



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE MORONA SANTIAGO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA MINAS**

**ANÁLISIS DE PROCESAMIENTO Y TRATAMIENTO DE ORO Y  
PLATA EN PROCESOS DE LIXIVIACIÓN EN EL MATERIAL DE  
LA MINA “LA ZAMORANA” UBICADA EN EL CANTÓN  
PAQUISHA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN MINAS**

**AUTORA:**

**NIRMALA SUJEY CARRIÓN PAQUI**

Macas – Ecuador

2024



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE MORONA SANTIAGO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA MINAS**

**ANÁLISIS DE PROCESAMIENTO Y TRATAMIENTO DE ORO Y  
PLATA EN PROCESOS DE LIXIVIACIÓN EN EL MATERIAL DE  
LA MINA “LA ZAMORANA” UBICADA EN EL CANTÓN  
PAQUISHA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN MINAS**

**AUTORA:** NIRMALA SUJEY CARRIÓN PAQUI

**DIRECTOR:** ING. GREGORY GUILLERMO CUESTA ANDRADE MSc

Macas – Ecuador

2024

© 2024, **Nirmala Sujey Carrión Paqui**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Nirmala Sujey Carrión Paqui, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

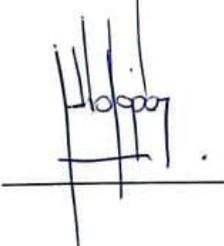
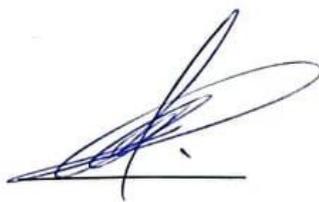
Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 28 de mayo de 2024

  
**Nirmala Sujey Carrión Paqui**  
**1900608298**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE MORONA SANTIAGO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA MINAS**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **ANÁLISIS DE PROCESAMIENTO Y TRATAMIENTO DE ORO Y PLATA EN PROCESOS DE LIXIVIACIÓN EN EL MATERIAL DE LA MINA “LA ZAMORANA” UBICADA EN EL CANTÓN PAQUISHA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE**, realizado por la señorita: **NIRMALA SUJEY CARRIÓN PAQUI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Julio César López Ayala, MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2024-05-28
Ing. Gregory Guillermo Cuesta Andrade, MSc. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-05-28
Ing. Josué David González Coronel, MSc. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-05-28

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a la memoria de mi amada madre Blanca, cuyo amor incondicional, sabiduría infinita y bondad inigualable son mi fuente constante de inspiración. Su legado perdura en mi mente y corazón, y su recuerdo me impulsa a seguir adelante con determinación y gratitud. A mi abuelo Justino, cuyo ejemplo de sacrificio y dedicación ha sido mi guía constante. A mis padres, Juan y Narcisa, por su incansable apoyo y confianza en mí, sin los cuales este logro no sería posible. Y a mis amigos Sofía, Odalys, Elizabeth, Cassandra, Jhon y Rivaldo, quienes han compartido risas, lágrimas y momentos inolvidables a lo largo de este camino. Su amistad y aliento han sido mi mayor fortaleza. A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento. “Este logro es también suyo”.

Nirmala

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis estimados docentes, cuya paciencia y perseverancia fueron fundamentales en cada etapa de mi carrera universitaria. Su dedicación y compromiso no solo me guiaron académicamente, sino que también me inspiraron a superar desafíos y a alcanzar mis metas con determinación. Agradezco profundamente por su constante apoyo, por brindarme su tiempo y conocimiento, y por ser ejemplos de excelencia en su labor educativa. Además, valoro enormemente su capacidad para comprender mis dificultades y motivarme a mejorar continuamente.

Nirmala

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xí
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY / ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	3
1. <b>DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
1.1    Antecedentes.....	3
1.2    Planteamiento del problema.....	4
1.3    Justificación .....	5
1.4    Objetivos .....	5
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	6
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	6
CAPÍTULO II .....	7
2. <b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1 <b>Caracterización y cuantificación mineralógica .....</b>	<b>7</b>
2.1.1 <i>Difracción de rayos X</i> .....	7
2.1.2 <i>Fluorescencia de rayos X</i> .....	9
2.1.3 <i>Espectrofotometría de absorción atómica por ensayo al fuego (EAA)</i> .....	9
2.1.3.1 <i>Definición del tenor</i> .....	10
2.1.3.2 <i>Absorción Atómica (AA)</i> .....	10
2.1.3.3 <i>Proceso de AA</i> .....	11
2.1.4 <i>Ensayo petrográfico</i> .....	11
2.1.4.1 <i>Microscopia óptica</i> .....	11

2.1.4.2	<i>Composición mineralógica de la mena</i> .....	12
2.1.4.3	<i>Distribución y tamaño granulométrico del oro</i> .....	13
<b>2.2</b>	<b>Fundamentos de concentración y lixiviación de minerales</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Concentración de minerales</b> .....	<b>14</b>
2.2.1.1	<i>Métodos de concentración</i> .....	14
<b>2.2.2</b>	<b>Concentración gravimétrica</b> .....	<b>15</b>
2.2.2.1	<i>Métodos de concentración gravimétrica en medios densos</i> .....	16
<b>2.2.3</b>	<b>Lixiviación</b> .....	<b>19</b>
2.2.3.1	<i>Métodos de lixiviación</i> .....	19
2.2.3.2	<i>Aspectos generales de la Lixiviación</i> .....	22
2.2.3.3	<i>Factores que afectan la lixiviación</i> .....	23
2.2.3.4	<i>Elementos cianicidas</i> .....	24
2.2.3.5	<i>Mecanismos químicos de la lixiviación con cianuro</i> .....	25
2.2.3.6	<i>Cinética de reacción</i> .....	27
2.2.3.7	<i>Adsorción con carbón activado</i> .....	30
<b>2.3</b>	<b>Balance metalúrgico y de material en circuitos de lixiviación</b> .....	<b>31</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Balance metalúrgico</b> .....	<b>31</b>
2.3.1.1	<i>Balance de materiales</i> .....	31
2.3.1.2	<i>Razón de concentración (K)</i> .....	32
2.3.1.3	<i>Recuperación metalúrgica</i> .....	33
<b>CAPÍTULO III</b> .....		<b>34</b>
<b>3.</b>	<b>MARCO METOLÓGICO</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterización mineralógica</b> .....	<b>35</b>
3.1.1	<i>Difracción de rayos X (DRX)</i> .....	36
3.1.2	<i>Fluorescencia de rayos X (FRX)</i> .....	37
3.1.3	<i>Ensayo petrográfico</i> .....	38
3.1.3.1	<i>Identificación de fases minerales</i> .....	40
3.1.3.2	<i>Análisis granulométrico</i> .....	41
<b>3.2</b>	<b>Levantamiento del proceso en planta del mineral de La Zamorana</b> .....	<b>41</b>
3.2.1	<i>Densidad del mineral</i> .....	43
3.2.2	<i>Ensayo granulométrico</i> .....	44
3.2.3	<i>Balance metalúrgico</i> .....	46

<b>3.3</b>	<b>Selección de parámetro operativo sometido a modificación .....</b>	<b>48</b>
<b>3.4</b>	<b>Evaluación de recuperación metalúrgica.....</b>	<b>49</b>
<b>3.4.1</b>	<i>Ensayo de concentración gravimétrica .....</i>	<i>49</i>
<b>3.4.2</b>	<i>Ensayo de lixiviación a escala laboratorio.....</i>	<i>50</i>
<b>CAPÍTULO IV .....</b>		<b>52</b>
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>52</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterización mineralógica .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1.1</b>	<i>Difracción de rayos X (DRX).....</i>	<i>52</i>
<b>4.1.2</b>	<i>Fluorescencia de rayos X (FRX) .....</i>	<i>53</i>
<b>4.1.3</b>	<i>Análisis petrográfico .....</i>	<i>55</i>
<b>4.2</b>	<b>Levantamiento de proceso en planta .....</b>	<b>56</b>
<b>4.2.1</b>	<i>Concentración gravimétrica .....</i>	<i>58</i>
<b>4.2.2</b>	<i>Lixiviación .....</i>	<i>59</i>
<b>4.2.2.1</b>	<i>Parámetros operativos .....</i>	<i>62</i>
<b>4.2.2.2</b>	<i>Densidad del mineral .....</i>	<i>63</i>
<b>4.2.2.3</b>	<i>Ensayo granulométrico .....</i>	<i>64</i>
<b>4.2.3</b>	<i>Balance metalúrgico .....</i>	<i>66</i>
<b>4.2.3.1</b>	<i>Balance metalúrgico (concentración gravimétrica) .....</i>	<i>66</i>
<b>4.2.3.2</b>	<i>Balance metalúrgico (lixiviación).....</i>	<i>67</i>
<b>4.2.3.3</b>	<i>Recuperación total del proceso.....</i>	<i>69</i>
<b>4.3</b>	<b>Definición de parámetro operativo para ensayos de lixiviación .....</b>	<b>70</b>
<b>4.4</b>	<b>Evaluación de recuperación metalúrgica.....</b>	<b>71</b>
<b>4.4.1</b>	<i>Ensayo granulométrico .....</i>	<i>71</i>
<b>4.4.2</b>	<i>Ensayo de concentración gravimétrica .....</i>	<i>72</i>
<b>4.4.3</b>	<i>Ensayos de lixiviación.....</i>	<i>73</i>
<b>4.4.3.1</b>	<i>Balance metalúrgico (concentración gravimétrica) .....</i>	<i>75</i>
<b>4.4.3.2</b>	<i>Balance metalúrgico (lixiviación).....</i>	<i>75</i>
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>78</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>80</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>82</b>

**ANEXOS..... 86**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Métodos de concentración de minerales.....	14
<b>Tabla 4-1:</b>	Fases minerales muestra ZM-CH1 .....	53
<b>Tabla 4-2:</b>	Categorización de los elementos presentes en el material de La Zamorana mediante FRX.....	54
<b>Tabla 4-3:</b>	Tamaño de granos de Au promedio en la muestra N-CH1.....	55
<b>Tabla 4-4:</b>	Tamaño de granos de Au promedio en la muestra N-CH2.....	56
<b>Tabla 4-5:</b>	Parámetros operativos del proceso de lixiviación del mineral de La Zamorana. ....	62
<b>Tabla 4-6:</b>	Datos obtenidos en ensayo para cálculo de densidad.....	63
<b>Tabla 4-7:</b>	Cálculo de densidad del mineral.....	63
<b>Tabla 4-8:</b>	Configuración de la tamizadora Octagon serie 200CL. ....	64
<b>Tabla 4-9:</b>	Ensayo de tamizaje de entrada muestra G-ZM.....	64
<b>Tabla 4-10:</b>	Leyes de Au y Ag en el concentrado gravimétrico y colas de concentración. ..	67
<b>Tabla 4-11:</b>	Ley de alimento de Au y Ag en el mineral de La Zamorana.....	67
<b>Tabla 4-12:</b>	Recuperación metalúrgica de Au en el concentrado gravimétrico y colas de concentración.....	68
<b>Tabla 4-13:</b>	Recuperación metalúrgica de Ag de concentrado gravimétrico y colas de concentración.....	68
<b>Tabla 4-14:</b>	Recuperación metalúrgica del mineral que alimenta las corrientes de CG y CC. ....	69
<b>Tabla 4-15:</b>	Ensayo de tamizaje de entrada muestra G-ZM_2.....	72
<b>Tabla 4-16:</b>	División de masas de concentrado gravimétrico y colas de concentración.....	73
<b>Tabla 4-17:</b>	Leyes de alimento en el concentrado gravimétrico y colas de concentración...	73
<b>Tabla 4-18:</b>	Parámetros operativos empleados en los ensayos de lixiviación. ....	74
<b>Tabla 4-19:</b>	Ley de alimento de Au y Ag en el mineral de La Zamorana.....	75
<b>Tabla 4-20:</b>	Recuperación metalúrgica de Au y Ag.....	75
<b>Tabla 4-21:</b>	Leyes de cabeza de Au y Ag en el mineral de La Zamorana. ....	76

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Difracción de rayos X en una muestra cristalina.....	8
<b>Ilustración 2-2:</b>	Esquema de fluorescencia de rayos X.....	9
<b>Ilustración 2-3:</b>	Proceso de absorción atómica.....	10
<b>Ilustración 2-4:</b>	a) Brecha cementada con Au y pirita; y b) Asociación de Au, pirita y calcopirita.....	13
<b>Ilustración 2-5:</b>	Representación de la anchura de un grano de oro.....	13
<b>Ilustración 2-6:</b>	Principio de concentración por lámina fluyente (canalón).....	17
<b>Ilustración 2-7:</b>	Principio de concentración por mesa vibratoria.....	17
<b>Ilustración 2-8:</b>	Principio de concentración en espiral.....	18
<b>Ilustración 2-9:</b>	Principio de concentración por Jigs.....	18
<b>Ilustración 2-10:</b>	Principio de concentración gravimétrica.....	19
<b>Ilustración 2-11:</b>	Tanque agitador de Lixiviación.....	20
<b>Ilustración 2-12:</b>	Esquema de una pila de lixiviación.....	21
<b>Ilustración 2-13:</b>	Diagrama de lixiviación en estanques.....	21
<b>Ilustración 2-14:</b>	Diagrama de lixiviación in situ.....	22
<b>Ilustración 2-15:</b>	Reacciones cianicidas que afecta la cianuración.....	25
<b>Ilustración 2-16:</b>	Interpretación de la cinética de cianuración de oro por el intermedio de las curvas de polarización.....	28
<b>Ilustración 2-17:</b>	Representación esquemática de las etapas en una reacción química heterogénea.....	29
<b>Ilustración 2-18:</b>	Adsorción con carbón en pulpa.....	30
<b>Ilustración 2-19:</b>	Esquema de una planta concentradora.....	32
<b>Ilustración 3-1:</b>	Diagrama de flujo del marco metodológico.....	35
<b>Ilustración 3-2:</b>	Difractómetro de rayos X D8 ADVANCE.....	37
<b>Ilustración 3-3:</b>	Difractómetro de fluorescencia de rayos X Vanta M Series.....	38
<b>Ilustración 3-4:</b>	a) Cortadora GEOCUT 302; y b) Pulidora Kemet 300LVAC2.....	39
<b>Ilustración 3-5:</b>	Análisis petrográfico de secciones pulidas en el microscopio OPTIKA B-510P.....	40
<b>Ilustración 3-6:</b>	a) Canalones para concentración gravimétrica; y b) Tanques agitadores para lixiviación.....	42
<b>Ilustración 3-7:</b>	a) Toma de muestras en planta; y b) equipo de análisis de EAA.....	42
<b>Ilustración 3-8:</b>	Ensayo de densidad del mineral de La Zamorana.....	44
<b>Ilustración 3-9:</b>	Ensayo de tamizaje.....	45

<b>Ilustración 3-10:</b>	Diagrama de flujo del balance metalúrgico del mineral de La Zamorana....	47
<b>Ilustración 3-11:</b>	Ensayo de concentración gravimétrica.....	50
<b>Ilustración 4-1:</b>	Difractograma muestra ZM-CH1.....	53
<b>Ilustración 4-2:</b>	Microfotografías en sección pulida con aumento 40x de material de La Zamorana (N-CH1).....	55
<b>Ilustración 4-3:</b>	Microfotografías en sección pulida con aumento 40x de material de La Zamorana (N-CH2).....	56
<b>Ilustración 4-4:</b>	Diagrama de flujo de procesamiento actual aplicado al mineral de la mina La Zamorana.....	57
<b>Ilustración 4-5:</b>	Canaletas de concentración gravimétrica.....	58
<b>Ilustración 4-6:</b>	Cubículos de stock de colas.....	58
<b>Ilustración 4-7:</b>	Adición de NaOH al proceso de lixiviación.....	59
<b>Ilustración 4-8:</b>	Adición de NaCN al proceso.....	60
<b>Ilustración 4-9:</b>	Toma de muestra para ensayo de EAA.....	61
<b>Ilustración 4-10:</b>	Adición de carbón activado al tanque.....	61
<b>Ilustración 4-11:</b>	Recuperación del carbón activado de los tanques lixivadores.....	62
<b>Ilustración 4-12:</b>	Curva granulométrica CG-ZM.....	65
<b>Ilustración 4-13:</b>	Recuperación metalúrgica de CG y CC frente al mineral que alimenta el proceso total.....	70
<b>Ilustración 4-14:</b>	Curva granulométrica de la muestra G-ZM_2.....	72
<b>Ilustración 4-15:</b>	Recuperación metalúrgica de Au y Ag en el proceso de lixiviación en planta y ensayos de lixiviación a escala de laboratorio del mineral de La Zamorana.	

## ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** ANÁLISIS DRX MUESTRA MINERAL LA ZAMORANA
- ANEXO B:** ANÁLISIS FRX MUESTRA MINERAL LA ZAMORANA
- ANEXO C:** ENSAYO AL FUEGO ALBEXXUS DE CONCENTRADO GRAVIMÉTRICO  
(LEY DE CABEZA Y COLAS)
- ANEXO D:** ENSAYO AL FUEGO ALBEXXUS DE COLAS DE CONCENTRADO  
GRAVIMÉTRICO (LEY DE CABEZA Y COLAS)
- ANEXO E:** ENSAYO AL FUEGO ALBEXXUS DE COLAS DE CONCENTRADO  
GRAVIMÉTRICO (CARBÓN)
- ANEXO F:** ENSAYO DE LIXIVIACIÓN ALBEXXUS CONCENTRADO  
GRAVIMÉTRICO
- ANEXO G:** ENSAYO DE LIXIVIACIÓN ALBEXXUS COLAS DE CONCENTRADO  
GRAVIMÉTRICO

## RESUMEN

El mineral de la mina “La Zamorana” no ha recibido un tratamiento metalúrgico adecuado para maximizar el aprovechamiento del mineral de oro y plata. Debido a esta incertidumbre, no se conoce exactamente las tasas de extracción mineral de la mina. El objetivo del presente trabajo fue analizar el procesamiento de oro y plata de la mina “La Zamorana”. La metodología utilizada incluyó un análisis cuantitativo y experimental de la información, comenzando con la caracterización mineralógica del material, seguida del levantamiento en planta del proceso metalúrgico hasta la actualidad y posteriormente la ejecución de ensayos a escala laboratorio y una evaluación de la recuperación metalúrgica modificando ciertos parámetros operacionales. Los resultados mostraron que no se tiene un proceso específico para el procesamiento del material de la mina que responda a sus necesidades. El tratamiento metalúrgico actual es un proceso general que se aplica a todos los materiales que llegan a la planta de beneficio. La caracterización mineralógica reveló que el oro se encuentra principalmente en partículas menores de 30 micras y en menor medida hasta 60 micras. La plata se encuentra en forma de aleación o electrum, sin tamaños específicos. La lixiviación en escala laboratorio mostró que ajustar la granulometría a tamaños inferiores a 75 micras mejoró la tasa de recuperación de plata en un 15%, pero no hubo beneficios significativos para el oro. En conclusión, el estudio permitió conocer el proceso metalúrgico actual y sugiere ajustar la granulometría para mejorar la lixiviación de plata, pero requiere más estudio para determinar por qué el oro no presenta mejoras similares.

**Palabras clave:** <COMPOSICIÓN MINERALÓGICA>, <CONCENTRACIÓN DE ORO>, <GRANULOMETRIA AURÍFERA>, <LIXIVIACIÓN DE ORO Y PLATA>, <CIANURACIÓN DE ORO>.

0910-DBRA-UPT-2024

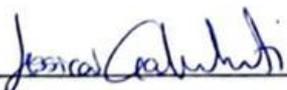


## SUMMARY / ABSTRACT

The ore from "La Zamorana" mine has not received adequate metallurgical treatment to maximize the utilization of the gold and silver ore. Due to this uncertainty, the mineral extraction rates of the mine are not exactly known. This study aimed to analyze the gold and silver processing of "La Zamorana" mine. The methodology applied was based on a quantitative and experimental analysis of the information, starting with the mineralogical characterization of the material, followed by the plant survey of the metallurgical process up to the present time and then the execution of laboratory scale tests and an evaluation of the metallurgical recovery by modifying certain operational parameters. The results showed that there is no specific process for the processing of the mine material that responds to its needs. The current metallurgical treatment is generally applied to all materials arriving at the processing plant. The mineralogical characterization revealed that gold is mainly found in particles smaller than 30 microns and to a lesser extent up to 60 microns. Silver is found in the form of alloy or electrum, with no specific sizes.

Laboratory scale leaching showed that adjusting granulometry to particle sizes below 75 microns improved the silver recovery rate by 15%, but there was no significant benefit for gold. In conclusion, the study provided insight into the current metallurgical process and suggests adjusting granulometry to improve silver leaching; that means it requires further study to determine why gold does not show similar improvements.

**Keywords:** <MINERALOGICAL COMPOSITION>, <GOLD CONCENTRATION>, <AURIFEROUS GRANULOMETRY>, <GOLD AND SILVER LEACHING>, <CYANIDATION GOLD EXTRACTION PROCESS>.

  
\_\_\_\_\_  
**Lic. Jessica Galimberti Mg.**  
**CI 175646848-2**

## INTRODUCCIÓN

La provincia de Zamora Chinchipe se caracteriza por poseer una riqueza metálica extensa a nivel nacional debido a que alberga dos de los proyectos mineros más notables a gran escala. Dentro de esta localidad, existen zonas en donde la producción minera se desarrolla con una capacidad de explotación menor, siendo estas pequeñas minas y una gran cantidad de recursos subterráneos son los componentes que hoy en día identifican a la provincia. (Ministerio de Recursos no Renovables, 2014)

La minería metálica es un referente importante en esta localidad, por lo que la implementación de procesos metalúrgicos eficientes para la recuperación de estos elementos se vuelve una herramienta necesaria e indispensable. Los métodos empleados para este fin dependen de las características físico-químicas y minero-metalúrgicas de la mena, las cuales son examinadas mediante análisis cualitativos como difracción de rayos X (DRX), fluorescencia de rayos X (FRX), además de microscopía óptica de luz polarizada, que establecen la composición mineralógica de la mena. Los análisis cuantitativos como espectrofotometría de absorción atómica (EAA) por ensayo al fuego permiten determinar la concentración de un metal específico dentro de la roca mineralizada (Bustamante et al., 2008).

Es entonces que al identificar la tipología mineral y los tenores es posible implementar un proceso de recuperación específico. En el caso de la mina La Zamorana, dedicada a la extracción de minerales de oro y plata, se lleva a cabo un proceso de beneficio mineral que implica el uso del método de concentración por lixiviación con cianuro, no obstante, al no existir un estudio minero-metalúrgico definido, no se tiene la certeza de que este sea el proceso que permita la mayor recuperación de los metales. (Mas, Aguirre y Amaya, 2005)

La investigación actual se enfoca en analizar los procesos de lixiviación utilizados por la empresa, con el objetivo de evaluar la recuperación de oro y plata mediante una modificación en el tamaño de partícula del mineral que ingresa a la etapa de lixiviación mediante ensayos a escala de

laboratorio, considerando un previo análisis minero-metalúrgico para determinar la composición del mineral y garantizar un desarrollo óptimo del trabajo.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes

Medina & Anderson, 2020 en su trabajo “A Review of the Cyanidation Treatment of Copper-Gold Ores and Concentrates” describe los diferentes procesos, prácticas y reactivos utilizados en la industria minera para el tratamiento efectivo de minerales complejos de oro, cobre y plata. En este resaltan la cianuración como uno de los métodos más prevalentes para recuperar oro a partir de minerales. En el documento se expone que la eficacia de este tratamiento se fundamenta en las características únicas del oro, que no se oxida a temperaturas convencionales y no es soluble en ácidos sulfúrico, clorhídrico o nítrico, pero sí en soluciones diluidas de cianuro. Explica, además, que la aplicación del proceso de cianuración en conjunto con el proceso SART (Tecnología de sulfuración, acidificación, reciclaje y espesamiento) representa una forma innovadora de disminuir los problemas de tener complejos de cianuro nocivos involucrados en el proceso, mediante la recuperación de sulfuros de plata y cobre comercializables.

En el trabajo titulado "Tratamiento por flotación y cianuración de minerales auríferos con presencia de pirita para la concentración y extracción de oro y plata a nivel experimental" realizado por Gavino, 2018, se llevaron a cabo pruebas experimentales utilizando minerales sulfurados y oxidados para recuperar oro y plata mediante los procesos de flotación y cianuración. Los resultados de la flotación mostraron una recuperación del 94.34% para el oro y del 91.38% para la plata. En cuanto a la cianuración, se lograron recuperaciones del 88.36% para el oro y del 46.95% para la plata en el mineral sulfuro, mientras que, en el mineral oxidado, las recuperaciones fueron del 90.22% para el oro y del 54.99% para la plata. Se concluyó que la flotación es más efectiva para el mineral sulfurado, mientras que la cianuración alcanza una recuperación superior al 90% para el oro en el mineral oxidado. Además, se determinó que el tiempo de cianuración y el uso de cianuro de sodio son factores estadísticamente significativos para la recuperación de oro y plata en ambos tipos de minerales, mientras que el CaO no influye en el proceso de cianuración.

El estudio de Azañero et al., 2007 sobre “Recuperación de oro y plata de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo” se compararon los métodos de flotación y cianuración para extraer el oro y la plata del mineral bajo estudio. Las pruebas iniciales de flotación mostraron rendimientos bajos de oro y plata, alcanzando únicamente un 59,11% y 52,51%, respectivamente. Para mejorar esto, se aplicó una etapa de preconcentración utilizando el centrífugo "Falcon", lo que significativamente incrementó las recuperaciones de oro y plata a un 85,67% y 75,72%, respectivamente, con una granulometría de 64% - 200 malla. De manera simultánea, se llevaron a cabo pruebas de cianuración durante diferentes intervalos de tiempo (12, 18, 24, 30 y 36 horas) utilizando la misma granulometría empleada en la flotación. Se observó que una lixiviación de 36 horas logró una recuperación del 81,21% para el oro, mientras que la recuperación de plata fue baja, alcanzando solo un 49,81%.

Velín, 2014 en su trabajo “Mejoramiento y simulación de una planta de recuperación de oro por concentración gravimétrica, flotación y cianuración ubicada en Piñas, provincia de El Oro” analizó un mineral aurífero polisulfurado con una ley de 6,2 g/t de oro, 15,6 g/t de plata y 0,24% de cobre. Se llevaron a cabo ensayos de concentración gravimétrica utilizando diferentes granulometrías en una mesa de rifles, logrando incrementar la recuperación de oro del 11% al 21% y del 0,4% al 3,0% para la plata. Además, se realizaron ensayos de flotación en una celda unitaria de 2,5 L con un 33,3% de sólidos, utilizando amil xantato de potasio y aceite de pino como reactivos. Sin embargo, la recuperación de oro en la flotación disminuyó del 68% al 30%. En la etapa de cianuración, se utilizó un reactor agitado con un 33,3% de sólidos y un pH entre 10,5 y 11,0 durante 24 horas, variando la concentración de NaCN y el tamaño de partícula. Como resultado, se observó un aumento en la recuperación de oro y plata del 29% al 66% y del 7% al 21%, respectivamente, en comparación con los resultados iniciales del proceso.

## **1.2 Planteamiento del problema**

El material de la mina “La Zamorana” sometido a procesos de beneficio para la recuperación de oro y plata no ha recibido un tratamiento minero-metalúrgico preciso por lo que no se posee información exacta del tipo de mineral, granulometría, elementos asociados y tenores. Debido a esto no se conoce si los procesos que se han venido ejecutando hasta la actualidad permiten la máxima recuperación de los metales de interés. Es por ello que se plantea la ejecución de un

levantamiento de información actualizado para buscar una mejora sustancial en los procesos a analizar.

### **1.3 Justificación**

Actualmente en nuestro país se ejecutan procesos de recuperación de metales en plantas de beneficio que implementan técnicas metalúrgicas de países como Chile y Perú. Sin embargo, estas no siempre son las idóneas, o bien, no han sido correctamente implementadas, por lo que no se puede alcanzar la recuperación máxima de dichos metales. Tal es el caso de la mina La Zamorana la cual ha venido desarrollando procesos de beneficio mediante lixiviación para la recuperación de oro y plata contenidos en menas de las que se no se conoce a ciencia cierta la ocurrencia mineral de los metales de interés.

la etapa de molienda ha establecido parámetros estándar, como la granulometría del mineral de salida que entra en el proceso de concentración gravimétrica. Esto se debe a la falta de un análisis minero-metalúrgico adecuado de la mena en cuestión, lo que impide tener un conocimiento preciso de esta y otras variables relevantes. Como resultado, el proceso metalúrgico implementado en la planta de beneficio comercial utiliza un enfoque generalizado que no considera estas propiedades para lograr una recuperación óptima de oro y plata.

En este contexto, se ha planteado al titular del permiso minero el desarrollo de un estudio que permita establecer las variables operativas que influyen en la recuperación de los metales que extrae en la mina La Zamorana, identificando si el método de lixiviación implementado hasta el momento es el idóneo, o si bien, requiere adaptar la técnica empleada modificando alguna de las variables que intervienen en esta etapa.

### **1.4 Objetivos**

#### *1.4.1 Objetivo general*

Analizar el procesamiento y tratamiento de oro y plata en procesos de lixiviación en el material de la mina “La Zamorana” ubicada en el cantón Paquisha, provincia de Zamora Chinchipe.

#### *1.4.2 Objetivos específicos*

- Caracterizar mineralógicamente el mineral proveniente de la mina La Zamorana mediante técnicas analíticas y secciones pulidas.
- Realizar un levantamiento de información del proceso de lixiviación en planta mediante la medición de parámetros operativos y balances metalúrgicos.
- Ejecutar ensayos de lixiviación a escala de laboratorio modificando un parámetro operativo específico seleccionado mediante la evaluación de la caracterización mineralógica y el análisis del levantamiento del proceso de lixiviación del mineral.
- Evaluar la recuperación metalúrgica del mineral a través de los tenores de oro y plata en las muestras de alimentación, cabeza y cola obtenidas de los ensayos de lixiviación a escala de laboratorio.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Caracterización y cuantificación mineralógica

La minería metálica es una industria que busca obtener el mayor beneficio de los minerales con un alto valor económico, por medio del tratamiento de diferentes tipos de menas. Los métodos que se utilizan para llevar a cabo el beneficio metalúrgico de estos materiales dependen de las propiedades físicas, fisicoquímicas, mineralógicas, geoquímicas y metalúrgicas que poseen dichas menas. En el caso de los minerales auríferos las propiedades mineralógicas constituyen una herramienta útil en la definición y evaluación de la viabilidad de estos procesos. (Cañola et al., 2015)

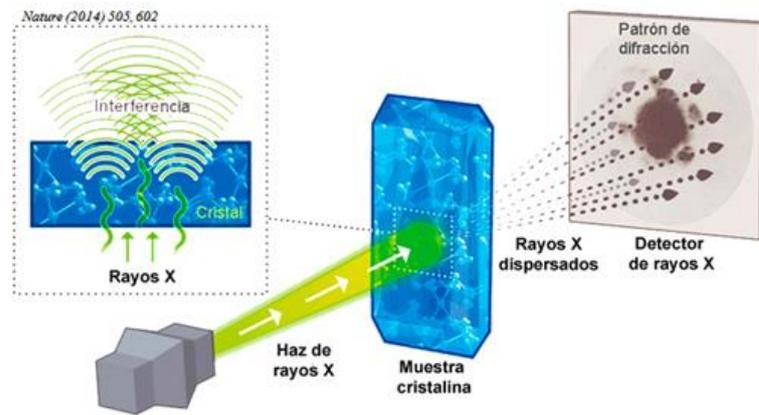
Un estudio mineralógico, mejor denominado caracterización mineralógica suministra información sobre las especies minerales y sus características ayudando a entender la naturaleza y la distribución de los minerales presentes en la mena. Es entonces que para definir su composición mineralógica se emplean diferentes técnicas instrumentales como difracción de rayos x (DRX), fluorescencia de rayos x (FRX) o análisis petrográficos. Estas técnicas utilizadas individualmente o en conjunto proporcionan información esencial para la planificación de procesos metalúrgicos eficientes y rentables. (Lodoño et al., 2010)

##### 2.1.1 *Difracción de rayos X*

El ensayo de difracción de rayos X es crucial para la determinación de la composición mineral de una mena pues proporciona información cuantitativa sobre la proporción relativa de las fases minerales. Esto es crucial para evaluar la abundancia de minerales portadores de metales preciosos en la muestra, además, proporciona detalles sobre la estructura cristalina de los minerales. Esta información es valiosa para comprender cómo los metales están vinculados a la

matriz mineral y cómo pueden ser liberados durante el proceso de recuperación. (Lodoño et al., 2010)

La técnica de difracción en polvo ha emergido como un método esencial para la identificación de minerales basada en sus estructuras cristalinas. Su utilidad y alcance se han ampliado significativamente con la introducción del difractómetro de rayos X. La clave de este enfoque radica en la cristalinidad de los minerales y en la disposición regular de sus componentes en el espacio, definida por las redes cristalinas que muestran la repetición periódica de la celda unitaria del mineral. (Servicio Geológico Mexicano, 2017)



**Ilustración 2-1:** Difracción de rayos X en una muestra cristalina.

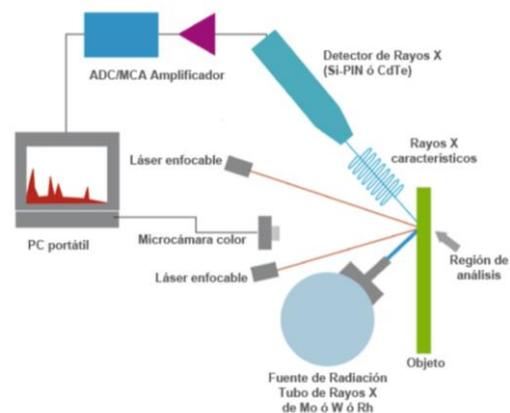
**Fuente:** (Burgos, 2020)

La descripción de la muestra proporciona toda la información sobre la estructura cristalina del mineral, incluyendo los parámetros del paralelepípedo (longitudes de las aristas y ángulos entre ellas) y la disposición de los átomos dentro de la célula. La difracción de polvo cristalino nos brinda detalles sobre estos aspectos, lo que permite distinguir minerales con redes cristalinas similares. Este método proporciona una forma eficaz y sencilla de obtener datos de difracción, incluyendo espaciados e intensidades, a partir de muestras de mineral o roca reducidas a polvo fino. Estos pequeños cristales pulverizados reflejan los rayos X y son analizados mediante un difractómetro en polvo, que se compone de una fuente de rayos X, un portamuestras giratorio montado sobre un goniómetro y un detector. (Servicio Geológico Mexicano, 2017)

### 2.1.2 Fluorescencia de rayos X

La utilización de esta técnica instrumental permite llevar a cabo un análisis veloz que suministra información detallada acerca de la composición de las muestras. Su aplicación abarca la caracterización de materiales de veta, el monitoreo de procesos metalúrgicos y el análisis de residuos sólidos, incluyendo las colas de dichos procesos. Asimismo, contribuye al enriquecimiento de la base de datos del difractómetro de rayos X, mejorando la precisión de la caracterización mineralógica previamente realizada mediante microscopio. (Lodoño et al., 2010)

Además, contribuye a mejorar la precisión de la caracterización mineralógica previamente realizada mediante microscopio al enriquecer la base de datos del difractómetro de rayos X. Esta técnica es versátil, ya que puede utilizarse con cualquier elemento químico cuyo número atómico sea mayor que el del flúor. Se destaca por la simplicidad del espectro de emisión de rayos X, ya que, en general, cada elemento presenta pocas líneas, y su posición no depende del tipo de compuesto en el que se encuentre el elemento. (Lodoño et al., 2010)



**Ilustración 2-2:** Esquema de fluorescencia de rayos X.

**Fuente:**(Ruvalcaba, 2018)

### 2.1.3 Espectrofotometría de absorción atómica por ensayo al fuego (EAA)

La espectrofotometría de absorción atómica es un método de análisis químico cuantitativo, mediante el cual se determina la proporción de un metal, especialmente oro y plata, en una muestra mineral o producto metalúrgico. Este método se basa en la capacidad de ciertos metales de formar aleaciones con plomo fundido. (Lodoño et al., 2010)

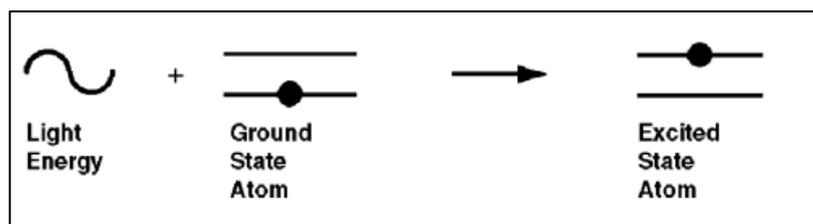
### 2.1.3.1 Definición del tenor

En espectrofotometría de absorción atómica, el término "tenor" se refiere a la concentración de un elemento específico presente en una muestra. El tenor se expresa comúnmente en unidades de masa por unidad de volumen, como microgramos por mililitro ( $\mu\text{g/ml}$ ) o partes por millón (ppm). En cuanto a absorción atómica, el tenor se determina midiendo la cantidad de luz absorbida por los átomos del elemento de interés en la muestra. (Lodoño et al., 2010)

La absorción atómica implica la irradiación de la muestra con luz de una longitud de onda específica correspondiente al elemento que se está analizando. La cantidad de luz absorbida por los átomos del elemento es proporcional a su concentración en la muestra. La medición de la absorbancia permite cuantificar el tenor, es decir, determinar la cantidad de un elemento particular presente en la muestra. (Lodoño et al., 2010)

### 2.1.3.2 Absorción Atómica (AA)

Proceso que implica que los átomos absorban energía al excitarse mediante una fuente de emisión externa. Posteriormente, al emitir una señal, esta es cuantificada para determinar la concentración del elemento que se desea analizar. (Escobedo, 2013)



**Ilustración 2-3:** Proceso de absorción atómica.

**Fuente:** Vera, 2016

### 2.1.3.3 *Proceso de AA*

La cantidad de luz absorbida dependerá del número de átomos presentes en el camino de haz de luz, si este aumenta la absorción de luz lo hará. Para las mediciones de absorción se requiere que la energía térmica produzca la nube de átomos necesaria, luego el proceso implica aspirar una solución de la muestra de interés en una llama, alineada con un haz de luz, para lograr el propósito deseado. En las condiciones adecuadas de la llama, la mayoría de los átomos permanecerán en su estado basal y serán capaces de absorber luz en la longitud de onda analítica proveniente de una fuente de energía. (Escobedo, 2013)

### 2.1.4 *Ensayo petrográfico*

El análisis petrográfico posibilita la observación a nivel macroscópico de las muestras y el análisis microscópico correspondiente para identificar aspectos como la textura, descripción, fábrica, porosidad, grado de alteración, micro-fracturación, entre otros. En el análisis microscópico, se realizan cortes de las muestras mediante equipos especializados para obtener secciones de espesor mínimo, lo que permite su examen detallado bajo el microscopio. Este proceso revela la morfología de los cristales que conforman la roca, la relación entre los distintos minerales, la microestructura y otras propiedades evaluables. (Tovar y Posada, 2018)

#### 2.1.4.1 *Microscopia óptica*

Método no destructivo que se destaca por su eficacia en la determinación de ciertos minerales. Además de su alta resolución espacial, este método permite el estudio detallado de las relaciones texturales, incluyendo la estructura, fábrica, texturas de reacción y asociaciones de fases. La identificación de minerales mediante este tipo de microscopio se fundamenta en las propiedades ópticas y morfológicas distintivas de cada fase cristalina. (Lazo, 2019)

- **Microscopia en luz transmitida:** Estudio de minerales formadores de rocas y sus alteraciones, en este el microscopio petrográfico con luz transmitida, permite estudiar la

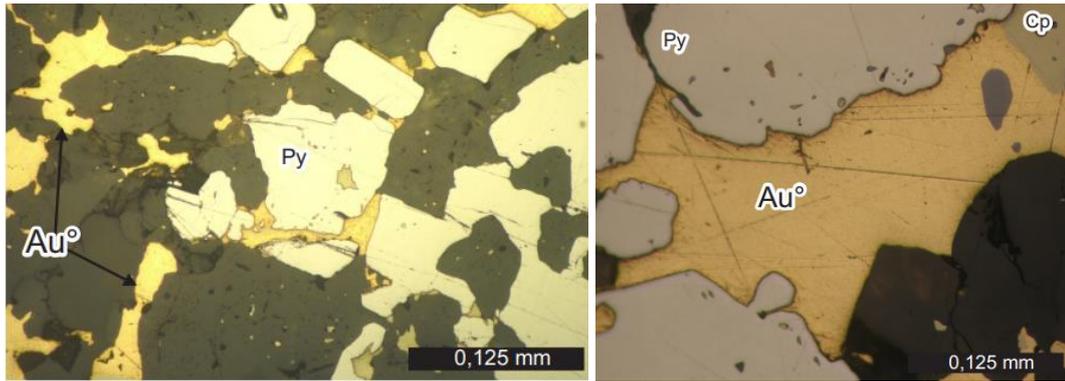
interferencia de la luz en los cortes de minerales transparentes en una sección delgada. (Lazo, 2019)

- **Microscopia en luz reflejada:** El microscopio utilizado para el estudio de minerales opacos es básicamente el mismo utilizado para el estudio de los transparentes, la diferencia radica en la forma en que la luz llega a la muestra donde incide desde arriba, a través del objetivo y se refleja en la superficie del mineral. (Lazo, 2019)

#### 2.1.4.2 *Composición mineralógica de la mena*

El conocimiento detallado de los minerales presentes en una mena es fundamental en su estudio, ya que permite comprender la composición y la proporción de cada componente mineral, especialmente aquellos que pueden tener un impacto significativo en los procesos de beneficio. Esto incluye minerales que pueden interferir en la recuperación de los metales de interés, así como aquellos que pueden afectar la eficiencia de los procesos metalúrgicos. (Lodoño et al., 2010)

Un aspecto clave en este estudio es identificar los minerales que pueden actuar como portadores de los metales valiosos, así como aquellos que pueden formar compuestos indeseables o difíciles de separar durante los procesos de concentración y refinación. Además, es importante determinar la asociación mineralógica y la distribución de los minerales en la mena, ya que esto puede influir en la estrategia de procesamiento y en la selección de los métodos más apropiados para la extracción y recuperación de los metales. (Lodoño et al., 2010)

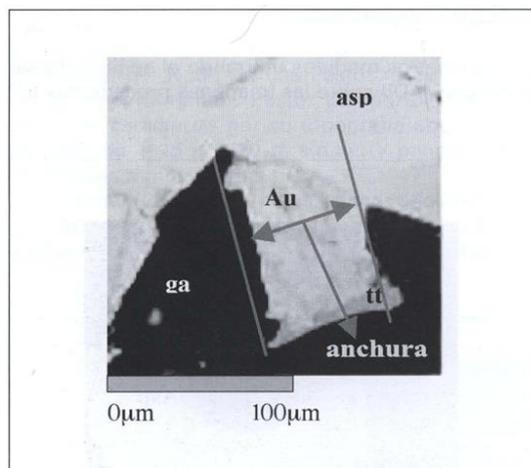


**Ilustración 2-4:** a) Brecha cementada con Au y pirita; y b) Asociación de Au, pirita y calcopirita.

**Fuente:** (Echeveste, Del Blanco y Bodaño, 2014)

#### 2.1.4.3 Distribución y tamaño granulométrico del oro

Mediante el conteo sucesivo de los granos de oro y plata, así como la evaluación de sus dimensiones y su asociación con otros minerales, se logra una caracterización detallada de la ocurrencia de oro en el depósito mineral. Este proceso no solo proporciona información sobre la presencia y distribución de los metales preciosos, sino que también permite estimar la recuperación esperada durante los procesos de extracción y beneficio. (Lodoño et al., 2010)



**Ilustración 2-5:** Representación de la anchura de un grano de oro.

**Fuente:**(Berrezueta et al., 2002)

## 2.2 Fundamentos de concentración y lixiviación de minerales

### 2.2.1 Concentración de minerales

La concentración de minerales constituye una operación destinada a incrementar el tenor o concentración (expresado en porcentaje) de una mena o mineral específico. Este objetivo se logra mediante la utilización de equipos de separación sólido-sólido, lo que conlleva a la segregación de dos o más especies mineralógicas. Como resultado de este proceso, se obtiene una corriente enriquecida con el mineral de interés. Este procedimiento se fundamenta en la necesidad de optimizar la eficiencia en la extracción y procesamiento de minerales valiosos. (Bustamante et al., 2008)

#### 2.2.1.1 Métodos de concentración

De acuerdo con (Bustamante et al. 2008) para lograr una separación efectiva entre minerales, es esencial que al menos una propiedad exhiba valores notablemente diferentes entre los minerales a separar. Dichas propiedades pueden incluir la susceptibilidad magnética, gravedad específica, conductividad eléctrica o bien, una respuesta fisicoquímica superficial marcadamente contrastante. Esta propiedad, conocida como "propiedad diferencial", desempeña un papel clave en el proceso de separación. Es entonces que, el objetivo de la concentración consiste en enriquecer el mineral mediante la eliminación de la ganga, al mismo tiempo que se minimizan las pérdidas de mineral útil. La comprensión y aplicación de la propiedad diferencial se convierten en elementos fundamentales para alcanzar eficazmente este propósito.

Con lo anterior, la tabla 2-1 muestra los diferentes métodos de concentración mineral, que se utilizan para aumentar la cantidad de minerales valiosos en una mena y reducir la cantidad de ganga.

**Tabla 2-1:** Métodos de concentración de minerales

Métodos	Propiedades	Equipos utilizados
<b>Concentración gravitacional</b>	Se basa en las diferencias de densidad entre minerales valiosos y ganga. Los minerales pesados se separan por gravedad.	Sedimentador, hidrociclón, jig, canalón, canaletas, mesa vibratoria, espiral, conos de separación centrífugas.

<b>Concentración magnética</b>	Se utiliza para minerales susceptibles al magnetismo. Los minerales magnéticos son separados de los no magnéticos mediante la aplicación de un campo magnético.	Separador magnético de tambor, rodillos magnéticos, separador magnético tipo "carrusel", etc.
<b>Concentración eléctrica</b>	Basada en las propiedades eléctricas de los minerales, que se cargan eléctricamente. Los minerales se separan utilizando campos eléctricos.	Separador eléctrico de alta intensidad.
<b>Flotación espumante</b>	Similar a la flotación convencional, pero para minerales finamente molidos. Los minerales se adhieren a burbujas en una espuma y se recogen.	Celdas de flotación y columnas de flotación
<b>Flotación selectiva</b>	Adsorción específica de un polímero y formación de flóculo	Sedimentador
<b>Coagulación selectiva</b>	Adsorción específica de un polímero y formación de flóculo	Sedimentador

Fuente: (Bustamante et al., 2008)

### 2.2.2 Concentración gravimétrica

La concentración gravimétrica, que implica la separación de minerales según su densidad relativa, representa una de las formas más antiguas de procesamiento de minerales. Los métodos gravimétricos logran la separación de minerales con diferentes densidades mediante su movimiento relativo, el cual responde a la gravedad y otras fuerzas. Estas fuerzas suelen constituir la última resistencia al movimiento en un fluido viscoso, como el agua o el aire. (Reinoso, 2019)

La eficiencia de la separación depende en gran medida de la marcada disparidad de densidades entre el mineral y la ganga. A través del criterio de concentración, es posible obtener una comprensión sobre el tipo de separación que resulta viable:

$$\text{Criterio de concentración} = \frac{D_h - D_f}{D_l - D_f} \quad (2-1)$$

Donde:

$D_h$  = densidad relativa del mineral pesado

$D_l$  = densidad relativa del mineral ligero

$D_f$  = densidad relativa del medio fluido

El desplazamiento de una partícula en un fluido no solo está vinculado a su densidad relativa, sino también a su tamaño, ya que las partículas grandes experimentarán una mayor influencia que las más pequeñas. La eficacia de los procesos gravimétricos, en consecuencia, aumenta proporcionalmente al tamaño de las partículas, requiriendo que estas sean lo suficientemente gruesas para desplazarse significativamente. (Reinoso, 2019)

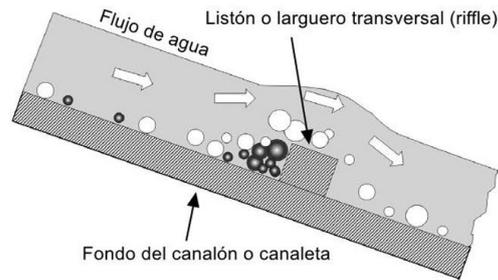
Para las partículas de menor tamaño, cuyo movimiento está predominantemente gobernado por la fricción superficial, se observa una respuesta menos favorable a los métodos gravimétricos comerciales de alta capacidad. En la práctica, es imperativo gestionar el tamaño de la alimentación de manera precisa para atenuar el impacto del tamaño de las partículas, asegurando así que el desplazamiento relativo dependa principalmente de la densidad relativa. (Reinoso, 2019)

#### *2.2.2.1 Métodos de concentración gravimétrica en medios densos*

Los principales métodos de concentración gravimétrica se basan en aprovechar las disparidades de densidad para llevar a cabo la separación de minerales. Al igual que en las separaciones de clasificación, este proceso ocurre en un fluido, lo que hace que la dinámica de los fluidos juegue un papel crucial. La eficacia de estas separaciones se ve influenciada tanto por la diferencia de densidad como por el tamaño de las partículas. La preferencia por el uso de agua en lugar de aire se debe a que una alta densidad del fluido resalta mejor el efecto de la densidad de las partículas. No obstante, en casos de escasez de agua o cuando se obtiene otro beneficio, puede emplearse el aire. Debido a la interrelación entre la diferencia de densidad y el tamaño de las partículas, los concentradores gravimétricos son óptimos para un intervalo específico de tamaño de la alimentación, de manera similar a los clasificadores que logran una separación más efectiva en un intervalo estrecho de densidades. (Reinoso, 2019)

- **Concentración por canales:** Se entiende que la concentración por canales o canalones como un método de separación de partículas sólidas basado en las propiedades físicas de los minerales, particularmente la densidad, forma y tamaño de partícula. En esta técnica, se dirige una lámina de fluido, generalmente agua, sobre una superficie inclinada, creando un gradiente de velocidad que ocasiona que las partículas sólidas suspendidas en el fluido se muevan y sedimenten de acuerdo a su tamaño y densidad. La idea central de este

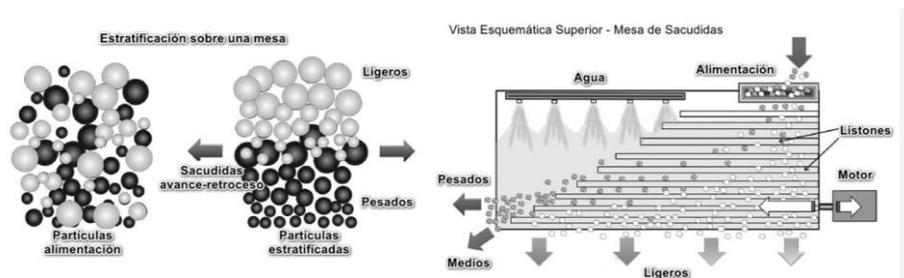
método radica en que las partículas más grandes y pesadas se sedimentan más rápidamente, ocupando posiciones cercanas al fondo, mientras que las partículas más ligeras pueden permanecer suspendidas por más tiempo. Este proceso implica el uso de un canalón, que es un canal o canalón inclinado, por el cual se hace fluir una lámina de agua. El objetivo es crear un gradiente de velocidades en el agua, lo que lleva a la sedimentación y separación de partículas según sus características. (Universidad Politécnica de Cartagena, 2021)



**Ilustración 2-6:** Principio de concentración por lámina fluvente (canalón)

Fuente: Universidad Politécnica de Cartagena, 2021

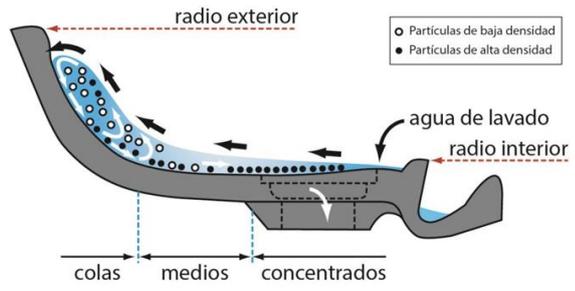
- **Concentración por mesa de sacudidas (mesa vibradora):** En este método, se utiliza una mesa vibradora para crear un movimiento de ondas longitudinales y transversales. Las partículas minerales se separan en función de su densidad y tamaño mientras se desplazan a través de la mesa. (Universidad Politécnica de Cartagena, 2021)



**Ilustración 2-7:** Principio de concentración por mesa vibratoria.

Fuente: Universidad Politécnica de Cartagena, 2021

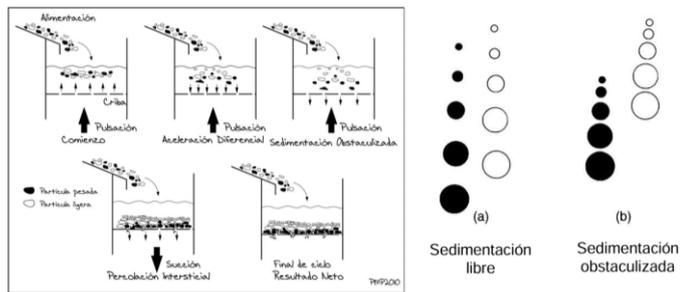
- **Concentración en espiral:** Utiliza una espiral para crear un flujo descendente de agua en espiral. Las partículas más pesadas y densas se depositan en el fondo de la espiral y se recogen como concentrado, mientras que las partículas más ligeras son llevadas hacia arriba y se eliminan como relaves. (Universidad Politécnica de Cartagena, 2021)



**Ilustración 2-8:** Principio de concentración en espiral.

Fuente: Universidad Politécnica de Cartagena, 2021

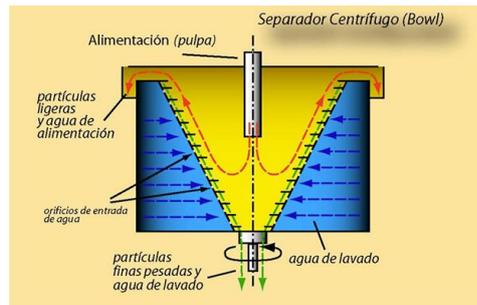
- **Concentración por Jigs (mesas pulsadoras):** Los jigs son dispositivos que utilizan pulsos de agua para separar las partículas minerales en función de su densidad. Las partículas más densas se hunden más rápido y se recogen en una cubeta, mientras que las menos densas son arrastradas por el agua y se descartan. (Universidad Politécnica de Cartagena, 2021)
- 



**Ilustración 2-9:** Principio de concentración por Jigs.

Fuente: Universidad Politécnica de Cartagena, 2021

- **Concentración centrífuga:** Utiliza la fuerza centrífuga para separar partículas en función de su densidad. Las partículas más densas son impulsadas hacia el exterior de un tambor giratorio y se recogen como concentrado. (Universidad Politécnica de Cartagena, 2021)
-



**Ilustración 2-10:** Principio de concentración gravimétrica.

Fuente: Universidad Politécnica de Cartagena, 2021

### 2.2.3 Lixiviación

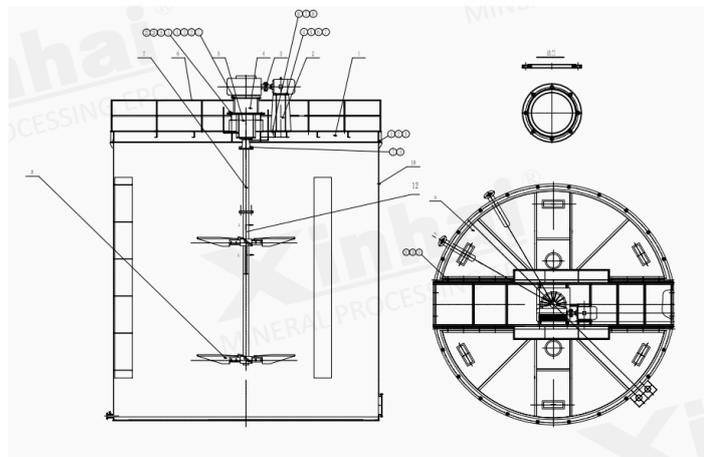
El proceso de lixiviación se utiliza para disolver metales valiosos presentes en minerales o concentrados mediante el uso de una solución química llamada lixivante, generalmente cianuro de sodio. Se realiza en grandes tanques donde se agita una solución alcalina de cianuro con el mineral triturado. Durante este proceso, el cianuro actúa selectivamente con el oro y la plata formando complejos metálicos estables que se disuelven en la solución acuosa. Como resultado, se obtienen colas de lixiviación y una solución que contiene iones metálicos valiosos, los cuales pueden ser recuperados en etapas posteriores. En condiciones ideales, las colas de lixiviación deben contener una cantidad insignificante de material valioso, lo que permite su eliminación adecuada. (Dueñas Cabrera & Graff Ruíz, 2018)

#### 2.2.3.1 Métodos de lixiviación

Las diferentes formas de poner en contacto el mineral con la solución lixivante son variadas, y depende de las condiciones de la mena que se procesa, de su composición, la concentración mineral, y el tamaño, es así que los métodos se clasifican en: lixiviación in situ, en botaderos, en pilas, por percolación y por agitación, este último es utilizado principalmente para la obtención de oro y plata a partir de sulfuros. (Dueñas y Graff, 2018)

- **Lixiviación por agitación:** La lixiviación por agitación se utiliza ampliamente en diversos tipos de minerales. El material a lixiviar se reduce a un tamaño óptimo, generalmente entre 45 y 150 micrómetros, para lograr una alta recuperación de oro y

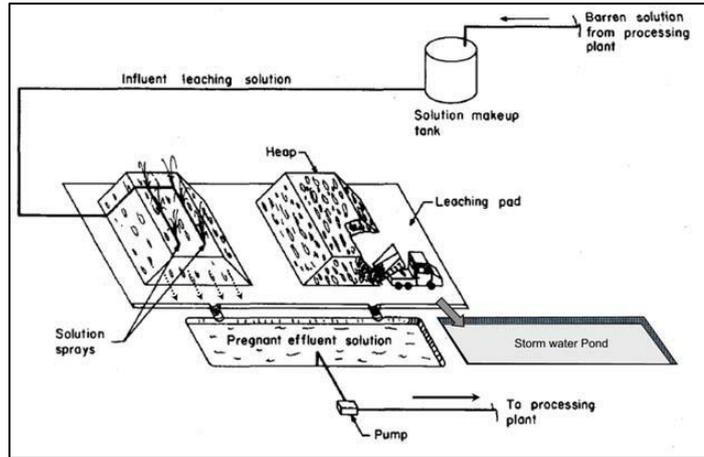
plata, alrededor del 80%. Este proceso se lleva a cabo en tanques de acero, donde los sólidos se mantienen suspendidos mediante aire o dispositivos mecánicos. Los sistemas bien diseñados aprovechan eficientemente las condiciones de mezcla en un reactor simple, lo que ayuda a optimizar la velocidad de reacción y aumentar la productividad del equipo de cianuración. Dicho dispositivo se compone de un sistema motorizado que, mediante un eje que porta paletas en su extremo inferior, genera la turbulencia deseada en la pulpa. Este sistema integra un motor eléctrico junto a un sistema de poleas que permite regular la velocidad del proceso. Es importante señalar que la selección de las paletas podría estar condicionada por las particularidades específicas del proceso. (Soto, 2018)



**Ilustración 2-11:** Tanque agitador de Lixiviación.

**Fuente:** Shandong Xinhai Mining Technology & Equipment Inc., 2017

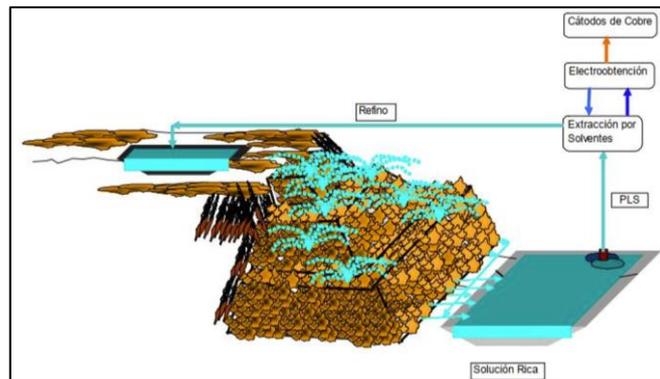
- **Lixiviación en pilas:** La lixiviación en pilas es una técnica rentable y práctica para tratar minerales de baja ley, ya que el costo de procesamiento es considerablemente menor en comparación con la lixiviación por agitación. En este método, los minerales extraídos son triturados y transportados antes de ser dispuestos en plataformas impermeables para someterlos a la lixiviación mediante riego o inmersión. Esto permite que la solución lixivante se filtre a través de la pila de minerales. La decisión de utilizar la lixiviación en pilas depende de la calidad del mineral, la cantidad disponible y su permeabilidad, que es un factor crucial. Sin una permeabilidad adecuada, no se lograría una percolación, disolución ni extracción de oro que sea económicamente viable. (Rojas, 2003)
-



**Ilustración 2-12:** Esquema de una pila de lixiviación.

Fuente: Gusek & Fattore, 2015

- Lixiviación en estanques:** La lixiviación en tinas (estanques) implica sumergir la mena finamente triturada (con un tamaño inferior a 1 pulgada) en una solución de cianuro en grandes tinas capaces de contener miles de toneladas de mena. La trituración y aglomeración de la mena deben justificarse para mejorar la recuperación de oro. El objetivo de la lixiviación en tinas de menas de oro es acelerar el proceso de lixiviación y aumentar la extracción y concentración de oro en la solución cargada en comparación con otros métodos de lixiviación. Aunque este proceso no es ampliamente utilizado debido al alto costo de construcción de las tinas, tiene la ventaja de asegurar un mojado eficiente de toda la superficie del mineral. (Rojas, 2003)

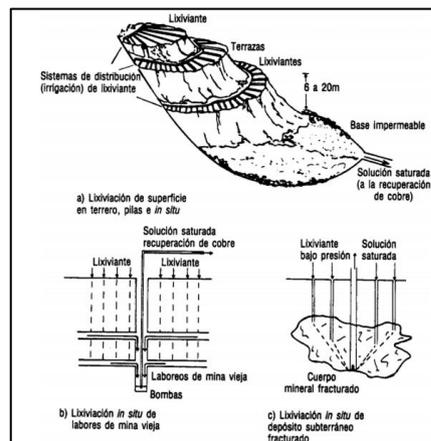


**Ilustración 2-13:** Diagrama de lixiviación en estanques.

Fuente: Gusek & Fattore, 2015

- Lixiviación in situ:** La lixiviación in situ es un proceso que implica la aplicación directa de una solución de cianuro diluida en el lugar donde se encuentra el mineral. Para que

esto sea factible, el mineral debe tener una permeabilidad que permita que la solución acceda a una cantidad económicamente significativa de metal valioso. La permeabilidad puede ser una característica natural del mineral, como ser poroso o fracturado, o puede ser inducida mediante voladuras para generar suficiente fragmentación. Sin embargo, en la práctica, este proceso se ha utilizado solo en casos limitados debido a la baja eficiencia de contacto entre el metal y la solución, la baja recuperación de las soluciones cargadas y las restricciones medioambientales que implica. (Rojas, 2003)



**Ilustración 2-14:** Diagrama de lixiviación in situ.

**Fuente:** Gusek & Fattore, 2015

### 2.2.3.2 Aspectos generales de la Lixiviación

La lixiviación es un procedimiento empleado para disolver metales de valor que se encuentran en minerales o concentrados. Esto se logra a través de la utilización de una solución química denominada lixivante, generalmente compuesta por cianuro de sodio. El proceso se realiza en tanques de considerable tamaño, donde se agita el mineral triturado con una solución alcalina de cianuro. Durante el desarrollo de este tratamiento, el cianuro reacciona de manera selectiva con el oro y la plata, dando lugar a la formación de complejos metálicos estables que se disuelven en la solución acuosa. Como consecuencia, se obtienen residuos de lixiviación y una solución conteniendo iones metálicos de valor, los cuales pueden ser recuperados en fases posteriores del proceso. En condiciones ideales, los residuos de lixiviación deberían contener una cantidad mínima de material valioso, permitiendo así su eliminación adecuada. (Dueñas y Graff, 2018)

### 2.2.3.3 Factores que afectan la lixiviación

- **Densidad de la pulpa:** En la lixiviación de este tipo, generalmente se trabaja con una concentración de sólidos que varía entre el 35% y el 50%, dependiendo de la gravedad específica de los sólidos, el tamaño de las partículas y la presencia de minerales que puedan afectar la viscosidad de la mezcla, como las arcillas. El objetivo es maximizar los fenómenos de transporte de masa mediante la reducción de la densidad de la pulpa. Sin embargo, a medida que aumenta la densidad, también aumenta el tiempo de retención de los sólidos en un volumen fijo del equipo de lixiviación. Además, al aumentar la densidad de la pulpa, se minimiza el consumo de reactivo, ya que se alcanzan concentraciones óptimas. (Rojas, 2003)
- **Tamaño de partícula:** El proceso de lixiviación implica la reducción del tamaño del mineral para lograr una liberación máxima de los metales valiosos. La molienda se realiza hasta alcanzar un tamaño óptimo, generalmente alrededor del 80% de partículas con tamaños entre 100  $\mu\text{m}$  y 46  $\mu\text{m}$ , con el objetivo de mejorar la recuperación de oro y reducir costos. Es crucial evitar que el porcentaje de finos supere el 20% durante la molienda, ya que estos tienden a aglutinarse y obstruir el paso de la solución lixivante. (Dueñas y Graff, 2018)
- **Modificación de pH:** El ajuste y control del pH de la pulpa requieren la adición de un álcali antes de introducir el cianuro. Esto se realiza para proporcionar una alcalinidad protectora que evite la pérdida excesiva de cianuro debido a la hidrólisis y prevenga la formación de ácido cianhídrico. En muchos sistemas de lixiviación, el rango de pH operativo oscila entre 9.5 y 11.5. El monitoreo y control del pH se llevan a cabo de manera manual o automática, midiéndolo en diversas etapas del proceso. (Rojas, 2003)
- **Cianuro:** El cianuro puede ser introducido en el sistema de lixiviación por agitación en dos momentos diferentes: durante la etapa de molienda o en la primera etapa de lixiviación. Para maximizar la disolución de los metales nobles, las adiciones de reactivo deben realizarse en etapas posteriores de cianuración, con el objetivo de mantener o aumentar las concentraciones de cianuro. Por lo general, se monitorean las concentraciones de cianuro mediante técnicas de titulación manual. Ocasionalmente, se utilizan analizadores de cianuro en línea que se basan en técnicas como la titulometría, la colorimetría, la potenciometría y el uso de electrodos. (Rojas, 2003)
- **Oxígeno:** El oxígeno se incorpora al sistema de lixiviación de dos formas: a través de la introducción de aire en los tanques de lixiviación, ya sea como método principal de agitación o simplemente para aireación. Un sistema de dispersión moderada es adecuado

para garantizar la adecuada dispersión de burbujas y mantener una concentración de oxígeno adecuada de manera satisfactoria. (Rojas, 2003)

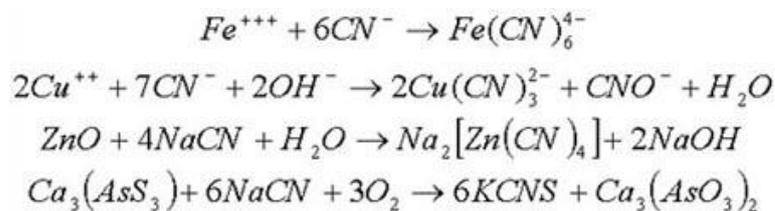
- **Temperatura:** Debido al aumento en las velocidades de difusión de las especies involucradas en la reacción, la velocidad de disolución del oro aumenta hasta alcanzar aproximadamente los 85°C. Sin embargo, a esta temperatura, la solubilidad del oxígeno disminuye, lo que significa que los beneficios asociados con el aumento de la temperatura ya no son evidentes. (Dueñas y Graff, 2018)
- **Presión:** La presencia de oxígeno disuelto se ve influenciada por la presión, lo que normalmente resultaría en un aumento en la disolución de oro. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la temperatura también desempeña un papel importante en la disolución del oxígeno. (Rojas, 2003)
- **Tiempo de residencia:** Los tiempos de residencia necesarios pueden variar según las características específicas de lixiviación del material en cuestión y deben ser determinados a través de pruebas de laboratorio. En la práctica, los tiempos de lixiviación pueden oscilar desde unas pocas horas hasta varios días, y están directamente relacionados con el flujo de mezcla y la eficiencia del equipo de agitación utilizado. (Rojas, 2003)
- **Porcentaje de sólidos:** La lixiviación se realiza comúnmente con una concentración de sólidos que suele estar entre el 35% y el 50%, dependiendo de la gravedad específica, el tamaño de partícula y la mineralogía del material. Las mezclas con densidades más bajas facilitan el transporte de masa, especialmente en tanques agitadores que se utilizan como reactores para este propósito. (Rojas, 2003)

#### 2.2.3.4 Elementos cianicidas

La cianicidad desempeña un papel fundamental en la lixiviación de oro y plata, ya que influye en la eficacia del proceso al facilitar la formación de complejos solubles de cianuro con estos metales. La presencia de cianuro libre en solución, conocida como cianicidad, mejora la velocidad de lixiviación al permitir la formación de complejos como  $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$  y  $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ . La concentración de cianuro en la solución lixivante se monitorea cuidadosamente y se ajusta según sea necesario para mantener niveles óptimos de cianicidad. Este control es esencial para asegurar una velocidad de lixiviación eficiente y la recuperación máxima de oro y plata. (García et al., 2021)

En minerales de oro y plata, existen ciertos elementos minerales conocidos como cianicidas, los cuales son sustancias que, aunque consumen cianuro durante el proceso, no aportan beneficios al mismo y, además, inhiben la disolución de los metales preciosos como el oro y la plata. Ejemplos de estos cianicidas incluyen minerales con iones metálicos como cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) arsénico ( $\text{As}^{+3}$ ), hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ ), ya que compiten con el oro y la plata por el cianuro presente en la solución. Este proceso reduce la cantidad de cianuro disponible para formar complejos con los metales preciosos, disminuyendo así la eficiencia de la lixiviación. (Lovera et al., 2002)

De acuerdo con la investigación realizada por (Lovera et al., 2002), la presencia de estos metales puede provocar la formación de compuestos menos estables, como el zinc ferrocianuro, que requieren más cianuro para su disolución y pueden tener un impacto negativo en la recuperación de oro y plata. Ciertos minerales como la pirrotita, el cobre, el zinc, el arsénico y minerales antimoniados son conocidos por consumir cianuro es así que dentro de la investigación se establece algunas reacciones de cianicidas:



**Ilustración 2-15:** Reacciones cianicidas que afecta la cianuración.

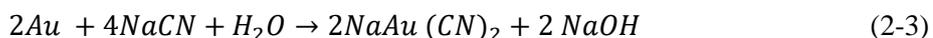
**Fuente:** Lovera et al., 2002

#### 2.2.3.5 Mecanismos químicos de la lixiviación con cianuro

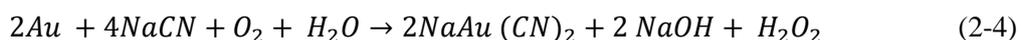
Dentro de la investigación de (García et al., 2021) se explica que, a lo largo del tiempo se han formulado diversas teorías químicas para explicar el proceso de cianuración del oro, tal es el caso de Elsner en 1846, donde presentó la teoría del oxígeno, destacando la importancia del oxígeno en la retención del oro en una solución de cianuro, expresando dicha teoría con la siguiente ecuación:



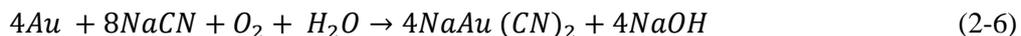
Por otro lado, entre 1888 y 1892 Janin propuso la teoría del hidrógeno, sugiriendo la generación de gas hidrógeno durante la cianuración del oro con lo cual planteó la siguiente ecuación:



Sin embargo, las teorías de Maclaurin (1893) y Christy (1896) contradicen la propuesta de Janin y respaldan la teoría de Elsner. Avances posteriores en la química de la cianuración revelaron la existencia de dos etapas y la relevancia del peróxido de hidrógeno en la recuperación del oro (Bustinza, 2019). Estudios posteriores sobre la química de la cianuración fueron avanzando y Bodlaender, en 1896, señaló que la recuperación del oro con cianuro procede a través de dos etapas y que el peróxido de hidrógeno juega un papel importante en la reacción, produciéndose así las siguientes ecuaciones:



La suma de estas dos reacciones da como resultado la ecuación de Elsner:



Barsky, Swainson y Hedley realizaron un estudio para evaluar la viabilidad de las teorías propuestas para explicar el proceso de cianuración. Su objetivo era determinar la energía libre de formación de complejos iónicos oro-cianuro y plata-cianuro. Analizando estos datos, calcularon los cambios en la energía libre de varias reacciones propuestas e identificaron las reacciones teóricamente posibles en condiciones normales de cianuración. Sus resultados revelaron que la energía libre del ion aurocianuro,  $Au(CN)_2$ , es de -69,064 calorías. (Bustinza, 2019)

Además, utilizaron otros datos disponibles para calcular las constantes de equilibrio de las ecuaciones sugeridas anteriormente. Los hallazgos revelaron que la ecuación de Elsner, que explica cómo el oro se disuelve en soluciones de cianuro, se desarrolla por completo hasta su

conclusión, lo que implica que la mayor parte del cianuro es consumida o que el metal se disuelve por completo. Por tanto, se puede afirmar que la ecuación de Elsner representa de manera precisa la reacción de disolución del oro en soluciones de cianuro. Respecto a la ecuación de Janin, las constantes de equilibrio son tan desfavorables que se considera prácticamente imposible la formación de hidrógeno en condiciones normales. No obstante, las ecuaciones propuestas por Bodlaender muestran constantes de equilibrio favorables, lo que indica que las reacciones propuestas son factibles. (Bustinza, 2019)

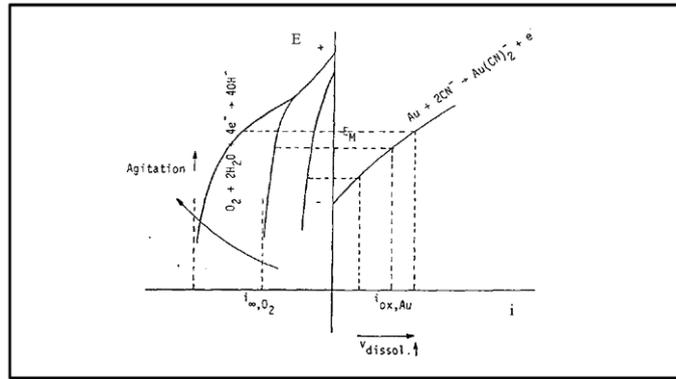
#### 2.2.3.6 *Cinética de reacción*

La velocidad de reacción es un factor clave en los procesos hidrometalúrgicos, ya que su incremento conlleva una mayor eficiencia del proceso. Las reacciones heterogéneas se ven influenciadas tanto por la cinética inerte de la reacción química como por la velocidad de transporte de masa de las especies reactivas. (Torres, 2018)

Dentro de una reacción, las etapas más relevantes son:

- Transferencia de masa de reactivos gaseosos hacia la solución y su posterior disolución.
- Transferencia de masa de especies reactivas a través de la capa límite entre la solución y el sólido hasta alcanzar la superficie del sólido.
- Reacción química (o electroquímica) en la superficie del sólido, que incluye procesos de adsorción y desorción en la interfaz sólido-líquido a través de la doble capa eléctrica.
- Transferencia de masa de las especies reactivas a través de la capa límite en el lecho de la solución.
- 

Es posible estudiar los aspectos cinéticos de la disolución del oro en un medio de cianuro mediante el análisis de las curvas de polarización de los sistemas electroquímicos relacionados (ilustración 2-16).



**Ilustración 2-16:** Interpretación de la cinética de cianuración de oro por el intermedio de las curvas de polarización.

**Fuente:** (Bustinza, 2019)

Cuando la concentración de cianuro es apropiada (10-2 M), la velocidad de disolución del oro se ve influenciada por la difusión del oxígeno disuelto hacia las partículas de oro. Por lo tanto, todas las condiciones que promueven o catalizan la reacción de reducción del oxígeno disuelto en el oro, como la agitación, la temperatura, el pH, entre otros, son extremadamente beneficiosas para la disolución del oro presente en el mineral. (Bustinza, 2019)

Una reacción fisicoquímica en la cual se hallan involucradas una fase sólida y otra líquida se resume en las 5 etapas siguientes:

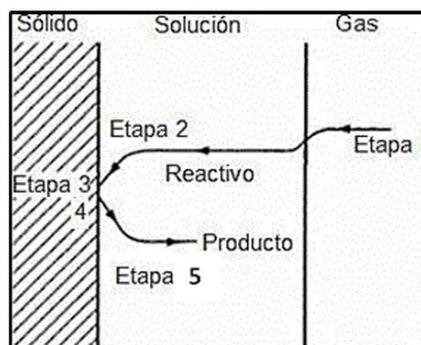
1. Difusión de los reactivos desde la solución hacia la interfase sólido-líquido y su posterior disolución.
2. Transporte de especies reactivas a través de la capa límite entre la solución y el sólido hacia la superficie del sólido. Absorción de los reactivos en la superficie del sólido.
3. Reacción química (o electroquímica) en la superficie del sólido, que incluye la adsorción (3) y la desorción en la superficie del sólido (4) y a través de la doble capa eléctrica.
4. Difusión de especies reactivas a través de la capa límite en la solución circundante.

La dependencia de la cinética de reacción en el diseño de procesos hidrometalúrgicos es un factor fundamental a considerar. Aumentar la cinética de reacción generalmente se traduce en una mayor eficiencia del proceso. En las reacciones heterogéneas, la cinética está determinada por la

velocidad inherente de la reacción química o por la velocidad de transporte de masa de las especies reactivas individuales. (Bustinza, 2019)

En las reacciones heterogéneas, el transporte de masa a través de una capa límite desempeña un papel crucial y puede ser el factor determinante en la velocidad de la reacción química. Si se logra acelerar esta etapa específica de la reacción, se incrementará la velocidad total de la reacción. En la mayoría de los procesos de extracción de oro, la etapa de reacción química no suele ser la limitante, mientras que el transporte de masa a menudo juega un papel crucial en la velocidad de la reacción. (Bustinza, 2019)

En el proceso hidrometalúrgico de extracción de oro, se producen reacciones químicas heterogéneas que implican el transporte de metales y minerales entre la fase sólida y la fase líquida. El proceso de disolución de oro y plata en soluciones de cianuro implica reacciones que ocurren en la interfaz entre el sólido y el líquido. Estudios han revelado que la velocidad de disolución de oro y plata está determinada por la difusión del oxígeno disuelto y los iones de cianuro a través de la capa límite en la interfaz sólido-líquido. En la siguiente ilustración se detallan las etapas de una reacción química heterogénea empleada en el proceso de extracción de oro. (Bustinza, 2019)

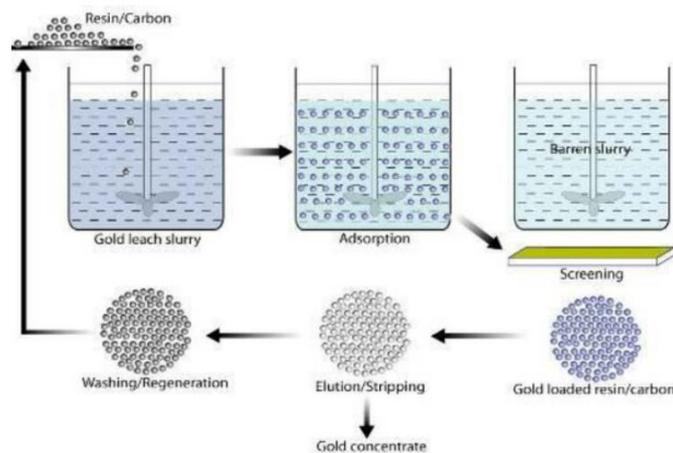


**Ilustración 2-17:** Representación esquemática de las etapas en una reacción química heterogénea.

**Fuente:** (Bustinza, 2019)

### 2.2.3.7 Adsorción con carbón activado

La adsorción con carbón activado en lixiviación es un proceso metalúrgico fundamental en la industria minera, utilizado para la recuperación de oro (Au) y plata (Ag) a partir de soluciones cianuradas. Este método se emplea comúnmente en tres formas principales: Carbón en columna (CIC), Carbón en pulpa (CIP) y Carbón en lixiviación (CIL). El carbón activado, caracterizado por su estructura porosa y gran área superficial (aproximadamente entre 1150 y 1250 m<sup>2</sup>/g), desempeña un papel crucial en este proceso al adsorber los complejos de oro y plata presentes en la solución de lixiviación. La eficiencia de la adsorción está influenciada por diversos factores metalúrgicos, como la concentración de metales preciosos en la solución, la presencia de cianuro libre, el pH, la presencia de impurezas y la cinética de adsorción. El control preciso de estos parámetros es esencial para maximizar la carga de oro y plata en el carbón activado y, por ende, la eficacia global del proceso de recuperación. (Mallma y Peinado, 2009)



**Ilustración 2-18:** Adsorción con carbón en pulpa.

Fuente: Zhang, 2010

Una vez que el carbón activado ha logrado adsorber una cantidad significativa de oro y plata, se procede a la etapa de desorción. En esta fase, el carbón activado cargado es sometido a condiciones controladas de temperatura y pH para liberar los metales preciosos adsorbidos en forma de complejos metálicos. Estos complejos se recuperan mediante métodos como la electrólisis o la cementación con zinc en polvo, lo que permite la regeneración del carbón activado para su reutilización en el proceso de adsorción. La adsorción con carbón activado en lixiviación es un proceso metalúrgico altamente especializado que requiere el análisis de los principios

metalúrgicos y control de los parámetros operativos para alcanzar una alta eficiencia en la recuperación de oro y plata. (Mallma y Peinado, 2009)

### **2.3 Balance metalúrgico y de material en circuitos de lixiviación**

El balance metalúrgico y de materiales en circuitos de lixiviación se enfoca en evaluar y monitorear tanto la distribución de metales preciosos, como el oro y la plata, como el flujo de diferentes materiales a lo largo del proceso. El balance metalúrgico cuantifica la cantidad de metal valioso que entra en el circuito, su distribución en las etapas de lixiviación y la recuperación final en los productos. Mientras tanto, el balance de materiales se concentra en el seguimiento de la cantidad y flujo de materiales, incluyendo minerales de interés, productos finales, agua y reactivos químicos, siendo esencial para garantizar un funcionamiento eficiente de la planta. (Linares, 2020)

#### **2.3.1 Balance metalúrgico**

El balance metalúrgico comprende la evaluación y cuantificación de la distribución de los componentes metálicos a lo largo de un proceso de beneficio mineral. Consiste en comparar la cantidad total de un metal que entra en el proceso con la cantidad recuperada en los productos finales y las pérdidas durante el proceso. Para realizar un balance metalúrgico, se deben considerar todas las corrientes de alimentación y salida del proceso, así como las pérdidas asociadas a cada etapa. Esto incluye la cantidad de mineral alimentado al proceso, la concentración del metal en la alimentación, la recuperación del metal en los productos finales (como concentrados o relaves) y las pérdidas debidas a la ganga o a la lixiviación incompleta. (Linares, 2020)

##### **2.3.1.1 Balance de materiales**

De acuerdo con (Linares, 2020) el balance de materiales o también denominado balance másico, en un circuito de concentración describe que el flujo del mineral que ingresa al sistema es igual a la masa de salida, esto se determina por el principio de conservación de la materia. Este principio

establece que la masa total de un sistema cerrado permanece constante con el tiempo, es decir, la masa no puede ser creada ni destruida, solo transformada. En un proceso de lixiviación, el mineral de alimentación es procesado en un circuito donde se extraen los metales mediante la reacción con una solución lixivante. (Linares, 2020)

Durante este proceso, los componentes del mineral se disuelven y son transferidos a la solución de lixiviación, mientras que los componentes inertes del mineral (ganga) permanecen en el residuo sólido. Por lo tanto, la masa total de entrada al sistema (mineral de alimentación) debe ser igual a la masa total de salida del sistema (solución de lixiviación más residuo sólido). Es así que:

$$\text{Entrada} - \text{Salida} = \text{Acumulación} \quad (2-7)$$

$$\text{Entrada} = \text{Salida} \quad (2-8)$$

Esto significa que la masa de los metales contenida en el mineral de alimentación se conserva en la masa de la solución de lixiviación y en el residuo sólido después del proceso de lixiviación. (Linares, 2020)

### 2.3.1.2 Razón de concentración (K)

La razón de concentración corresponde a la selectividad del proceso, expresa de manera directa la cantidad de toneladas de mineral de cabeza necesarias para procesar en la planta para así obtener una tonelada de concentrado, consecuentemente, la razón es un número que indicará cuántas veces se concentró el mineral de interés presente en la mena. (Linares, 2020)



**Ilustración 2-19:** Esquema de una planta concentradora.

Fuente: (Linares, 2020)

Cuando se efectúa un balance de metal precioso y materiales presentes en cada flujo de la planta se obtiene que:

$$\text{Balance de material: } F = C + T \quad (2-9)$$

$$\text{Balance de metal: } F_f = C_c + T_t \quad (2-10)$$

Multiplicando la ecuación del balance de material por  $t$  y restando la ecuación del balance del metal se obtiene que:

$$Ft = Ct + T \quad (2-11)$$

$$F(f - t) = C(c - t) \quad (2-12)$$

Obteniendo finalmente como resultado la razón de concentración:

$$k = \frac{F}{C} = \frac{c-t}{f-t} \quad (2-13)$$

### 2.3.1.3 Recuperación metalúrgica

De acuerdo con (Linares, 2020) la recuperación metalúrgica es la eficiencia aplicada al proceso de flotación, por lo que es la parte del mineral de interés que se obtendrá en el concentrado el mineral valioso presente en la cabeza se representa en porcentaje y su expresión matemática es:

$$R = \frac{C_c}{F_f} \times 100 \quad (2-14)$$

Si se sustituye el valor de  $C/F$  en función de leyes se obtiene que:

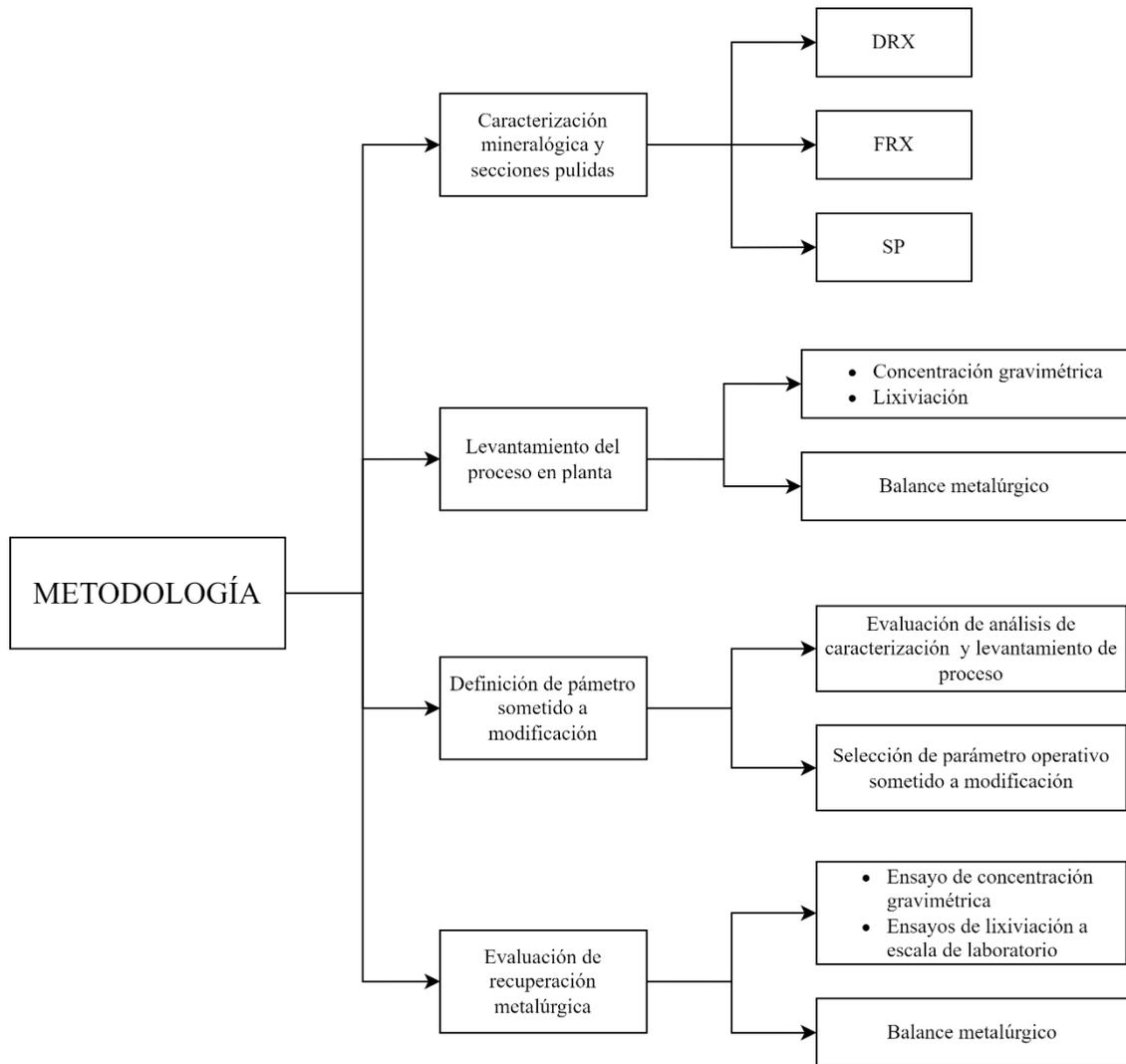
$$R = \frac{(f-t)}{(c-t)} \times \frac{c}{f} \times 100 \quad (2-15)$$

La razón resultante permite la realización de cálculos en función de los tenores del proceso.

## **CAPÍTULO III**

### **3. MARCO METOLÓGICO**

El diagrama de flujo en la metodología del proyecto es esencial para organizar y dirigir las diversas etapas del estudio de manera clara y estructurada. Comienza con el análisis mineralógico del mineral a través de ensayos de caracterización, seguido por la descripción del proceso metalúrgico y la selección de un parámetro operativo clave basado en la caracterización previa. Luego, indica la implementación del cambio en este parámetro y la realización de ensayos de lixiviación para evaluar la recuperación metalúrgica, junto con análisis de tenores y cálculos metalúrgicos.



**Ilustración 3-1:** Diagrama de flujo del marco metodológico.

Realizado por: Carrión, 2023

### 3.1 Caracterización mineralógica

El estudio de la composición mineralógica del mineral de interés se lleva a cabo mediante ensayos de difracción de rayos x (DRX), fluorescencia de rayos x (FRX) y ensayos petrográficos que revelan la composición mineral de acuerdo a la estructura cristalina y la presencia de minerales específicos. Además, se realizan pruebas de cuantificación elemental, como fluorescencia de rayos X (FRX), espectrofotometría de absorción atómica y ensayo al fuego, para analizar la presencia y proporciones de elementos, especialmente los metales de interés (oro y plata). Esta combinación de ensayos proporciona una evaluación completa de la muestra, permitiendo una

caracterización detallada de su composición mineralógica y la determinación precisa de elementos valiosos.

### **3.1.1 Difracción de rayos X (DRX)**

Para ejecutar el ensayo de difracción de rayos X se obtiene una muestra del mineral proveniente del cubículo de stock de la planta de beneficio y se envía al laboratorio minero-metalúrgico de la Universidad Técnica Particular de Loja para su respectivo análisis utilizando un difractómetro *D8 ADVANCE* y el programa para determinación cualitativa y semicuantitativa (método Rietveld) *HighScore*.

El proceso empleado para la caracterización mineralógica del mineral de estudio se realiza en una muestra de mineral pulverizada, con lo cual se aplica la siguiente metodología:

- **Preparación de la Muestra:** Se obtiene una muestra representativa del mineral y pulveriza hasta obtener un polvo fino y homogéneo.
- **Montaje de la Muestra:** Se coloca una cantidad medida y representativa del polvo de la muestra en un soporte adecuado para garantizar una distribución uniforme. El soporte puede ser un portamuestras de vidrio o una lámina de vidrio adecuada.
- **Alineación del Equipo:** El equipo de DRX debe estar debidamente alineado.
- **Configuración de Parámetros:** Establecer los parámetros del equipo, incluyendo la longitud de onda de los rayos X, el ángulo de incidencia y el tiempo de exposición. Estos parámetros pueden variar según el mineral y el equipo específico utilizado.
- **Registro de Datos de Referencia:** Registrar los patrones de difracción de una muestra de referencia con la misma configuración. Estos datos servirán como referencia para comparar con los patrones de difracción de la muestra de mineral.
- **Análisis de Difracción:** Exponer la muestra de mineral a los rayos X y registrar los patrones de difracción resultantes. La difracción ocurre cuando los rayos X inciden en la red cristalina de la muestra, generando patrones específicos que se utilizan para identificar los minerales presentes.

- **Interpretación de Patrones:** Comparar los patrones de difracción obtenidos con los datos de referencia y bases de datos existentes para identificar los minerales presentes en la muestra.
- **Reporte de Resultados:** Documentar y reportar los resultados obtenidos, incluyendo la identificación de fases minerales, la cantidad relativa de cada fase y cualquier otra información relevante.
- **Validación de Resultados:** Validar los resultados mediante técnicas adicionales si es necesario. La corroboración con otras pruebas mineralógicas fortalecerá la confiabilidad de la identificación de minerales.



**Ilustración 3-2:** Difractómetro de rayos X D8 ADVANCE.

Fuente: UTPL, 2023

### 3.1.2 *Fluorescencia de rayos X (FRX)*

El ensayo se efectúa en una muestra de mineral proveniente de la etapa de molienda del proceso de beneficio aplicado al mismo y se envía al laboratorio metalúrgico Albexus de la ciudad de Piñas, El Oro para su respectivo análisis, utilizando un espectrofotómetro VANTA serie M de la marca OLYMPUS. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- **Preparación de la muestra:** La muestra debe ser homogénea y representativa. Se puede presentar en diversas formas, como polvo, líquido o sólido. Si la muestra es sólida, puede ser pulverizada y prensada en forma de pastilla o pellet.
- **Configuración del equipo:** Configurar y calibrar el equipo. Verificar que el detector, la fuente de rayos X y otros componentes estén en condiciones óptimas.

- **Excitación de la muestra:** La muestra se expone a una fuente de rayos X, que puede ser generada por un tubo de rayos X. Los rayos X incidentes excitan los electrones de los átomos de la muestra, causando la emisión de rayos X fluorescentes característicos.
- **Captura de datos:** El detector de fluorescencia registra la energía y la intensidad de los rayos X fluorescentes emitidos por la muestra. Estos datos se utilizan para identificar los elementos presentes en la muestra y cuantificar sus concentraciones.
- **Calibración:** Se realiza una calibración utilizando estándares conocidos que contienen las mismas sustancias que se espera encontrar en la muestra. La calibración ayuda a correlacionar la intensidad de los rayos X fluorescentes con las concentraciones de elementos.
- **Análisis de datos:** Se procesan los datos obtenidos para determinar la composición elemental de la muestra. Los resultados suelen presentarse en forma de espectros de rayos X que muestran las líneas características de los elementos presentes.
- **Interpretación de resultados:** Los resultados se interpretan para proporcionar información sobre la composición elemental de la muestra, incluyendo los tipos y concentraciones de elementos presentes.



**Ilustración 3-3:** Difractómetro de fluorescencia de rayos X Vanta M Series.

Fuente: Albexus, 2023

### 3.1.3 *Ensayo petrográfico*

Se preparan dos muestras (N-CH1 y N-CH2) para la caracterización mineralógica en forma de secciones pulidas utilizando los equipos GEOCUT 302 (cortadora de muestras) y Kemet 300LVAC2 (pulido de muestras) disponibles en el laboratorio de mineralogía de la Escuela

Superior Politécnica de Chimborazo Sede Morona Santiago. La elaboración de las secciones se basa en el procedimiento de López & Bosch (1971) descrito en los siguientes pasos:

- **Corte de la muestra:** Utilizar un disco de corte diamantado para obtener una sección delgada de la muestra de roca o mineral.
- **Montaje en portamuestras:** Pegar la sección delgada en un portamuestras de vidrio utilizando adhesivo epoxi o resina.
- **Desbaste inicial:** Utilizar papel de lija de grano grueso para desbastar la muestra y reducir su grosor. Este paso se realiza en seco.
- **Desbaste intermedio:** Progresar a papeles de lija de grano medio y fino para continuar desbastando la muestra, se agrega agua al papel de lija para mejorar el rendimiento y evitar la generación de polvo.
- **Pulido:** Transferir la muestra al equipo de pulido, que puede ser una rueda de pulido con abrasivos de pulido como carburo de silicio o diamante. Utilizar agua para enfriar y lubricar la muestra durante el pulido. Ajustar la presión y la velocidad de la rueda según sea necesario.
- **Inspección:** Verificar la homogeneidad de la superficie de las secciones pulidas para asegurar que tengan el grosor y la calidad adecuados.



**Ilustración 3-4:** a) Cortadora GEOCUT 302; y b) Pulidora Kemet 300LVAC2.

**Realizado por:** Carrión, 2024

El estudio petrográfico de las secciones pulidas se realiza mediante un microscopio óptico de reflexión/transmisión (OPTIKA B-510PO). La identificación de los metales de interés (oro y

plata) y su distribución granulométrica se efectúa mediante el procesamiento de imágenes tomadas con una cámara digital de la misma marca, modelo C-B10 (10 Megapíxeles, sensor CMOS) acoplada al microscopio y el programa de tratamiento de imágenes OPTIKA proview.



**Ilustración 3-5:** Análisis petrográfico de secciones pulidas en el microscopio OPTIKA B-510P.

**Realizado por:** Carrión, 2024

### 3.1.3.1 *Identificación de fases minerales*

La identificación de las fases minerales del mineral de La Zamorana se lleva a cabo mediante la captura de imágenes de las muestras analizadas, las cuales son comparadas con datos de referencia. Los datos utilizados para este propósito son:

- Atlas de Minerales opacos de la Universidad Nacional de La Plata. (Echeveste, Del Blanco y Bodaño, 2014)
- Atlas de asociaciones, paragenéticas de menas de la República de Argentina. (Segal y Crosta, 2011)
- Atlas de mineralogía óptica. (Gil-Crespo, 2024)
- Evaluación de procesos de beneficio mineral para la aplicación de métodos alternativos en la recuperación de oro en la pequeña minería en el ecuador. (PBMINE, 2023)

### 3.1.3.2 *Análisis granulométrico*

Para esta parte del ensayo se emplea el método ASTM E112 el cual describe el procedimiento para determinar el tamaño de grano en metales y aleaciones mediante la medición de los tamaños de grano individuales y el cálculo de un promedio. Para ello se utiliza la medición lineal intercept (LMA) en donde se seleccionan áreas representativas de la muestra y se miden las longitudes de los interceptos de los límites de grano con líneas de prueba. Una vez que se han medido los tamaños de grano en varias secciones de la muestra, se calcula el tamaño de grano promedio mediante la suma de los tamaños de grano individuales dividida por el número total de mediciones. (ASTM International, 2015)

## **3.2 Levantamiento del proceso en planta del mineral de La Zamorana**

El proceso de beneficio del mineral extraído en La Zamorana sigue las seis etapas delineadas en el diagrama de flujo, abarcando desde la extracción inicial hasta la obtención del producto final. Sin embargo, este estudio se enfoca de manera específica en examinar la etapa de lixiviación, adicionando información complementaria del proceso de concentración gravitacional la cual desempeña un papel crucial en el proceso de beneficio. Es así que se recopila información detallada sobre las condiciones operativas del proceso de concentración gravimétrica y lixiviación. Esto incluye parámetros como granulometría del mineral, densidad, dimensionamiento de los equipos de lixiviación, tiempos de residencia, pH, tipo de reactivo lixiviantes, concentración del reactivo en el proceso, concentraciones de entrada y salida, temperaturas, presiones, entre otros.



**Ilustración 3-6:** a) Canales para concentración gravimétrica; y b) Tanques agitadores para lixiviación.

Realizado por: Carrión, 2024

Se toman muestras del mineral en diferentes puntos del proceso para determinar los tenores de oro y plata que ingresan y se recuperan en el proceso. Estas muestras se analizan en laboratorio para determinar a través de cálculos el porcentaje de recuperación de los componentes de interés.



**Ilustración 3-7:** a) Toma de muestras en planta; y b) equipo de análisis de EAA.

Realizado por: Carrión, 2024

### 3.2.1 Densidad del mineral

La densidad aparente del mineral se determina en el laboratorio mineralógico de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Morona Santiago con 1 muestra del mineral proveniente de la mina empelando el método del picnómetro. Los instrumentos utilizados en el ensayo son:

- Horno
- Picnómetro
- Balanza analítica
- Agua destilada

El proceso para llevar a cabo el ensayo se describe de la siguiente manera:

1. Limpiar y secar el picnómetro a fondo. El secado se realiza en un horno
2. Se pesa la probeta y se registra el peso.
3. Agregar la muestra de mineral al picnómetro hasta alcanzar un nivel conocido.
4. Pesarse el picnómetro con la muestra de mineral y registrar el peso.
5. Llenar el picnómetro con agua destilada hasta alcanzar su capacidad máxima.
6. Pesarse una vez más el picnómetro con el mineral y agua añadidos.
7. Con los datos obtenidos, calcular la densidad de la muestra de mineral utilizando las ecuaciones:

$$\text{Masa mineral} = (\text{Masa del picnómetro} + \text{mineral}) - \text{Masa del picnómetro vacío} \quad (3-1)$$

$$\text{Masa fluido} = (\text{Masa del picnómetro; mineral; agua}) - (\text{Masa del picnómetro} + \text{mineral}) \quad (3-2)$$

$$\text{Volumen fluido}(V_f) = \frac{\text{Masa del fluido}}{\text{densidad del fluido}} \quad (3-3)$$

$$\text{Volumen mineral}(V_m) = \text{Volumen del picnómetro} - \text{Volumen del fluido} \quad (3-4)$$

$$\text{Densidad mineral}(\rho_m) = \frac{\text{Masa del mineral}}{\text{Volumen del mineral}} \quad (3-5)$$



**Ilustración 3-8.** Ensayo de densidad del mineral de La Zamorana

Realizado por: Carrión, 2024

### 3.2.2 *Ensayo granulométrico*

Con el propósito de analizar la distribución de tamaños de las partículas en el mineral que alimenta la etapa de lixiviación, se lleva a cabo un ensayo granulométrico en el que se determina el tamaño de partícula característico conocido como D80, que es el tamaño por debajo del cual está el 80% del material.

Este ensayo implica el tamizado de muestras minerales de cada tipo, utilizando una tamizadora vibratoria de la marca Octagon modelo 200CL. El equipo consta de distintos tamices que se diferencian por el número de malla, o bien, el diámetro de partícula. Para los dos ensayos se implementa la clasificación granulométrica con la serie de tamices Tyler, usado para la medición del tamaño y distribución de las partículas en un rango amplio de tamaño. El procedimiento para realizar el ensayo se describe a continuación:

1. **Preparación de la muestra:** Se toma una muestra representativa del material que se desea analizar. Es importante que la muestra esté correctamente homogeneizada para obtener resultados precisos.
2. **Selección de los tamices:** Se seleccionan los tamices adecuados para el análisis. Los tamices son dispositivos que consisten en una malla metálica con aberturas de tamaño

específico. Estas aberturas varían en tamaño, y se eligen según el rango de tamaños de partículas que se espera encontrar en la muestra.

3. **Apilamiento de los tamices:** Los tamices se colocan uno sobre otro en orden ascendente, comenzando con el tamiz de mayor abertura en la parte superior y terminando con el tamiz de menor abertura en la parte inferior.
4. **Colocación de la muestra:** Se coloca la muestra sobre el tamiz superior de la pila.
5. **Tamizado:** Se procede a tamizar la muestra mediante agitación o vibración. Esto permite que las partículas más pequeñas pasen a través de los tamices, mientras que las partículas más grandes queden retenidas en los tamices superiores.
6. **Pesado de las fracciones retenidas:** Una vez completado el tamizado, se retiran los tamices de la pila y se pesa la masa de material retenido en cada tamiz.
7. **Registro de datos:** Se registran los datos de masa retenida en cada tamiz.
8. **Cálculo del porcentaje acumulado y del porcentaje pasante:** Utilizando los datos de masa retenida, se calcula el porcentaje acumulado y el porcentaje pasante para cada tamiz. Estos valores proporcionan información sobre la distribución de tamaños de partículas en la muestra.



**Ilustración 3-9:** Ensayo de tamizaje.

**Realizado por:** Carrión, 2024

Para calcular el tamaño de partícula del mineral correspondiente al 80% de paso acumulado (D80) se emplea el método de interpolación lineal el cual se determina con los datos del análisis granulométrico. Se identifican los dos puntos más cercanos al 80% de paso acumulado en la serie

de datos. Uno de estos puntos estará por debajo del 80% y el otro estará por encima. Posterior a ello, se calcula la pendiente de la línea que conecta los dos puntos identificados con la fórmula:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (3-6)$$

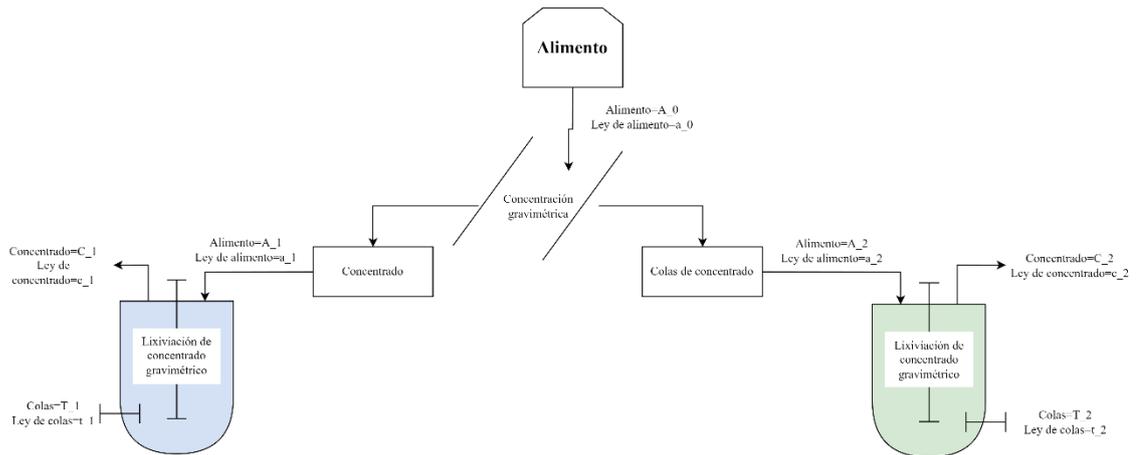
Donde  $(x_1, y_1)$  y  $(x_2, y_2)$  son las coordenadas de los dos puntos identificados.

A continuación, se calcula el tamaño de partícula correspondiente al D80 utilizando la ecuación de la recta y la coordenada  $x$  correspondiente al 80% de paso acumulado ( $y = 80$ ), se calcula el tamaño de partícula ( $x$ ) para el cual el 80% del material pasa a través de la malla:

$$x = x_1 + \left( \frac{80\% - y_1}{m} \right) \quad (3-7)$$

### **3.2.3 Balance metalúrgico**

El balance metalúrgico del proceso de lixiviación en planta se realiza utilizando los datos obtenidos durante el proceso (masa de alimento, concentrado y colas; leyes de Au y Ag), para ello, se toman muestras del mineral antes, durante y después del proceso de lixiviación y se analizan los datos obtenidos de 1 tanque lixiviador del concentrado gravimétrico y 1 tanque lixiviador de las colas de concentrado. En el esquema de concentración del mineral en planta se visualiza las etapas en donde se tomarán las muestras para los respectivos análisis.



**Ilustración 3-10:** Diagrama de flujo del balance metalúrgico del mineral de La Zamorana  
**Realizado por:** Carrión, 2024

El balance metalúrgico comprende la determinación del balance másico del alimento total que ingresa a las dos corrientes de lixiviación, el balance del mineral de dicho alimento y la recuperación metálica de oro y plata en función de la adsorción de los metales en el carbón activado tanto para el concentrado gravimétrico como las colas de concentración.

- Balance de masas:

$$F = C + T \quad (3-8)$$

- Balance metalúrgico

$$F_f = C_c + T_t \quad (3-9)$$

La recuperación metalúrgica estará dada por las leyes de Au y Ag obtenidas en la lixiviación del concentrado gravimétrico y colas de concentración. Se comparan los resultados de Au y Ag recuperados (gramos totales) en el proceso de adsorción por carbón activado con la cantidad de los metales contenidos en el alimento (gramos totales) antes de ingresar al proceso, determinados mediante ensayos al fuego con muestras de cada tanque lixiviador enviadas al laboratorio Albexxus.

La ecuación que se implementará para la determinación de la recuperación metalúrgica en la concentración gravimétrica y las colas de concentración es:

$$R = \frac{Cc}{Ff} \times 100 \quad (3-10)$$

Donde:

C: Masa del carbón activado

c: Ley del metal recuperado en carbón

F: Masa de alimento

f: Ley del metal de alimento

### **3.3 Selección de parámetro operativo sometido a modificación**

En esta sección se plantea la selección de un parámetro operativo cuya modificación, con respecto al procedimiento de planta actual, permita mejorar la recuperación metalúrgica. En este se evalúa la caracterización mineralógica realizada en el mineral de estudio. Este análisis comprende la identificación de los minerales presentes en la mena, así como la determinación de su asociación y distribución en la matriz mineral. Además, se cuantifica la granulometría que permite la liberación de los minerales de interés, en particular aquellos portadores de oro y plata, para comprender en qué medida están accesibles para el proceso de lixiviación.

Simultáneamente, se analiza la información recopilada del levantamiento del proceso de lixiviación en planta, con el objetivo de comprender en profundidad cada aspecto del procedimiento. Se examinan las condiciones operativas, como la concentración y tipo de lixivante empleado, el pH, la temperatura y los tiempos de residencia. Además, se monitorea cuidadosamente la eficiencia de la extracción de oro y plata a lo largo del proceso.

Con base en los resultados obtenidos en la caracterización mineralógica y el análisis del proceso de lixiviación en planta, se busca identificar qué variable o aspecto del proceso puede modificarse para mejorar la recuperación de oro y plata. Este análisis puede sugerir la necesidad de ajustes en la granulometría del material de alimentación, cambios en las condiciones de operación, como la

concentración de lixiviante o el pH, o la implementación de técnicas de pretratamiento para mejorar la liberación de los minerales.

### **3.4 Evaluación de recuperación metalúrgica**

Para evaluar la recuperación metalúrgica del mineral de La Zamorana, se realizan ensayos de lixiviación a escala de laboratorio, donde se modifica uno de los parámetros operativos clave del proceso seleccionado en el apartado anterior. Al alterar este parámetro, se busca mejorar las condiciones de operación para maximizar la extracción de oro y plata del mineral.

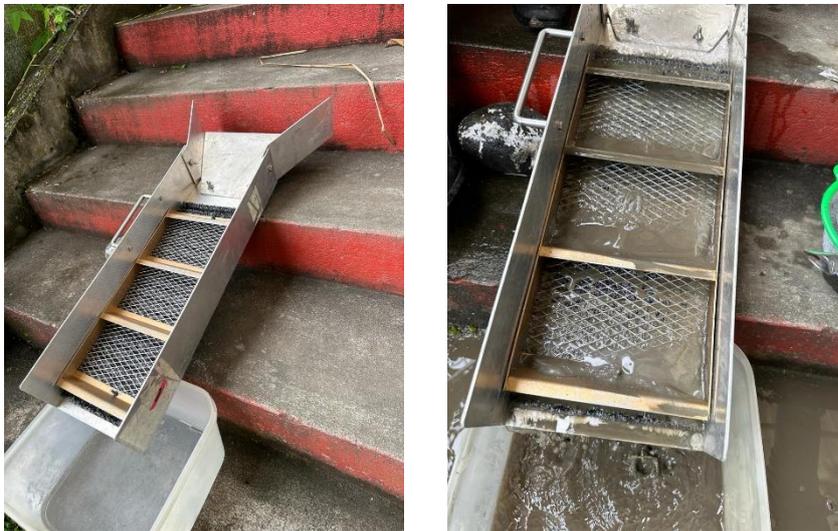
La evaluación comprende la ejecución de ensayos de concentración gravimétrica para separar en las dos corrientes (concentrado gravimétrico y colas de lixiviación) el mineral de alimento, así como ensayos de lixiviación a escala de laboratorio, donde se realiza un muestreo sistemático para determinar las leyes de oro (Au) y plata (Ag) en el mineral de alimentación, concentrado y colas. Estos datos se recopilan y analizan meticulosamente para calcular la recuperación metalúrgica probable en cada caso. Con los resultados obtenidos de este proceso, se podrá construir un nuevo perfil de recuperación metalúrgica, que reflejará la eficacia del proceso de lixiviación bajo la modificación del parámetro operativo específico.

#### **3.4.1 *Ensayo de concentración gravimétrica***

El ensayo de concentración gravimétrica a escala de laboratorio se llevará a cabo en las instalaciones de la ESPOCH Sede Morona Santiago, el procedimiento a seguir se describe a continuación:

- **Preparación de la muestra:** Se selecciona una muestra de mineral molido con un tamaño de partícula adecuado.
- **Preparación del canalón:** Instalar el canalón en una posición estable y asegurarse de que esté nivelado. El canalón debe tener una pendiente adecuada para permitir que los minerales se separen por densidad.

- **Alimentación de la muestra:** Colocar la muestra en la parte superior del canalón y añadir agua para formar una suspensión. La inclinación del canalón y el flujo de agua deben ser ajustados para permitir que los minerales más densos se depositen en la parte inferior del canalón mientras que los menos densos sean arrastrados hacia abajo por el flujo de agua.
- **Observación y ajuste:** Observar el proceso de separación y ajustar la velocidad del flujo de agua si es necesario para mejorar la concentración de los minerales valiosos en el concentrado.
- **Recolección del concentrado y las colas:** Se recoge el concentrado que se haya acumulado en la alfombra del canalón y las colas que han sido arrastradas hacia abajo por el flujo de agua. Esto se hace utilizando recipientes adecuados para cada fracción.



**Ilustración 3-11:** Ensayo de concentración gravimétrica.

**Realizado por:** Carrión, 2024

### 3.4.2 *Ensayo de lixiviación a escala laboratorio*

El ensayo de lixiviación por medio de cianuración a escala de laboratorio se llevará a cabo en el laboratorio metalúrgico Albexxus. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. **Preparación de la Muestra:** Se selecciona una muestra representativa del mineral. Esta muestra se tritura y reduce a un tamaño adecuado para asegurar un mayor contacto entre la solución lixivante y los minerales de interés.

2. **Preparación del Lixivante:** Para la recuperación de Au y Ag, el lixivante utilizado en el ensayo es cianuro de sodio (HCN). Se prepara una solución de cianuro en una concentración específica y se ajusta el pH a un valor óptimo para la lixiviación de estos metales.
3. **Carga de la Muestra y Lixivante:** La muestra preparada se coloca en un contenedor de lixiviación en el laboratorio. Se agrega la solución de cianuro cuidadosamente al contenedor, asegurando que toda la muestra esté cubierta y en contacto con el lixivante.
4. **Agitación o Mezcla:** Se aplica agitación o mezcla al sistema para garantizar un contacto constante y homogéneo entre la solución lixivante y los minerales de oro y plata. Esto simula la mezcla que ocurre en operaciones a mayor escala.
5. **Control de Parámetros:** Se registran y controlan parámetros como la temperatura, el pH y el tiempo de lixiviación. Estos factores son críticos para la eficiencia del proceso de lixiviación.
6. **Muestreo:** En intervalos de tiempo determinados, se toman muestras del sistema para analizar la concentración de oro y plata en la solución lixivante. Estas muestras se analizan utilizando técnicas como la espectrofotometría para determinar la cantidad disuelta de metales.
7. **Análisis de Resultados:** Los datos obtenidos de las muestras se utilizan para evaluar la eficiencia de la lixiviación, la velocidad de disolución de los metales y la cantidad de Au y Ag extraídos.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1 Caracterización mineralógica

El propósito de esta sección radica en determinar la composición mineralógica del mineral extraído de la mina La Zamorana. Para lograr este objetivo, se exponen los hallazgos obtenidos mediante un análisis que abarca la identificación de especies minerales a través de la difracción de rayos X, la evaluación de la concentración elemental mediante la técnica de fluorescencia de rayos X, el establecimiento de las leyes de Au y Ag en el mineral mediante análisis de espectrofotometría de absorción atómica (EAA) por ensayo al fuego y el estudio de la petrografía mediante la observación de secciones pulidas bajo microscopio. Estos métodos analíticos proporcionan una visión detallada de la composición mineralógica y la distribución elemental en la muestra, lo que resulta crucial para comprender la naturaleza del depósito mineral y orientar futuras investigaciones y procesos de tratamiento.

##### 4.1.1 *Difracción de rayos X (DRX)*

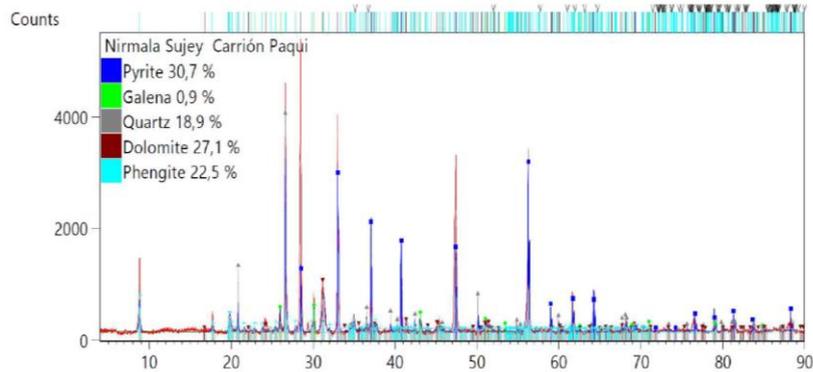
El análisis mediante difracción de rayos X permitió identificar el contenido de fases minerales de la muestra de manera semicuantitativa en donde se observa un alto contenido de pirita (30,7%), en asociación con dolomita (27,1 %), fengita (22,5%) y galena (0,9%), acompañada por una ganga de cuarzo (18,9%). La ilustración 4-1 muestra el patrón de difracción de la muestra en donde se evidencia la intensidad de los rayos X dispersos en función del ángulo de difracción. Cada pico en el difractograma corresponde a planos cristalinos específicos de los minerales presentes en la muestra analizada. A través de esta imagen, se determinó la presencia y la semicuantificación de las fases minerales descritos en la tabla 4-1.

**Tabla 4-1:** Fases minerales muestra ZM-CH1

Muestra	Fases Minerales	Semicuantificación (%)
ZM-CH1	Pirita	30,7
	Galena	0,9
	Cuarzo	18,9
	Dolomita	27,1
	Fengita	22,5

Fuente: Albexxus, 2023

Realizado por: Carrión, 2024



**Ilustración 4-1:** Difractograma muestra ZM-CH1.

Fuente: UTPL, 2023

#### 4.1.2 Fluorescencia de rayos X (FRX)

El resultado del ensayo denotó la presencia de 28 elementos en la muestra con concentraciones en ppm (partes por millón) y porcentaje (%). Los elementos encontrados en el ensayo que corresponden a S (20.08%), Fe (13.01%), y Pb (7430 ppm) están relacionados al contenido de sulfuros como galena (PbS) y pirita (FeS<sub>2</sub>); del mismo modo, la ocurrencia de Al (0.05 ppm), Ca (455 ppm), K (20.08%) y Si (0.18 ppm) pueden ser asociados a la presencia de minerales silicatos como cuarzo (SiO<sub>2</sub>), carbonatos de calcio y magnesio en el caso de la dolomita (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) y micas principalmente fengita (KAl<sub>2</sub>(Si<sub>3</sub>Al)O<sub>10</sub>(OH,F)<sub>2</sub>) que al igual que los sulfuros, fueron identificados en el ensayo DRX.

Categorización de los elementos presentes en el material de La Zamorana mediante FRX.

**Tabla 4-2:** Categorización de los elementos presentes en el material de La Zamorana mediante FRX.

<b>El</b>	<b>PPM</b>	<b>+/- 3σ</b>
<b>Al</b>	5.45%	0.15
<b>Si</b>	17.71%	0.19
<b>P</b>	345	99
<b>S</b>	20.08%	0.2
<b>K</b>	2.17%	0.033
<b>Ca</b>	455	96
<b>Ti</b>	860	440
<b>Cr</b>	132	82
<b>Mn</b>	7480	230
<b>Fe</b>	13.01%	0.14
<b>Co</b>	250	210
<b>Ni</b>	56	29
<b>Cu</b>	2197	93
<b>Zn</b>	16.14%	0.17
<b>As</b>	820	110
<b>Rb</b>	87	11
<b>Nb</b>	13	10
<b>Mo</b>	58	15
<b>Ag</b>	62	18
<b>Cd</b>	842	56
<b>Ba</b>	177	92
<b>La</b>	200	160
<b>Ce</b>	250	190
<b>Pr</b>	310	270
<b>Nd</b>	410	390
<b>Pb</b>	7430	150
<b>Th</b>	58	25
<b>LE</b>	23.19%	0.48

**Fuente:** Albexxus, 2023

**Realizado por:** Carrión, 2024

De manera adicional, se determinó la existencia de As (820 ppm) dentro de la muestra mineral, lo cual tiene una importante implicación durante el proceso de lixiviación con cianuro pues al ser considerado un elemento cianicida, reacciona con el cianuro, reduciendo la capacidad para lixiviar metales valiosos como el oro y la plata que son los minerales recuperados en este proceso, afectando sustancialmente la eficiencia del proceso.

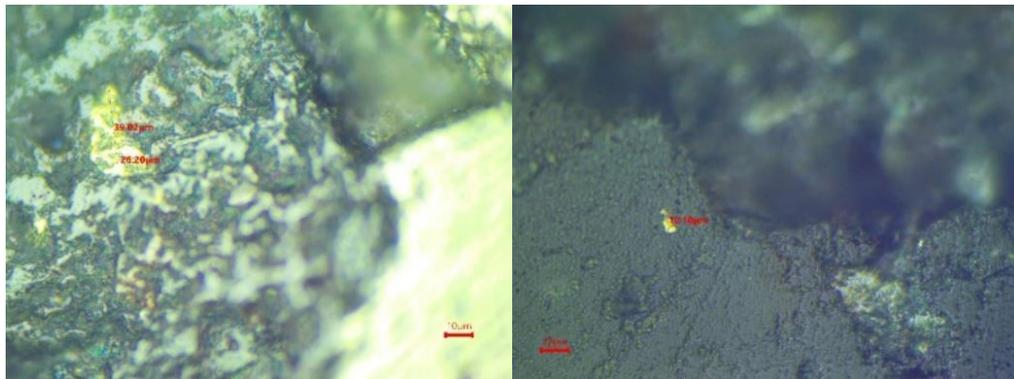
### 4.1.3 Análisis petrográfico

El análisis petrográfico realizado mediante secciones pulidas permitió identificar la presencia de sulfuros asociados como piritita y galena envueltos en una ganga de cuarzo lo que corrobora la información obtenida del ensayo DRX. Las muestras analizadas (N-CH1 y N-CH2) bajo el microscopio con aumento de 40x permitieron observar cristales de oro con granulometrías variables de 1 a 50 micras con un tamaño promedio de grano de 17.59 micras y un tamaño máximo de grano de 23.48 micras. Pese a que no se observan cristales de plata en las muestras analizadas, es muy probable que el metal se encuentre en granulometrías menores a 1 micra en forma de electrum, asociada a los sulfuros identificados durante el ensayo.

**Tabla 4-3:** Tamaño de granos de Au promedio en la muestra N-CH1.

Tamaño de granos promedio N-CH1	
N° de secciones	Tamaño de grano en micrones ( $\mu\text{m}$ )
1	26.20
2	2.41
3	10.10
4	6.54

Realizado por: Carrión, 2024



**Ilustración 4-2:** Microfotografías en sección pulida con aumento 40x de material de La Zamorana (N-CH1).

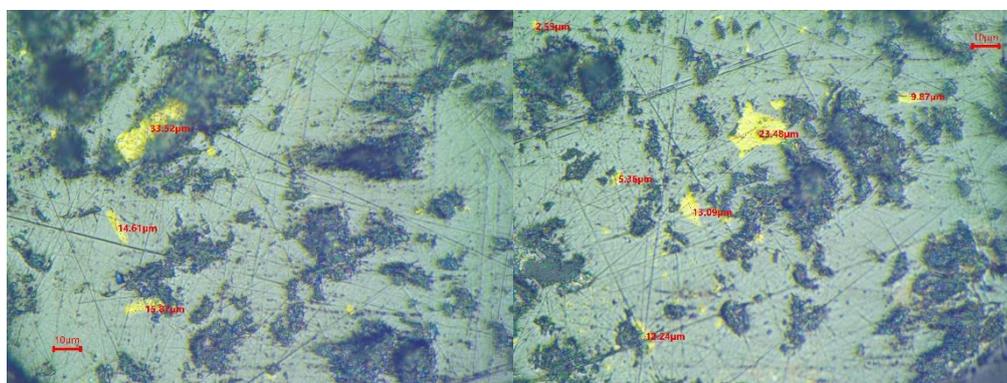
Fuente: Carrión, 2024

En la muestra N-CH1 se capturaron imágenes de diversas secciones en donde se identificó la presencia de cristales de oro con una granulometría promedio de 11.31 micras. En la tabla 4-4 se describen los diferentes tamaños de cristal encontrados en la muestra (ilustración 4-2).

**Tabla 4-4:** Tamaño de granos de Au promedio en la muestra N-CH2.

Tamaño de granos promedio N-CH2	
N° de secciones	Tamaño de grano en micrones ( $\mu\text{m}$ )
1	7.17
2	5.02
3	21.33
4	64.04
5	20.81

Realizado por: Carrión, 2023



**Ilustración 4-3:** Microfotografías en sección pulida con aumento 40x de material de La Zamorana (N-CH2).

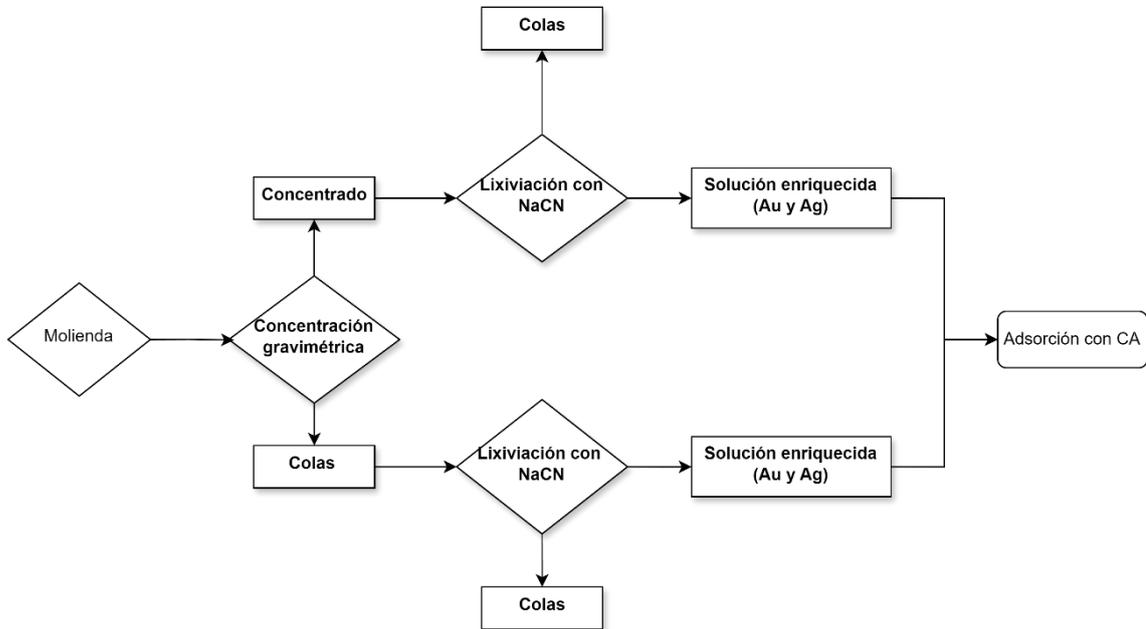
Fuente: Carrión, 2024

En la muestra N-CH2 se encontraron cristales de oro en mayor proporción con una granulometría promedio de 23.87 micras. En la tabla 4-4 se describen los diferentes tamaños de cristal encontrados en la muestra (ilustración 4-3).

## 4.2 Levantamiento de proceso en planta

El mineral que ingresa a la etapa de lixiviación proviene directamente de una etapa anterior de molienda en donde se emplea un molino chileno que fragmenta el mineral hasta que alcance un tamaño promedio de 210 micrones determinado por una malla #70 que se coloca en la salida del equipo, el mineral que alcanza el tamaño determinado por la malla pasa a dos canalones en donde

se lleva a cabo el proceso de concentración gravimétrica, lo que subraya la importancia de comprender en detalle esta fase intermedia del beneficio mineral.



**Ilustración 4-4:** Diagrama de flujo de procesamiento actual aplicado al mineral de la mina La Zamorana.

Realizado por: Carrión, 2024

Con lo anterior, se establece la descripción del proceso tomando como punto de partida la etapa de concentración gravimétrica en donde el mineral procedente de la fase de conminución ingresa a dicha etapa clasificándose en dos corrientes, concentrado gravimétrico (CC) y colas de concentración (CG). La primera, como su nombre lo indica, proviene del mineral contenido en el proceso de concentración gravimétrica. Por otro lado, el mineral que no fue atrapado por este método es considerado como colas de concentración. El tratamiento para estas dos corrientes es similar, puesto que se aplica cianuración por agitación en ambos casos, sin embargo, debido al porcentaje de concentración de oro y plata en cada uno de ellos, la lixiviación se lleva a cabo en distintos tiempos de residencia y tanques agitadores. Tomando en consideración estas variables, se describe el proceso.

#### 4.2.1 Concentración gravimétrica

El mineral que alcanza el tamaño deseado en molienda es descargado en canaletas inclinadas de 6.75 m de longitud por 0.50 m de ancho, contenidas con alfombras delgadas en donde se emplea un proceso gravimétrico con el cual se concentra el mayor porcentaje de oro . El mineral obtenido en esta etapa es almacenado en cubículos de 1 m<sup>3</sup>, y posteriormente trasladados en saquillos hacia los tanques lixiviadores.



**Ilustración 4-5:** Canaletas de concentración gravimétrica.

**Realizado por:** Carrión, 2024

El mineral que no fue atrapado por las alfombras circula por las canaletas hasta llegar a un cubículo de stock con un volumen de alrededor de 14 m<sup>3</sup>, este material también contiene metales de interés en su interior, aunque el porcentaje es considerablemente menor que en el caso anterior.



**Ilustración 4-6:** Cubículos de stock de colas.

#### 4.2.2 Lixiviación

1. La fase de concentración se lleva a cabo mediante lixiviación por agitación mecánica. El objetivo del proceso para ambos casos es diluir los iones metálicos de los metales contenidos en la pulpa empleando como agente químico cianuro de sodio (NaCN). Adicionalmente se utiliza hidróxido de calcio (Cal) para disminuir el consumo excesivo de cianuro en el proceso, controlar el grado de acidez de la pulpa, así como mejorar la decantación de los sólidos en suspensión.



**Ilustración 4-7:** Adición de NaOH al proceso de lixiviación.

Realizado por: Carrión, 2024

2. Para dar inicio al proceso de lixiviación de CG, la pulpa contenida en los cubículos de almacenamiento es transportada mediante bombeo a los tanques agitadores a través de mangueras. Seguidamente, se pone en marcha la agitación mecánica en los tanques y se verifica la potencia de hidrógeno (pH) utilizando tiras indicadoras de pH. En el caso de CC, el mineral es transportado en saquillos hacia los tanques de lixiviación.
3. A continuación, se agrega una cantidad determinada de cal a la pulpa para alcanzar un pH específico (11), para ello se lleva a cabo un ensayo de calibración o titulación alcalina el cual consiste en colocar una muestra de la pulpa en un matraz e ir añadiendo gradualmente el reactivo. La adición se realiza con agitación constante para asegurar una distribución homogénea. Durante este proceso se mide el pH constantemente hasta

conseguir el valor deseado. Una vez logrado este ajuste, se modifica la concentración de cal en el tanque lixiviador y se continúa con la agitación durante 1 hora.

4. Mientras la agitación continúa se agregan 25 kg de cianuro al tanque de CG y 45kg al de CC. El reactivo se deja actuar durante 2 horas. Una vez que ha transcurrido este tiempo, es posible determinar el potencial de cianuro en el tanque lixiviador mediante un ensayo de titulación con nitrato de plata.



**Ilustración 4-8:** Adición de NaCN al proceso.

Realizado por: Carrión, 2024

5. Se toma una muestra de la pulpa y se permite que precipite. Luego, se extraen 10 ml de la solución sobrenadante y se transfieren a un vaso de precipitación. Posteriormente, se añaden 3 gotas de yoduro de sodio (NaI) como indicador. A continuación, se extraen 2 centímetros cúbicos de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) en una jeringa, y se añade gradualmente a la solución hasta que se observe una reacción que indique el punto de corte. Este procedimiento permite obtener el potencial de cianuro en el tanque lixiviador en mg/l.
6. Posterior a la adición de cianuro al tanque se toma una muestra de la pulpa para determinar la concentración de oro en  $\text{g/m}^3$  mediante el análisis de espectrofotometría atómica.



**Ilustración 4-9:** Toma de muestra para ensayo de EAA.

**Realizado por:** Carrión, 2024

7. Transcurridas aproximadamente 6 horas desde el inicio del proceso se incorpora carbón activado al tanque de agitación para concentrar los metales contenidos en la pulpa. Luego de 15 horas desde la incorporación del carbón activado, se toma otra muestra de la mezcla de pulpa para analizar la cantidad de oro que aún permanece en las colas resultantes de la lixiviación.



**Ilustración 4-10:** Adición de carbón activado al tanque.

**Realizado por:** Carrión, 2024

8. En la fase final, el carbón activado es retirado del tanque y almacenado en saquillos utilizando una criba con agua a presión constante. Posteriormente, la pulpa residual es despojada a la zona de relaves de la planta con lo que se da por terminado el proceso.



**Ilustración 4-11:** Recuperación del carbón activado de los tanques lixivadores.

Realizado por: Carrión, 2024

#### 4.2.2.1 Parámetros operativos

El análisis del proceso de lixiviación llevado a cabo en planta ha revelado una serie de parámetros operativos estandarizados que se aplican para la extracción del oro y plata del mineral de La Zamorana. Estos parámetros son fundamentales pues han determinado el rendimiento del proceso actual. La tabla 4-5 muestra los aspectos generales recopilados del proceso.

**Tabla 4-5:** Parámetros operativos del proceso de lixiviación del mineral de La Zamorana.

<b>Parámetros Operativos</b>		
	<b>Lixiviación de Concentrado gravimétrico</b>	<b>Lixiviación de Colas de concentración gravimétrica</b>
<b>Cianuro (kg)</b>	25	45
<b>Cal (kg)</b>	N/D	18.75
<b>Concentración de cianuro (ppm)</b>	4300	2000
<b>Volumen tanque (m3)</b>	5.65	25.45
<b>Densidad de sólido (t/m3)</b>	3.58	3.58
<b>Densidad del fluido (t/m3)</b>	1	1
<b>Densidad pulpa (t/m3)</b>	1.2	1.3

<b>Fracción de sólidos en peso</b>	23.13%	32.02%
<b>Fracción líquido en peso</b>	76.87%	67.98%
<b>Fracción volumétrica de sólidos</b>	7.75%	11.63%
<b>Fracción volumétrica de líquido</b>	92.25%	88.37%
<b>Volumen líquido (m3)</b>	5.22	22.49
<b>Volumen mineral (m3)</b>	0.44	2.96
<b>Dilución</b>	0.93	0.59
<b>Tonelaje de mineral (tn)</b>	1.57	10.59

Realizado por: Carrión, 2024

#### 4.2.2.2 Densidad del mineral

El ensayo de densidad se llevó a cabo con el mineral de alimento utilizando el método del picnómetro. El peso del instrumento para cada ensayo se determinó con una balanza analítica.

**Tabla 4-6:** Datos obtenidos en ensayo para cálculo de densidad.

<b>Densidad del mineral</b>	
<b>Masa del picnómetro vacío (g)</b>	19.195
<b>Masa del picnómetro + mineral (g)</b>	33.841
<b>Masa del picnómetro + mineral + agua (g)</b>	57.750

Realizado por: Carrión, 2024

Con los datos obtenidos en cada ensayo se aplican las ecuaciones descritas en la metodología (apartado 3.2.1):

**Tabla 4-7:** Cálculo de densidad del mineral.

<b>Densidad del mineral</b>	
<b>Masa del mineral</b>	$M_m = 33.841g - 19.195g$
$M_m = M_{p+m} - M_p$	$M_m = 14.646g$
<b>Masa del fluido</b>	$M_f = 33.841g - 14.646g$
$M_f = M_{p+m} - M_m$	$M_f = 20.909g$
<b>Volumen del fluido</b>	$V_f = \frac{20.909g}{1g/ml}$
$V_f = \frac{M_f}{\rho_f}$	$V_f = 20.909ml$
<b>Volumen del mineral</b>	$V_m = 25ml - 20.909ml$
$V_m = V_p - V_f$	$V_m = 4.091ml$

<b>Densidad del mineral</b>	$(\rho_m) = \frac{14.646g}{4.091ml}$
$(\rho_m) = \frac{M_m}{V_m}$	$(\rho_m) = 3.58 \text{ g/ml}$

Realizado por: Carrión, 2024

Con lo anterior, se establece que la densidad a del mineral fue de 3.58 g/ml.

#### 4.2.2.3 Ensayo granulométrico

Para el ensayo se utilizaron tamices con los números de malla 40, 80, 100, 140, 200. El equipo se configuró de la siguiente manera:

**Tabla 4-8:** Configuración de la tamizadora Octagon serie 200CL.

<b>Especificaciones tamizadoras vibratoria</b>	
<b>Nº de corridos</b>	1
<b>Intervalo</b>	M2
<b>Tiempo (min)</b>	10:00
<b>Amplitud</b>	3

Realizado por: Carrión, 2024

La masa inicial de la muestra fue de 250 gramos. Los datos descritos en la tabla posterior corresponden a los tamices utilizados en cada ensayo, cada uno con el número de malla, abertura en mm, así como el peso de las partículas retenidas con el porcentaje correspondiente con respecto al peso total inicial calculado y el porcentaje del pasante.

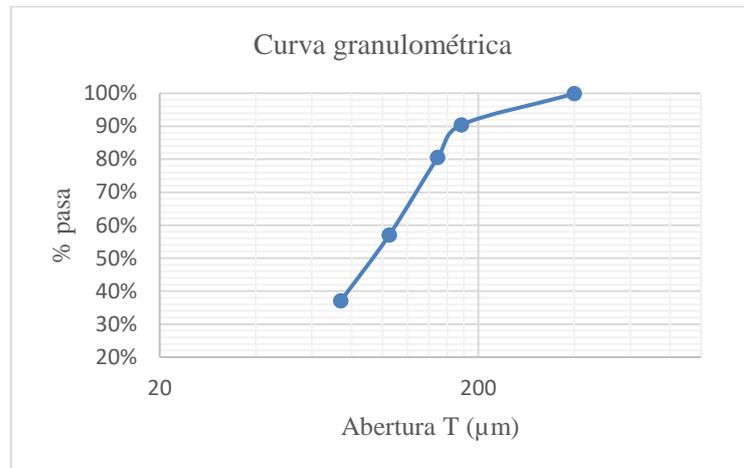
**Tabla 4-9:** Ensayo de tamizaje de entrada muestra G-ZM

<b>Fecha:</b>	<b>18/8/2023</b>	<b>Intervalo</b>			<b>M2</b>	
<b>Nº de corridos</b>	1	<b>Tiempo (min)</b>			10:00	
<b>Peso total inicial (g)</b>	250	<b>Amplitud</b>			1	
<b>Nº de Malla</b>	<b>Abertura (µm)</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>% Retenido acumulado</b>	<b>Porcentaje pasa</b>
<b>40</b>	400	0.4	0.41	0.16%	0.16%	99.84%

<b>80</b>	177	0.177	23.53	9.41%	9.57%	90.43%
<b>100</b>	149	0.149	24.88	9.95%	19.52%	80.48%
<b>140</b>	105	0.105	58.78	23.51%	43.03%	56.97%
<b>200</b>	74	0.074	49.9	19.96%	62.98%	37.02%
<b>Fondo</b>			92.56	37.02%	100.00%	
<b>Total</b>			<b>250.06</b>	<b>100.00%</b>		

Realizado por: Carrión, 2024

Con los valores porcentuales obtenidos se graficó la curva granulométrica.



**Ilustración 4-12:** Curva granulométrica CG-ZM

Realizado por: Carrión, 2024

$$m = \frac{56.97\% - 80.48\%}{105 - 149}$$

$$m = 0.53525$$

$$x = 149 \mu m + \left( \frac{80\% - 80.48\%}{0.53525} \right)$$

$$x = 148.10 \mu m$$

Los datos obtenidos en el análisis granulométrico de la muestra de mineral G-ZM demostraron que el mineral de alimento que ingresa a la etapa de lixiviación definido por el D80 es de 148.10  $\mu m$ , esto determinado por las ecuaciones de interpolación lineal en donde se tomaron como referencia los datos de los tamices de 105  $\mu m$  y 149  $\mu m$  que representaban el 80.48% y 56.97% respectivamente.

### 4.2.3 Balance metalúrgico

Dentro del levantamiento del proceso de lixiviación en planta se estableció la importancia de describir la etapa de concentración gravitacional al que es sometido el mineral de La Zamorana, es por ello que se estableció un balance de masas con el cual se determinó el alimento total que ingresó a la etapa de lixiviación mediante las dos corrientes. Es así que se aplicó la siguiente ecuación:

$$F = C + T \quad (4-1)$$

Donde:

F: Masa del alimento

C: Masa del concentrado

T: Masa de las colas

$$F = 1.58t + 10.59t$$

$$F = 12.16t$$

De esta manera se tiene que la masa total que ingresa a la etapa de lixiviación de las dos corrientes es de 12.16t. Los datos de concentrado y colas fueron obtenidos en planta durante el levantamiento del proceso.

#### 4.2.3.1 Balance metalúrgico (concentración gravimétrica)

**Tabla 4-10:** Leyes de Au y Ag en el concentrado gravimétrico y colas de concentración.

<b>Leyes de Au y Ag</b>				
	<b>Concentrado gravimétrico (CG)</b>		<b>Colas de concentración (CC)</b>	
	Au	Ag	Au	Ag
<b>Cabeza (g/t)</b>	126.20	232.21	8.68	94.99
<b>Colas (g/t)</b>	11.01	46.44	1.62	72.10

**Fuente:** Albexxus, 2023

**Realizado por:** Carrión, 2024

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el laboratorio Albexxus demuestran las leyes de cabeza y cola de Au y Ag tanto para el concentrado gravimétrico como las colas de concentración (tabla 4-10).

**Tabla 4-11:** Ley de alimento de Au y Ag en el mineral de La Zamorana.

<b>Ley de alimento de Au</b>	<b>Ley de alimento de Ag</b>
$f = \frac{C_c + T_t}{F}$	$f = \frac{C_c + T_t}{F}$
$F_f = \frac{(1.57 t * 126.20 g/t) + (10.59 t * 8.68 g/t)}{12.16 t}$	$F_f = \frac{(1.57 t * 232.21 g/t) + (10.59 t * 94.99 g/t)}{12.16 t}$
$f = 23.80 g/t$	$f = 112.69 g/t$

**Fuente:** Albexxus, 2023

**Realizado por:** Carrión, 2024

Los resultados de revelaron una ley de alimento de 23.80 g/t para el oro y una ley de plata de 112.69 g/t. Estos valores proporcionaron una comprensión fundamental de la composición del mineral alimentado al proceso de lixiviación, lo que permitió establecer una línea base para la evaluación del rendimiento del proceso.

#### 4.2.3.2 Balance metalúrgico (lixiviación)

La evaluación de la recuperación metalúrgica de oro (Au) en cada flujo se llevó a cabo mediante el análisis de los metales recuperados en el proceso de adsorción por carbón activado en

comparación con los metales presentes en la alimentación en cada corriente del proceso de lixiviación.

**Tabla 4-12:** Recuperación metalúrgica de Au en el concentrado gravimétrico y colas de concentración.

	Cabeza ensayada		Cabeza calculada	
	Lixiviación de CG	Lixiviación de CC	Lixiviación de CG	Lixiviación de CC
<b>Metal en cabeza (g/t)</b>	126.2	8.68	129.93	9.38
<b>Metal en cabeza (g)</b>	198.05	91.95	203.90	99.41
<b>Metal en carbón (g/kg)</b>	0.9	0.4	0.9	0.4
<b>Carbón (kg)</b>	200	200	200	200
<b>Metal recuperado en carbón (g)</b>	180.00	80	180.00	80
<b>Relave líquido (ppm)</b>	1.27	0.10	1.27	0.10
<b>Relave líquido (g)</b>	6.62	2.25	6.62	2.25
<b>Relave sólido (g/t)</b>	11.01	1.62	11.01	1.62
<b>Relave sólido (g)</b>	17.28	17.16	17.28	17.16
<b>Recuperación (%)</b>	<b>90.89%</b>	<b>87.01%</b>	<b>88.28%</b>	<b>80.48%</b>

Realizado por: Carrión, 2024

La tabla 4-12 muestra las leyes de Au determinadas mediante ensayos de EAA. Las recuperaciones obtenidas con la cabeza ensayada señalan un 90.89% y 87.01% en la lixiviación tanto de concentrado gravimétrico (CG) como de las colas de concentración (CC). Por otro lado, se obtuvo un 88.28% y 80.48% de Au recuperado en la lixiviación de estas mismas corrientes con respecto a la cabeza calculada. Al obtener estos valores se determinó una recuperación promedio del metal en cada etapa, lo que resultó en un 89.58% en la lixiviación del CG y un 83.54% en CC.

**Tabla 4-13:** Recuperación metalúrgica de Ag de concentrado gravimétrico y colas de concentración.

	Lixiviación de CG	Lixiviación de CC
	Ag	Ag
<b>Metal sólido en cabeza (g/t)</b>	232.2	94.99
<b>Metal cabeza total (g)</b>	364.40	1006.23
<b>Metal lixiviado (g/t)</b>	185.76	22.89
<b>Metal lixiviado (g)</b>	291.5196921	242.4740462
<b>Metal sólido en colas (g/t)</b>	46.44	72.10
<b>Metal relave total (g)</b>	72.88	0.00
<b>Recuperación (%)</b>	<b>80.00%</b>	<b>24.10%</b>

Realizado por: Carrión, 2024

En el caso de la plata se propuso utilizar los datos en función de la masa de Ag en alimento y colas. Así se determinó que la recuperación en la corriente de lixiviación de CG fue de 80.00%, mientras que, en el proceso de lixiviación de CC, se obtuvo una recuperación de 24.10%. Los únicos datos disponibles provienen de los análisis de espectrofotometría de absorción atómica (EAA) realizados por el laboratorio Albexus con las muestras obtenidas durante el proceso (tabla 4-13).

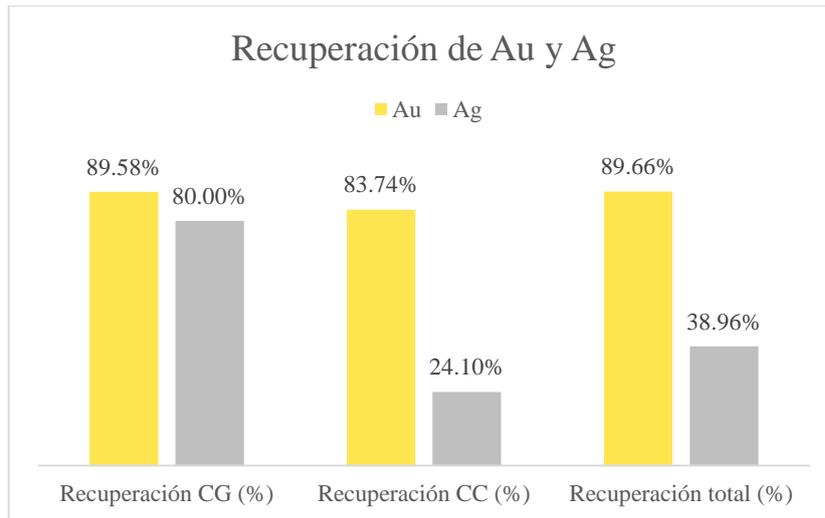
#### 4.2.3.3 Recuperación total del proceso

**Tabla 4-14:** Recuperación metalúrgica del mineral que alimenta las corrientes de CG y CC.

<b>Recuperación total</b>		<b>Au</b>	<b>Ag</b>
<b>INICIAL</b>	Alimento (g/t)	23.84	112.69
	Alimento (g)	290.00	1370.57
<b>CG</b>	Concentrado (g/t)	900.00	185.76
	Concentrado (g)	180.00	291.52
<b>CC</b>	Colas (g/t)	400.00	22.89
	Colas (g)	80.00	242.47
	Metal recuperado (g)	260.00	533.99
<b>Recuperación (%)</b>		<b>89.66%</b>	<b>38.96%</b>

Realizado por: Carrión, 2024

La tabla 4-14 describe la recuperación total del mineral que alimenta el proceso de concentración gravimétrica y por consiguiente los procesos de lixiviación del concentrado gravimétrico (CG) y colas de concentración (CC). Se consideró la ley de alimento de 23.84 g/t de Au y 112.69 g/t de Ag calculadas en el balance metalúrgico (tabla 4-11). De esta manera, se tiene una recuperación total del 89.66% de Au y 38.96% de Ag.



**Ilustración 4-13:** Recuperación metalúrgica de CG y CC frente al mineral que alimenta el proceso total.

**Realizado por:** Carrión, 2024

En la ilustración 4-14 se representa una comparativa de estas recuperaciones en donde se visualiza de mejor manera los datos descritos en la tabla 4-14.

### 4.3 Definición de parámetro operativo para ensayos de lixiviación

Durante el levantamiento del proceso de lixiviación en planta empleado en el mineral de La Zamorana se identificó diversas variables que pueden influir en los procesos de lixiviación tanto en concentrado gravimétrico como colas de concentración. Los parámetros identificados en el proceso son:

- Tamaño granulométrico
- Reactivo lixivante
- Dosificación de reactivo lixivante
- Oxigenación
- Tiempo de residencia
- pH

Con los resultados de la caracterización mineralógica del material de La Zamorana, se logró identificar que la presencia de oro, uno de los metales de interés, está asociada principalmente a la mineralización de galena y cuarzo. Además, se determinó que el oro se encuentra mayoritariamente en tamaños de partículas que oscilan entre 1 y 30 micras, con una presencia reducida en el rango de 40 a 60 micras.

Estos hallazgos son significativos, especialmente considerando que el análisis granulométrico realizado como parte del proceso de lixiviación reveló un tamaño de partícula del mineral procesado de 148.10 micras. La disparidad entre el tamaño de partícula del oro y el tamaño granulométrico del material que ingresa a la lixiviación indica que las caras cristalinas del oro presente en la mena no están siendo adecuadamente expuestas, posiblemente debido a que la molienda actual no está logrando una fractura suficiente en la matriz mineral para liberar completamente las partículas de oro. Esto se respalda con los valores considerablemente altos (11.01 g/t en CG y 1.62 g/t) obtenidos en los relaves sólidos luego de los procesos de lixiviación. Por tanto, se identifica la granulometría como uno de los parámetros que requiere ajuste. Se propuso aumentar el tamaño de partícula expuesto mediante una granulometría con un pasante de malla #200. Al modificar este parámetro, se espera mejorar la exposición de las partículas de oro, lo que potencialmente aumentaría la eficiencia de la lixiviación al permitir una mayor liberación del metal valioso contenido en la mena.

#### **4.4 Evaluación de recuperación metalúrgica**

##### **4.4.1 Ensayo granulométrico**

Para determinar la granulometría en un pasante de la malla #200 el mineral de La Zamorana fue sometido a un proceso de molienda en un molino de bolas a escala de laboratorio. De ese resultado se tomaron 250 g de muestra que fueron sometidas a un ensayo granulométrico, en donde se utilizaron los mismos tamices que en el ensayo anterior. En la tabla 4-15 se muestran los valores obtenidos a detalle:

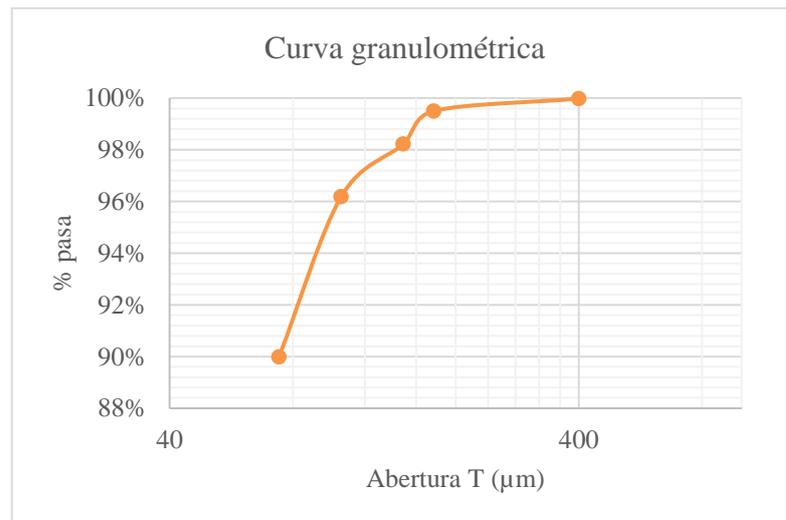
**Tabla 4-15:** Ensayo de tamizaje de entrada muestra G-ZM\_2

<b>Fecha:</b> 29/2/2024		<b>ENSAYO GRANULOMÉTRICO</b>				
<b>Peso total inicial (g)</b>						
<b>Nº de Malla</b>	<b>Abertura (µm)</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso (g)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>% Retenido acumulado</b>	<b>Porcentaje pasa</b>
40	400	0.4	0.05	0.02%	0.16%	99.98%
80	177	0.177	1.2	0.48%	0.64%	99.50%
100	149	0.149	3.20	1.28%	1.92%	98.22%
140	105	0.105	5.10	2.04%	3.96%	96.18%
200	74	0.074	15.5	6.20%	10.16%	89.98%
<b>Fondo</b>			225	89.98%	100%	
<b>Total</b>			<b>250.05</b>	<b>100.00%</b>		

Fuente: Albexxus, 2024

Realizado por: Carrión, 2024

Con los valores porcentuales obtenidos se graficó la curva granulométrica.



**Ilustración 4-14:** Curva granulométrica de la muestra G-ZM\_2.

Realizado por: Carrión, 2024

De esta manera se determinó que existe un pasante del 89.98% de la malla # 200 que se traduce en un tamaño de partícula de  $74\mu\text{m}$ .

#### 4.4.2 Ensayo de concentración gravimétrica

**Tabla 4-16:** División de masas de concentrado gravimétrico y colas de concentración.

Descripción	Valores
Alimento (kg)	1.40
Concentrado gravimétrico (kg)	0.56
Colas de concentración gravimétrica (kg)	0.84

Realizado por: Carrión, 2024

En la tabla 4-14 se describe los valores obtenidos en el ensayo de concentración gravimétrica en donde se modificó el tamaño granulométrico del mineral que ingresa al proceso de lixiviación. De esta manera, se concentraron 0.56 kg de mineral, mientras que 0.84 kg de mineral pasaron a las colas de concentración.

#### 4.4.3 Ensayos de lixiviación

Una vez obtenidas las dos corrientes, se determinó la ley de alimento de cada una de ellas mediante ensayos al fuego por EAA.

**Tabla 4-17:** Leyes de alimento en el concentrado gravimétrico y colas de concentración.

	Concentrado gravimétrico		Colas de concentración	
	Au	Ag	Au	Ag
Ley de alimento (g/t)	145.20	262.29	26.95	153.01

Fuente: Albexxus, 2024

Realizado por: Carrión, 2024

Una vez definidas las leyes de alimentación del mineral en cada corriente se procedió a ejecutar los ensayos de lixiviación con las muestras. Los ensayos realizados en el laboratorio Albexxus se llevaron a cabo implementando los mismos parámetros operativos del proceso original, modificando únicamente la distribución granulométrica.

**Tabla 4-18:** Parámetros operativos empleados en los ensayos de lixiviación.

<b>Parámetros Operativos</b>		
	<b>Lixiviación de CG</b>	<b>Lixiviación de CC</b>
<b>Granulometría (-M200)</b>	90%	90%
<b>Consumo Cianuro (kg/t)</b>	4.68	2.39
<b>Cal (kg/t)</b>	4.38	6.36
<b>Concentración de cianuro (ppm)</b>	4300	2062.50
<b>pH</b>	11	11
<b>Masa mineral (g)</b>	560.00	840.00
<b>Masa mineral (t)</b>	0.000560	0.000840

<b>Parámetros Operativos</b>		
	<b>Lixiviación de Concentrado gravimétrico</b>	<b>Lixiviación de Colas de concentración gravimétrica</b>
<b>Granulometría (-M200)</b>	90%	90%
<b>Consumo Cianuro (kg/t)</b>	4.68	2.39
<b>Cal (kg/t)</b>	4.38	6.36
<b>Concentración de cianuro (ppm)</b>	4300	2062.5
<b>Volumen lixivador (ml)</b>	500	500
<b>Densidad de sólido (g/ml)</b>	2.8	3.5
<b>Densidad del fluido (g/ml)</b>	1	1
<b>Densidad pulpa (g/ml)</b>	1.2	1.3
<b>Fracción de sólidos en peso</b>	25.93%	32.31%
<b>Fracción líquido en peso</b>	74.07%	67.69%
<b>Fracción volumétrica de sólidos</b>	11.11%	12.00%
<b>Fracción volumétrica de líquido</b>	88.89%	88.00%
<b>Volumen líquido (ml)</b>	500	500
<b>Tonelaje líquido (t)</b>	0.0005	0.0005
<b>Volumen mineral (ml)</b>	0	0
<b>Dilución</b>	2.86	2.095
<b>Masa mineral (t)</b>	0.00057	0.0014

Realizado por: Carrión, 2024

La tabla 4-18 muestra parámetros de operación de lixiviación con cianuro de sodio, donde se dispuso una concentración de cianuro de 4300 y 2062.50 ppm respectivamente para cada ensayo, un pH de trabajo de 11. Se identificó un consumo de cianuro de 4.68 kg/t en el caso del concentrado gravimétrico (CG) y 2.39 kg/t para las colas de concentrado (CC). Además, se determinó la masa de mineral de alimento con respecto a los parámetros operativos del ensayo, en el caso del CG se dispuso a ensayar 560.00 g de mineral, mientras que para CC se determinó una masa de alimento de 840.00 g.

#### 4.4.3.1 Balance metalúrgico (concentración gravimétrica)

**Tabla 4-19:** Ley de alimento de Au y Ag en el mineral de La Zamorana.

Ley de alimento de Au	Ley de alimento de Ag
$f = \frac{C_c + T_t}{F}$	$f = \frac{C_c + T_t}{F}$
$f = \frac{(0.00056t * 145.20g/t) + (0.000840t * 26.95g/t)}{0.00140t}$	$f = \frac{(0.00057t * 262.29g/t) + (0.000840 * 153.01g/t)}{0.00140t}$
$f = 74.25 g/t$	$f = 196.72g/t$

Realizado por: Carrión, 2024

Los resultados revelaron una ley de alimento de 36.55 en el oro (Au) g/t y una ley de 161.88 g/t en plata (Ag).

#### 4.4.3.2 Balance metalúrgico (lixiviación)

**Tabla 4-20:** Recuperación metalúrgica de Au y Ag.

	Lixiviación de CG		Lixiviación de CC	
	Au	Ag	Au	Ag
<b>Metal sólido en cabeza (g/t)</b>	145.2	262.29	26.95	153.01
<b>Metal en cabeza (g)</b>	0.08131	0.15	0.022638	0.13
<b>Metal lixiviado (g/t)</b>	132.18	190.08	21.90	48.83
<b>Metal lixiviado (g)</b>	0.0740	0.11	0.02	0.04
<b>Metal líquido lixiviado (g/m3)</b>	40.2287	57.8504	10.45	23.31
<b>Metal líquido lixiviado (g)</b>	0.0740	0.1064	0.02	0.04
<b>Metal sólido en relave (g/t)</b>	13.02	72.21	5.05	104.18
<b>Metal en relave (g)</b>	0.0072912	0.0404376	0.004242	0.0875112
<b>Recuperación (%)</b>	<b>91.03%</b>	<b>72.47%</b>	<b>81.26%</b>	<b>31.91%</b>

Realizado por: Carrión, 2024

Los resultados del análisis de recuperación metalúrgica muestran que, para el oro presente en el concentrado gravimétrico (CG), se logró una recuperación del 91.03%, mientras que, para la plata esta eficiencia fue del 72.47%. En contraste, en las colas de concentración (CC), la recuperación

de oro alcanzó el 81.26%, mientras que para la plata fue significativamente menor, con un 31.91%.

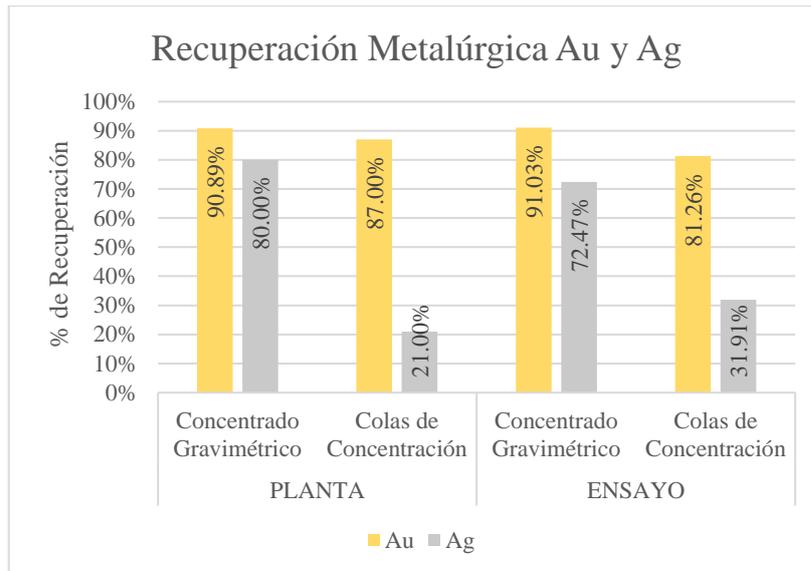
De esta manera al modificar la granulometría del material alimentado a las corrientes de lixiviación del mineral de La Zamorana a un 89.90% de la malla #200, se constató un incremento un tanto considerable en las leyes de oro (Au) y plata (Ag) en comparación con el estándar de procesamiento en planta, que utilizaba un D80 de 148.10 micras. Específicamente, en el concentrado gravimétrico, las leyes de alimentación aumentaron de 126,20 g/t de Au y 232,21 g/t de Ag en la planta a 145,20 g/t de Au y 262,29 g/t de Ag tras el ajuste granulométrico. De manera similar, en las colas de concentración gravimétrica, las leyes se elevan de 8,68 g/t de Au y 91,94 g/t de Ag en planta a 26,95 g/t de Au y 153,01 g/t de Ag con la nueva granulometría (tabla 4-21). Es importante resaltar que los ensayos a escala no replican de manera exacta los procesos de lixiviación por lo que algunos de los valores obtenidos pueden verse influenciados.

**Tabla 4-21:** Leyes de cabeza de Au y Ag en el mineral de La Zamorana.

	<b>Ley de cabeza Au y Ag</b>			
	<b>Concentración gravimétrica</b>		<b>Colas de concentración</b>	
	Au (g/t)	Ag (g/t)	Au (g/t)	Ag (g/t)
<b>Lixiviación en planta</b>	126.20	232.21	8.68	94.99
<b>Ensayo de laboratorio</b>	145.20	262.29	26.95	153.01

**Realizado por:** Carrión, 2024

Durante los ensayos de lixiviación, se alcanzó una eficiencia de recuperación del 91.03% para el Au y del 72.47% para la Ag, cifras comparables a las recuperaciones de 90,89% para el Au y 80% para la Ag obtenidas en el proceso estándar en planta del concentrado gravimétrico. En contraste, en las colas de concentración, la recuperación de Au en los ensayos fue del 81,26%, mientras que en planta fue de 87.01%. En el caso de la de Ag se determinó una recuperación 31,91% en el ensayo de lixiviación, un valor un tanto superior con respecto al 21.00% del metal recuperado en planta.



**Ilustración 4-15:** Recuperación metalúrgica de Au y Ag en el proceso de lixiviación en planta y ensayos de lixiviación a escala de laboratorio del mineral de La Zamorana.

**Realizado por:** Carrión, 2024.

## CONCLUSIONES.

- La caracterización mineralógica del material extraído de la mina La Zamorana ha proporcionado una comprensión detallada de la composición mineralógica y la distribución elemental en la muestra. A través de diversas técnicas analíticas, incluida la difracción de rayos X, la fluorescencia de rayos X, la espectrofotometría de absorción atómica por ensayo al fuego y el análisis petrográfico se ha logrado determinar una asociación significativa de minerales como piritita, galena y cuarzo, así como la presencia de elementos como S, Fe, Pb y As, que tienen implicaciones importantes en el proceso de tratamiento del mineral. Además, el análisis petrográfico ha permitido identificar la presencia de cristales de oro con tamaños de grano oro con granulometrías variables de 1 a 50 micras con un tamaño promedio de grano de 17.59 micras y un tamaño máximo de grano de 23.48 micras.
- El levantamiento del proceso en planta se enfocó en detallar los procesos de concentración gravimétrica y lixiviación para el beneficio mineral, resaltando la importancia de comprender cada fase intermedia del proceso para identificar los parámetros operativos fundamentales que influyen en el rendimiento del mismo. Es así que se observó que el procesamiento del mineral arranca con una etapa previa de molienda en un molino chileno en donde alcanza una granulometría definida por un D80 de 148.10  $\mu\text{m}$  definido por un ensayo granulométrico. El mineral que alcanzó la granulometría esperada se concentra mediante un proceso gravimétrico, en donde se separa el mineral en dos corrientes: el concentrado gravimétrico, que contiene una alta concentración de metales de interés, y las colas de concentración, que contienen una concentración considerablemente menor. En la etapa de lixiviación, se aplican procesos similares para ambas corrientes, utilizando cianuración por agitación con la adición de hidróxido de calcio para controlar el pH y mejorar la decantación de los sólidos. Se realizan ajustes específicos en función del contenido de metal de cada corriente, como la variación en el tamaño de los tanques agitadores y la cantidad de reactivos utilizados. Además, se describen detalladamente los procedimientos para controlar y monitorear el proceso de lixiviación, incluyendo la medición del pH, la adición de reactivos, la determinación del potencial de cianuro y la concentración de oro en la pulpa. Finalmente, se destaca la incorporación de carbón activado para concentrar los metales contenidos en la pulpa, seguido del análisis de la cantidad de oro presente en las colas resultantes. El

proceso concluye con la recuperación del carbón activado y el despojo de la pulpa residual a la zona de relaves de la planta. El balance metalúrgico del proceso de lixiviación en planta reveló que la masa total ingresada a la etapa de lixiviación fue de 12.16 toneladas, con una ley de Au de 23.80 g/t y una ley de Ag de 112.69 g/t en el mineral alimentado. Los análisis de recuperación metalúrgica mostraron tasas del 90.89% y 87.01% para el oro en la lixiviación de concentrado gravimétrico (CG) y colas de concentración (CC), respectivamente, y un promedio del 89.58% para el CG y 83.54% para CC. Para la plata, se obtuvo una recuperación del 80.00% en la corriente de CG y un 24.10% en CC respaldados con análisis de espectrofotometría de absorción atómica (EAA). Se determinó una recuperación total del 89.66% de Au y 38.96% de Ag en el proceso, considerando la ley de alimentación calculada en el balance metalúrgico.

- La determinación del parámetro operativo sometido a modificación estuvo determinado en función del tamaño de partícula que ingresa a los procesos de lixiviación, puesto que al observarse una disparidad significativa entre este y el tamaño de partícula de los cristales de oro que oscilan entre 1 y 30 micras, con una presencia reducida en el rango de 40 a 60 micras, se planteó la posibilidad de que la granulometría actual del proceso en planta no está exponiendo completamente las caras de los cristales de los metales de interés. Por lo tanto, se aumentó el tamaño de partícula expuesto mediante una granulometría con un pasante de malla #200.
- En el caso de los ensayos de lixiviación aplicando el cambio granulométrico, se lograron eficiencias de recuperación del 91.03% para el oro (Au) y del 72.47% para la plata (Ag), cifras comparables a las recuperaciones obtenidas en el proceso estándar en planta, que fueron del 90.89% para el Au y del 80% para el Ag. Sin embargo, en las colas de concentración, las recuperaciones de Au fueron del 81.26%, mientras que las de Ag fueron notablemente menores, con un 31.91%. Estas cifras contrastan con las recuperaciones en el proceso en planta, que alcanzaron el 87.01% para el Au y el 24.10% para el Ag en las colas de concentración. Estos resultados sugieren que, aunque se mejoró la exposición de los metales con el cambio de granulometría en ambas corrientes, se alcanzaron eficiencias similares entre el mineral procesado en planta y el mineral ensayado, por lo que se requiere un reajuste en la dosificación de los reactivos acorde a esta nueva granulometría.

## RECOMENDACIONES

- Con base en la información proporcionada por la caracterización mineralógica, se recomienda realizar un estudio detallado de la granulometría del oro presente en el mineral de La Zamorana. Dado que se ha identificado una distribución heterogénea de los cristales de oro con tamaños de grano variables, es crucial comprender cómo esta variabilidad afecta la exposición del oro durante el proceso de tratamiento del mineral. Se sugiere llevar a cabo análisis granulométricos específicos del oro para determinar la distribución de tamaños de partículas y su relación con la liberación del metal durante la molienda y la lixiviación. Además, se recomienda evaluar la influencia de la mineralización asociada, especialmente la presencia de metales cianicidas, en la liberación y recuperación del oro. Esto implicaría investigar cómo la asociación mineralógica afecta la cinética de disolución del oro durante la lixiviación.
- En base al análisis detallado del proceso de concentración gravimétrica y lixiviación realizado en planta, se recomienda continuar enfocándose en la comprensión y optimización de cada fase intermedia del proceso para mejorar su rendimiento. Es esencial seguir monitoreando y ajustando los parámetros operativos fundamentales que influyen en la eficiencia del proceso. Se sugiere llevar a cabo una evaluación exhaustiva de los procedimientos de molienda en el molino chileno para garantizar una granulometría consistente y óptima, asegurando así un procesamiento eficiente del mineral. Además, se recomienda realizar un seguimiento continuo de los ajustes específicos aplicados en la etapa de lixiviación para cada corriente, considerando las variaciones en el contenido de metal y optimizando el uso de reactivos y equipos, como los tanques agitadores. Se sugiere también mantener un estricto control y monitoreo del proceso de lixiviación, utilizando técnicas como la medición del pH, la adición precisa de reactivos y el análisis regular del contenido de metales en la pulpa. La incorporación de carbón activado para concentrar los metales presentes en la pulpa es una estrategia prometedora que debe seguir siendo parte integral del proceso, aunque se recomienda realizar un seguimiento detallado de la recuperación del oro y la gestión adecuada de las colas resultantes. En última instancia, se enfatiza la importancia de la mejora continua y la innovación en el proceso para garantizar una operación eficiente y sostenible en la planta.
- De acuerdo a los hallazgos obtenidos durante el análisis de los procesos de lixiviación en la mina La Zamorana, se recomienda considerar una modificación en la granulometría

del material procesado como una medida para mejorar la eficiencia de la recuperación de oro y plata. Es fundamental ajustar la molienda para garantizar una exposición adecuada de las partículas de oro durante el proceso. Esta recomendación se respalda en los resultados del ensayo granulométrico, que demostraron una discrepancia significativa entre el tamaño granulométrico del material procesado y el tamaño de partícula del oro analizado en el ensayo petrográfico. Implementar esta modificación podría conducir a mejoras sustanciales en la eficiencia de la lixiviación y, por ende, en la recuperación de los metales valiosos. Se sugiere realizar más investigaciones y análisis para validar esta recomendación y llevar a cabo las acciones de optimización necesarias en la planta de procesamiento.

- De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio se sugiere reajustar la dosificación de los reactivos utilizados en el proceso de lixiviación, específicamente en relación con la nueva granulometría implementada. Aunque los ensayos mostraron mejoras en la exposición de los metales con el cambio de granulometría, las eficiencias de recuperación fueron similares entre el mineral procesado en planta y el mineral ensayado. Sin embargo, se observó una notable diferencia en las recuperaciones de plata en las colas de concentración. Esto sugiere que la dosificación de los reactivos puede no estar óptimamente ajustada para la nueva granulometría, lo que podría estar afectando la recuperación de este metal en particular. Por lo que se recomienda continuar explorando estrategias para optimizar la recuperación metalúrgica. Se sugiere realizar estudios adicionales para comprender mejor cómo otros factores, como el tiempo de lixiviación, pH, contenido de sólidos, velocidad de agitación, diseño de los tanques agitadores y el tamaño de las partículas, podrían influir en la eficiencia de recuperación.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ASTM INTERNATIONAL**, "Standard Test Methods for Determining Average Grain Size". *ASTM International* [en línea], 2015. [Consulta: 2 marzo 2024]. págs. 4-26. Disponible en: <https://www.fushunspecialsteel.com/wp-content/uploads/2015/09/ASTM-E112-2010-Standard-Test-Methods-for-Determining-Average-Grain-Size.pdf>.
2. **AZAÑERO, Ángel; et al.** "Recuperación de oro y plata de minerales sulfurados en una matriz de cuarzo". *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG* [en línea], 2007. [Consulta: 5 agosto 2023]. vol. 19, págs. 28-37. Disponible en: [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol10\\_n19/a02.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol10_n19/a02.pdf).
3. **BERREZUETA, Edgar; et al.** "Estudio mineralógico y cuantificación por análisis digital de imagen de las menas auríferas de Nariño (Colombia). Aplicación a la mejora del proceso mineralúrgico.". *Boletín Geológico y Minero*, 2002. vol. 4, págs. 369-379.
4. **BURGOS, J.**, "La difracción de rayos X". *Color y Ciencia – JM Burgos* [en línea], 2020. [Consulta: 27 febrero 2024]. Disponible en: <https://colorycienciajmburgos.wordpress.com/2020/01/27/la-difraccion-de-rayos-x/>.
5. **BUSTAMANTE, Owsaldo; et al.** "Concentración de Minerales". , 2008. págs. 1-79.
6. **BUSTINZA, Víctor**, *Estudio del uso de nitrato de plomo para optimizar la recuperación de oro en el proceso de cianuración*. (Trabajo de Titulación) (Maestría). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 2019. págs. 8-38.
7. **CAÑOLA, Carlos; et al.** "Caracterización mineralógica y mineralogía de procesos aplicada a la mina de veta “la esperanza”, ubicada en la vereda CEDEÑO parte alta del municipio de TÁMESIS, ANTIOQUIA.". *Revista Colombiana de Materiales*, 2015. vol. 6, págs. 54-68.
8. **DUEÑAS, Zaher & GRAFF, Jesús**, *Recuperación de oro y plata mediante concentración por flotación y lixiviación con cianuro*. (Trabajo de Titulación) (Tesis de grado). Hermosillo, Sonora: Universidad de Sonora. 2018. págs. 3-22.
9. **ECHEVESTE, H., DEL BLANCO, M. & BODAÑO, M.**, "Atlas de Minerales Opacos ". *Universidad Nacional de La Plata*, 2014.
10. **ESCOBEDO, Gladys**, *Optimización del sistema de análisis de muestras por espectrometría de absorción atómica para compañías mineras*. (Trabajo de Titulación) (Maestría). Mexico DF: Universidad Nacional Autónoma de México. 2013. págs. 14-32.
11. **GARCÍA, Eber; et al.** "Principios termodinámicos y cinéticos de la cianuración de oro y sus efectos en el proceso: una revisión". *CienciAcierta*, 2021. vol. 66.

12. **GAVINO, Paolo**, *Tratamiento por flotación y cianuración de minerales auríferos con presencia de pirita para la concentración y extracción de oro y plata a nivel experimental*. [en línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de grado). Huancho: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión . 2018. págs. 15-33. [Consulta: 5 agosto 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/3014/GAVINO%20JIMENEZ%20PAOLO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
13. **GIL-CRESPO, Pedro**, "Atlas de Mineralogía Óptica". *Universidad del País Vasco*, 2024. págs. 30-150.
14. **GUSEK, James & FATTORE, Guadalupe**, "Mitigación del drenaje ácido de mina con la aplicación superficial del efluente del reactor bioquímico". *ResearchGate* [en línea], 2015. [Consulta: 21 agosto 2023]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/286259677\\_Mitigacion\\_del\\_drenaje\\_acido\\_de\\_mina\\_con\\_la\\_aplicacion\\_superficial\\_del\\_efluente\\_del\\_reactor\\_bioquimico](https://www.researchgate.net/publication/286259677_Mitigacion_del_drenaje_acido_de_mina_con_la_aplicacion_superficial_del_efluente_del_reactor_bioquimico).
15. **LAZO, Juan**, *Estudio petrográfico de rocas intrusivas, superunidad San Luis, localidades de Santa Rosa y El Molino, Sancos - Lucanas, Ayacucho* . Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos Universidad del Perú. Decana de América . 2019.
16. **LINARES, N.**, "Balance de material y metalúrgico en circuitos de flotación". *Studocu*, 2020.
17. **LODOÑO, Jorge Iván; et al.** "Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas". En: L.E. VÁSQUEZ SALAMANCA (ed.), 2010. Primera. págs. 60-120.
18. **LOVERA, Daniel; et al.** "Procesos de tostación - lixiviación de minerales auríferos con metales cianicidas". *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 2002. vol. 5, págs. 44-51.
19. **MALLMA, Carlos & PEINADO, Carlos**, *La soda cáustica en la cianuración de concentrados de oro en Minera Ananea Puno* [en línea]. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú. 2009. págs. 25-37. [Consulta: 27 febrero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/2219/Mallma%20Palomino.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
20. **MAS, M., AGUIRRE, F. & AMAYA, G.**, "Evaluación de los procesos de lixiviación por agitación convencional y carbón en pulpa en la hidrometalurgia del oro.". *Información tecnológica*, 2005. ISSN 0718-0764. vol. 16, págs. 27-33.
21. **MEDINA, Diego & ANDERSON, Corby G.**, "A Review of the Cyanidation Treatment of Copper-Gold Ores and Concentrates". *Metals*, 2020. ISSN 2075-4701. DOI 10.3390/met10070897. vol. 10, no. 7, págs. 897.

22. **PBMINE**, "Evaluación de procesos de beneficio mineral para la aplicación de métodos alternativos en la recuperación de oro en la pequeña minería en el Ecuador". . Morona: 2023.
23. **REINOSO, Juan**, *Determinación de los parámetros operacionales para la concentración de oro en espiral* [en línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de grado). Cuenca: Universidad del Azuay. 2019. págs. 3-30. [Consulta: 9 enero 2024]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8956/1/14601.pdf>.
24. **ROJAS, Néstor**, *Recuperación de Oro y Plata desde Residuos Ferríticos mediante Cianuración*. (Trabajo de Titulación) (Tesis de grado). Chillan: Universidad de Concepción. 2003. págs. 1-28.
25. **RUVALCABA, José**, "Fluorescencia de Rayos X portátil XRF (sistema SANDRA)". *Departamento de física UNAM* [en línea], 2018. [Consulta: 27 febrero 2024]. Disponible en: [https://www.fisica.unam.mx/andrea/tecnicas\\_equipos/xrf.html](https://www.fisica.unam.mx/andrea/tecnicas_equipos/xrf.html).
26. **SEGAL, Susana & CROSTA, Sabrina**, "Atlas de asociaciones paragenéticas de Menas de la República Argentina". , 2011. págs. 20-40.
27. **SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO**, "Difracción de rayos X". *Servicio Geológico Mexicano*, 2017.
28. **SHANDONG XINHAI MINING TECHNOLOGY & EQUIPMENT INC.**, "Tanque Agitador de Lixiviación". *Xinhai Mineral Processing EPC* [en línea], 2017. [Consulta: 21 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.epcservicio.com/product/gold/leaching-agitation-tank>.
29. **SOTO, Ricardo**, *Lixiviación de Sulfuros de Cobre de Baja Ley Pretratados con NaCl - H2SO4- junto con NaNO3 o Fe(NO3)3* [en línea]. Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María. 2018. [Consulta: 29 enero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/42455/3560900255118UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
30. **TORRES, Karla**, *Electro-lixiviación de oro utilizando tiosulfato de sodio como lixivante* . Cuenca: Universidad del Azuay . 2018.
31. **TOVAR, Lizeth & POSADA, Carlos**, *Caracterización mineralógica y microestructural de los agregados pétreos perteneciente a una cantera del municipio de GUAMAL del departamento del META* [en línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de grado). Bogotá: Universidad Católica de Colombia . 2018. págs. 15-25. [Consulta: 26 noviembre 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/213560424.pdf>.
32. **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**, "Procesos de concentración gravimétrica ". *Universidad Politécnica de Cartagena* [en línea], 2021. [Consulta: 9 enero 2024]. págs. 5-20. Disponible en:

[https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/14837/mod\\_resource/content/1/Tema%209%20-%20Gravimetr%C3%ADa\\_PPT.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/14837/mod_resource/content/1/Tema%209%20-%20Gravimetr%C3%ADa_PPT.pdf).

33. **UTPL**, "Difracción de rayos X". *Universidad Técnica Particular de Loja*, 2022.
34. **VELÍN, Karla**, *Mejoramiento y simulación de una planta de recuperación de oro por concentración gravimétrica, flotación y cianuración ubicada en PIÑAS, provincia de el ORO* [en línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de grado ). Quito: Escuela Politécnica Nacional. 2014. [Consulta: 6 agosto 2023]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7394/1/CD-5550.pdf>.
35. **VERA, María**, *Aplicación del método de difracción de rayos x para la identificación y cuantificación de minerales de alteración hidrotermal sobre las concesiones mineras del proyecto la bonita - SUCUMBIOS*". Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2016.
36. **ZHANG, Yao**, "Processing options for gold-tellurides". *Research Gate* [en línea], 2010. [Consulta: 27 febrero 2024]. págs. 2-9. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/228345145\\_Processing\\_options\\_for\\_gold-tellurides](https://www.researchgate.net/publication/228345145_Processing_options_for_gold-tellurides).



## ANEXOS

### ANEXO A: ANÁLISIS DRX MUESTRA MINERAL LA ZAMORANA



Universidad Técnica Particular de Loja  
Facultad de Ingenierías y Arquitectura  
Departamento de Geociencias  
Análisis Mineralógico por Difracción de Rayos X  
Cliente: Nirmala Sujey Carrión Paqui  
Fecha: 29-11-2023

#### INFORME DE DRX

A continuación, se presente el informe sobre el análisis mineralógico de Difracción de Rayos X de la muestra: Nirmala Sujey Carrión Paqui, expediente PED-0048-2023, empleando el Difractómetro D8 ADVANCE, y el programa para la determinación cualitativa y semicuantitativa (método Rietveld) HighScore Plus.

Muestra	Fases Minerales	Semicuantificación (%)
Nirmala Sujey Carrión Paqui	Pirita	30,7
	Galena	0,9
	Cuarzo	18,9
	Dolomita	27,1
	Fengita	22,5

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

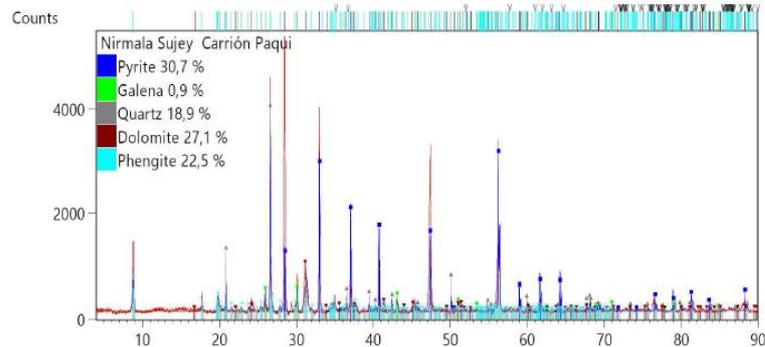
**John Manrique**  
Firmado digitalmente  
por John Manrique  
Fecha: 2023.11.29  
16:44:48 -05'00'  
M.Sc. en Geoquímica John Manrique  
**ANALISTA de DRX**

P. D.: Se adjunta difractograma

San Cayetano Alto s/n  
Loja-Ecuador  
Telf.: (593-7) 370 1444  
informacion@utpl.edu.ec  
Apartado Postal: 11-01-508  
www.utpl.edu.ec



ANEXO 1. DIFRACTOGRAMA DE LA MUESTRA Nirmala Sujey Carrión Paqui



San Cayetano Alto s/n  
Loja-Ecuador  
Telf.: (593-7) 370 1444  
informacion@utpl.edu.ec  
Apartado Postal: 11-01-508  
www.utpl.edu.ec

# ANEXO B: ANÁLISIS FRX MUESTRA MINERAL LA ZAMORANA

Tiempo : 2023-07-10 17:47:21

Método : Geochem(3-Beam)

ID periódico : 68

Serial Number : 843931

Elapsed Time : 50 s

Química

Elapsed time: 50.0s

El	PPM	+/- 3σ
Al	5.45%	0.15
Si	17.71%	0.19
P	345	99
S	20.08%	0.20
K	2.172%	0.033
Ca	455	96
Ti	860	440
Cr	132	82
Mn	7480	230
Fe	13.01%	0.14
Co	250	210
Ni	56	29
Cu	2197	93
Zn	16.14%	0.17
As	820	110
Rb	87	11
Nb	13	10
Mo	58	15
Ag	62	18
Cd	842	56
Ba	177	92
La	200	160
Ce	250	190
Pr	310	270
Nd	410	390
Pb	7430	150
Th	58	25
LE	23.19%	0.48
El	PPM	+/- 3σ
Mg	ND	<6500
V	ND	<110
Se	ND	<7
Sr	ND	<3
Y	ND	<7
Zr	ND	<4
Sn	ND	<22
Sb	ND	<33
W	ND	<180
Hg	ND	<87

Espectro

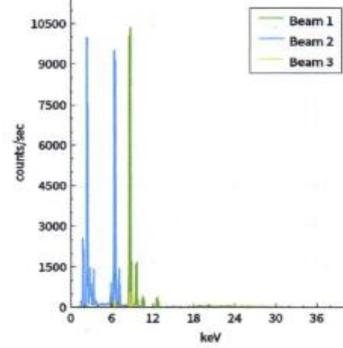


Imagen de objetivo



**ALOXUS**  
LABORATORIO METALURGICO - Cde. LAM

Fecha: 10/07/2023  
Firma: Rita López Pelt.

# ANEXO C: ENSAYO AL FUEGO ALBEXXUS DE CONCENTRADO GRAVIMÉTRICO (LEY DE CABEZA Y COLAS)



## INFORME DE ENSAYO

Nº. 27203

Cliente	: <u>Nirmala Carrion</u>
Dirección	: <u>Macas</u>
Tipo de Muestra	: <u>Mineral</u>
Envase	: Frasco Plastico
Condición de la Muestra	: En buenas condiciones para analizar
Recepción de Muestra Nº	: 18944
Fecha de Recepción de Muestras	: 2023-12-19 08:50:26.0
Fecha Inició Análisis	: 2023-12-19
Fecha Terminó Análisis	: 2023-12-19
Fecha de Emisión del Informe	: 2023-12-19

Los datos subrayados son proporcionados por el cliente. Albexxus no es responsable por dicha información.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio Albexxus.

Las actividades del laboratorio se realizan en la sede principal, Piñas.

Los testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses.

CINTHIA  
MELINA  
RIOS  
AGUILAR

Cynthia Ríos Aguilar  
Jefe de Laboratorio

Digital signed by CINTHIA  
MELINA RIOS AGUILAR  
DN: cn=CINTHIA MELINA  
RIOS AGUILAR,  
serialNumber=2023.000003  
C, o=ALBEXXUS S.A.  
CERTIFICACION DE  
SEGURIDAD Y CUALIDAD  
DATA S.A. Z. C. QUITO  
0002

Página 1 de 2

## INFORME DE ENSAYO

Nº. 27203

### RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Comp.	Cod.	Au	Ag
	Nº	Alb.	g/t	g/t
Oro de Cabeza	1	111307	126.20	232.20
Oro Relave Residual	1	111308	11.01	46.44

Comp. N°: Número de muestras que conforman el compuesto // Cod. Alb.: Código Albexus

Los resultados solo están relacionados con los ítems de ensayo.

Las muestras fueron proporcionadas por el cliente.

### METODOS:

1. Au, Ag: ALB/MET-01. Determinación de Au y Ag por ensayo al fuego.
2. Cu, Pb, Zn, As, Fe: ALB/MET-02. Determinación de Metales por Digestión con HNO<sub>3</sub> [cc] por Absorción Atómica.
3. Au, Ag: ALB/MET-04. Determinación de Au y Ag por copelación en barras doré.

### COMENTARIOS:

Tiempo: 15 Horas Consumo Cal: 4,38 Kg/Tm Adición de Cianuro: 12,184 Kg/Tm Consumo Cianuro: 1,18 Kg/Tm

FINAL DEL DOCUMENTO

## ANEXO D: ENSAYO AL FUEGO ALBEXXUS DE COLAS DE CONCENTRADO GRAVIMÉTRICO (LEY DE CABEZA Y COLAS)

## INFORME DE ENSAYO

Nº. 27068

Cliente	: <u>Nirmala Carrion</u>
Dirección	: <u>Macas</u>
Tipo de Muestra	: <u>Mineral</u>
Envase	: Funda Plástica
Condición de la Muestra	: En buenas condiciones para analizar
Recepción de Muestra N°	: 18840
Fecha de Recepción de Muestras	: 2023-12-11 14:44:36.0
Fecha Inició Análisis	: 2023-12-12
Fecha Terminó Análisis	: 2023-12-12
Fecha de Emisión del Informe	: 2023-12-12

Los datos subrayados son proporcionados por el cliente. Albexus no es responsable por dicha información.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio Albexus.

Las actividades del laboratorio se realizan en la sede principal, Piñas.

Los testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses.

**CINTHIA  
MELINA  
RIOS  
AGUIJAR**  
Cynthia Ríos Aguilar  
Jefe de Laboratorio

Digitally signed by CINTHIA MELINA RIOS AGUIJAR  
DN: cn=CINTHIA MELINA RIOS AGUIJAR,  
ou=LABORATORIO DE ENSAYOS, o=ALBEXUS S.A. S.A.,  
c=EC  
Date: 2023.12.12 10:06:17  
+0500

Página 1 de 2

## INFORME DE ENSAYO

Nº. 27068

### RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Comp.	Cod.	Au	Ag
	Nº	Alb.	g/t	g/t
C1	1	110964	8.68	94.99
R1	1	110965	1.62	72.10

Comp. N°: Número de muestras que conforman el compuesto // Cod. Alb.: Código Albexxus

Los resultados solo están relacionados con los ítems de ensayo.

Las muestras fueron proporcionadas por el cliente.

#### MÉTODOS:

1. Au, Ag: ALB-MET-01. Determinación de Au y Ag por ensayo al fuego.
2. Cu, Pb, Zn, As, Fe: ALB-MET-02. Determinación de Metales por Digestión con HNO<sub>3</sub> (cc) por Absorción Atómica.
3. Au, Ag: ALB-MET-04. Determinación de Au y Ag por copelación en barras doré

#### COMENTARIOS:

FINAL DEL DOCUMENTO

**ANEXO E: ENSAYO AL FUEGO ALBEXXUS DE COLAS DE CONCENTRADO GRAVIMÉTRICO (CARBÓN)**

## INFORME DE ENSAYO

Nº. 27078

Cliente : Nirmala Carrion  
 Dirección : Macas  
 Tipo de Muestra : Carbón  
 Envase : Funda Plástica  
 Condición de la Muestra : En buenas condiciones para analizar  
 Recepción de Muestra Nº : 18855  
 Fecha de Recepción de Muestras : 2023-12-12 09:33:03.0  
 Fecha Inicó Análisis : 2023-12-12  
 Fecha Terminó Análisis : 2023-12-12  
 Fecha de Emisión del Informe : 2023-12-12

Los datos subrayados son proporcionados por el cliente. Albexus no es responsable por dicha información.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio Albexus.

Las actividades del laboratorio se realizan en la sede principal, Piñas.

Los testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses.

CINTHIA  
 MELINA  
 RIOS  
 AGUILAR  
 Cinthia Ríos Aguilar  
 Jefe de Laboratorio

Digitally signed by CINTHIA  
 MELINA RIOS AGUILAR  
 DN: cn=CINTHIA MELINA  
 RIOS AGUILAR,  
 serialNumber=2023090303,  
 o=ENTIDAD DE  
 CERTIFICACION DE  
 INFORMACION, c=ECUADOR  
 Date: 2023.12.12 18:05:54  
 +0500

Página 1 de 2

Principal Piñas: Vía Piñas - Portovela, Sector Cazadores a 500 m del Hospital Nuevo de Piñas / Teléfono: (593) 72975949 / Celular: (593) 992143528  
 Sucursal Camilo Ponce Enriquez: Av. 28 de marzo y Bo 7, frente al Municipio Antiguo / Teléfono: (593) 72430697 / Celular: (593) 980938049  
 www.albexus.com / e-mail: albexus@yahoo.com / Ecuador - Sudamérica

## INFORME DE ENSAYO

Nº. 27078

### RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Comp.	Cod.	Au*
	Nº	Alb.	g/Kg
Carbon	5	111052	0.40

Comp. N°: Número de muestras que conforman el compósito // Cod. Alb.: Código Albexus

Los ensayos marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

Los resultados solo están relacionados con los ítems de ensayo.

Las muestras fueron proporcionadas por el cliente.

#### METODOS:

1. Au, Ag: ALB-MET-01. Determinación de Au y Ag por ensayo al fuego.
2. Cu, Pb, Zn, As, Fe: ALB-MET-02. Determinación de Metales por Digestión con HNO<sub>3</sub> (cc) por Absorción Atómica.
3. Au, Ag: ALB-MET-04. Determinación de Au y Ag por copelación en barras doré

#### COMENTARIOS:

FINAL DEL DOCUMENTO



# ANEXO G: ENSAYO DE LIXIVIACIÓN ALBEXXUS COLAS DE CONCENTRADO GRAVIMÉTRICO



## INFORME DE ENSAYO Nº. 28340

Cliente	: <u>Nirmala Carrion</u>
Dirección	: <u>Macas</u>
Tipo de Muestra	: <u>Mineral</u>
Envase	: Funda Plástica
Condición de la Muestra	: En buenas condiciones para analizar
Recepción de Muestra Nº	: 19707
Fecha de Recepción de Muestras	: 2024-02-27 09:04:05.0
Fecha Inicó Análisis	: 2024-02-27
Fecha Terminó Análisis	: 2024-02-27
Fecha de Emisión del Informe	: 2024-02-28

Los datos subrayados son proporcionados por el cliente. Albexxus no es responsable por dicha información.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio Albexxus.

Las actividades del laboratorio se realizan en la sede principal, Piñías.

Los testigos de las muestras se almacenan por un periodo de 2 meses.

**CINTHIA  
MELINA  
RIOS  
AGUIJAR**  
Cinthia Rios Aguilar  
Jefe de Laboratorio

Digitally signed by Cinthia  
Melina Rios Aguilar  
DN: cn=Cinthia Melina  
Rios Aguilar, o=Albexxus  
s=Laboratorio Metalúrgico  
1924143234, c=ECUADOR  
DE CERTIFICACION  
SISTEMAS S.A. S. S. S. S.  
Date: 2024.02.28 17:09:34  
+0500

Página 1 de 2

Principal Piñías: Vía Piñías - Portovelo, Sector Cazaderos a 500 m del Hospital Nuevo de Piñías / Teléfono: (593) 72975949 / Celular: (593) 992143528  
Sucursal Camilo Ponce Enríquez: Av. 28 de marzo y Ito 7, frente al Municipio Artiguo / Teléfono: (593) 72430691 / Celular: (593) 986938049  
www.albexxus.com / e-mail: albexxus@yanhoo.com / Ecuador - Sudamérica



## INFORME DE ENSAYO Nº. 28340

### RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Comp.	Cod.	Au	Ag	#Malla <sup>2</sup>	Au CN <sup>3</sup>	Ag Cianuro <sup>4</sup>
	Nº	Alb.	g/t	g/t	%	g/t	g/t
CC-1	1	113708	28.95	153.01	200 - 00	-	-
CC-1	1	113707	-	-	-	21.90	48.83
CC-1 Relave	1	113708	5.05	104.18	-	-	-

Comp. N°: Número de muestras que conforman el compuesto // Cod. Alb.: Código Albexxus

Los ensayos marcados con (\*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

Los resultados solo están relacionados con los ítems de ensayo.

Las muestras fueron proporcionadas por el cliente.

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE IEN 19-007.

#### METODOS:

1. Au, Ag: ALB-MET-01. Determinación de Au y Ag por ensayo al fuego.
2. Cu, Pb, Zn, As, Fe: ALB-MET-02. Determinación de Metales por Digestión con HNO<sub>3</sub> [cc] por Absorción Atómica.
3. Au, Ag: ALB-MET-04. Determinación de Au y Ag por copelación en barras doré

#### COMENTARIOS:

Tiempo: 15 Horas Consumo Cal: 12,65 Kg/Tm Adición de Cianuro: 4,125 Kg/Tm Consumo Cianuro: 2,38 Kg/Tm FINAL

DEL DOCUMENTO



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 15/07/2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
Carrión Paqui Nirmala Sujej
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Recursos Naturales
<b>Carrera:</b> Minas
<b>Título a optar:</b> Ingeniera en Minas
 <b>Ing. Gregory Guillermo Cuesta Andrade MSc.</b> <b>Director del Trabajo de Titulación</b>
 <b>Ing. Josué David González Coronel MSc.</b> <b>Asesor del Trabajo de Titulación</b>