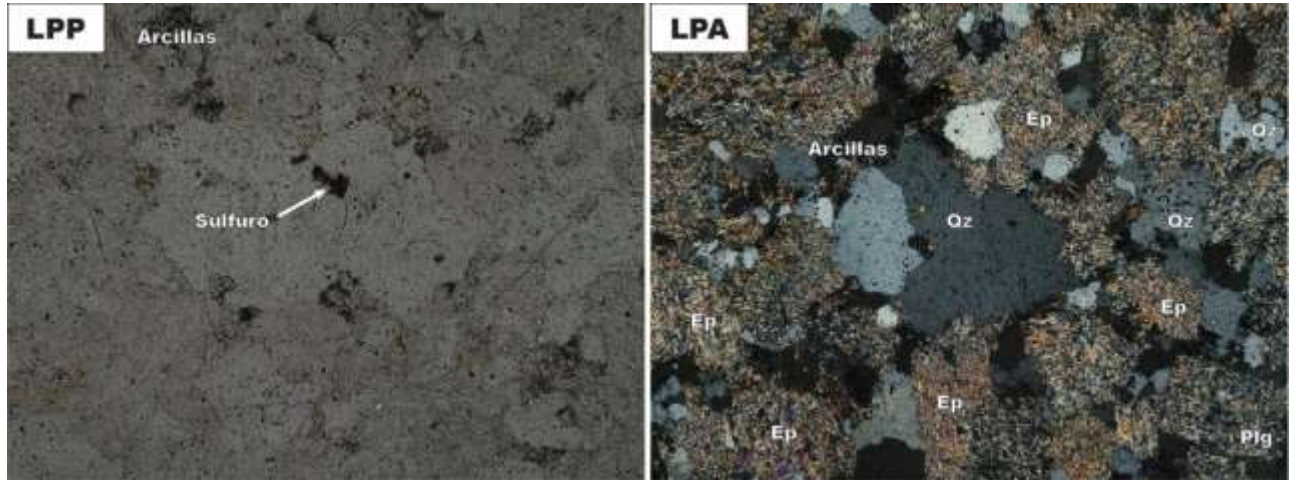


**Descripción:** Los productos de alteración (contenidos de arcillas) en esta veta son muy bajos y se asume que en esta zona existe una alteración muy temprana de la biotita y feldespatos (mayor alteración hacia la izquierda). La matriz de cuarzo con pocos componentes de plagioclasa representa más del 50% de la lámina delgada y está dispuesta como mosaicos. Hacia el centro de la lámina existe aglomeración de biotita y de feldespato que corta toda la matriz.

Se presume que los colores de interferencia altos son micas sin alteración.

**Figura 17**

*Láminas delgadas de la veta VBBCN-SR004*



**Descripción:** Lamina delgada con alta alteración de lo que se presume fueron plagioclasas, la alteración se observa como una matriz que abarca más del 50% de la sección. El lugar de las plagioclasas fue reemplazado por arcillas y principalmente por epidota que presenta unos colores de interferencia altos con una gama de azules, rosados y amarillos. Existen zonas en el que el cuarzo se encuentra de manera policristalina y con baja presencia de minerales opacos menor al 1%.

#### 6.1.2.1. Petrografía.

El estudio petrográfico se realizó a 4 muestras (VRBON-SR001, VGMBON-SR002, VPBBO-SR003 y VBBCN-SR004), mismo que nos permitió reconocer y cuantificar la composición mineralógica como también permitió establecer sus características texturales. Los resultados obtenidos se detallan en las figuras 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25.

**Figura 18**

*Estado de sulfuración veta VRBON-SR001*

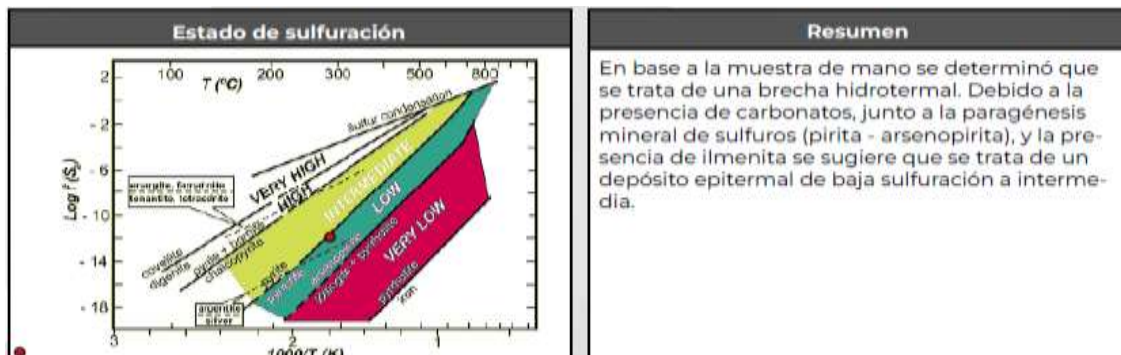
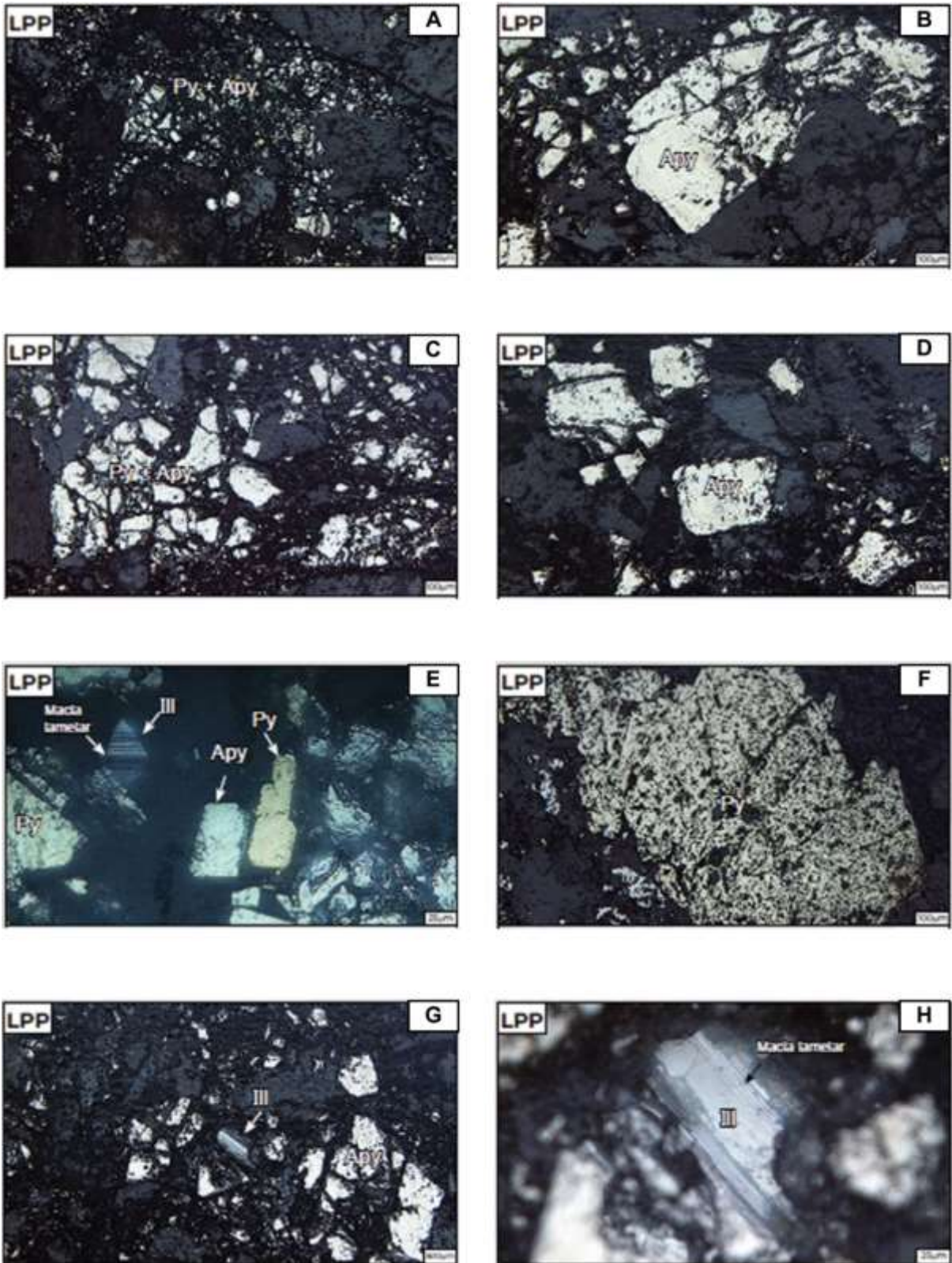


Figura 19

Análisis petrográfico veta VRBON-SR001



**Descripción:** La sección pulida presenta en: a) un conjunto de pirita (amarillo pálido) y arsenopirita (gris claro) diseminado a lo largo de una vetilla de cuarzo que abarca toda la

sección; b) cristal de arsenopirita de alta reflectancia con caras euédredas pero con alto fracturamiento; c) conjunto de pirita y arsenopirita altamente fracturado y con mayor diseminación hacia la derecha de la sección, existe una alta reflectancia de ambos minerales que no permite distinguirlos de manera sencilla; d) cristales de arsenopirita con caras cristalinas perfectas que permiten ver su sistema cristalino cúbico, presencia de minerales diseminados menor al 1%; e) diferencia entre la reflectancia amarilla de la pirita y la reflectancia gris de la arsenopirita, presencia de un mineral euédredal de ilmenita con macla lamelar; f) cristal anhedral de pirita con apariencia “sucia”; g) cristal de ilmenita rodeado de cristales de arsenopirita subhedrales, algunos fracturados; h) acercamiento a la macla lamelar que se forma en la ilmenita.

**Figura 20**

*Estado de sulfuración veta VSMBONSR002*

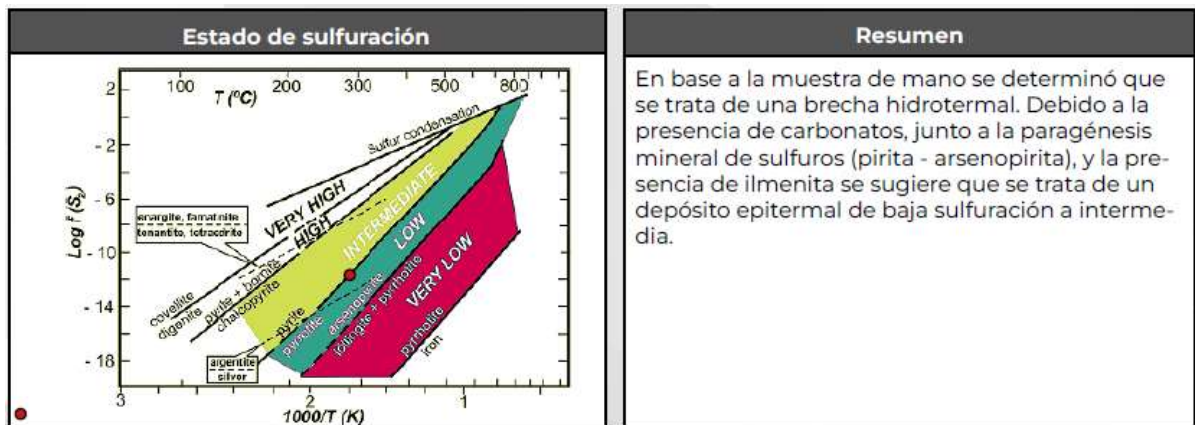
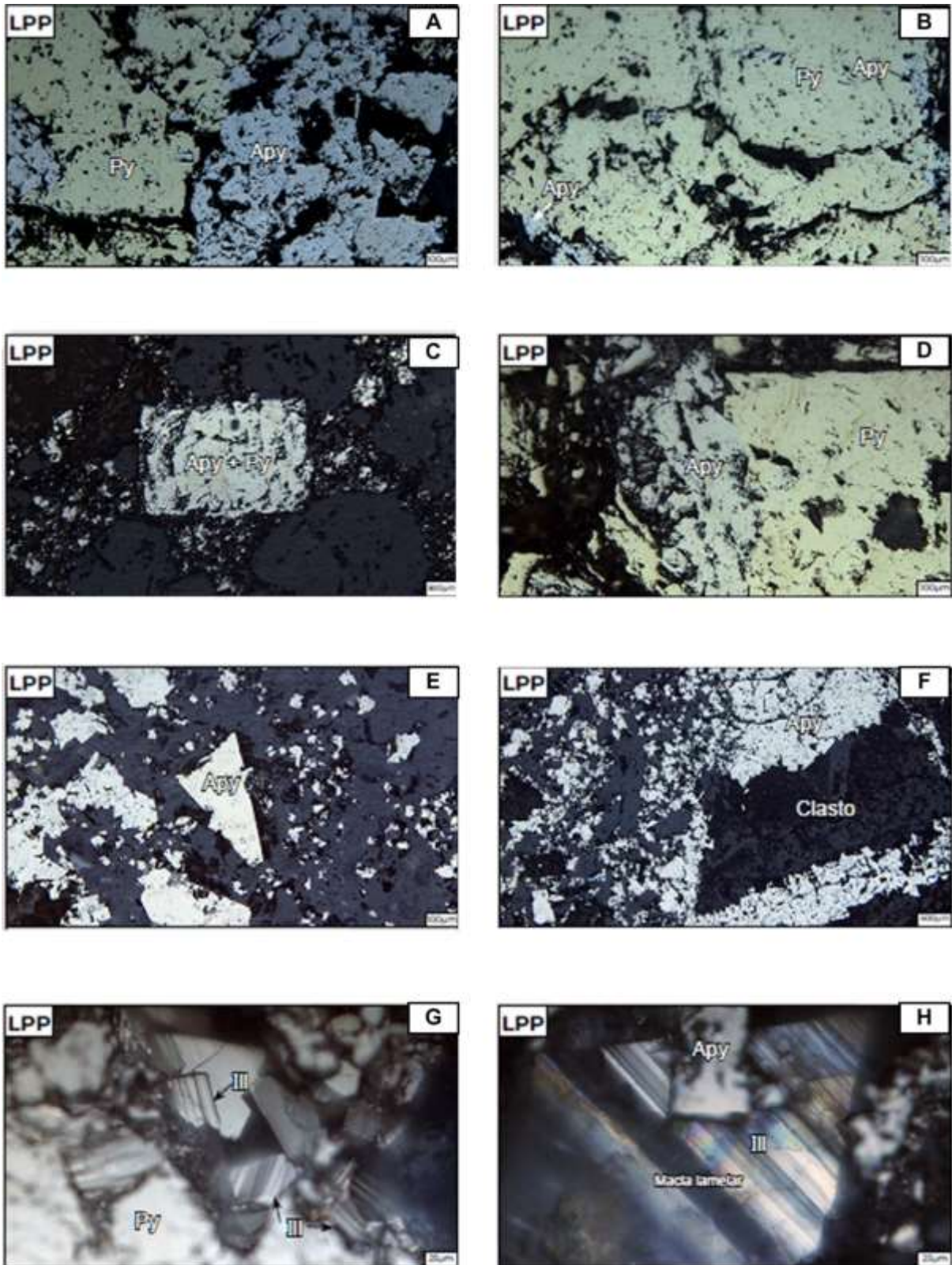


Figura 21

Análisis petrográfico veta VSMBON-SR002



**Descripción:** La sección pulida presenta en: a) cristales de pirita (amarillo) y arsenopirita (gris claro) en contacto, ambas se presentan en masas granulares; b) cristal anhedral y



masivo de pirita con presencia de pequeños restos de arsenopirita a los bordes del mineral; c-d) cristal euhedral de pirita y arsenopirita (difícil de diferenciar debido a la alta reflectancia de ambos minerales, solo se pueden diferenciar aumentando el objetivo) junto a minerales diseminados; e) arsenopirita euhedral mayormente sus caras cristalinas forman triángulos; f) aspecto brechificado de arsenopirita con presencia de clastos; g-h) cristal de pirita subhedral junto a ilmenita euhedral con macla lamelar y arsenopirita con caras cristalinas bien desarrolladas.

**Figura 22**

*Estado de sulfuración. Veta VPBBO-SR003*

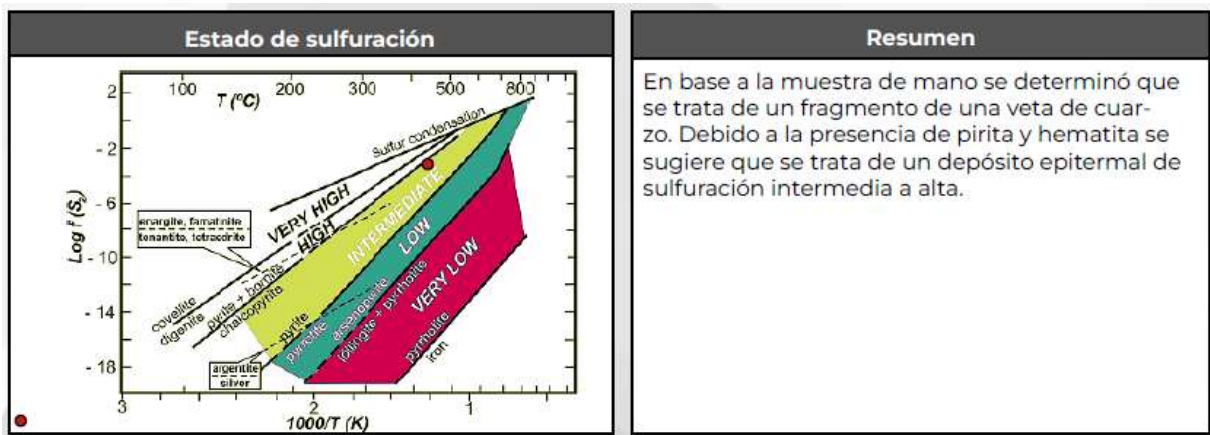
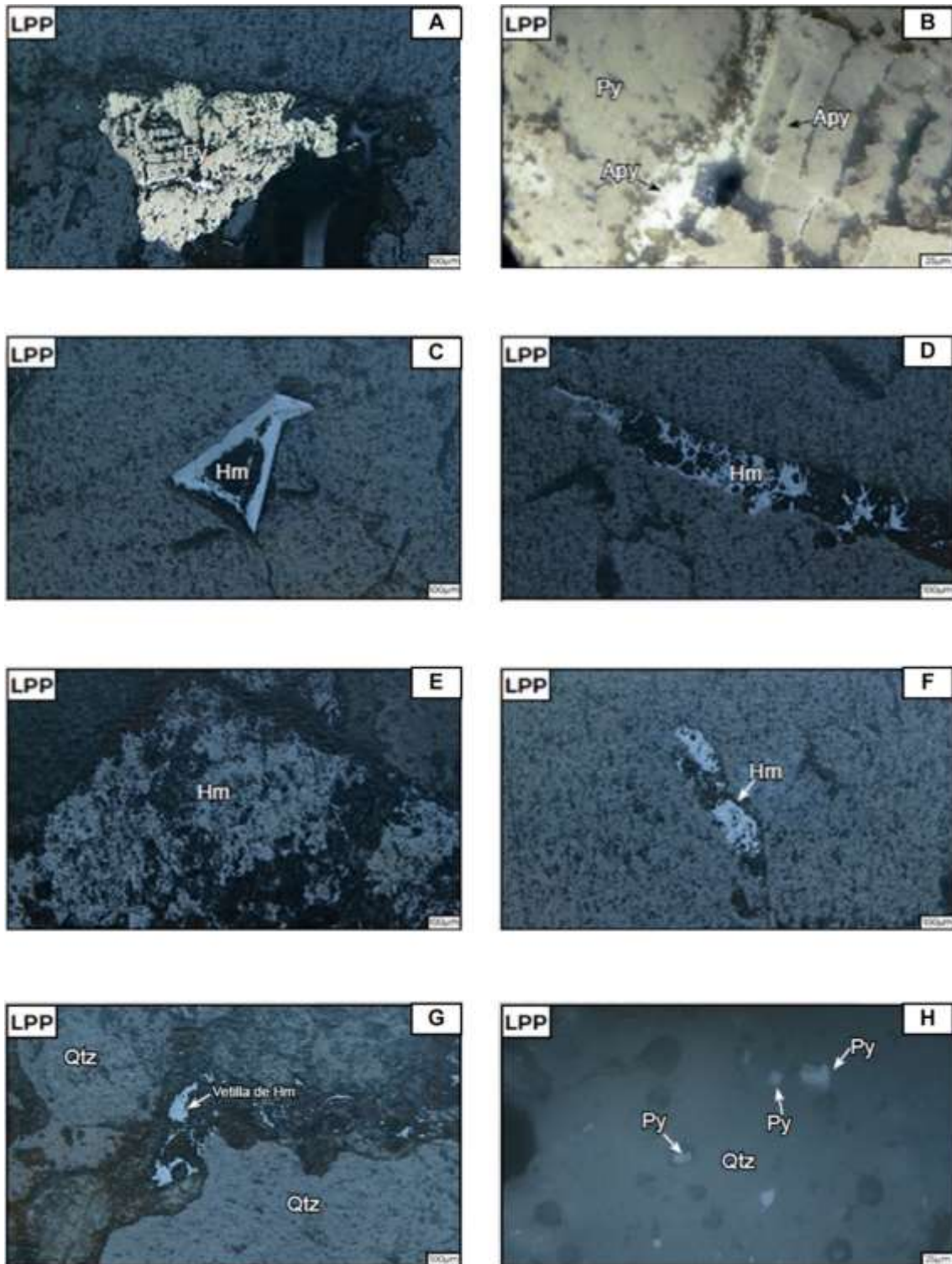


Figura 23

Análisis petrográfico veta VPBBO-SR003

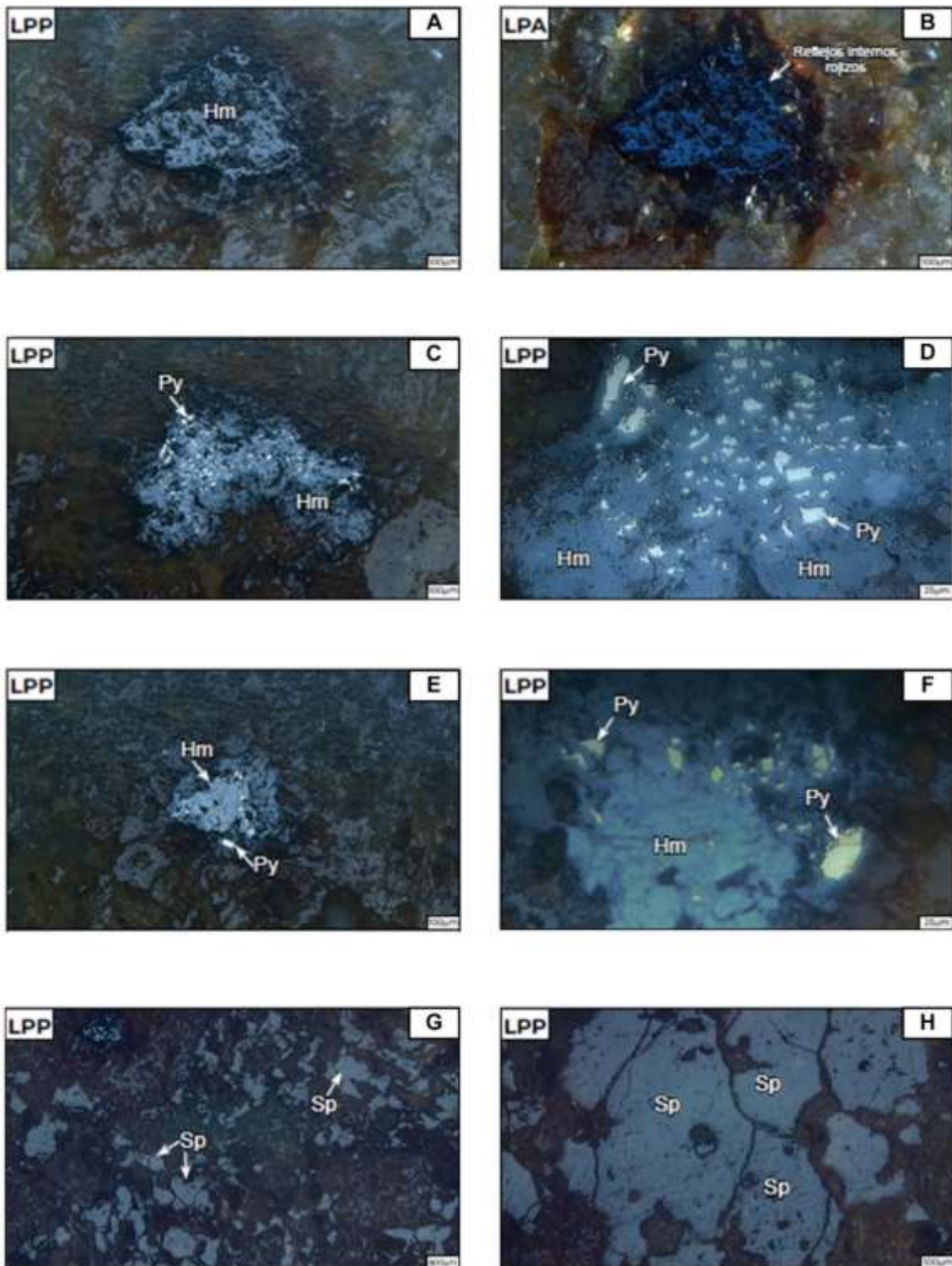


**Descripción:** La sección pulida presenta en: a-b) cristal subhedral de pirita con aparente forma triangular, ciertas manchas blanquecinas que al aumentar la vista indican exsoluciones de arsenopirita; c) cristal de hematita con caras cristalinas bien desarrolladas en forma triangular, este mineral se encuentra maclado; d) cristal de hematita con habito

tabular, se observan cavidades con reflejos internos; e) cristal pseudocúbico de hematita con aspecto “sucio”; f) cristal anhedral de hematita; g-h) Vetilla de hematita entre cristales de cuarzo con pequeñas inclusiones de pirita.

**Figura 24.**

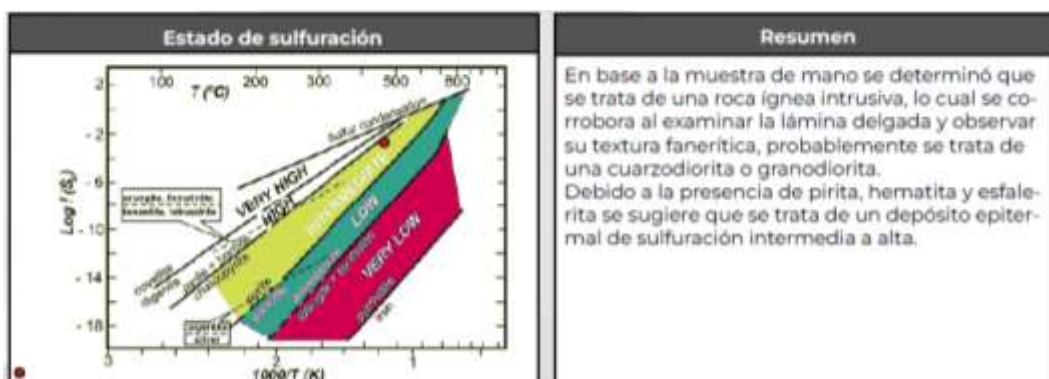
*Análisis petrográfico de la veta VBBCN-SR004*



**Descripción de la imagen 24.** La sección pulida presenta en: a-b) cristal subhedral de hematita con caras cristalinas triangulares, alto relieve y reflejos internos de color rojizos al cambiar la luz polarizada analizada; c-d) cristales anhedral de hematita con inclusiones de pirita diseminada; e-f) cristal anhedral de hematita con pequeñas inclusiones de pirita anhedral; g-h) cristales de esfalerita diseminados sin caras cristalinas bien formadas.

**Figura 25**

*Estado de sulfuración, veta VBBCN-SR004*



#### 6.1.2.2. Difracción de rayos x.

Mediante la difracción de rayos x se identificó la composición mineralógica de la roca presente en las 4 muestras (VRBON-SR001, VGMBON-SR002, VPBBO-SR003 y VBBCN-SR004), como se detalla en el **Anexo 1**. De las 4 muestras analizadas solo en la muestra de la veta VRBON-SR001 se identificó la presencia de arsenopirita (ver tabla 5), ya que en el resto de las muestras existe ausencia de piritas posiblemente se debe a que el difractómetro reorganiza los elementos para obtener compuestos minerales como lo indica el **Anexo 2**.

**Tabla 5**

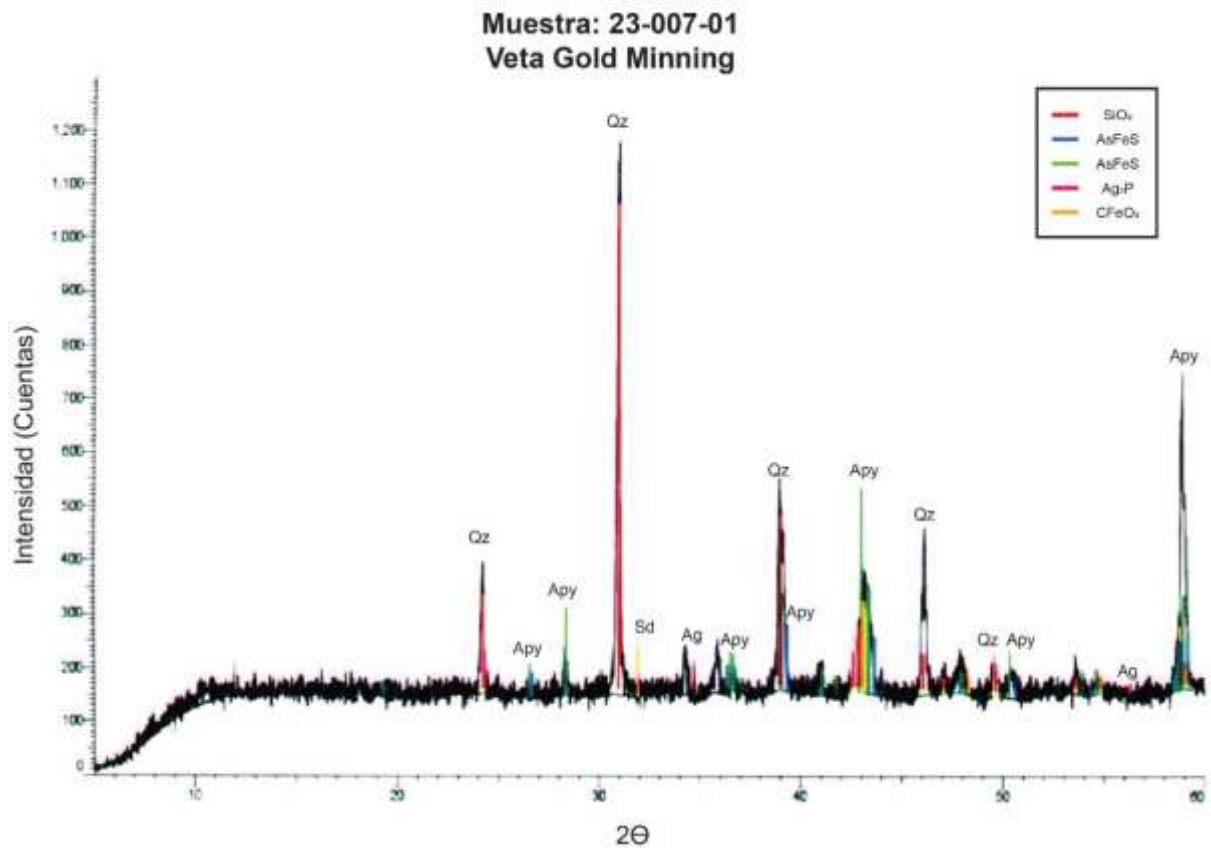
*Difracción de rayos x veta VRBON-SR001*

| Identificación de la muestra: |                                  | Roca: veta VRBON-SR001 |                 |
|-------------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------|
| Nombre Mineralógico           | Fórmula Química                  | Porcentaje             | Método aplicado |
| Quarzo                        | SiO <sub>2</sub>                 | 39.4 %                 |                 |
| Arsenopirita                  | AsFeS                            | 23.7 %                 |                 |
| Hexagonal Arsenopirita        | AsFeS                            | 24.1 %                 | DRX             |
| Siderita (Carbonatos)         | CFeO <sub>3</sub>                | 7.0 %                  |                 |
| Fosfuro de plata              | Ag <sub>3</sub> P                | 2.9 %                  |                 |
| Fosfato de plata              | Ag <sub>3</sub> O <sub>4</sub> P | 3.0 %                  |                 |

*Nota:* Elaborado por El Autor, (2023)

Figura 26

Difractograma de la muestra VRBON-SR001



**Descripción:** Los espectros obtenidos mediante el método de difracción de rayos X indican la presencia de 5 compuestos diferentes, los cuales representan minerales (en orden de concentración) como: cuarzo, arsenopirita con dos estructuras cristalinas diferentes (monoclínica y hexagonal), siderita y minerales de plata (fosfatos y fosfuros). La presencia de ruido en el espectro se debe al contenido de minerales amorfos.

### 6.1.3. Caracterización física

Dentro de las propiedades **físicas** estudiadas tenemos: densidad, porosidad y el color, mismas que permitieron determinar la estructura cristalina y la composición mineral de las rocas.

#### 6.1.3.1. Color.

Es una de las principales propiedades ya que es la más fácilmente observable. El material presenta color gris oscuro y partes de la roca se encuentran meteorizadas tomando un color amarillo rojizo debido a la presencia de óxidos de los ferromagnesianos.

### 6.1.3.2. Densidad

Es importante conocer que la densidad de una roca depende tanto de su composición mineral como de su porosidad. Esta propiedad física se realizó en las 4 muestras (VRBON-SR001, VGMBON-SR002, VPBBO-SR003 y VBBCN-SR004), se midió densidad aparente y específica a cada una de las muestras como se puede apreciar en las tablas 6 y 7.

**Tabla 6**

*Medición de densidad específica*

| CÓDIGO       | W. agregado | Peso específico                  |                             |                 |
|--------------|-------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------|
|              |             | W. recip. Lleno H <sub>2</sub> O | W. agre. + H <sub>2</sub> O | Peso específico |
| VRBON-SR001  | 30          | 147.68                           | 167.59                      | 2.973           |
| VGMBON-SR002 | 30          | 147.68                           | 169.81                      | 3.812           |
| VPBBO-SR003  | 30          | 147.68                           | 167.05                      | 2.822           |
| VBBCN-SR004  | 30          | 147.68                           | 167.33                      | 2.899           |
| VCNI-SR005   | 30          | 147.51                           | 165.25                      | 2.447           |

Observaciones: Ensayo realizado por el método del picnómetro. ASTM D854-14

*Nota:* Elaborado por el Autor, (2023)

De la tabla 6 se puede inferir en función a los rangos de densidad la presencia de arcilla (1.63 – 2.60), dolomita (2.28 – 2.90); granodiorita (2.67 – 2.79); basalto (2.70 – 3.20), grabo (2.85 a 3.12), gneis (2.61 - 2.99) cuya composición química es el cuarzo, el feldespató potásico y la plagioclasa rica en sodio y en menores cantidades biotita, moscovita y anfíbol.

**Tabla 7**

*Medición de densidad aparente*

| CÓDIGO       | Peso aparente |              |         |             |
|--------------|---------------|--------------|---------|-------------|
|              | W. saturado   | W. sumergido | W. seco | W. aparente |
| VRBON-SR001  | 205.017       | 132.674      | 203.879 | 2.813       |
| VGMBON-SR002 | 150.088       | 108.16       | 149.264 | 3.553       |
| VPBBO-SR003  | 201.366       | 127.436      | 200.145 | 2.702       |
| VBBCN-SR004  | 239.465       | 143.769      | 232.884 | 2.429       |

*Nota:* Elaborado por El Autor, (2023)

### 6.1.3.3. Porosidad

La porosidad se define como el volumen de espacios vacíos en el volumen total de la roca, y se estima en %, la distribución de poros y sus características define la permeabilidad del material, es decir, su capacidad para almacenar fluidos, condicionando así sus propiedades físicas y químicas. En la tabla 8 se indica la porosidad que presentan las muestras en estudio.

**Tabla 8.**

*Porosidad de las rocas*

| <b>COD</b>   | <b>POROSIDAD %</b> |
|--------------|--------------------|
| VRBON-SR001  | 5.403              |
| VGMBON-SR002 | 6.796              |
| VPBBO-SR003  | 4.266              |
| VBBCN-SR004  | 16.209             |

*Nota: Elaborado por el Autor, (2023)*

#### **6.1.4. Caracterización Química**

**Potencial de Hidrógeno (pH):** Sirve para determinar si una muestra es ácida o básica. En la tabla 9 se muestran los resultados de medición de pH a las diferentes muestras en estudio. El pH se midió en muestras trituradas pasadas en tamiz # 200, y agitadas por cinco minutos en agua destilada.

**Tabla 9**

*Medición de pH*

| <b>Código</b> | <b>pH</b> |
|---------------|-----------|
| VRBON-SR001   | 8.26      |
| VGMBON-SR002  | 7.35      |
| VPBBO-SR003   | 8.22      |
| VBBCN-SR004   | 7.9       |

*Nota: Elaborado por El Autor, (2023)*

En la tabla anterior se puede apreciar que la muestras tienen un pH ligeramente ácido debido a la presencia de carbonatos.

##### **6.1.4.1. Análisis Químico. Determinación de oro y plata por ensayo al fuego.**

Por medio del método del ensayo al fuego se identificó la presencia de oro y plata en las muestras VRBON-SR001, VGMBON-SR002, VPBBO-SR003 y VBBCN-SR004.

#### **6.2. Resultados del segundo objetivo**

Para identificar los minerales presentes en las 5 muestras de roca se realizó el análisis de cabeza de los minerales principales como son oro, plata, cobre y arsénico. Para el análisis cuantitativo de la roca se aplicó el método de determinación de metales por digestión con HNO<sub>3</sub> por absorción atómica. Los valores de cabeza obtenidos se muestran en la tabla 10.

**Tabla 10***Cuantificación de minerales*

| <b>Nro.</b> | <b>COD</b>   | <b>Au<br/>g/t</b> | <b>Ag<br/>g/t</b> | <b>Cu<br/>%</b> | <b>As<br/>%</b> |
|-------------|--------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| 1           | VRBON-SR001  | 11.08             | 101.08            | 0.79            | 0.10            |
| 2           | VGMBON-SR002 | 8.22              | 20.63             | 0.01            | 11.54           |
| 3           | VPBBO-SR003  | 1.51              | 1.28              | 0.03            | 0.70            |
| 4           | VBBCN-SR004  | 52.57             | 41.70             | 0.33            | 1.00            |
| 5           | VCN-SR005    | 1.64              | 8.17              | 0.06            | 0.25            |

*Nota: Elaborada por El autor, (2023)*

En la tabla 10 podemos apreciar que la muestra VBBCN-SR004 tiene alto contenido de oro, debido a que la muestra se encontraba disgregada por lo que los minerales se encuentran en estado libre dando como producto el efecto pepita.

Las muestras de las vetas VRBON-SR001 y VGMBON-SR002 tienen valores representativos de oro de 11.08 g/t y 8.22 g/t respectivamente en relación a las muestras VPBBO-SR003 y VCN-SR005 que tienen bajo contenido de oro de 1.51 g/t y 1.64 g/t respectivamente.

### **6.3. Resultados para el tercer objetivo**

Para determinar cual es el método que permite recuperar un mayor porcentaje de oro se realizó el estudio de flotación y cianuración.

#### **6.3.1. Flotación**

En la tabla 11 se muestran las condiciones bajo las cuales se realizó el ensayo de flotación. Además, se muestra la cantidad de mineral recuperado en cada una de las muestras en estudio.



**Tabla 11**

*Prueba de Flotación del mineral de cabeza*

| <b>PRUEBAS DE FLOTACION EXPERIMENTAL- MINERAL DE CABEZA</b>   |               |                |             |                          |           |           |           |                         |              |
|---|---------------|----------------|-------------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------------|--------------|
| Las pruebas de flotación se realizaron con los siguientes parámetros  |               |                |             |                          |           |           |           |                         |              |
| <b>El mineral presenta las siguientes leyes:</b>  |               |                |             |                          |           |           |           |                         |              |
|   | Arsénico (As) | 3,50           |             |                          |           |           |           |                         |              |
|   | Oro (Au)      | 1,65           |             |                          |           |           |           |                         |              |
|   | Plata (Ag)    | 6.70           |             |                          |           |           |           |                         |              |
|   | Cobre (Cu)    | 0,06           |             |                          |           |           |           |                         |              |
| <hr/>   |               |                |             |                          |           |           |           |                         |              |
| <i>pH natural:</i>  | 7.0           |                |             |                          |           |           |           |                         |              |
| <i>pH operación:</i>  | 7.0           |                |             |                          |           |           |           |                         |              |
| <i>%MALLA -200</i>  | 68.0%         |                |             |                          |           |           |           |                         |              |
| <i>RPM</i>  | 1350.0        |                |             |                          |           |           |           |                         |              |
| <hr/>   |               |                |             |                          |           |           |           |                         |              |
| <b>DOSIFICACION DE REACTIVOS:</b>   |               |                |             | <b>PUNTO DE ADICIÓN:</b> |           |           |           |                         |              |
| Xantato Z-6   | 60 g/t        | Acondicionador |             |                          |           |           |           |                         |              |
| Ditiofosfato MT-736   | 40 g/t        | Acondicionador |             |                          |           |           |           |                         |              |
| Espumante 350   | 50 g/t        | Acondicionador |             |                          |           |           |           |                         |              |
| <hr/>   |               |                |             |                          |           |           |           |                         |              |
| <b>BALANCE METALURGICO:</b>   |               |                |             |                          |           |           |           |                         |              |
| PRUEBA N°1  | %             | Leyes en (%)   |             |                          | * g/t     |           |           | <b>RECUPERACIÓN (%)</b> | <b>RATIO</b> |
| PRODUCTO  | <b>Peso</b>   | <b>As</b>      | <b>* Au</b> | <b>* Ag</b>              | <b>As</b> | <b>Au</b> | <b>Ag</b> | <b>CONC.</b>            |              |
| CABEZA CALCULADA  | 100.0         | 2.97           | 1.63        | 5.83                     | 100.0     | 100.0     | 100.0     |                         |              |
| CONCENTRADO BULK  | 8.84          | 29.32          | 17.70       | 38.10                    | 87.25     | 96.26     | 57.77     | 11.31                   |              |
| RELAVE  | 91.16         | 0.42           | 0.07        | 2.70                     | 12.75     | 3.74      | 42.23     |                         |              |
| CABEZA ENSAYADA   |               | <b>3.50</b>    | 1.65        | 6.70                     |           |           |           |                         |              |
| De acuerdo con el balance metalúrgico se observa una recuperación de 96.26 % de oro, con un radio de concentración de 11.31/1 |               |                |             |                          |           |           |           |                         |              |
| En el concentrado se obtiene una ley de 17.70 gramos de oro por tonelada  |               |                |             |                          |           |           |           |                         |              |
| <i>Nota: Elaborado por El Autor, (2023)</i>   |               |                |             |                          |           |           |           |                         |              |

Se puede apreciar que la recuperación de oro por flotación en la cabeza de minerales en un periodo de 12 horas es alta con un 96.26% alta, sin embargo, la ratio alcanzada permite obtener un concentrado de 17.70 g/t de ley lo cual no es comercial.

### **6.3.2. Cianuración**

Para evaluar el porcentaje de recuperación de oro en el compost de muestras se aplicó el método de cianuración obteniendo los resultados detallados en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Resultados obtenidos por el método de cianuración*

| CÓDIGO      | Au-g/t Oro-Total | Au-g/t Oro-Cianurable | Au-g/t Plata-Total | % Cu Cobre | % As Arsénico | Consumo de cianuro Kg/t | Tiempo de agitación horas |
|-------------|------------------|-----------------------|--------------------|------------|---------------|-------------------------|---------------------------|
|             |                  | CN^                   | E. F               | AA         | AA            | VL                      |                           |
| MNSRCOMPOST | 1.65             | 1.23                  | 6.70               | 0.06       | 3.50          | 3                       | 12                        |

El mineral responde adecuadamente al proceso de lixiviación mediante cianuración, ya que alcanza disolución de 74.5% en un periodo de 12 horas. El mineral es dócil al tratamiento de lixiviación, a pesar de contener una ley de 3.5% de arsénico, se observa un porcentaje mínimo de cobre de 0.06%.

## **7. Discusión**

El presente trabajo de investigación tuvo como propósito analizar la caracterización físico-química y mineralógica del material de la concesión minera Nicolas 1 para el mejoramiento del proceso de beneficio, código catastral 102826, cantón Ponce Enríquez, parroquia El Carmen de Pijilí, para ello se realizó ensayos de laboratorio como, el análisis de cabeza de los minerales principales, la caracterización química, física y mineralógica. También se realizó los ensayos de cianuración y flotación para determinar la cantidad de oro que se puede recuperar en las muestras en estudio.

El análisis de lámina delgada se logró observar la alteración de los feldespatos, plagioclasas y posibles micas, existe una alta presencia de cuarzo policristalino en forma de matriz en la totalidad de las muestras. Los minerales opacos que en este caso son mayoritariamente piritita y arsenopiritita se evidencian claramente en las secciones pulidas realizadas. A pesar de que las muestras tienen una textura brechificada, los métodos utilizados con el microscopio petrográfico no fueron suficientes para poder analizar pequeñas vetas que aparentan ser un cemento que unen los cristales.

El método que dio una posible solución a la composición de este cemento fue el de difracción de rayos X, específicamente en la muestra tomada de la veta Gold Mining. Los espectros indican la presencia del mineral carbonatado siderita, lo que explicaría las características ópticas del cemento inferido en las láminas delgadas. La presencia o mejor dicho la falta de siderita en los materiales terrosos vistos en superficie en la muestra VCN-SR005, puede ser correlacionada con la disgregación de los clastos debido al acidez del agua superficial que a su vez causan un efecto pepita como se puede evidenciar en los valores de cabeza.

Los valores de cabeza han sido la base fundamental para poder realizar el análisis petrográfico, laminas delgadas, difracción de rayos X, análisis químicos, análisis de flotación y cianuración, mismos que nos sirve de base para cuantificar la presencia de oro y permite determinar el porcentaje de recuperación de oro. Sin embargo, el análisis de cabeza indica la presencia de oro encapsulado en la estructura mineral de la arsenopiritita,

esto también se pudo inferir del análisis petrográfico (**ver anexo 1**) de las 4 muestras analizadas por la reflectancia y cantidad de este mineral.

Según los estudios realizados por (Llumiquina, 2019), en el cantón Camilo Ponce Enríquez, en el sector El Mirador en la mena existe la presencia de pirita, calcopirita, arsenopirita, entre otros, mientras que en la veta contiene oro y los minerales de ganga o estériles que son el cuarzo, carbonatos y actinolitas que corresponden a mineralización intermedia a diferencia de nuestro estudio que se encuentra en una mineralización intermedia a baja debido a que tenemos otros minerales ya que es afectado por diferente tectonismo.

Al realizar el estudio de difracción de rayos X una vez más se corrobora la presencia de arsenopirita en la muestra VRBON-SR001, pero el análisis no indica el encapsulamiento del oro en arsenopirita. En el resto de las muestras no se evidencia la presencia de arsenopiritas debido a que el equipo de difracción reorganiza o acomoda los elementos para formar otros compuestos mineralógicos.

Según Rojas 2017 las condiciones para realizar la flotación son primordiales para la recuperación del mineral, es decir depende del tamaño del grano, de los colectores y del pH para realizar una buena recuperación de oro. En los estudios comparativos de Rojas demuestra que el mejor valor del pH para una alta recuperación es de 10.5 recuperando el 95.99 % de mineral. Nuestro estudio fue realizado a pH de 7 obteniendo una recuperación de 96.26 % de oro. Al correlacionar los valores de cabeza de los minerales principales con los valores de cabeza del compost de las 4 primeras muestras que constan en la tala 13, se puede apreciar que el valor obtenido como cabeza por el método de flotación y cianuración es de 1.65 g/t, siendo un valor bajo en relación con los valores de cabeza de los minerales principales.

**Tabla 13**

*Valores de cabeza de oro*

| <b>Nro.</b> | <b>COD</b>   | <b>Oro g/t</b> | <b>Flotación y cianuración</b>                 |
|-------------|--------------|----------------|--|
| 1           | VRBON-SR001  | 11.08          | 1.65 g/t valor obtenido en el compost (mezcla) |
| 2           | VGMBON-SR002 | 8.22           |  |
| 3           | VPBBO-SR003  | 1.51           |  |
| 4           | VBBCN-SR004  | 52.57          |  |
| 5           | VCN-SR005    | 1.64           |  |

**Nota:** Elaborado por El Autor, (2023)

Mediante el proceso de flotación y cianuración se confirmó que el oro se encuentra encapsulado en la arsenopirita, un aspecto limitante es que valores de arsénico que no permiten que se libere toda la concentración del oro, debido a que en la industria se busca una mayor retribución económica la efectividad de recuperación de oro libre es primordial.

El proceso de flotación a pesar de obtener una recuperación del 96% que representa apenas 17.70 gAu/Tm de ley no se lo considera económicamente rentable a diferencia del proceso de cianuración que logra recuperaciones mayores al 96% debido a que el material analizado en este estudio tiene un comportamiento dócil al proceso de lixiviación alcanzando disoluciones altas en corto tiempo.

## 8. Conclusiones

- Las muestras de rocas analizadas provenientes de la concesión minera Nicolás 1 presentan una media de pH de 7.93 que es ligeramente básico debido a la presencia de carbonatos, óxidos, hierro, entre los principales componentes de las rocas estudiadas.
- Al analizar los resultados obtenidos en los valores de cabeza de los minerales principales (oro, plata, cobre y arsénico) se identificó que las vetas VGMBON-SR002 y VPBBO-SR003 presentan valores altos de oro (11.08 g/tonelada y 8.22 g/tonelada respectivamente), mientras que las muestras VRBON-SR001 y VBBCN-SR004 presentan valores bajos de 1.51 g/tonelada y 1.64 g/tonelada respectivamente se concluye que las betas VGMBON-SR002 y VPBBO-SR003 son económicamente rentables.
- La muestra VCN-SR005 presenta una cuantificación de oro de 52.57 g/tonelada es un valor alto debido a que los minerales se encuentran disociados dando lugar al efecto pepita.
- Tanto en el análisis de flotación como en el análisis de cianuración presentan un valor de cabeza de 1.65 g de oro por tonelada, además en el análisis de cianuración el consumo de cianuro es de 3 kg/tonelada que es una baja cantidad en relación con la cantidad de arsénico que contiene la muestra compost, por lo cual se concluye que el método más adecuado para la recuperación del material estudiado es el método de cianuración.

## **9. Recomendaciones**

- Se recomienda realizar un estudio geoquímico más detallado para determinar la presencia de elementos mayoritarios, minoritarios y elementos trazas.
- Cuando la cantidad de oro en el material de la mena es menor a 3g/t se debe realizar la recuperación de oro por el método de flotación.
- Se recomienda realizar a cada una de las muestras en estudio por separado los métodos de flotación y cianuración para comprobar los valores de cabeza obtenidos.
- Se recomienda realizar el proceso de tostación para eliminar mayor cantidad de arsénico y poder recuperar todo el mineral aurífero.

## 10. Bibliografía

(2010).

[https://www.researchgate.net/publication/255708960\\_Tecnicas\\_de\\_caracterizacion\\_mineral\\_y\\_su\\_aplicacion\\_en\\_exploracion\\_y\\_explotacion\\_minera](https://www.researchgate.net/publication/255708960_Tecnicas_de_caracterizacion_mineral_y_su_aplicacion_en_exploracion_y_explotacion_minera)

AMALAR. (s.f.). *Proceso de beneficio de minerales*. [http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download\\_wiki\\_attachment.php?attId=232](http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=232)

Asamblea Nacional del Ecuador. (24 de Noviembre de 2011). *Ley de minería. Registro Oficial Suplemento 517 de 29-ene-2009*. [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_mineria.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_mineria.pdf)

Avellaneda, A. (02 de 2018). *Caracterización química y física de un mineral aurífero de la región de NOCUPÉTARO, MICHOACÁN y diseño de su proceso de beneficio*. [http://biblotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB\\_UMICH/5301/IIMM-M-2018-0238.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://biblotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/5301/IIMM-M-2018-0238.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Banco Central del Ecuador. (2021). *Reporte de minería*. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ReporteMinero072021.pdf>

Banco Central del Ecuador. (s.f.). *Cartilla informativa del sector Minero*. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla00.pdf>

Colqui, J. (2017). *“Evaluación del colector PQ-6293 en la flotación de minerales sulfurados de plomo - plata en la empresa BUENAVENTURA MALLAY 2017*. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/352>

Copyright Embajada de Canadá en República Dominicana. (2015). *Manual informativo sobre minería en la república Dominicana*. <https://camiperd.org/camiposite/wp-content/uploads/2016/09/Manual-Informativo-sobre-Miner%C3%ADa-en-la-Rep%C3%BAblica-Dominicana.pdf>

Delgado, M. (2018). *Análisis de las obligaciones fiscales de la pequeña minería metálica, en la provincia del Azuay, en el año 2016*. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8625/1/14292.pdf>

Domínguez, S. (s.f.). *Aplicación de las técnicas mineralógicas y petrográficas a la arqueometría. Estudio de materiales del dolmen de alberite*. <file:///C:/Users/Pc%20one/Downloads/antuan,+5054-17019-1-CE.pdf>

Ecuador, T. C. (29 de 01 de 2009). *Suplemento del Registro Oficial 517*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Ley-de-Mineria.pdf>

Empresa minera los QUENUALES S.A. (2004). *Manual de flotación*. [https://www.academia.edu/31597366/Manual\\_flotacion\\_minerales](https://www.academia.edu/31597366/Manual_flotacion_minerales)

- Escuela Politécnica Nacional. (s.f.). <https://fgp.epn.edu.ec/index.php/lab-geo/186-laboratorio-de-laminas-delgadas#:~:text=Las%20%C3%A1minas%20delgadas%20o%20secciones,recubiertas%20con%20un%20cubre%20objetos.>
- Estupiñan, R. e. (2021). *La minería en Ecuador. Pasado, presente y futuro.* [https://www.igme.es/boletin/2021/132\\_4/BGM\\_132-4\\_Art-10.pdf](https://www.igme.es/boletin/2021/132_4/BGM_132-4_Art-10.pdf)
- GAD Parroquial Rural. El Carmen de Pijilí. (2019 - 2023). <https://gadprpiji.gob.ec/azuay2/ubicacion-geografica/>
- GAD Parroquial Rural. El Carmen de Pijilí. (2019 - 2023). <https://gadprpiji.gob.ec/azuay2/ubicacion-geografica/>
- GEOLOGIAWEB. (s.f.). *Desidad de las rocas*. <https://geologiaweb.com/geofisica/gravimetria/densidad-rocas/>
- Global, Multi-Cloud Database. (s.f.). *Flotación de minerales.* <https://phemycs.com/flotacion-de-minerales/>
- IIGE, I. d. (2018). *Hoja geológica de Machala.* <https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-geologicos/>
- Instituto de Investigación Geológico y Energético del Ecuador. (s.f.). *Análisis Químico para la determinación de oro el Método de Ensayo al Fuego.* [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](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)
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (03 de 2022). *Caracterización geoquímica y mineralógica de relaves mineros La Ciénega - La libertad.* <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3702>
- Jimenez, A. (04 de 02 de 2018). *Caracterización de minerales.* <https://es.scribd.com/document/370695081/Caracterizacion-de-Minerales#>
- Llumiquinga, J. (04 de 2019). <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/re dug/39833>
- Melgarejo, J., Proenza, J., Salvador, G., & Llovet, X. (2010). *Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en.* [https://www.researchgate.net/publication/255708960\\_Tecnicas\\_de\\_caracterizacion\\_mineral\\_y\\_su\\_aplicacion\\_en\\_exploracion\\_y\\_explotacion\\_minera](https://www.researchgate.net/publication/255708960_Tecnicas_de_caracterizacion_mineral_y_su_aplicacion_en_exploracion_y_explotacion_minera)
- Michalle Flores, C. R. (2021). *Identificación de riesgos laborales en pequeña minería en las fases de explotación y beneficio para la compañía minera Minireicis S.A., Camilo Ponce Enríquez - Azuay.* <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/11339/1/16876.pdf>
- MINERGÍA. (2022). <https://www.minergiaec.com/industria-minera-ecuatoriana-reza-2023/>



- MINISTERIO DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES. (2020). *Plan Nacional de Desarrollo del sector Minero*.  
<https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/10/Plan-Nacional-de-Desarrollo-del-Sector-Minero-2020-2030.pdf>
- Mojica, J., Londoño, J., Molano, J., Stella, G., & Ruiz, V. (2010). *Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas*. Guía metodológica:  
<https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadadas/Documents/Tecnicas-mineralogicas-quimicas-metalurgicas.PDF>
- Mora, A. (06 de 01 de 2022). *La explotación minera en el Cantón Ponce Enríquez y su impacto en el desarrollo*. <http://201.159.223.180/bitstream/3317/18518/1/T-UCSG-POS-MFEE-275.pdf>
- Núñez, C. (06 de 2018). *Mapa geológico de las áreas mineras "Carmen de Pijilí" y "Rosa de Oro", Parroquia El Carmen de Pijilí - Cantón Camilo Ponce Enríquez, escala 1:20000*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15511?mode=full>
- Oswaldo Bustamante, e. a. (2008). *Concentración de minerales*.  
[https://minas.medellin.unal.edu.co/centro-editorial/cuadernos/download/24\\_5a1004a32dcbd619453c3eed562725f0](https://minas.medellin.unal.edu.co/centro-editorial/cuadernos/download/24_5a1004a32dcbd619453c3eed562725f0)
- Párraga, R. (01 de 09 de 2017). *Yacimientos mineros y metalogenia II*.  
<https://es.scribd.com/document/370695081/Caracterizacion-de-Minerales>
- PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL "EL CARMEN DE PIJILÍ" - CAMILO PONCE ENRÍQUEZ - AZUAY - ECUADOR. (2015 - 2031).  
[http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/0160036030001\\_PDyOT%20Carmen%20de%20Pijil%C3%AD\\_14-05-2015\\_19-59-57.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0160036030001_PDyOT%20Carmen%20de%20Pijil%C3%AD_14-05-2015_19-59-57.pdf)
- Pozo, M. (2019). *El papel de la caracterización mineralógica y geoquímica en el estudio de las culturas antiguas: ejemplos de excavaciones españolas en oriente*.  
[file:///C:/Users/Pc%20one/Downloads/28805%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Pc%20one/Downloads/28805%20(2).pdf)
- Pozo, M. (2019). *El papel de la caracterización mineralógica y geoquímica en el estudio de las culturas antiguas: ejemplos de excavaciones españolas en oriente*.  
<https://revistas.uam.es › article › isimu2019.22.004>
- Pozo, M., & al, e. (2004). *Geología práctica. Introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas*. Madrid: Pearson Prentice Hall.
- Ríos, C., & Flores, M. (2021). *Identificación de riesgos laborales en pequeña minería en las fases de explotación y beneficio para la compañía minera Minireicis S.A., Camilo Ponce Enríquez - Azuay*.  
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/11339/1/16876.pdf>

- Servicio Geológico Mexicano. (22 de 03 de 2017). *Beneficio y transformación de minerales*.  
[https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html)
- Servicio Geológico Mexicano. (22 de 03 de 2017). *Beneficio y transformación de minerales*.  
[https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html)
- Sistema de Geológico Mexicano. (22 de 03 de 2017). *Minerales. Propiedades físicas*.  
<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Minerales/Propiedades-Fisicas.html#:~:text=Las%20propiedades%20f%C3%ADsicas%20de%20los,o%20la%20dureza%2C%20entre%20otros.>
- Técnicas analíticas en la investigación de minerales*. (s.f.). <http://www.mineralog.net/wp-content/uploads/2011/09/FM9Tecnicasanaliticas.pdf>
- Tribunal Constitucional del Ecuador. (29 de 01 de 2009). *Registro oficial 517*.  
<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Ley-de-Mineria.pdf>
- Unversidad de Alicante. (18 de 02 de 2019). *Diagénesis de rocas carbonáticas*.  
[https://web.ua.es/es/e-pesedua/carbonaticas/diagenesis-de-rocas-carbonaticas.html#:~:text=POROSIDAD,\)%20o%20secundaria%20\(diagen%C3%A9tica\).](https://web.ua.es/es/e-pesedua/carbonaticas/diagenesis-de-rocas-carbonaticas.html#:~:text=POROSIDAD,)%20o%20secundaria%20(diagen%C3%A9tica).)
- Velín, K. (2014). *Mejoramiento y sublimación de una planta de recuperación de oro por concentración gravimétrica, flotación y cianuración, ubicado en Piñas provincia de el Oro*.  
<http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/32270/D-70050.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vera, E. e. (s.f.). *Caracterización de minerales*.  
<https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/4625/1/2727.pdf>
- Villacís, J. (2009). *Diseño de planta para veneficiar el mineral de Pachicar por el método de flotación*. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1712/1/CD-2287.pdf>
- Wikipedia. (05 de 11 de 2022). *Alteración de los minerales*.  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Alteraci%C3%B3n\\_de\\_los\\_minerales](https://es.wikipedia.org/wiki/Alteraci%C3%B3n_de_los_minerales)

## 11. Anexo

### Anexo 1 Análisis petrográfico de las muestras

| Codificación de la muestra | Descripción microscópica   | Descripción macroscópica           |
|----------------------------|--|------------------------------------|
| VRBON-SR001                | <p><b>Color:</b> Gris<br/> <b>Textura:</b> Clástica<br/> <b>Estructura:</b> Masiva<br/> <b>Magnetismo:</b> No presenta<br/> <b>Observación:</b> La roca presenta clastos compuestos de cuarzo anhedral, presenta finas vetillas de calcita relleno de las fracturas entre los cristales de cuarzo. Se presenta calcita en forma granular, lo que indica que la porosidad de la brecha fue rellena por este mineral de baja temperatura al enfriarse el sistema.</p>  | Pirita<br>Arsenopirita<br>Ilmenita |
| VGMBON-SR002               | <p><b>Color:</b> Gris<br/> <b>Textura:</b> Clástica<br/> <b>Estructura:</b> Masiva<br/> <b>Magnetismo:</b> No presenta<br/> <b>Observación:</b> La roca presenta clastos de cuarzo anhedral, feldespatos y clastos arcillosos algo verdosos, probablemente sericita o una mezcla de arcillas. La roca reacciona con ácido clorhídrico, por lo que se reporta presencia de carbonatos en las finas vetillas de la muestra.</p>  | Pirita<br>Arsenopirita<br>Ilmenita |
| VPBBO-SR003                | <p><b>Color:</b> Blanco<br/> <b>Textura:</b> Cristalina<br/> <b>Estructura:</b> Masiva<br/> <b>Magnetismo:</b> No presenta<br/> <b>Observación:</b> La muestra de mano está compuesta en su totalidad de cuarzo, probablemente se trata de un fragmento de una veta que presenta vetillas oxidadas. Se reporta presencia de vesículas irregulares en formas aisladas y a lo largo de vetillas. Se aprecian fragmentos de carbonatos y fragmentos arcillosos.</p>   | Pirita<br>Arsenopirita<br>Hematita |
| VBBCN-SR004                | <p><b>Color:</b> Gris claro<br/> <b>Textura:</b> Fanerítica<br/> <b>Estructura:</b> Masiva<br/> <b>Magnetismo:</b> No presenta<br/> <b>Observación:</b> La muestra de mano presenta fenocristales de feldespato y cuarzo, se aprecian unos cristales oscuros, probablemente minerales máficos alterados.<br/>                     La roca presenta gran cantidad de óxidos. No se reporta presencia de carbonatos.<br/>                     EN lámina delgada se presentan todos los feldespatos alterados a arcillas, probablemente sericita.</p> | Esfalerita<br>Hematita<br>Pirita   |

Nota: Elaborado por El Autor, (2023)

Anexo 2. Difracción de rayos x



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL**  
**(FIGEMPA)**  
**LABFIGEMPA**  
**INFORME DE RESULTADOS**

Cliente: Ing. Sergio Rojas.  
 Dirección: Baños de Agua Santa 5/N  
 Teléfono: 0998241698  
 Atención: Ing. Sergio Rojas

Número de Informe: 23-007  
 Fecha de Informe: 06-04-23  
 Recep. Laboratorio: 23-03-23  
 Nº de muestras entregadas: 4 rocas.

**1. RESULTADOS ANALITICOS:**

| Identificación de la muestra: |                                  | ROCA: VETA GOLD MINNING |                 |                  |          |
|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------|------------------|----------|
| Nombre Mineralógico           | Fórmula Química                  | Porcentaje              | Método Aplicado | Fechas de ensayo |          |
|                               |                                  |                         |                 | Inicial          | Final    |
| Quartz                        | SiO <sub>2</sub>                 | 39.4%                   | DRX             | 05-04-23         | 06-04-23 |
| Arsenopyrite Hox              | AsFeS                            | 23.7%                   |                 |                  |          |
| Arsenopyrite                  | AsFeS                            | 24.1%                   |                 |                  |          |
| Siderite                      | CFeO <sub>3</sub>                | 7.0%                    |                 |                  |          |
| Fosforo Plata                 | Ag <sub>2</sub> P                | 2.9%                    |                 |                  |          |
| Fosfato Plata                 | Ag <sub>2</sub> O <sub>4</sub> P | 3.0%                    |                 |                  |          |

| Identificación de la muestra: |   | ROCA: PEÑA BRAVO |                 |                  |          |
|-------------------------------|---|------------------|-----------------|------------------|----------|
| Nombre Mineralógico           | Fórmula Química   | Porcentaje       | Método Aplicado | Fechas de ensayo |          |
|                               |   |                  |                 | Inicial          | Final    |
| Quartz                        | SiO <sub>2</sub>  | 97.0%            | DRX             | 05-04-23         | 06-04-23 |
| Biotite                       | Al <sub>1,10</sub> Fe <sub>1,30</sub> K <sub>2,30</sub> Mg <sub>0,512</sub><br>Mn <sub>0,007</sub> Na <sub>0,004</sub> O <sub>12</sub> Si <sub>2,998</sub><br>Ti <sub>0,007</sub> | 3.0%             |                 |                  |          |

El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente.  
 Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.  
 Documento válido únicamente con el sello seco de la institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

**2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: AM**

  
 Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ  
 Director encargado LABFIGEMPA



Ciudad Universitaria: Gerónimo Leiton y Av. La Gasca- Casilla 872A - Telf: 2566-726 /2550-588 / 3215-005  
 Quito - Ecuador



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL  
 (FIGEMPA)

LABFIGEMPA  
 INFORME DE RESULTADOS

Cliente: Ing. Sergio Rojas.  
 Dirección: Baños de Agua Santa S/N  
 Teléfono: 0998241698  
 Atención: Ing. Sergio Rojas

Número de Informe: 73-007  
 Fecha de informe: 06-04-23  
 Recep. Laboratorio: 23-03-23  
 Nº de muestras entregadas: 4 rocas

1. RESULTADOS ANALITICOS:

| Identificación de la muestra: |   | ROCA: VETA ROJA |                 |                  |          |
|-------------------------------|---|-----------------|-----------------|------------------|----------|
| Nombre Mineralógico           | Fórmula Química   | Porcentaje      | Método Aplicado | Fechas de ensayo |          |
|                               |   |                 |                 | Inicial          | Final    |
| Quartz                        | SiO <sub>2</sub>  | 63.8%           | DRX             | 05-04-23         | 06-04-23 |
| Dolomite                      | CCa <sub>0.5</sub> Mg <sub>0.5</sub> O <sub>9</sub>   | 12.5%           |                 |                  |          |
| Cincoestatite                 | Ca <sub>3.33</sub> Mg <sub>1.66</sub> O <sub>6</sub> Si <sub>5</sub>  | 13.9%           |                 |                  |          |
| Phengite                      | Al <sub>1.28</sub> Fe <sub>0.04</sub> Fe <sub>0.28</sub> H <sub>1.36</sub> K <sub>0.115</sub> Mg <sub>0.1</sub> Na <sub>0</sub><br>O <sub>2</sub> SO <sub>1.76</sub> Si <sub>3.24</sub> | 9.8%            |                 |                  |          |

| Identificación de la muestra: |   | ROCA: VETA BOSQUE |                 |                  |          |
|-------------------------------|---|-------------------|-----------------|------------------|----------|
| Nombre Mineralógico           | Fórmula Química   | Porcentaje        | Método Aplicado | Fechas de ensayo |          |
|                               |   |                   |                 | Inicial          | Final    |
| Quartz                        | SiO <sub>2</sub>  | 49.0%             | DRX             | 05-04-23         | 06-04-23 |
| Phengite                      | Al <sub>1.28</sub> Fe <sub>0.04</sub> Fe <sub>0.28</sub> H <sub>1.36</sub> K <sub>0.115</sub> Mg <sub>0.1</sub> Na <sub>0</sub><br>O <sub>2</sub> SO <sub>1.76</sub> Si <sub>3.24</sub> | 38.2%             |                 |                  |          |
| Biotite                       | Al <sub>2.287</sub> Fe <sub>0.4</sub> K <sub>1.388</sub> Mg <sub>0.332</sub><br>Mn <sub>0.001</sub> Na <sub>0.014</sub> O <sub>17</sub> Si <sub>2.808</sub><br>Ti <sub>0.007</sub>      | 12.8%             |                 |                  |          |

El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente.  
 Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.  
 Documento válido únicamente con el sello seco de la institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: AM

Quim. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ  
 Director encargado LABFIGEMPA





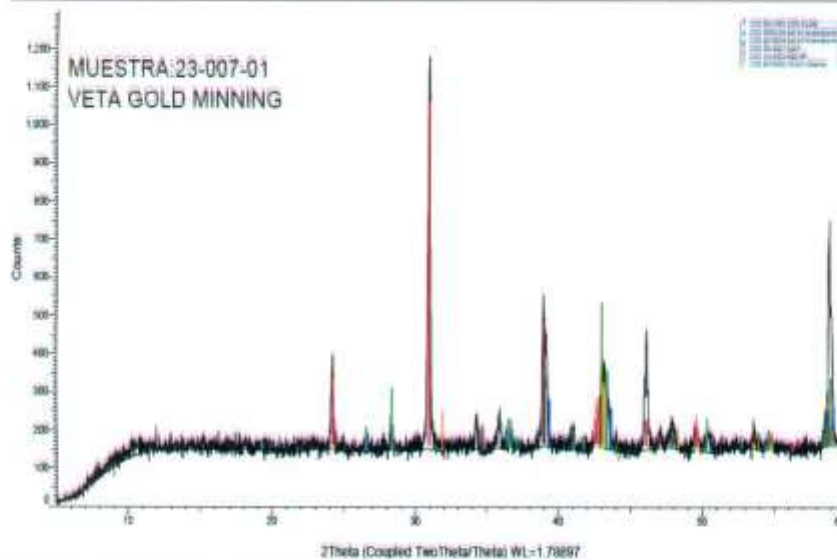
UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL  
(FIGEMPA)  
LABFIGEMPA  
INFORME DE RESULTADOS

|            |                         |                            |          |
|------------|-------------------------|----------------------------|----------|
| Cliente:   | Ing. Sergio Rojas.      | Número de informe:         | 23-007   |
| Dirección: | Baños de Agua Santa S/N | Fecha de informe:          | 06-04-23 |
| Teléfono:  | 0998241698              | Recop. Laboratorio:        | 23-03-23 |
| Atención:  | Ing. Sergio Rojas.      | Nº de muestras entregadas: | 4 rocas  |

1. RESULTADOS ANALITICOS:

Identificación de la muestra: ROCA: VETA GOLD MINNING

COMMANDER Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente  
Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.  
Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: AM

Quim. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ  
Director encargado LABFIGEMPA



Ciudad Universitaria- Gerónimo Leiton y Av. La Gacsa- Casilla 872A - Telfs: 2566-726 /2550-588 / 3215-005  
Quito - Ecuador



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL  
(FIGEMPA)

LABFIGEMPA  
INFORME DE RESULTADOS

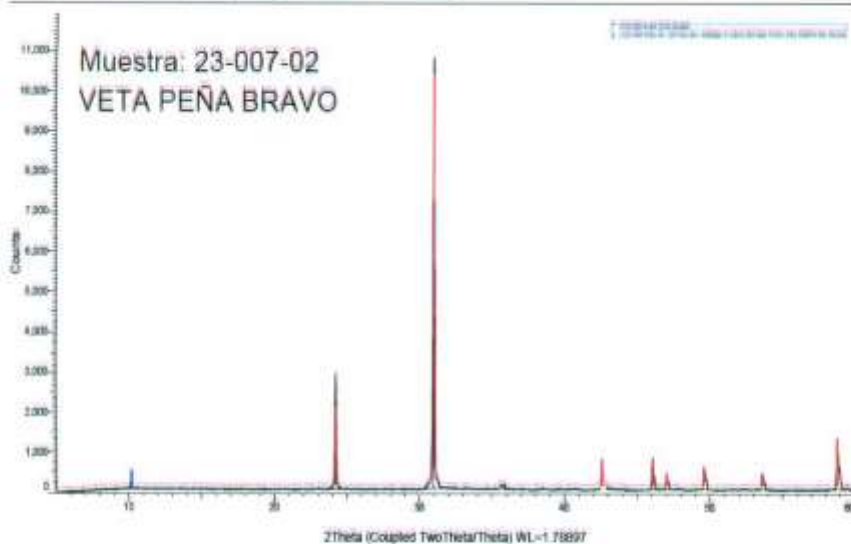
Cliente: Ing. Sergio Rojas  
Dirección: Baños de Agua Santa S/N  
Teléfono: 0998241698  
Atención: Ing. Sergio Rojas

Número de Informe: 23-007  
Fecha de informe: 06-04-23  
Recep. Laboratorio: 23-03-23  
Nº de muestras entregadas: 4 rocas

1. RESULTADOS ANALITICOS:

|                               |                       |
|-------------------------------|-----------------------|
| Identificación de la muestra: | ROCA: VETA PEÑA BRAVO |
|-------------------------------|-----------------------|

COMMANDER Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente  
Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.  
Documento válido únicamente con el sello seco de la institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: AM

Quim. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ  
Director encargado LABFIGEMPA



Ciudad Universitaria- Gerónimo Leiton y Av. La Gasca- Casilla 872A - Telf: 2566-726 /2550-588 / 3215-005  
Quito - Ecuador



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL  
(FIGEMPA)

LABFIGEMPA  
INFORME DE RESULTADOS

Cliente: Ing. Sergio Rojas.  
Dirección: Baños de Agua Santa S/N  
Teléfono: 0998241698  
Atención: Ing. Sergio Rojas

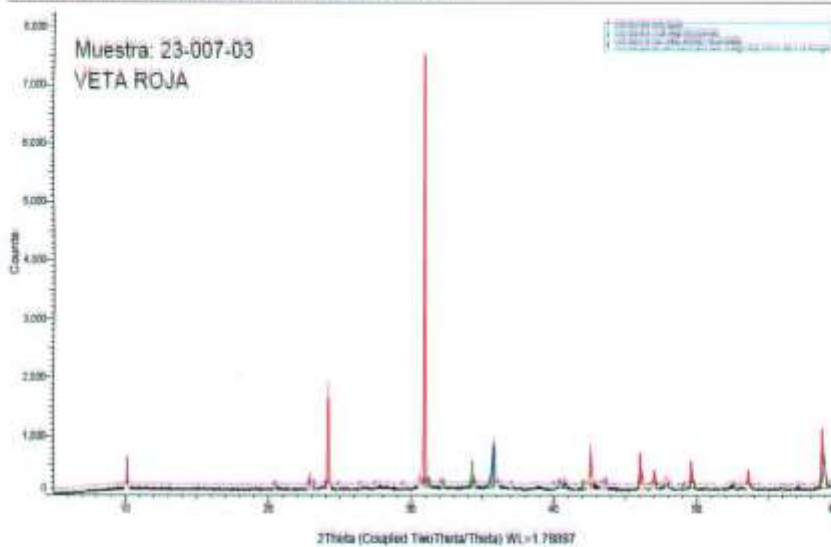
Número de Informe: 23-007  
Fecha de informe: 06-04-23  
Recep. Laboratorio: 23-03-23  
Nº de muestras entregadas: 4 rocas

1. RESULTADOS ANALITICOS:

Identificación de la muestra:

ROCA: VETA ROJA

COMMANDER Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente  
Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidos en el LABFIGEMPA.  
Documento válido únicamente con el sello seco de la Institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: AM

Quim. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ  
Director encargado LABFIGEMPA



Ciudad Universitaria - Gerónimo Leiton y Av. La Gasca - Casilla 872A - Telfs: 2566-726 / 2550-588 / 3215-005.  
Quito - Ecuador





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL  
(FIGEMPA)  
LABFIGEMPA  
INFORME DE RESULTADOS

Cliente: Ing. Sergio Rojas,  
Dirección: Baños de Agua Santa S/N  
Teléfono: 0998241698  
Atención: Ing. Sergio Rojas

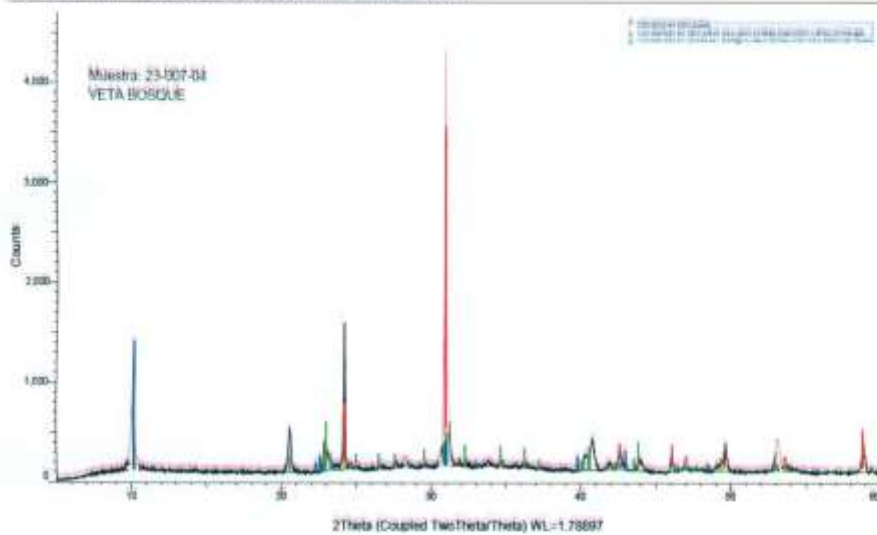
Número de Informe: 23-007  
Fecha de informe: 06-04-23  
Recep. Laboratorio: 23-03-23  
Nº de muestras entregadas: 4 rocas

1. RESULTADOS ANALITICOS:

Identificación de la muestra:

ROCA: VETA BOSQUE

COMMANDER Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



El presente informe solo afecta a los objetos sometidos a ensayo. Muestras detalladas según especificación del cliente.

Nos responsabilizamos solamente de los análisis de las muestras recibidas en el LABFIGEMPA.

Documento válido únicamente con el sello seco de la institución. El LABFIGEMPA no se responsabiliza de la reproducción parcial o total del mismo.

2. RESPONSABLES DEL ANALISIS: AM

Quím. GABRIEL CEVALLOS GONZALEZ  
Director encargado LABFIGEMPA



Ciudad Universitaria- Gerónimo Leiton y Av. La Gasca- Casilla 872A - Telfs: 2566-726 / 2550-588 / 3215-005  
Quito - Ecuador

### Anexo 3. Certificación de traducción del resumen



Mg. Yanina Quizhpe Espinoza  
Licenciada en Ciencias de Educación mención Inglés  
Magister en Traducción y mediación cultural

Celular: 0989805087  
Email: [yaniges@icloud.com](mailto:yaniges@icloud.com)  
Loja, Ecuador 110104

Loja, 21 de mayo de 2023

Yo, Lic. Yanina Quizhpe Espinoza, con cédula de identidad 1104337553, docente del Instituto de Idiomas de la Universidad Nacional de Loja, y certificada como traductora e interprete en la Senescyt y en el Ministerio de trabajo del Ecuador con registro MDT-3104-CCL-252640, certifico:

Que tengo el conocimiento y dominio de los idiomas español e inglés y que la traducción del resumen del Trabajo de titulación **Caracterización físico-química y mineralógica del material de la Concesión Minera "Nicolas 1" Código Catastral (102826), para el mejoramiento del proceso de beneficio, en la parroquia El Carmen de Pijilí, cantón Camilo Ponce Enríquez, Provincia del Azuay**, cuya autoría del señor Sergio Estuardo Rojas Guano, con cédula 1600450413, es verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Atentamente

YANINA  
BELEN  
QUIZHPE  
ESPINOZA  
A

Timbre  
digitalizado  
por 1610004  
08/05/2023 09:59  
Fecha: 2023.05.21  
20:17:08.0000

Yanina Quizhpe Espinoza.

**Traductora freelance**

*Full text translator: servicios de traducción*