



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**

**Pruebas metalúrgicas para determinar los parámetros óptimos de flotación del  
material de procesamiento en la Planta de Beneficio EXYCOMINSUR CIA  
LTDA.**

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

**AUTOR:**

Ing. Oscar David Cabrera Márquez

**DIRECTOR:**

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo. Mg. Sc

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 27 de abril de 2023

Msc Stalin Ivan Puglla Arévalo

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Pruebas metalúrgicas para determinar los parámetros óptimos de flotación del material de procesamiento en la Planta de Beneficio EXYCOMINSUR CIA LTDA.**, previo a la obtención del título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, de autoría del estudiante **Oscar David Cabrera Márquez** con **cédula de identidad N° 1900474881** una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo. Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

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

**Firma:**

**Cédula de Identidad:** 1900474881

**Fecha:** 22/05/2023

**Correo electrónico:** geoscience.mining@gmail.com

**Teléfono:** 0994353949

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

Yo, **Oscar David Cabrera Márquez**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Pruebas metalúrgicas para determinar los parámetros óptimos de flotación del material de procesamiento en la Planta de Beneficio EXYCOMINSUR CIA LTDA** como requisito para optar el título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

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

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

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

**Firma:**

**Autor:** Oscar David Cabrera Márquez

**Cédula:** 1900474881

**Dirección:** Pio Jaramillo Alvarado

**Correo electrónico:** geoscience.mining@gmail.com

**Teléfono:** 0994353949

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo. Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

A los investigadores del área de metalurgia, quienes con sus aportes enriquecen cada vez más esta área del conocimiento.

En memoria de mi compañero de trabajo y amigo William Muñoz Muñoz, quién con su partida días antes de mi graduación deja buenas enseñanzas de valentía y arduo trabajo.

*Oscar David Cabrera Márquez*

## **Agradecimiento**

A mi familia, que siempre ha sido mi pilar fundamental. En particular a mi hija Sofía por quién trato de construir día a día un buen legado.

A la empresa Exycominsur CIA LTDA, que me ha abierto las puertas laboralmente y en el trayecto me ha ensañado un sinnúmero de experiencias profesionales.

*Oscar David Cabrera Márquez*

## 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 .....</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>viii</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de anexos .....</b>	<b>x</b>
<b>1.Titulo .....</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>
<b>4.1 Caracterización técnicas de minerales. ....</b>	<b>6</b>
4.1.1 Microscopia óptica. ....	6
4.1.2 Absorción Atómica.....	7
4.1.3 Ensayo al fuego .....	8
<b>4.2 Flotación.....</b>	<b>9</b>
4.2.1 Minerales Hidrofílicos.....	9
4.2.2 Minerales Hidrofóbicos .....	9
4.2.3 Tipos de flotación.....	10
4.2.4 Variables operacionales relevantes en el proceso.....	10
4.2.5 Clasificación de los reactivos de flotación.....	11
<b>5. Metodología .....</b>	<b>17</b>
<b>5.1 Área de Estudio .....</b>	<b>17</b>
<b>5.2 Procedimiento .....</b>	<b>17</b>
5.2.1 Muestreo para caracterización técnica de minerales. ....	18
5.2.2 Muestreo para pruebas de flotación.....	19
<b>5.3 Técnicas de caracterización de minerales.....</b>	<b>19</b>
5.3.1 Microscopía óptica .....	19

5.3.2 Determinación de Oro y Plata por ensayo al Fuego. ....	24
5.3.3 Determinación de metales por Absorción Atómica. ....	24
<b>5.4 Pruebas metalúrgicas. ....</b>	<b>24</b>
5.3.4.1 Tratamiento y pretratamiento aplicado a la mena. ....	25
5.3.4.1.1 Trituración. ....	25
5.3.4.1.2 Molienda. ....	25
5.3.4.1.3 Densidad de Pulpa. ....	26
5.3.4.2 Prueba Metalúrgica de flotación1. ....	26
5.3.4.3 Prueba metalúrgica de flotación2. ....	27
5.3.4.4 Prueba metalúrgica de flotación3. ....	28
5.3.4.5 Prueba metalúrgica de flotación4. ....	28
5.5 Procesamiento y análisis de datos .....	<b>29</b>
<b>6. Resultados.....</b>	<b>30</b>
6.1 Caracterización técnica mineralógica .....	30
6.2 Caracterización química .....	31
6.3 Pruebas Metalúrgicas.....	32
6.4 Balance metalúrgico .....	33
<b>7. Discusión .....</b>	<b>35</b>
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>37</b>
<b>9. Recomendaciones .....</b>	<b>39</b>
<b>10. Bibliografía .....</b>	<b>40</b>
<b>11. Anexos .....</b>	<b>42</b>

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Tipos de reactivos utilizados en las pruebas de flotación	22
<b>Tabla 2.</b> Parámetros y reactivos utilizados en la Prueba de Flotación N°1	24
<b>Tabla 3.</b> Parámetros y reactivos utilizados en la Prueba de Flotación N°2	25
<b>Tabla 4.</b> Parámetros y reactivos utilizados en la Prueba de Flotación N°3	26
<b>Tabla 5.</b> Parámetros y reactivos utilizados en la Prueba de Flotación N°4.	26
<b>Tabla 6.</b> Contenido mineral en las 5 muestras ensayadas.	29
<b>Tabla 7.</b> Resultados de caracterización química analítica	30
<b>Tabla 8.</b> Resultados de ley mineral, en los flujos de alimentación, concentrado y relaves, de las pruebas de flotación.	30
<b>Tabla 9.</b> Balances metalúrgicos de Au en las pruebas de flotación realizadas.	31
<b>Tabla 10.</b> Balances metalúrgicos de Cu en las pruebas de flotación realizadas.	32

## Índice de Figuras:

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación planta de beneficio EXYCOMINSUR CIA LTDA.	<b>17</b>
<b>Figura 2.</b> Almacenamiento de material mineralizado, lugar de obtención de la muestra.	<b>18</b>
<b>Figura 3.</b> Muestras para análisis mineralógico. Desde la fotografía superior izquierda y en orden hacia derecha y abajo codificadas como muestras M1, M2, M3, M4, M5.	<b>19</b>
<b>Figura 4.</b> Banda transportadora a la salida de la trituración primaria hacia la secundaria, lugar donde se realizó el muestreo para las pruebas de flotación.	<b>19</b>
<b>Figura 5.</b> Diagrama flujo para el procedimiento de interpretación mineralógica por microscopía óptica.	<b>21</b>
<b>Figura 6.</b> Material obtenido de la trituración primaria.	<b>23</b>
<b>Figura 7.</b> Material obtenido de la molienda	<b>23</b>
<b>Figura 8.</b> Preparación de densidad de pulpa al 30 % de sólidos.	<b>24</b>
<b>Figura 9.</b> Realización de la prueba de flotación N°1.	<b>25</b>
<b>Figura 10.</b> Porcentaje de minerales presentes en el material de estudio.	<b>29</b>
<b>Figura 11.</b> Curva de recuperación de Au en las pruebas de flotación realizadas.	<b>31</b>
<b>Figura 12.</b> Curva de recuperación de Cu en las pruebas de flotación realizadas.	<b>32</b>
<b>Figura 13.</b> Curvas de recuperación de Au, Cu, As en las pruebas de flotación realizadas, versus la razón de concentración.	<b>34</b>

## Índice de Anexos:

<b>Anexo 1:</b> Parametros Metalurgicos de pruebas de flotacion .....	<b>42</b>
<b>Anexo 2:</b> Balance metalurgico .....	<b>43</b>
<b>Anexo 3:</b> Certificado de traducción del resumen .....	<b>45</b>

## **1. TITULO**

**Pruebas metalúrgicas para determinar los parámetros óptimos de  
flotación del material de procesamiento en la Planta de Beneficio  
EXYCOMINSUR CIA LTDA.**

## 2. Resumen

El material de procesamiento de la planta de beneficio EXYCOMINSUR CIA LTDA es una mena polimetálica compuesto de 36% de cuarzo, 35% de arsenopirita, 19% de calcopirita, 9% de pirrotina, 1% de pirita, analizados bajo la técnica de microscopía óptica. Se determinó que el Au es refractario debido a que no se detectó la presencia a escala microscópica. Se analizaron los elementos que componen la mena, obteniendo los siguientes resultados: 1.12 % de Cu, 0.02 % de Pb, 0.07 % de Zn, 9.07 % As, 16.02 % Fe, elementos analizados bajo la técnica de espectrofotometría de absorción atómica, y 92.38 g/t de Au, 33.7 g/t de Ag analizados bajo la técnica de ensayo al fuego. Los resultados obtenidos en la caracterización mineralógica orientaron las pruebas de flotación a obtener un concentrado comercial de Au-Cu.

Se realizaron cuatro pruebas de flotación, entre las cuales de la primera prueba presenta una mayor recuperación de Au de 83.55% y Cu de 83.79%, obteniendo un concentrado de baja ley con una razón de concentración de 2.33, El concentrado de la primera prueba de flotación se recomienda enviar a un siguiente proceso, sea de, flotación cleaner, o lixiviación.

Las pruebas de flotación 2, 3 y 4 se utilizó un depresor de arsénico, variando su dosificación en cada prueba, como resultado se observó una tendencia en la gráfica de recuperación, similar, del Au, Cu, As en el concentrado, a medida que se incrementa el uso del depresor, mayor es el contenido metálico que va a los relaves, sin embargo, se obtiene un concentrado de elevada pureza entre 130-150 g/t Au, 24% de Cu con ratios de concentración de entre 6 a 14, mismos que son comercializables por Au y Cu. Los relaves de las pruebas de flotación 2,3 y 4 debe pasar a un siguiente proceso de concentración.

***Palabras claves:** flotación, pruebas metalúrgicas, composición mineralógica, recuperación.*

## 2.1 Abstract

The processing material of the beneficiation plant EXYCOMINSUR CIA LTDA is a polymetallic ore composed of 36% quartz, 35% arsenopyrite, 19% chalcopyrite, 9% pyrrhotite, 1% pyrite, analyzed under the optical microscopy technique. It was determined that Au is refractory because its presence was not detected on a microscopic scale. The elements that make up the ore were analyzed, obtaining the following results: 1.12% Cu, 0.02% Pb, 0.07% Zn, 9.07% As, 16.02% Fe, elements analyzed under the atomic absorption spectrophotometry technique, and 92.38 g/t Au, 33.7 g/t Ag analyzed under fire test technique. The results obtained in the mineralogical characterization guided the flotation tests to obtain a commercial concentrate of Au-Cu.

Four flotation tests were carried out, among which the first test shows a higher recovery of Au of 83.55% and Cu of 83.79%, obtaining a low-grade concentrate with a concentration ratio of 2.33. The concentrate of the first flotation test it is recommended to send it to a next process, being the cleaner flotation or leaching.

In flotation tests 2, 3 and 4, an arsenic depressant was used, varying its dosage in each test, as a result a similar trend was observed in the recovery graph of Au, Cu, As in the concentrate, as the use of the depressant increases, the greater the metal content that goes to the tailings, however, a high purity concentrate is obtained between 130-150 g/t Au, 24% Cu with concentration ratios between 6 to 14, which are marketable for Au and Cu. The tailings from flotation tests 2,3 and 4 must go through a subsequent concentration process.

**Keywords:** *flotation, metallurgical tests, mineralogical composition, recovery.*

### 3. Introducción

El distrito minero Camilo Ponce Enríquez se caracteriza por el desarrollo y expansión de la actividad minera metálica, principalmente en el régimen de pequeña minería, y minería artesanal en segundo plano. Junto con la expansión y crecimiento de la actividad minera en el distrito, incrementó la construcción e instalación de Plantas de Beneficio, destinadas para el procesamiento de materiales de distinta proveniencia, sea este del mismo titular de la Planta de Beneficio, o como alquiler para el procesamiento de distintas áreas mineras.

La Planta de Beneficio EXYCOMINSUR CIA LTDA, ubicada en el cantón Camilo Ponce Enríquez, fue construida con el objetivo de prestar el servicio de alquiler de planta, para el procesamiento de minerales únicamente con el objetivo del beneficio aurífero; la planta de beneficio cuenta con los procesos de: trituración primaria, trituración secundaria, molienda, circuito de lixiviación, mismo circuito que cuenta con la electrodeposición, y finalmente cuenta con el circuito de concentración por flotación, mismo que se encuentra aún en pruebas operativas, por lo cual surge el presente proyecto de titulación que se enfoca en la investigación del proceso de flotación.

A lo anteriormente señalado, se suma que una gran mayoría de las plantas de beneficio construidas en el cantón Camilo Ponce Enríquez, incluida la planta de beneficio en estudio, han sido construidas e instaladas sin realizar una caracterización técnica de minerales de sus materiales a procesar, desconociendo así su composición mineralógica, química, textural, y cinética de reacción frente a los procesos de recuperación de Au, resultando en recuperaciones metalúrgicas que desechan gran cantidad de material valioso a sus relaves.

Además de la ausencia del proceso de caracterización de minerales, no se realizan pruebas metalúrgicas a escala de laboratorio, de los materiales a procesar en la planta de beneficio, como consecuencia no se conoce a priori los parámetros necesarios para una mayor recuperación del proceso, entre algunas de ellas: las dosificaciones y tipos de reactivos que generen una mejor cinética en el proceso, los consumos de reactivos ante la presencia de minerales cianicidas, el grado de liberación necesario cuando el Au es refractario, entre otros parámetros que juegan un rol importante en los resultados finales.

Con este proyecto de investigación se pretende determinar los parámetros metalúrgicos óptimos para el proceso de concentración mineral por flotación, de la Planta de Beneficio EXYCOMINSUR CIA LTDA, que permitan incrementar la eficiencia en la recuperación

mineral, un adecuado escogimiento y dosificación de los reactivos de flotación, tiempos óptimos de residencia, tamaño de partícula adecuado.

## **Objetivos:**

### **Objetivo General**

Obtener los parámetros metalúrgicos óptimos en el proceso de flotación de minerales en la Planta de Beneficio EXYCOMINSUR CIA LTDA.

### **Objetivos específicos**

Caracterizar la composición mineralógica del material a procesar.

Evaluar los parámetros metalúrgicos óptimos para la recuperación de Au en el proceso de flotación.

Evaluar el balance metalúrgico del proceso de recuperación de Au en el proceso de flotación.

#### **4. Marco teórico.**

Los yacimientos minerales presentan condiciones físico químicas y geométricas similares en su génesis de formación, en base a ello existe la clasificación de yacimientos minerales. Sin embargo, los avances tecnológicos, así como el desarrollo y conocimiento de los yacimientos minerales, permite determinar que cada yacimiento mineral tiene sus particularidades en cuanto a génesis de formación, geoquímica, mineralogía, texturas, entre otros factores geológicos, lo que determina que cada yacimiento mineral sea único. Es por ello que es preciso realizar una caracterización técnica de minerales del material a extraer y a procesar, con miras a tener un mejor entendimiento de su comportamiento o influencia en el proceso extractivo o de beneficio mineral.

La información básica que debe recoger la caracterización mineralógica de una mena incluye:

- Composición química global.
- Minerales presentes.
- Composición de los minerales.
- Tamaño de grano de los minerales y su interrelación (textura).

En la actualidad no existe una técnica única que ofrezca toda la información química, mineral, textural, cuantitativa en un solo análisis y por lo tanto debe utilizarse una combinación de ellas, a continuación, se detalla las utilizadas en este trabajo de titulación.

#### **4.1 Caracterización técnicas de minerales.**

##### ***4.1.1 Microscopia óptica.***

Los minerales tienen propiedades ópticas que dependen exclusivamente de su composición y estructura cristalina, estas propiedades permiten identificarlos con alto grado de certeza (INGEOMINAS, 2010)

De acuerdo a sus propiedades ópticas los minerales pueden ser opacos o translúcidos. Los minerales translúcidos tienen la propiedad de transmitir la luz, los cuales se analizan bajo el microscopio con el sistema de luz transmitida. Los minerales opacos se analizan con el microscopio de sistema de luz reflejada (Salazar, 2018).

El análisis de las secciones delgadas y pulidas incluye la identificación de los minerales, descripción de forma, color, tamaño, textura, relaciones intercristalinas, cuantificación y otros rasgos particulares de los minerales que permite identificarlos por su nombre y mediante bibliografías saber su composición química, así como propiedades físicas, cristalinas, modos de ocurrencia, abundancia, entre otras características (Melgarejo, Proenza , Galí, & Llovet , 2010).

#### **4.1.1.1 Texturas.**

El análisis mineralógico en microscopios de luz transmitida y luz reflejada, también permiten observar la relación y disposición entre minerales presentes en una muestra, lo cual se denomina textura, y provee información sobre la naturaleza de los procesos que tiene lugar durante la formación y evolución de los depósitos minerales.

El estudio de las asociaciones y texturas está orientado a determinar la secuencia de depositación de los minerales y a contribuir a la resolución de problemas de beneficio, exploratorios entre otros. Según la forma de presentación de los cristales, relaciones intergranulares, morfología, estado de cristalización y relación postdeposicional; se pueden clasificar los tipos de texturas, pudiendo reconocer texturas descriptivas según tamaño y forma, texturas de depositación primaria, texturas secundarias resultantes de enfriamientos, reemplazamiento o deformación.

#### **4.1.2 Absorción Atómica.**

La absorción atómica junto con otras técnicas analíticas, se basa en la utilización de métodos atómicos para la cualificación y cuantificación de elementos. Su principio se basa en el proceso que ocurre cuando un átomo en su estado basal absorbe energía en forma de luz a una longitud de onda específica y es elevado a un estado excitado. La cantidad de energía lumínica absorbida a esta longitud de onda incrementará el número de átomos del elemento seleccionado en la trayectoria de luz (INGEOMINAS, 2010).

La relación entre la cantidad de luz absorbida y la concentración del analito presente en estándares conocidos puede usarse para determinar concentraciones no conocidas, midiendo la cantidad de luz que absorbieron los átomos, cumpliendo así la ley de Beer-Lambert (INGEOMINAS, 2010); de acuerdo con la medición de la cantidad de luz absorbida, se puede hacer una determinación cuantitativa de la cantidad del analito. El uso de fuentes de luz

especiales y una cuidadosa selección de las longitudes de onda permiten determinar elementos específicos. La función de la llama consiste en convertir el aerosol de la muestra en un vapor atómico el cual luego puede absorber la luz de la fuente primaria (lámpara de cátodo hueco o lámpara de descarga de electrones) (GAITAN, 2004).

#### ***4.1.3 Ensayo al fuego***

El ensayo al fuego es una rama del análisis químico cuantitativo, por el cual se determina la proporción de un metal en un mineral o producto metalúrgico con ayuda del calor y de reactivos secos. Este método se aplica hoy principalmente a la determinación de oro, plata y metales del grupo del platino (INGEOMINAS, 2010). Aplicado en este proyecto para análisis de Au y Ag.

El ensayo al fuego de oro y plata depende principalmente de:

- El alto grado de solubilidad de estos metales en plomo metálico fundido y su casi completa insolubilidad y asociación química en escorias de conveniente composición.
- La marcada diferencia de gravedad específica entre los dos líquidos de la fundición: plomo y escoria; lo cual permite la separación de los metales preciosos que van con el plomo fundido al fondo, separándose de la escoria que se coloca superficialmente.
- El hecho de que el plomo puede ser prácticamente removido y separado de los metales preciosos, por medio de un procedimiento térmico oxidante llamado copelación.
- La diferencia de reactividad del oro y la plata en ácido nítrico, lo cual permite su separación entre sí.

El peso que se ha definido como estándar en los ensayos al fuego de oro y plata es de 30 gramos de material a analizar, de tal forma que con la fundición se obtenga un botón de plomo, de 30 gramos que tendrá disuelto en su seno los metales preciosos. Este botón de plomo se somete a un proceso térmico llamado de copelación cuyo objetivo es absorber el plomo en plomo en la copela, dejando expuesto el botón de oro, plata y demás metales preciosos presentes en el material de ensayo.

El botón de oro y plata se somete a digestión con ácido nítrico para disolver la plata, de tal manera que el botón final es el oro que estaba presente en el material analizado.

## **4.2 Flotación.**

La definición tradicional de flotación de minerales dice que es una técnica de concentración en húmedo, en la que se aprovechan las propiedades físico-químicas superficiales de las partículas para efectuar la selección o separación. En otras palabras, se trata de un proceso de separación de materiales de distinto origen que se efectúa desde sus pulpas acuosas por medio de burbujas de gas (aire) y a base de sus propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas. (Linares, 2010)

### **4.2.1 Minerales Hidrofílicos.**

Son aquellos que sus propiedades físico-químicas les permite la estabilidad en contacto con el agua, es decir son mojables por el agua, y están constituidos principalmente por: óxidos, sulfatos, silicatos, carbonatos y otros, que usualmente son los principales componentes de los minerales acompañantes de la ganga.

### **4.2.2 Minerales Hidrofóbicos**

Son aquellos que no se encuentran en equilibrio bajo condiciones de presencia de agua, es decir son poco o nada mojables por el agua, y está compuesto principalmente por: metales nativos, sulfuros de metales o especies tales como: grafito, carbón bituminoso, talco y otros, haciendo que evite el mojado de las partículas minerales, que pueden adherirse a las burbujas de aire y ascender (ERROL & SPOTTISWOOD, 1990).

Bajo lo mencionado se puede inferir que es necesario incrementar o imponer las características hidrofóbicas de las partículas mineral de valor económico, inmersas en una pulpa (sólido-líquido) para facilitar su flotabilidad. El incremento de las características hidrofóbicas se efectúa a través de los reactivos llamados **colectores**, definidos así ya que son compuestos orgánicos de carácter heteropolar, compuesto de una parte apolar (hidrocarburo) y la otra es un grupo polar con las propiedades iónicas, es decir con carga eléctrica definida.

La flotación en un medio espumante requiere que la partícula de mineral valioso con las características hidrofóbicas se adhiera a una burbuja de aire, para lo cual existen reactivos llamados espumantes, los cuales permiten la formación de burbujas en tamaño y calidad

adecuada para formar la fase gaseosa que servirá como medio de transporte de la partícula mineral. Las condiciones necesarias para que se adhieran las partículas minerales a la burbuja es una agitación y aireación constante que se genera a través del rotor de la celda de flotación.

#### **4.2.3 Tipos de flotación.**

- Flotación por espumas
- Flotación por películas
- Flotación por aceites

Flotación de espumas es la más utilizada actualmente en la industria minera ecuatoriana, y la a utilizar en este proyecto de titulación, misma que se clasifica en:

- **Flotación bulk o colectiva:** Proceso en el cual se obtiene dos grupos de minerales separados, el concentrado que tiene todos los minerales valiosos contenidos en la mena, y el relave que tiene los minerales sin valor de la ganga.
- **Flotación selectiva o diferencial:** Los reactivos permiten la selección únicamente del mineral valioso el cual se obtiene en el concentrado, y en los relaves se encuentran los minerales restantes excepto el mineral de interés.

#### **4.2.4 Variables operacionales relevantes en el proceso**

Según (Linares, 2010) algunas de las variables de operación de mayor importancia para el proceso de flotación son:

- **Granulometría:** Representa el grado de liberación de la especie mineral para su concentración. Tipo de reactivos: Los reactivos principales utilizados son: colectores, espumantes y modificadores. Influye en la eficiencia del proceso en cuanto a la preparación y modificación de las condiciones necesarias para que se produzca la concentración.
- **Dosis de reactivo:** Mediante pruebas metalúrgicas preliminares se determina la cantidad necesaria para que se produzca una reacción óptima representando un costo-beneficio adecuado.
- **Densidad de pulpa:** Relaciona el porcentaje de sólidos y líquido adecuado para el proceso, influyendo en el tiempo de residencia del mineral en el circuito de flotación, en el grado de recuperación, así como también en la calidad del concentrado obtenido:

- **Aireación:** Conforman una de los tres elementos necesarios para el proceso de flotación, además del mineral y el agua. La aireación permite una mejor generación de burbujas, aumentando o retardando la flotación de minerales.
- **Regulación del PH:** Los reactivos utilizados en la flotación reaccionan de mejor manera a un PH óptimo, obteniendo una mayor eficiencia en la utilización de los mismos, haciendo que el proceso de flotación sea muy sensible al PH.
- **Tiempo de residencia:** Es directamente proporcional a la cinética de flotación de los minerales, la cinética de reacción de los reactivos, del tamaño de las celdas, de la densidad de pulpa y finalmente de la carga circulante.
- **Calidad de agua:** A pesar de las grandes cantidades de agua utilizadas en el proceso de flotación, un buen porcentaje es recirculado desde los espesadores mismos que contiene cantidades residuales de reactivos y sólidos en suspensión, que influyen en la cinética de flotación.

Las variables mencionadas serán las que se modifiquen en cada prueba metalúrgica según la cinética de reacción que presente una recuperación mayor.

#### ***4.2.5 Clasificación de los reactivos de flotación.***

Se clasifican en tres grandes grupos.

##### **4.2.5.1 Colectores**

Son compuestos orgánicos de moléculas complejas de estructura asimétrica y heteropolar, cuyas moléculas contienen un grupo polar y uno no polar. La parte no polar de la molécula es un radical de hidrocarburo, el cual no reacciona con los dipolos de agua, por lo tanto, sus propiedades pueden repeler fuertemente el agua, siendo este grupo el que proporciona las propiedades hidrofóbicas al mineral. El grupo polar permite al ión colector quedar adsorbido a la superficie polar del mineral. Como consecuencia las partículas de mineral hidrofobada por el colector se adhieren a las burbujas de aire que van subiendo, arrastrando a la partícula de mineral a la parte superior del sistema de flotación.

##### **4.2.5.1.1 Xantatos**

Son sales de ácido xantogénico, se encuentran entre los primeros colectores orgánicos solubles en agua por lo que su aplicación en la metalurgia ha sido fuertemente aceptada. Los xantatos pueden oxidarse, convirtiéndose en dialquil xantogenurs. Las soluciones acuosas de

los xantatos se hidrolizan formando los ácidos xantogénicos. La hidrólisis de los xantatos aumenta con la reducción del PH del medio; mientras que las soluciones acuosas de xantatos en medios alcalinos son bastante estables.

El método de preparación de los xantatos alcalinos, de sodio o potasio consiste en la disolución de un hidróxido alcalino en el alcohol alquílico apropiado, seguido por una adición de bisulfuro de carbono al metal-alcoholato.

#### **4.2.5.1.1.1. Xantato Amílico de Potasio (Z-6)**

Es el colector más fuerte y es el menos selectivo. Colector apropiado para flotación de sulfuros manchados u oxidados de cobre, minerales de plomo (con NaS). Así mismo se emplea en el tratamiento de la arsenopirita, pirrotita, sulfuros de cobalto, níquel y sulfuros de hierro conteniendo oro.

Usado generalmente en la flotación rougher o en circuitos de flotación scavenger, donde se obtiene altas concentraciones. El rango típico de dosificación está entre 20 y 160 gr/ton. (MINERO, 2006)

#### **4.2.5.1.1.2 Xantato Isopropílico de sodio (Z-11).**

Actualmente el más usado entre los xantatos debido a que su costo es inferior y representa buena eficiencia entre el poder colector y la selectividad. La forma isopropílica tiene una tendencia mayor a flotar pirita que la forma etílica. Las dosificaciones fluctúan entre 20 y 160 gr/ton (MINERO, 2006).

Se emplea en gran escala en la flotación de cobre, plomo y zinc; minerales complejos de plomo-zinc y cobre-hierro, en los que los principales minerales sulfurosos son: calcopirita, calcocita, enargita, galena, esfalerita, marmatita, pirita y pirrotita.

#### **4.2.5.2 Modificadores**

Tiene la función de preparar las superficies de los minerales para la adsorción o desorción de los colectores creando en la pulpa condiciones propicias para una buena eficiencia en el proceso de flotación. Hay modificadores que cambian las propiedades de la superficie de la partícula de ganga, formando una capa alrededor de la misma, impidiendo que estas partículas

entren en contacto con los colectores y no se vuelvan partículas hidrofóbicas o se vuelvan flotables.

La función de modificador influye ya sea en la reacción con el mineral, como en los iones presentes en la pulpa, siendo en muchos casos esta reacción de naturaleza química.

Se clasifican en:

- Activadores
- Modificadores de PH
- Depresores.

#### **4.2.5.2.1 Activadores**

Son sales solubles cuyos iones alteran la naturaleza química de las superficies de los minerales valiosos, de manera que ayudan en la adsorción de un colector, volviéndolos hidrofóbicos y flotables, es decir, hacen la acción del colector más selectiva (Linares, 2010).

Los principales activadores son:

- Sales solubles de metales pesados no ferrosos que activan la esfalerita, pirita, cuarzo y ciertos no sulfuros.
- El sulfuro de sodio y otros sulfuros solubles en agua, se utilizan en la activación de minerales metálicos no ferrosos oxidados tales como la cerusita, malaquita.
- El oxígeno atmosférico que activa la flotación de sulfuros y algunos minerales no sulfuros.

#### **4.2.5.2.2 Depresores**

Muy utilizados en flotación diferencial o selectiva. Su función es inhibir o evitar la adsorción del colector a la superficie del mineral no deseado, volviéndolo hidrofílico, en consecuencia, no flotable. Las lamas presentes en las pulpas también constituyen una forma de depresión natural recubriendo la superficie de los minerales haciéndolos hidrofílicos.

Los depresores más utilizados son:

- El sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) y otros sulfuros solubles en agua, se utiliza para deprimir los sulfuros.

- El cianuro ( $\text{Na}^+$  o  $\text{K}^+$ ) se usa en la flotación selectiva de sulfuros, utilizando para deprimir la esfalerita, minerales de cobre y pirita.
- Los sulfitos, bisulfitos, hiposulfitos y ciertos sulfatos ( $\text{Zn}$ ,  $\text{Fe}$ ), se emplean en la flotación selectiva de menas sulfurosas, deprimiendo principalmente la esfalerita.
- El silicato de sodio, se la emplea para deprimir el cuarzo, calcita, otras gangas y para la separación selectiva de no sulfuros.
- El cromato y dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), para deprimir la galena.
- Reguladores orgánicos no ionizantes tales como el almidón, dextrina, ácido tánico, quebracho, para minerales no sulfuros.
- La cal ( $\text{CaO}$  o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) se le emplea como depresor especial para los iones unidos a los sulfuros en la flotación de menas sulfurosas.
- El complejo cianuro de cinc deprime a sulfuros de cobre (calcosita)
- El ferrocianuro y reactivos Nokes-hidróxido de sodio más pentasulfuro de fosforo-deprime sulfuros de cobre.
- El fluorosilicato y ión fluoruro para deprimir cuarzo y silicatos.

#### **4.2.5.2.3 Modificadores de PH**

Son los reactivos que controlan la acidez ( $\text{H}^+$ ) o alcalinidad ( $\text{OH}^-$ ) de la pulpa. Es un reactivo que cambia la concentración del ión hidrógeno de la pulpa, lo cual tiene como propósito incrementar o decrecer la adsorción del colector. Uno de los principales parámetros a controlar es el PH, buscando el valor óptimo para cualquier combinación de reactivos y mineral. La mayoría de Planta de Beneficio que tratan sulfuros operan con una pulpa alcalina, debido a que produce resultados metalúrgicos óptimos y previene la corrosión de los equipos metálicos. Los reguladores de alcalinidad más comúnmente utilizados en flotación son la cal ( $\text{CaO}$  o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) y el hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ), siendo la cal la más económica.

#### **4.2.5.3. Espumantes**

Son sustancias orgánicas tensoactivas heteropolares que pueden adsorberse en la superficie de la interfase aire-agua, que ayudan a en la formación y estabilización de la espuma en la cual las partículas hidrofóbicas son colectadas. La eficiencia en los espumantes está muy relacionada al PH de la pulpa (sólido-líquido), incrementando su capacidad para formación de espuma cuando el reactivo se halla en forma molecular.

Entonces la función más importante de un espumante es formar una espuma estable, que mantenga los minerales de interés en su burbuja, hasta poder extraerlos del circuito de flotación, además que aporta en el proceso de flotación de la siguiente manera:

- Estabilizar la espuma.
- Disminuir la tensión superficial del agua.
- Mejorar la cinética de interacción burbuja-partícula.
- Disminuir el fenómeno de unión de dos o más burbujas (coalescencia).
- Origina la formación de burbujas más finas, es decir, mejora la dispersión del aire en la celda de flotación.
- Regula la velocidad a la cual las burbujas suben hacia la superficie de la pulpa.
- Afectan la acción del colector.
- Incrementa la resistencia de la película de la burbuja mineralizada de la espuma formada.

Parámetros a tomar en cuenta para seleccionar el espumante:

- Debe actuar a bajas concentraciones y producir una espuma de volumen y estabilidad adecuada.
- Las espumas deben destruirse fácilmente al salir de la celda.
- Las espumas deben permitir el drenaje o desaguado o lavado de las partículas finas arrastradas, pero no colectadas.
- El espumante debe ser de bajo precio y efectivo.
- De nulo poder colector.
- El espumante debe ser poco sensible a las variaciones del PH y a las sales disueltas en la pulpa.
- La cantidad utilizada debe oscilar entre 5 y 150 g/t.

#### **4.2.5.3.1 Clasificación de espumantes**

**La clasificación general de los espumantes es:**

##### **4.2.5.3.1.1 Espumantes Ácidos**

- Alquilarilsulfonatos
- Fenoles

#### **4.8.5.3.1.2 Espumantes neutros**

- Alcoholes alifáticos
- Sustancias con enlaces éter
  - o Polialcoxialcanos
  - o Monoéteres poliglicólicos
  - o Dialquiltalatos
- Alcoholes aromáticos y alicíclicos

#### **4.2.5.3.1.3 Básicos**

#### **4.2.5.3.1.4 Modificadores de espuma o antiespumantes.**

## 5. Metodología

### 5.1 Área de Estudio

La planta de Beneficio EXYCOMINSUR CIA LTDA, se encuentra ubicada en la provincia del Azuay, cantón Camilo Ponce Enríquez, parroquia del mismo nombre, sector La López, a 2679 metros desde la vía de ingreso al sector. En la figura a continuación se muestra en la figura 1 la planimetría de la planta de beneficio, y su ubicación respecto al entorno cantonal y provincial.

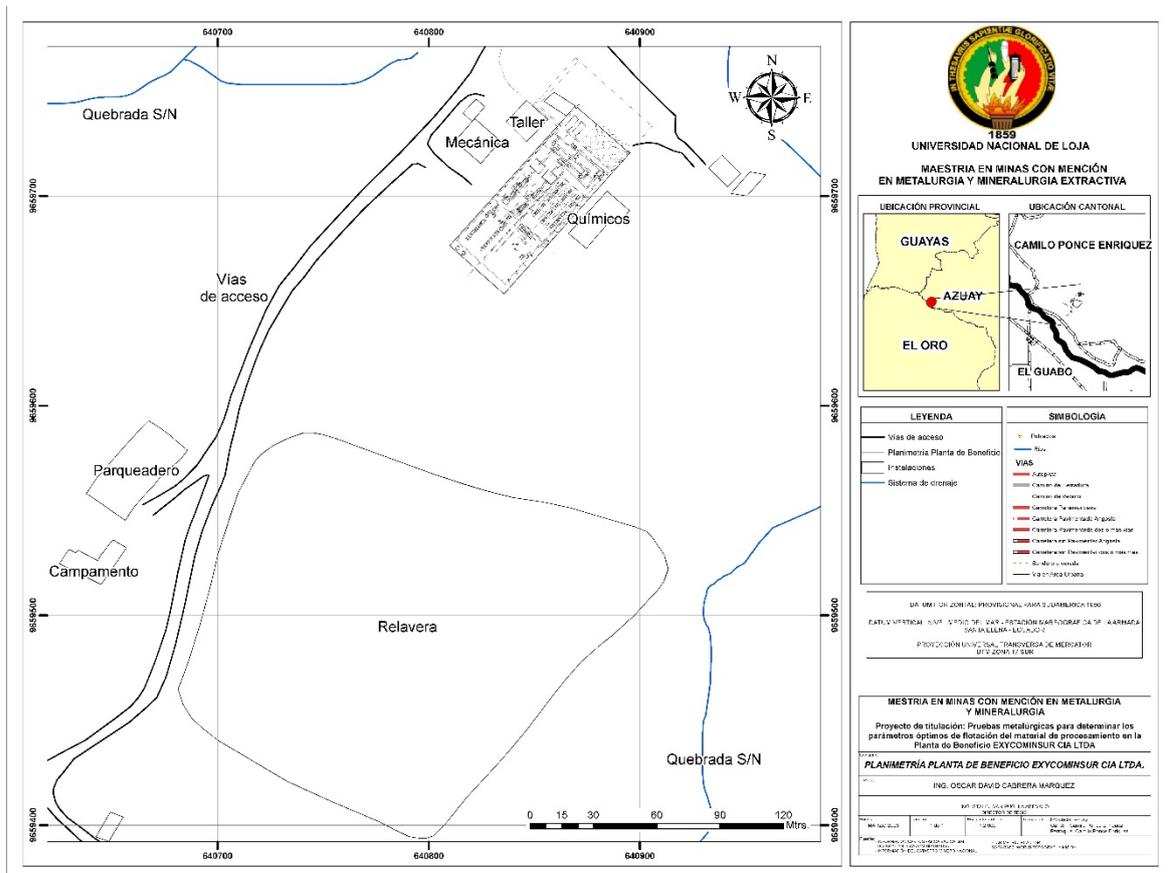


Figura 1. Mapa de ubicación planta de beneficio EXYCOMINSUR CIA LTDA.

### 5.2 Procedimiento

En base a los objetivos planteados en este proyecto de titulación, el enfoque metodológico es una combinación de métodos cualitativos y cuantitativos, es decir mixto, en la que incluye la descripción técnica de minerales con enfoque cualitativo, la cuantificación de los mismos, así como evaluar los parámetros óptimos de flotación y su balance metalúrgico que son enfoques cuantitativos.

### **5.2.1 Muestreo para caracterización técnica de minerales.**

El primer paso previo a las pruebas metalúrgicas es la caracterización técnica de minerales, así como su caracterización química, que servirá como punto de partida y toma de decisiones para los posteriores procesos. Las técnicas utilizadas son: la microscopía óptica para determinar la presencia y abundancia de minerales, la espectrofotometría de absorción atómica para determinar elementos que componen los principales minerales formadores de la mena, y ensayo al fuego para determinar la presencia y cantidad de metales como Oro (Au) y Plata (Ag).

El análisis por microscopía óptica requirió de muestras de dimensiones mayor o igual a 20 centímetros, para realizar el respectivo corte para las secciones pulidas, por lo que el muestreo se realizó en el stock mineral de la planta de beneficio, ubicada antes de la alimentación a las tolvas de gruesos en la que inicia todo el proceso de beneficio mineral; en la figura 2 se observa el stock de material mineralizado, antes de su procesamiento.



**Figura 2.** Almacenamiento de material mineralizado, lugar de obtención de la muestra.

Se observó que el stock de material es homogéneo en su composición mineralógica por cuanto su proveniencia actualmente es de una sola mina, y presenta una gran abundancia de sulfuros, por lo que el muestreo se realizó con la ayuda de la excavadora que alimenta la tolva de gruesos, realizando una homogenización del material, mezclando el stock de la parte alta, media, baja, y separar 5 muestras tomadas con la cuchara de la excavadora, para un posterior homogenización, y finalmente tomar las 5 muestras de aproximadamente 2 kilos cada una, para enviar a laboratorio.

Las 5 muestras tomadas fueron codificadas como M1, M2, M3, M4, M5, mismas que son insumo para las interpretaciones mineralógicas, y químicas.



**Figura 3.** Muestras para análisis mineralógico. Desde la fotografía superior izquierda y en orden hacia derecha y abajo codificadas como muestras M1, M2, M3, M4, M5.

### **5.2.2 Muestreo para pruebas de flotación.**

Para las pruebas de flotación se realizó un muestreo en las bandas transportadoras que salen de la trituración primaria hacia la trituración secundaria, tomando una cantidad de 10 kilogramos, que servirán para las pruebas metalúrgicas cuya cantidad de pruebas dependerá de la recuperación mineral que cada una presente.



**Figura 4.** Banda transportadora a la salida de la trituración primaria hacia la secundaria, lugar donde se realizó el muestreo para las pruebas de flotación.

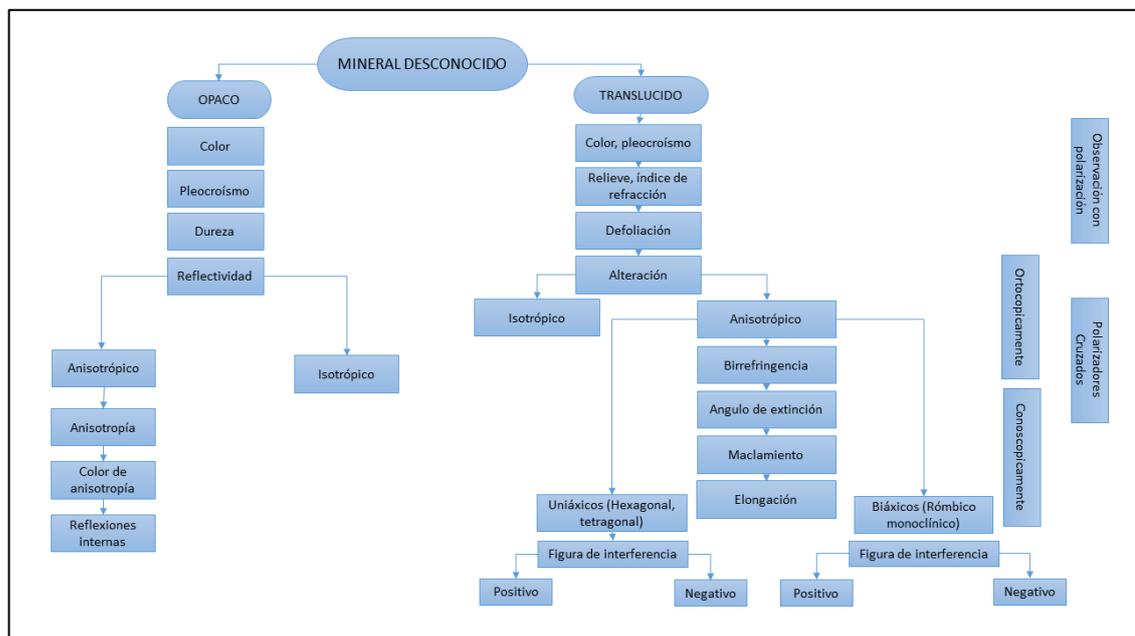
## **5.3 Técnicas de caracterización de minerales.**

### **5.3.1 Microscopía óptica**

Como se observa en la figura 3 las muestras tomadas para análisis mineralógico se observan compuestas en mayor abundancia por minerales del grupo de los sulfuros, y el silicato

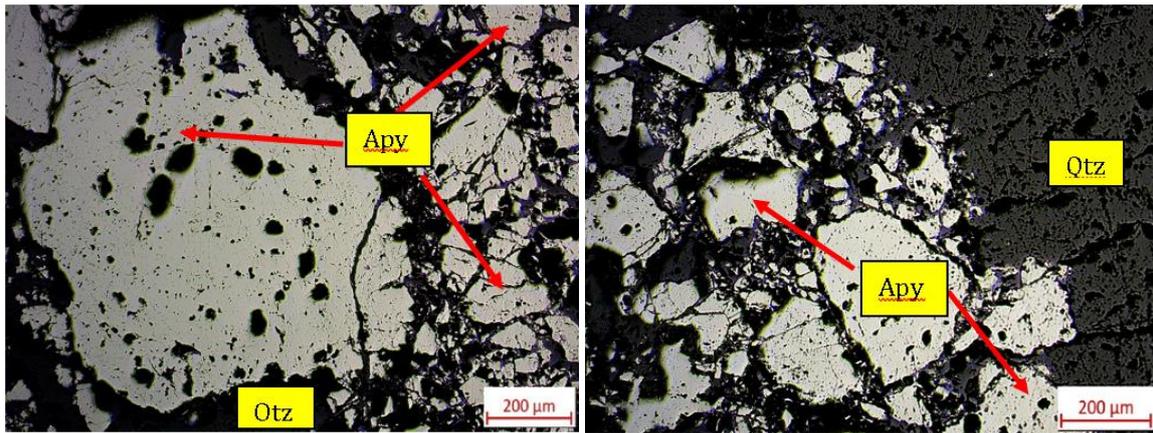
más común acompañante en las menas como es el cuarzo. Por cuanto para el reconocimiento de minerales, se realizó únicamente secciones pulidas cuyos minerales son observables bajo el microscopio de luz reflejada.

El corte de las secciones pulidas, así como la interpretación mineralógica se realizó en los laboratorios de la Universidad Técnica Particular de Loja que cuenta con microscopios con sistema de luz reflejada para minerales opacos. En la figura 5 se esquematiza en un diagrama de flujo los procedimientos estándar establecidos para la identificación mineralógica mismo seguido por el laboratorio para interpretación de las mismas.



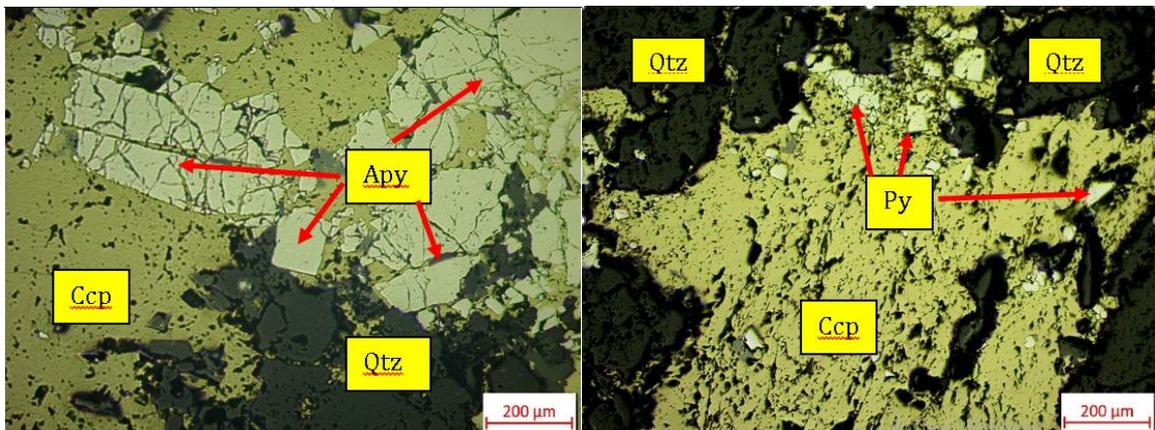
**Figura 5.** Diagrama flujo para el procedimiento de interpretación mineralógica por microscopía óptica. **Fuente:** (INGEOMINAS, 2010); Elaboración: El Autor.

La **muestra M1**, observada bajo microscopio de luz reflejada y plasmada en la figura 6, se determinó que contiene arsenopirita (Apy) y cuarzo (Qtz) principalmente, la arsenopirita presenta una microtextura brechiforme con granos minerales, fracturas anhedrales, presenta tamaños que varían desde los 20 a 400  $\mu\text{m}$ , que han sido afectados por cuarzo vetiforme. Los porcentajes relativos de abundancia en la lámina son: arsenopirita 50-60%, cuarzo 30-40%.



**Figura 6.** Microfotografía muestra M1, compuesta de: Arsenopirita (Apy) y Cuarzo (Qtz)  
**Fuente:** Laboratorio de mineralogía de la UTPL.

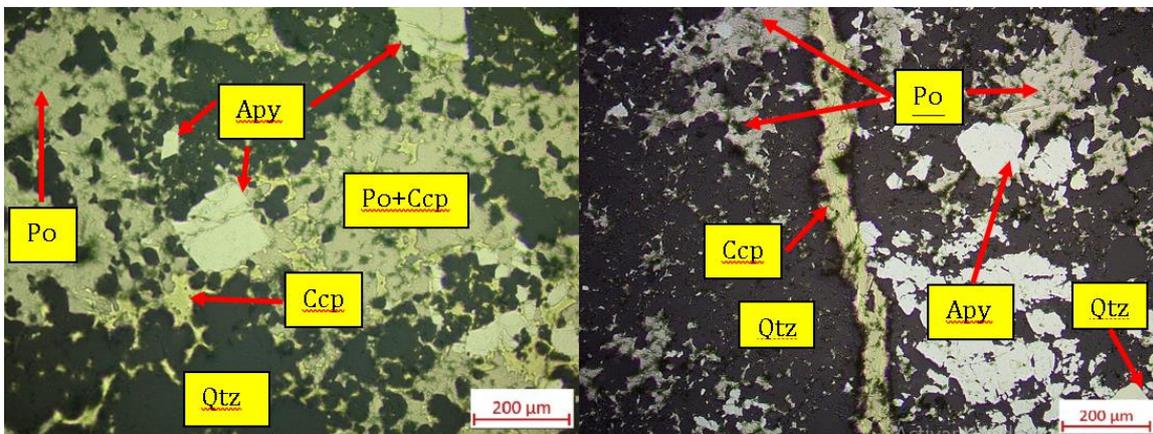
La **muestra M2** observada en la figura 7, está compuesta de calcopirita (Ccp), cuarzo (Qtz), arsenopirita (Apy) y pirita (Py). La pirita se encuentra en forma diseminada y tiende a formar cristales idiomorfos con un tamaño promedio de 20 µm, tiene una reflectancia muy alta, color blanco amarillento, alto relieve. La calcopirita presenta una reflectancia alta, color amarillo, anisotropía muy débil y baja dureza. La arsenopirita de color gris blanquecino presenta cristales subidiomorfos, fracturada y brechificada por vetillas pervasivas de calcopirita. Los porcentajes de abundancia en la lámina están determinados por pirita 5-15%, cuarzo 25-40%, arsenopirita 20-30%, y calcopirita 45-55%.



**Figura 7.** Microfotografía de la muestra M2, compuesta de: arsenopirita (Apy), calcopirita (Ccp), cuarzo (Qtz), pirita (Py)  
**Fuente:** Laboratorio de mineralogía de la UTPL.

La **muestra M3** mostrada en la figura 8, se pudo observar está compuesta por arsenopirita (Apy), calcopirita (Ccp), pirrotina (Po), pirita (Py) y cuarzo (Qtz). La arsenopirita se reconoce por su color gris blanquecino y anisotropía media con cristales subhedrales con formas pseudocúbicas y cristales con tamaños desde 22 a 50 µm; este mineral presenta una

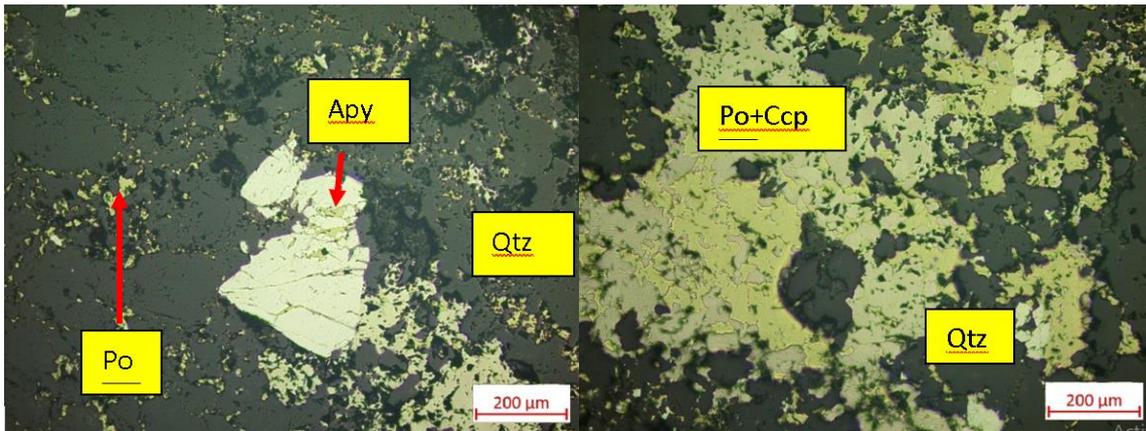
microtextura disseminada en cuarzo y sobre masas irregulares de otros sulfuros, en algunos casos compenetrada por calcopirita. La pirrotina reconocida por su color beige a pardo, anisotropía fuerte y su reflectancia menor respecto a otros sulfuros similares como la pirita o la calcopirita; la pirrotina tiene una microtextura masiva a disseminada estrechamente entremezclada con la calcopirita de forma pervasiva en cuarzo masivo de color gris oscuro. La pirita disseminada en cuarzo, de color blanco amarillento, posee un alto relieve debido a su alta dureza al pulido e isotropía. Los porcentajes relativos de abundancia son: arsenopirita 20-30%, calcopirita 15-25%, pirrotina 25-35% y cuarzo 45-55%.



**Figura 8.** Microfotografía de la muestra M3; compuesta de: arsenopirita (Apy), pirrotina (Po), calcopirita (Ccp), cuarzo (Qtz)

**Fuente:** Laboratorio de mineralogía de la UTPL.

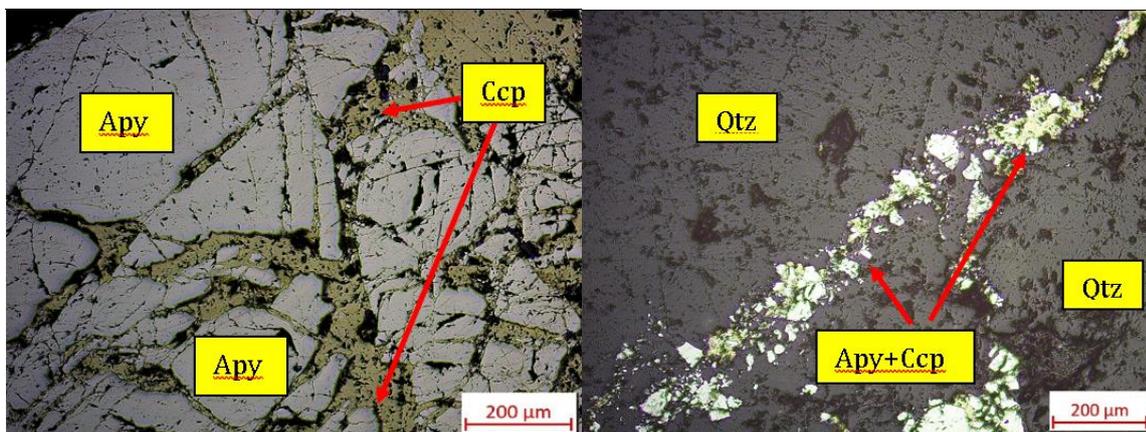
La **muestra M4** se observó contiene cuarzo (Qtz), pirrotina (Po), calcopirita (Ccp), arsenopirita (Apy). La arsenopirita se observa mucho más aislada con cristales subhedrales que presentan tamaños entre los 50 µm, se observa microfracturas rellenas con calcopirita. La pirrotina presenta fuerte anisotropía, y menor reflectancia, estrechamente entremezclada con la calcopirita. Los porcentajes relativos son cuarzo 50-55 %, pirrotina 25-30%, calcopirita 15-20 %, arsenopirita 10-15 %.



**Figura 9.** Microfotografía de la muestra M4; cuarzo (Qtz), pirrotina (Po), calcopirita (Ccp), arsenopirita (Apy)

**Fuente:** Laboratorio de mineralogía de la UTPL.

La **muestra M5** se observó un agregado mineral constituido por arsenopirita (Apy), calcopirita (Ccp) y cuarzo (Qtz). La arsenopirita exhibe microtexturas de tipo masiva a diseminada con granos minerales con formas subidiomorfos y alotriomorfos que van desde los 20 a 500 μm. La calcopirita se manifiesta principalmente con una microtextura vetiforme con un espesor promedio de 100 μm. En algunos casos se identificó microvetillas de arsenopirita combinada con calcopirita que se diseminan en el cuarzo de forma aleatoria. Los porcentajes relativos de abundancia en la lámina son: arsenopirita 40-50%, calcopirita 15-25% y cuarzo 25%.



**Figura 10.** Microfotografía de la muestra M5; compuesta de: arsenopirita (Apy), calcopirita (Ccp), cuarzo (Qtz).

**Fuente:** Laboratorio de mineralogía de la UTPL.

### 5.3.2 Determinación de Oro y Plata por ensayo al Fuego.

Para la determinación de los elementos Au y Ag se realizó por el método de ensayo al fuego ya que es de las metodologías más ampliamente difundidas y que presenta los mejores resultados.

La prueba se realizó en los laboratorios de ALBEXXUS, que cuenta con acreditación N° SAE LEN 19-007, por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano, y cuenta con los equipos necesarios para la realización del mismo.

### 5.3.3 Determinación de metales por Absorción Atómica.

En base a los resultados mineralógicos obtenidos en la microscopía óptica y el análisis visual macroscópico, se determinó los elementos mayoritarios que conforman estos minerales, para corroborar su presencia y porcentaje en los mismos. Los minerales mayoritarios son: arsenopirita, calcopirita, pirita, pirrotina entre el grupo de sulfuros, y cuarzo como mineral formador de mena; por lo tanto, los elementos analizados por absorción atómica son As, Fe, Cu, Pb, Zn.

Al igual que en el ensayo al fuego el ensayo de absorción atómica se realizó en los laboratorios de ALBEXXUS, que cuenta con acreditación N° SAE LEN 19-007, por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano, y cuenta con los equipos necesarios para la realización del mismo.

## 5.4 Pruebas metalúrgicas.

Para realizar una comparación en la cinética de flotación variando los parámetros mencionados en el apartado 4.2.4, se realizaron cuatro pruebas de flotación y sus balances metalúrgicos, mismos que permitieron determinar la prueba que presenta la mayor eficiencia.

Los reactivos principalmente utilizados entre las distintas pruebas son los siguientes:

**Tabla 1. Tipos de reactivos utilizados en las pruebas de flotación**

<b>Reactivo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Formula Química</b>
<b>Colector</b>	Xantato Amílico de Potasio Z6	C6H11SO2K
	Xantato Isopropílico de Sodio Z11	C4H7NaOS2
	Carbonato de Calcio	CaCO3
<b>Modificador</b>	Ditiofosfato MT-736	
	Sulfato de Zinc+Cianuro de Sodio	ZnSo4+NaCn
<b>Espumante</b>	FR 350	

#### **5.3.4.1 Tratamiento y pretratamiento aplicado a la mena.**

El primer tratamiento realizado al material que se realizará las pruebas metalúrgicas de flotación, es la conminución, necesaria para tener un grado de liberación del mineral de interés garantice los resultados en flotación.

##### **5.3.4.1.1 Trituración.**

Se realizó inicialmente una trituración primaria en una trituradora de mandíbulas de laboratorio, que permita tener un diámetro de partícula promedio de 1", mismas que pasará al siguiente proceso de conminución que es la molienda.



**Figura 11.** Material obtenido de la trituración primaria.  
**Fuente:** Laboratorio GoldenLab

##### **5.3.4.1.2 Molienda.**

La molienda se realizó en un molino de bolas a escala de laboratorio mismo proceso en el que se obtiene el grado de liberación necesario para la prueba de flotación.

El grado de molienda es uno de los parámetros modificables en cada una de las pruebas de flotación, obteniendo un tamaño de partícula que pasa la malla #200, en un grado porcentual entre 55 y 65 % dependiendo de la prueba metalúrgica a realizar.



**Figura 12.** Material obtenido de la molienda  
**Fuente:** Laboratorio GoldenLab

### 5.3.4.1.3 Densidad de Pulpa.

La densidad de pulpa influye en gran medida en la recuperación por flotación, siendo muy diluida o muy densa, ocasionando una gran dispersión de partículas en el primer caso, e impidiendo la dispersión de aire que forman las burbujas que flotan el mineral. La densidad promedio oscilan entre 20 y 30 % de sólidos (GRANDA, 2018). Las pruebas metalúrgicas desarrolladas se realizaron con una densidad de pulpa de 30% de sólidos.



Figura 13. Preparación de densidad de pulpa al 30 % de sólidos.

### 5.3.4.2 Prueba Metalúrgica de flotación 1.

En la primera prueba se realizó una flotación bulk, sin el uso de depresores y poniendo a prueba el colector más potente Xantato Amílico de Potasio Z-6 junto con los siguientes parámetros, reactivos y dosificaciones de flotación:

Tabla 2. Parámetros y reactivos utilizados en la Prueba de Flotación N°1

Parámetro	Cantidad	Unidad
Granulometría malla #-200	58	%
pH agua	8	
Densidad de pulpa	30	% solidos
Aireación	1300	RPM
Tiempo de acondicionamiento	7	minutos
Tiempo de flotación	6	minutos
Xantato Z-6	150	gr/ton
Espumante DR 350	30	gr/ton

Porcentaje (%); Revoluciones por minuto (RPM); Gramos por tonelada (gr/ton).



**Figura 14.** Realización de la prueba de flotación N°1.

### 5.3.4.3 Prueba metalúrgica de flotación 2.

Debido a la gran cantidad de cobre presente en el material de procesamiento se optó por una flotación más selectiva de cobre-oro con Xantato Isopropílico de Sodio que permite flotar el cobre, y un complejo de Sulfato de Zinc + Cianuro de Sodio que permite deprimir el arsénico y demás sulfuros que forman parte de la mena; los parámetros a variar fueron: el porcentaje de material que pasa la malla #200 que para esta prueba se aumentó a 66%, y la aireación se aumentó a 1350 revoluciones por minuto, con el objetivo de mejorar la interacción burbuja partícula.

**Tabla 3. Parámetros y reactivos utilizados en la Prueba de Flotación N°2**

Parámetro	Cantidad	Unidad
Granulometría malla #-200	66	%
pH agua natural	8	
pH Operación	11	
Densidad de pulpa	30	% solidos
Aireación	1350	RPM
Tiempo de acondicionamiento	7	minutos
Tiempo de flotación	6	minutos
Xantato Z-11	110	gr/ton
Ditiofosfato MT-736	70	gr/ton
Espumante DR 350	30	gr/ton
Complejo ZnSO <sub>4</sub> + NaCn	200	gr/ton
Cal	2	kg/ton

Porcentaje (%); Revoluciones por minuto (RPM); Gramos por tonelada (gr/ton).

#### 5.3.4.4 Prueba metalúrgica de flotación3.

En la tercera prueba también se realizó una flotación selectiva por cobre-oro, utilizando los mismos reactivos que en la prueba de flotación N°2, incrementado la dosificación de reactivos para aumentar: el poder colector, la estabilidad y cantidad de espuma, el poder depresor de los sulfuros de la mena y minerales ganga; en los parámetros de operación se mantuvo el tamaño de granulometría, incrementando ligeramente la aireación a 1400 revoluciones por minuto.

**Tabla 4. Parámetros y reactivos utilizados en la Prueba de Flotación N°3**

Parámetro	Cantidad	Unidad
Granulometría malla #-200	66	%
pH agua natural	8	
pH Operación	11	
Densidad de pulpa	30	% solidos
Aireación	1400	RPM
Tiempo de acondicionamiento	7	minutos
Tiempo de flotación	6	minutos
Xantato Z-11	150	gr/ton
Ditiofosfato MT-736	100	gr/ton
Espumante DR 350	50	gr/ton
Complejo ZnSO <sub>4</sub> + NaCn	400	gr/ton
Cal	2	kg/ton

Porcentaje (%); Revoluciones por minuto (RPM); Gramos por tonelada (gr/ton).

#### 5.3.4.5 Prueba metalúrgica de flotación4.

Debido a la estrecha relación genética del Au con el As en la arsenopirita, el mayor poder de los depresores reducirá el contenido de As en el concentrado junto con el contenido de Au y Cu, por lo tanto, la principal variable para esta prueba de flotación fue la disminución del complejo ZnSO<sub>4</sub>+NaCn a un valor de 100 gramos por tonelada.

**Tabla 5. Parámetros y reactivos utilizados en la Prueba de Flotación N°4.**

Parámetro	Cantidad	Unidad
Granulometría malla #-200	66	%
pH agua natural	8	
pH Operación	11	
Densidad de pulpa	30	% solidos
Aireación	1450	RPM

Tiempo de acondicionamiento	7	minutos
Tiempo de flotación	6	minutos
Xantato Z-11	175	gr/ton
Ditiofosfato MT-736	100	gr/ton
Espumante DR 350	20	gr/ton
Complejo ZnSO <sub>4</sub> + NaCn	100	gr/ton
Cal	2	kg/ton

Porcentaje (%); Revoluciones por minuto (RPM); Gramos por tonelada (gr/ton).

### 5.5 Procesamiento y análisis de datos

Para determinar la eficiencia del proceso utilizamos los índices metalúrgicos básicos, tales como la recuperación, razón de enriquecimiento, razón de concentración; entre los principales índices que nos permite evaluar el proceso:

- **Recuperación.**

$$R = \frac{C \cdot tc}{F \cdot ta}$$

Donde:

R= Recuperación

C= Masa del concentrado de interés

tc=Tenor de concentrado

F= Masa de alimentación

ta= Tenor de alimento

- **Razón de enriquecimiento.**

$$Re = \frac{tc}{ta}$$

Donde:

Re= Razón de enriquecimiento

tc= Tenor de concentrado

ta= Tenor de alimento

- **Razón de concentración.**

$$Rc = \frac{F}{C}$$

Donde:

Rc= Razón de concentración

F=Flujo másico de sólidos en la alimentación

C= Flujo másico de sólidos en el concentrado.

## 6. Resultados

### 6.1 Caracterización técnica mineralógica

De las 5 muestras tomadas para análisis mineralógico, se observó que la composición mineralógica principal son minerales del grupo de sulfuros, como arsenopirita, calcopirita, pirita, pirrotina según el orden de abundancia, y el cuarzo que es un silicato mineral formador de mena.

**Tabla 6. Contenido mineral en las 5 muestras ensayadas.**

MUESTRA	Qtz	Apy	Ccp	Py	Po
M1	40	60	0	0	0
M2	25	30	40	5	0
M3	40	20	15	0	25
M4	50	15	15	0	20
M5	25	50	25	0	0

Cuarzo (Qtz); Arsenopirita (Apy); Calcopirita (Ccp); Pirita (Py); Pirrotina (Po).

**Fuente:** Laboratorio petrográfico de la Universidad Técnica Particular de Loja.



**Figura 15.** Porcentaje de minerales presentes en el material de estudio.

## 6.2. Caracterización química

Se observa que la mena es polimetálica, por cuanto contiene leyes altas respecto a Au, Ag, Cu, As, Fe, siendo el As uno de los factores penalizantes al momento de comercializar el concentrado obtenido en flotación. Bajo estos resultados orienta las pruebas de flotación a obtener un concentrado de Au, Cu, por cuanto son elementos comerciales.

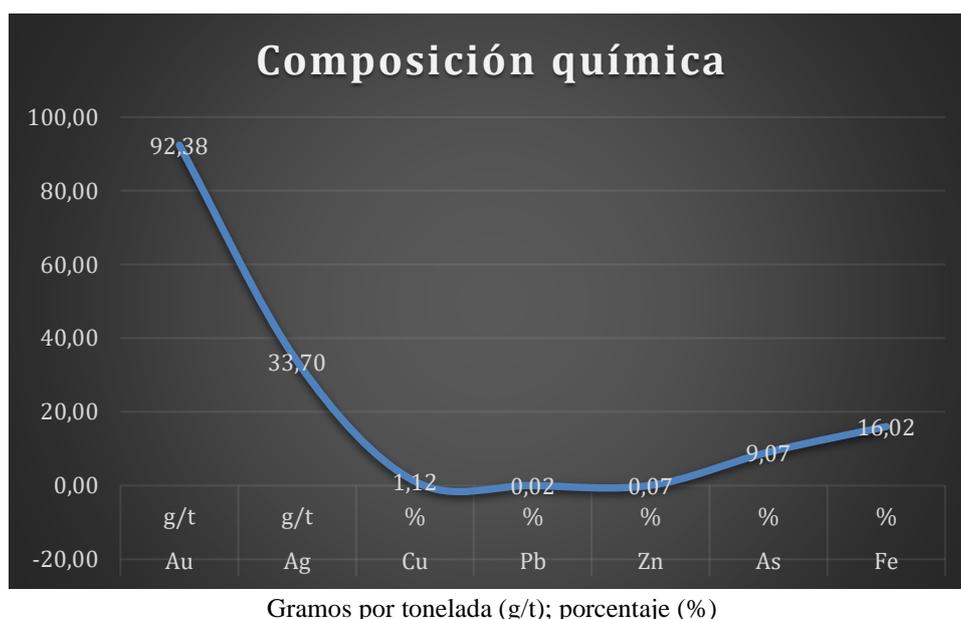
**Tabla 7. Resultados de caracterización química analítica**

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Fe
	g/t	g/t	%	%	%	%	%
M1	233.88	36.75	0.46	0.01	0.02	4.37	6.12
M2	116.73	65.61	2.82	0.01	0.11	25.17	24.94
M3	15.87	12.36	0.2	0.05	0.13	3.41	26.71
M4	0.72	6.24	0.27	0.01	0.01	1.6	5.15
M5	3.02	20.08	1.01	0.01	0.02	3.34	6.32

Oro (Au); Plata (Ag); Cobre (Cu); Plomo (Pb); Zinc (Zn); Arsénico (As); Hierro (Fe); gramos por tonelada (g/t); porcentaje (%).

**Fuente:** Laboratorio ALBEXXUS.

En la figura 16 se adjunta la gráfica con los valores de abundancia promedio de los elementos analizados, en unidades de gramos por tonelada para el oro y plata, y en valores de porcentaje para el cobre, plomo, zinc, arsénico, hierro. Para obtener el valor promedio se descartó el valor de la muestra 4, debido a que es un valor atípico que no tiene concordancia con las cuatro muestras restantes.



**Figura 16.** Composición química promedio de las 5 muestras tomadas.

### 6.3 Pruebas Metalúrgicas

Tabla 8. Resultados de ley mineral, en los flujos de alimentación, concentrado y relaves, de las pruebas de flotación.

N° de prueba	Producto	Au (g/t)	Ag (g/t)	Cu (%)	As (%)	Peso (kg)	Contenido metálico Au	Contenido metálico Ag	Contenido metálico Cu	Contenido metálico As	Recuperación de Au	Recuperación de Cu
1	cabeza calculada	27.84	31.96	2.47	18.99	1.00	27.8	32.0	2.5	19.0	83.55	83.79
	concentrado	54.4	55.2	4.84	35.5	0.43	23.3	23.6	2.1	15.2		
	relave	8	14.6	0.7	6.66	0.57	4.6	8.4	0.4	3.8		
	cabeza ensayada	27.9	54.6	2.7	22.4							
2	cabeza calculada	24.27	52.12	2.82	25.75	1.00	24.3	52.1	2.8	25.8	35.39	60.70
	concentrado	155.7	419.2	24.6	4.97	0.08	12.5	33.6	2.0	0.4		
	relave	12.8	20.1	0.92	27.56	0.92	11.8	18.5	0.8	25.3		
	cabeza ensayada	27.9	56.6	2.7	22.4							
3	cabeza calculada	27.2	64.63	2.86	25.5	1.00	27.2	64.6	2.9	25.5	35.39	60.70
	concentrado	137.5	404.9	24.8	4.27	0.07	9.6	28.3	1.7	0.3		
	relave	18.9	38.8	1.21	27.1	0.93	17.6	36.1	1.1	25.2		
	cabeza ensayada	27.9	56.6	2.7	22.4							
4	cabeza calculada	25.86	57.97	2.75	19.46	1.00	25.9	58.0	2.8	19.5	57.63	83.38
	concentrado	103.2	295.3	15.88	12.93	0.14	14.9	42.6	2.3	1.9		
	relave	12.8	17.9	0.54	20.56	0.86	11.0	15.3	0.5	17.6		
	cabeza ensayada	27.9	56.6	2.7	22.4							

Fuente: Laboratorio GoldenLab.

#### 6.4 Balance metalúrgico

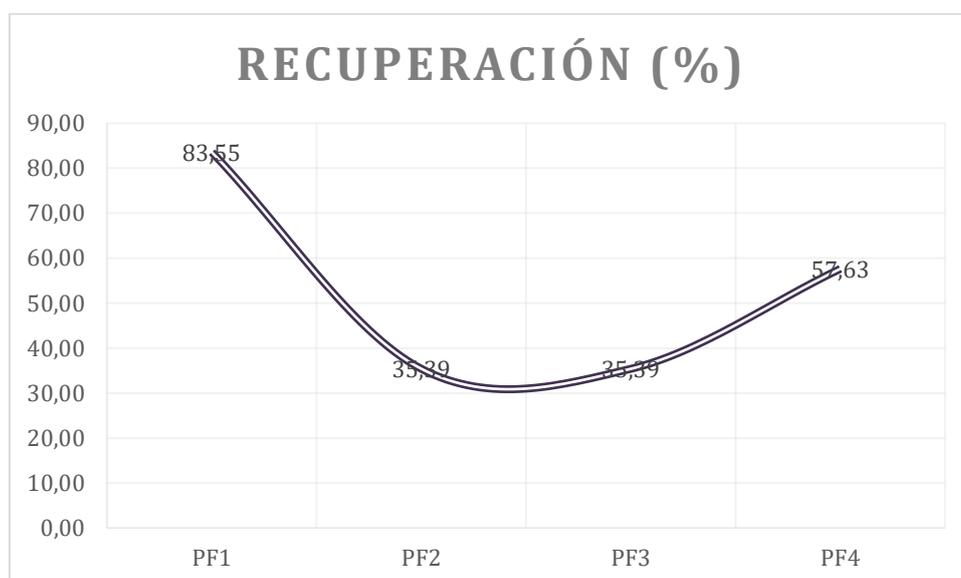
El balance metalúrgico se realizó para los dos elementos comercializables como son el oro y el cobre, mismos que presentan un comportamiento similar, pero recuperaciones diferentes.

En la tabla 9 se detalla los índices metalúrgicos para el oro, como: recuperación, razón de enriquecimiento y razón de concentración, de las cuatro pruebas realizadas; se observa que la prueba N°1 presenta una mayor recuperación con una baja razón de concentración, a diferencia que las pruebas 2 y 3 presentan un concentrado de mayor ley.

**Tabla 9. Balances metalúrgicos de Au en las pruebas de flotación realizadas.**

Prueba	Recuperación (%)	Razón de enriquecimiento	Razón de concentración
1	83.55	1.95	2.34
2	35.39	6.42	12.47
3	35.39	5.06	14.29
4	57.63	3.99	6.93

La figura 16 representa la tendencia del porcentaje de recuperación de oro, en cada prueba de flotación realizada, presentando una mayor recuperación para la prueba de flotación 1, disminuyendo para las pruebas siguientes debido al uso del depresor de arsénico, esto debido a que, según la caracterización técnica de minerales, existe un gran contenido de arsenopirita, que acorde al resultado de estas pruebas metalúrgicas, el oro está estrechamente relacionado a la arsenopirita, encapsulado, de manera que mientras mas se deprime el arsénico en la prueba de flotación, incrementa la cantidad de oro en los relaves.



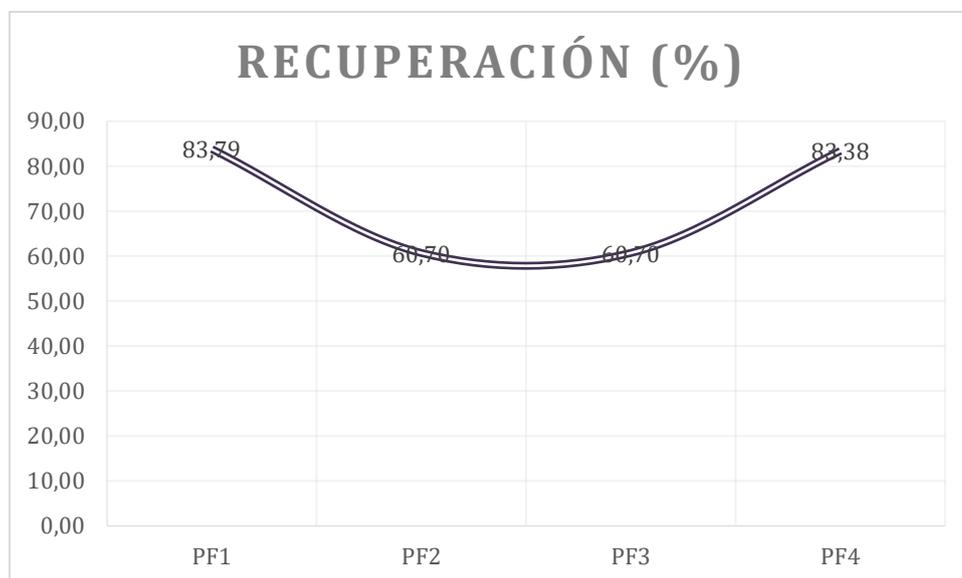
**Figura 16.** Curva de recuperación de Au en las pruebas de flotación realizadas.

A continuación, en la tabla 10 se detallan los índices metalúrgicos para el cobre, tales como: recuperación, razón de enriquecimiento, razón de concentración, obteniendo las pruebas 1 y 4 con mayor porcentaje de recuperación, y las pruebas 2 y 3 presentan una mayor recuperación respecto al oro.

**Tabla 10. Balances metalúrgicos de Cu en las pruebas de flotación realizadas.**

Prueba	Recuperación (%)	Razón de enriquecimiento	Razón de concentración
PF1	83.79	1.96	2.34
PF2	60.70	8.72	12.47
PF3	60.70	8.67	14.29
PF4	83.38	5.77	6.93

En la figura 17 se observa la curva de recuperación para el cobre, en cada prueba de flotación realizada, se observa una tendencia en la curva similar a la recuperación de oro, a diferencia que para el cobre los porcentajes de recuperación son mayores, debido a que, como se observó en los resultados de la caracterización técnica de minerales existe gran cantidad de cobre diseminado que no está relacionado con la arsenopirita,



**Figura 17.** Curva de recuperación de Cu en las pruebas de flotación realizadas.

## 7. Discusión

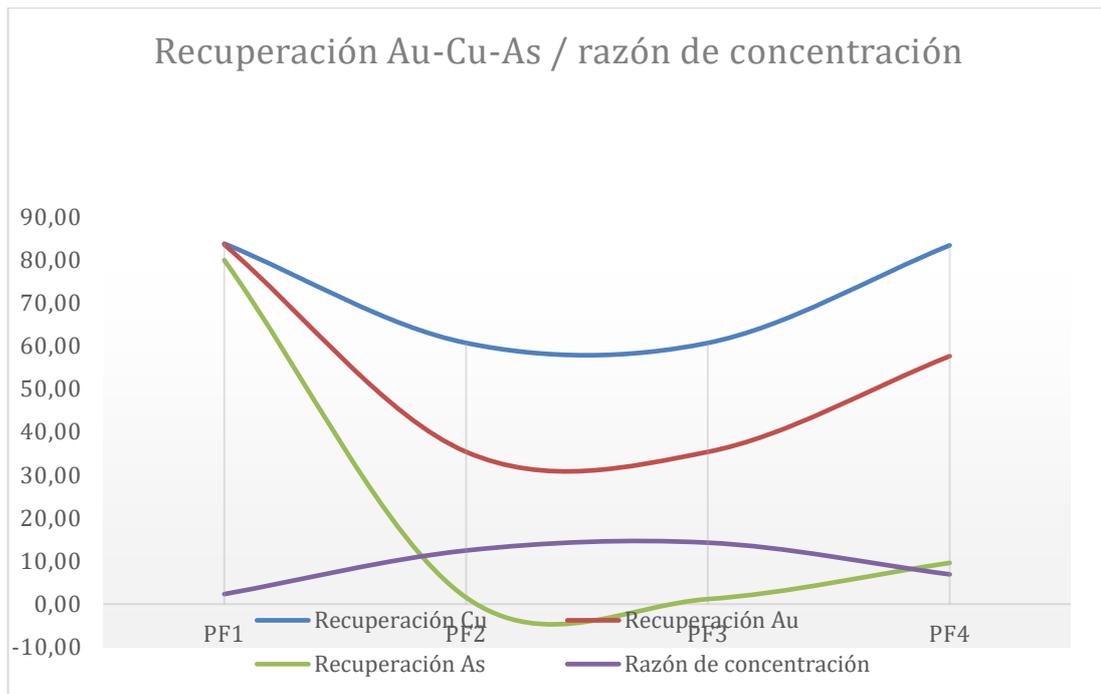
El material de procesamiento de la planta de beneficio EXYCOMINSUR CIA LTDA, es una mena polimetálica compuesta principalmente de minerales del grupo de los sulfuros, tales como: arsenopirita, calcopirita, pirita, pirrotina y el cuarzo que es un mineral acompañante de mena; estos minerales que fueron analizados bajo la técnica de microscopía óptica, en secciones pulidas con el microscopio de luz reflejada. Se determinó que la mena contiene en promedio los siguientes porcentajes: 36% de cuarzo, 35 % de arsenopirita, 19% de calcopirita, 9% de pirrotina, 1% pirita.

En base a su composición mineralógica, se realizó la caracterización química del material con la técnica de espectrofotometría de absorción atómica para los principales elementos formadores de los minerales, presentando los siguientes resultados: 1.12 % de Cu, 0.02 % Pb, 0.07 % Zn, 9.07 % As, 16.02 % Fe. Además, se cuantificó los metales preciosos como Au y Ag, bajo la técnica de ensayo al fuego, obteniendo un valor promedio en sus resultados de: 92.38 g/t Au, 33.7 g/t Ag.

Se puede concluir que los principales minerales formadores de la mena, son la arsenopirita y calcopirita, que aportan con contenidos elevados de arsénico, hierro, cobre, además que presenta una buena ley de oro.

Se realizaron varias pruebas metalúrgicas de flotación, observando que los minerales arsenopirita, calcopirita, y el oro, están intrínsecamente relacionados en su génesis de formación, debido a que, modificando los parámetros, reactivos y dosificaciones de flotación, la recuperación de Au, Cu, As presenta un comportamiento similar, según se observa en la figura 18, las tendencias de recuperación de estos tres elementos es la misma, aunque varían sus porcentajes de recuperación, debido al uso de depresores.

La prueba de flotación 1 presenta la mayor recuperación de Au, Cu, entre un 83% y As de 79 %, debido a que se realizó una flotación sin el uso de depresores, abarcando la mayor cantidad de sulfuros en el concentrado.



**Figura 18.** Curvas de recuperación de Au, Cu, As en las pruebas de flotación realizadas, versus la razón de concentración.

La prueba de flotación 1 se utilizó el colector Z6 que presenta un fuerte poder colector de todos los sulfuros presentes en la mena, dando como resultado un concentrado de baja pureza, con ratio de concentración de 2.34.

En las pruebas de flotación, 2, 3, 4 se utilizó el colector Z11 por ser más selectivo, precisando el uso de un depresor de arsénico, por el alto contenido de ley de cabeza, en promedio de 22% de arsénico, usando para el efecto un complejo de  $ZnSO_4+NaCN$ ; como resultado se obtienen concentrados enriquecidos en 12, 14 y 6 veces su ley original, disminuyendo la recuperación de Au y Cu, debido al comportamiento refractario del Au en la arsenopirita y calcopirita.

## 8. Conclusiones

El material de procesamiento de la Planta de Beneficio EXYCOMINSUR CIA LTDA es una mena polimetálica compuesta de: cuarzo 36%, arsenopirita 35%, calcopirita 19%, pirrotina 9% y pirita 1%, resultados obtenidos de 5 muestras tomadas del stock de la planta de beneficio, y analizadas por microscopía óptica, en secciones pulidas bajo el microscopio de luz reflejada.

La composición química y abundancia de la mena polimetálica es: Cu 1.12%, Pb 0.02%, Zn 0.07 %, As 9.07 %, Fe 16.02 %, resultados obtenidos por el método de espectrofotometría de absorción atómica; Au 92.38 g/t y Ag 33.7 g/t obtenidos por el método de ensayo al fuego.

La caracterización técnica de minerales permitió definir que el Au, tiene un comportamiento refractario, debido que bajo el análisis microscópico no se observa oro a una escala de 20  $\mu\text{m}$ ; además que el material de procesamiento tiene un alto contenido de Cu, orientando las pruebas a obtener un concentrado de Au-Cu.

Se realizó un muestreo para las cuatro pruebas de flotación realizadas, tomado de las bandas transportadoras ubicadas entre la trituración primaria y secundaria.

Se realizó análisis de ley de alimentación a las cuatro pruebas de flotación realizadas, obteniendo los siguientes valores promedios: 26.3 g/t Au, 51.67 g/t Ag, 2.73 % Cu, 22.43% As.

La primera prueba de flotación se obtuvo un mayor porcentaje de recuperación de 83.55 % de Au, 83.79 % de Cu, utilizando el colector Xantato Amflico de Potasio Z6 que permitió colectar la mayor cantidad de sulfuros, como resultado se obtuvo una razón de concentración de 2.34 siendo un concentrado de baja pureza.

En las pruebas de flotación 2 y 3 se utilizó un complejo depresor de arsénico de  $\text{ZnSO}_4 + \text{NaCN}$ , el resultado obtenido fue, entre mayor depresor utilizado, se obtiene un concentrado de mayor pureza de Au-Cu entre 155.7-137.5 g/t Au y 24% de Cu, concentrando un valor de arsénico muy inferior a la alimentación de 4%; sin embargo, la recuperación de estos elementos disminuye debido a la estrecha relación genética con la arsenopirita, mineral portador de arsénico.

La prueba de flotación 4 también se utilizó el depresor de arsénico  $ZnSO_4+NaCN$ , en menor cantidad que las pruebas 2 y 3, como resultado se obtiene un concentrado de 103.2 g/t de Au, 15.88% Cu, concentrando también arsénico en un valor de 12.93% y una razón de concentración de 6.93.

Con las pruebas de flotación realizadas se puede concluir que el material de procesamiento de la planta de beneficio EXYCOMINSUR CIA LTDA, puede obtenerse dos tipos de concentrados en el circuito de flotación: un concentrado de baja ley que contenga todos los sulfuros de la mena, con una alta recuperación; o un concentrado de Au-Cu de elevada pureza con una baja recuperación, y que sus relaves sean enviados a un siguiente circuito sea de flotación cleaner o de lixiviación.

El proceso de flotación permite obtener un concentrado con dos elementos comercializables como es el Au y el Cu, siendo el ingreso económico obtenido por el Cu, un ingreso adicional respecto a lo que actualmente se comercializa únicamente el Au.

## **9. Recomendaciones**

Realizar pruebas de flotación de limpieza o cleaner, al concentrado y relave obtenido en la prueba de flotación número uno, con el objetivo de tener un concentrado de mayor ley, y aprovechar los valores económicos que salen al relave en la primera flotación.

Realizar pruebas de lixiviación al concentrado de la prueba de flotación número uno, y analizar su recuperación, costo-beneficio frente a una lixiviación del mismo material de alimentación.

Realizar pruebas de lixiviación al relave obtenido de las pruebas de flotación 2 y 3, con el objetivo de obtener el oro no recuperado de la prueba de flotación.

## 10. Bibliografía

- ABAD, I., & VELILLA, N. (2018). *¿De qué está hecho este material? Una introducción al uso e interpretación de las técnicas básicas de*. JAEN: ISSN.
- ALMAGUER, R. S. (2018). DESARROLLO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO PARA UN MINERAL DE ALTA LEY DE ORO (46 gr/t). *Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología.*, 36-45.
- ALVAREZ, A. (2006). *Tecnología de la concentración centrífuga* . La Paz: Instituto de Investigación en Metalurgia y Materiales.
- Antonio Ballester, L. F. (2000). *Metalurgia extractiva*. España: Síntesis S.A.
- B ENZAAZOUA, M., MARION, P., ROBAUT , F., & PINTO, A. (2007). Gold-bearing arsenopyrite and pyrite in refractory ores:. *Mineralogical Magazine*, 5-20.
- BETANCOURTH , D., GÓMEZ, J., & MOSQUERA , C. (2010). ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE ROCAS PROVENIENTES DE REGIÓN. *Scientia et Technica Año XV*, 257.
- Boyle, R. (1979). The geochemistry of gold and its deposits . *Geological survey of Canadá*, 35-50.
- Delgado Quiñones, J. M., & Delgado Diaz , G. (2016). Caracterización de materiales cristalinos mediante técnicas de difracción de Rayos-X. *Universidad de los Andes*, 3-25.
- ERROL, K. G., & SPOTTISWOOD, D. J. (1990). *Introducción al procesamiento de minerales*. Mexico: LIMUSA S.A.
- FLSMIDTH. (ENERO de 2022). *FLSMIDTH*. Obtenido de <https://www.flsmith.com/>
- Gálvez, A. C. (2020). *Manual de Flotación de Minerales*.
- INGEOMINAS. (2010). *Técnicas mineralógicas químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas*. Colombia: Imprenta Nacional de Colombia .
- L.Valderrama, M. Santander, J. Ossandon, D. Olguin. (2012). Recuperación de oro grueso en concentrador centrífugo Knelson. *Revista de la Facultad de Ingeniería* , 2-10.
- Linares, N. (2010). *Principios de la Flotación de Minerales*.

- Melgarejo, J. C., Proenza , J. A., Galí, S., & Llovet , X. (2010). Tecnicas de Caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* , 10-15.
- MINERO, P. (2006). MANUAL GENERAL DE MINERIA Y METALURGIA . *PORTAL MINERO* , 149.
- Perry, D. L. (1991). *Applications of Analytical Techniques to the Characterization of Materials* . California: Springer Science+Business Media, LLC.
- Salazar, A. M. (2018). Optimizacion de una operación minera (geometalurgia)-caso de estudio Minereicis S.A. *FIGEMPA* , 4-5.
- TAGGART, A. F. (1966). *ELEMENTOS DE PREPARACIÓN DE MINERALES*. MADRID: GRAFICAS CANALES, S. L -CICERON, 16 MADRID

## 11. Anexos

### Anexo 1: Parámetros de las pruebas de flotación.

#### PRUEBA DE FLOTACION 1

Parámetro	Cantidad	Unidad
Granulometría malla #-200	58	%
PH agua natural	8	
Densidad de pulpa	30	% solidos
Aireación	1300	RPM
Tiempo de acondicionamiento	7	minutos
Tiempo de flotación	6	minutos
Xantato Z-6	150	gr/ton
Espumante DR 350	30	gr/ton

#### PRUEBA DE FLOTACION 2

Parámetro	Cantidad	Unidad
Granulometría malla #-200	66	%
PH agua natural	8	
PH Operación	11	
Densidad de pulpa	30	% solidos
Aireación	1350	RPM
Tiempo de acondicionamiento	7	minutos
Tiempo de flotación	6	minutos
Xantato Z-11	110	gr/ton
Ditiofosfato MT-736	70	gr/ton
Espumante DR 350	30	gr/ton
Complejo ZnSO4 + NaCn	200	gr/ton
Cal	2	kg/ton

#### PRUEBA DE FLOTACION 3

Parámetro	Cantidad	Unidad
Granulometría malla #-200	66	%
PH agua natural	8	
PH Operación	11	
Densidad de pulpa	30	% solidos
Aireación	1400	RPM
Tiempo de acondicionamiento	7	minutos
Tiempo de flotación	6	minutos
Xantato Z-11	150	gr/ton
Ditiofosfato MT-736	100	gr/ton
Espumante DR 350	50	gr/ton
Complejo ZnSO4 + NaCn	400	gr/ton
Cal	2	kg/ton

#### PRUEBA DE FLOTACION 4

<b>Parámetro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Granulometría malla #-200	66	%
PH agua natural	8	
PH Operación	11	
Densidad de pulpa	30	% solidos
Aireación	1450	RPM
Tiempo de acondicionamiento	7	minutos
Tiempo de flotación	6	minutos
Xantato Z-11	175	gr/ton
Ditiofosfato MT-736	100	gr/ton
Espumante DR 350	20	gr/ton
Complejo ZnSO4 + NaCn	100	gr/ton
Cal	2	kg/ton

## Anexo 2: Balances Metalúrgicos

<b>Prueba</b>	<b>Recuperación Cu</b>	<b>Recuperación Au</b>	<b>Recuperación As</b>	<b>Razón de concentración</b>
PF1	83,79	83,55	79,94	2,34
PF2	60,70	35,39	1,55	12,47
PF3	60,70	35,39	1,17	14,29
PF4	83,38	57,63	9,59	6,93

### Anexo 3: Certificado de traducción del resumen



Av. Grillas del Zamora 93-94 entre  
Segundo Puertas Moreno y Clodowko Carrón  
Loja, Ecuador

Tel: +593 - 7 - 2579-934 EC  
Móvil: +593 - 9 - 9866 - 0001  
www.wei Loja.edu.ec

Yo, Lic. Freddy P. Castillo H., profesor de wei ENGLISH INSTITUTE;

Certifico:

Que tengo el conocimiento y dominio de los idiomas español e inglés  
y que las traducciones de los siguientes:

**RESUMEN DE TESIS:** *"Pruebas metalúrgicas para determinar los  
parámetros óptimos de flotación del material de procesamiento en la Planta  
de Beneficio EXYCOMINSUR CIA LTDA."*

para: CABRERA MARQUEZ OSCAR DAVID

es verdadero y correcto a mi mejor saber y entender, sin haber cambiado,  
aumentado o disminuido su sentido en ninguna línea o párrafo del mismo.

FREDDY PAUL CASTELLO HOYOS  
FREDDY PAUL  
CASTELLO HOYOS  
2603105.15  
180258-0500

Firmado en Loja a los doce días del mes de mayo de 2023

