



Universidad  
Nacional  
de Loja

# **Universidad Nacional de Loja**

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

### **Maestría en Minas Mención en Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**

#### **Tratamiento y disposición final de relaves generados en la planta de Beneficio EMINZA S.A., ubicada en el cantón Santa Rosa, Provincia El Oro**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magister en minas mención en Mineralurgia y Metalurgia Extractiva.

#### **AUTOR:**

Ing. David Orlando Bravo González

#### **DIRECTOR:**

Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho Ph.D.

Loja – Ecuador

2023

*Educamos para Transformar*

## **Certificación**

Loja, 26 de junio de 2023

Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho Ph.D.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Tratamiento y disposición final de relaves generados en la planta de Beneficio EMINZA S.A., ubicada en el cantón Santa Rosa, Provincia El Oro**, previo a la obtención del título de **Magíster en Minas mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, de la autoría de la estudiante **David Orlando Bravo González, con cédula de identidad N° 1104675705** una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa

Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho Ph.D.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

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

**Firma:**

**Cédula de identidad:** 1104675705

**Fecha:** 26 de junio de 2023

**Correo electrónico:** pinkydav12@hotmail.com

**Teléfono:** 0981911632

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

Yo, **David Orlando Bravo González**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Tratamiento y disposición final de relaves generados en la Planta de Beneficio EMINZA S.A., ubicada en el Cantón Santa Rosa, Provincia El Oro**, como requisito para optar por el título de **MSc. Minas con Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

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

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

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

**Firma:**

**Autor:** David Orlando Bravo González

**Cédula:** 1104675705

**Dirección:** Loja, Manuel Vivanco y Monte Sinaí

**Correo electrónico:** pinkydav12@hotmail.com

**Teléfono:** 0981911632

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho Ph.D.

## **Dedicatoria**

Con mucho afecto dedico el presente Trabajo de Titulación a todos aquellos que han sido partícipes en este arduo proceso, a quienes que mediante su apoyo incondicional guiaron mi camino.

En primer lugar, agradezco a mi Dios bendito que nunca soltó mi mano durante toda la maestría, a mi familia por brindarme todo su apoyo para lograr este nuevo objetivo en mi desarrollo profesional.

A mis queridos padres, por formarme con valores, humildad y amor, y siempre con los mejores consejos.

A mi amada esposa, por siempre sostenerme y nunca dejarme vencer, por su fuerza y perseverancia, que han sido claros ejemplos de lucha y logros en mi vida.

A mis hermosas hijas que, con el amor más puro y sincero, han sido motivación absoluta para cumplir mis metas y poder ser ejemplo de superación para ellas.

A mis hermanos, amigos, docentes y compañeros que, con sus experiencias y sabios consejos, han llenado de enseñanzas mi vida y profesión.

Este trabajo de investigación es el resultado de muchos sacrificios y esfuerzos, pero sobre todo del empeño, perseverancia y amor, de quienes estuvieron durante todo este camino, a todos se las dedico con mucho cariño.

***David Orlando Bravo González***

## **Agradecimiento**

Principalmente agradezco a Dios por siempre brindarme sabiduría, para siempre tratar de tomar las decisiones correctas en mi vida y mi camino profesional, por nunca dejarme solo y siempre llenar mi espíritu con su fe.

A mi madre Mercy González y mi padre Orlando Bravo, por ser mis ejemplos de vida y siempre cuidar de mí, para seguir el camino correcto.

A mi esposa Claudia Luzuriaga, por estar siempre que la necesito, por sus sabios consejos, por su capacidad formativa y su gran profesionalismo, que han sido pilar fundamental en el desarrollo de mi Trabajo de Titulación.

A mi hija Julieth Bravo quien, con su ternura, amor puro, han sido motor de vida y motivación contante para lograr mis objetivos, por su paciencia y comprensión.

Al Ing. Julio Eduardo Romero Sigcho Ph.D. que, con su guía y profesionalismo, han permitido que culmine con mi proceso de investigación, gracias por su confianza estimado ingeniero.

Al Ing Hebert Raza, en la empresa EcoFluid System, por su apoyo técnico y conocimientos brindados para poder realizar el presente trabajo.

A la Universidad Nacional de Loja por permitirme formar parte de tan prestigiosa institución, a mi tutor por sus conocimientos y el tiempo dedicado a este trabajo de titulación, a mis docentes por impartir sus conocimientos y aportar a la sociedad con grandes profesionales.

***David Orlando Bravo González***

## Índice de contenido

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenido</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>xi</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>xi</b>
<b>Índice de anexos</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1. Marco legal .....	6
4.1.1. Constitución de la República del Ecuador.....	6
4.1.2. Política pública de reparación integral .....	7
4.1.3. Ley de minería .....	7
4.1.4. Código Orgánico Del Ambiente. ....	8
4.1.5. Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Ámbito Minero. ....	9
4.2. Proceso de Beneficio de Minerales (Refinamiento).....	9
4.2.1. Trituración o Chancado .....	10
4.2.2. Molienda.....	10
4.2.3. Clasificación. ....	11
4.2.4. Concentración.....	11
4.2.4.1. Concentración Gravimétrica: .....	11
4.2.4.2. Flotación: .....	11
4.3. Relaves .....	12
4.3.1. Estado del Relave .....	12
4.3.2. Características del relave .....	13
4.3.3. Gestión de relaves.....	13
4.3.4. Depósito de relaves.....	14
4.3.5. Tipos de diseño de construcción de muro para los depósitos de los relaves	15
4.3.6. Manejo de relaves .....	16
4.3.7. Tratamiento de relave deposición y almacenamiento de relaves. ....	17
4.3.7.1. Técnicas para el tratamiento de relave:.....	18
4.3.8. Disposición final de los relaves .....	19

4.4.	Caracterización de Relaves.....	20
4.4.1.	Muestreo .....	20
4.4.1.1.	Tipos de muestreos: .....	20
4.4.2.	Caracterización Física.....	21
4.4.3.	Caracterización Química .....	21
<b>5.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>23</b>
5.1.	Materiales .....	23
5.2.	Área de estudio .....	23
5.2.1.	Ubicación y acceso .....	23
5.2.2.	Geología regional .....	25
5.2.3.	Geomorfología.....	26
5.2.4.	Clima .....	27
5.2.5.	Hidrografía.....	28
5.3.	Metodología.....	28
5.3.1.	Metodología para el primer objetivo: Describir los procesos generales de la Planta de Beneficio EMINZA S.A. y la generación de los relaves producto de las etapas de concentración de minerales. ....	29
5.3.2.	Metodología para el segundo objetivo: Caracterizar el relave que genera los procesos de beneficio con el fin de describir sus condiciones para tratamiento y disposición final.....	29
5.3.2.1.	Muestreo: .....	29
5.3.2.2.	Caracterización del relave:.....	30
5.3.2.3.	Caracterización del agua: .....	33
5.3.3.	Metodología para el tercer objetivo: Evaluar una alternativa de orden técnico, económico y ambiental para el tratamiento y disposición integral de los relaves acorde a la normativa legal vigente.....	34
<b>6.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>37</b>
6.1.	Información general del área de estudio.....	37
6.2.	Geología local.....	38
6.3.	Hidrología.....	39
6.4.	Pluviosidad .....	40
6.5.	Descripción general del área de estudio .....	41
6.5.1.	Proceso de tratamiento y beneficio.....	41
6.5.1.1.	Conminución:.....	41
6.5.1.2.	Proceso de beneficio .....	42
6.5.2.	Relavera .....	43
6.6.	Caracterización del relave .....	44
6.6.1.	Caracterización física.....	44
6.6.2.	Caracterización química .....	45
6.6.3.	Caracterización mineralógica .....	45

6.7.	Tratamiento y disposición de los relaves.....	46
6.7.1.	Filtro prensa.....	46
6.7.2.	Fitorremediación.....	47
6.7.3.	Floculación.....	49
6.7.3.1.	Floculante-1110:.....	50
6.7.3.2.	Floculante-1140:.....	51
6.7.3.3.	Floculante-1145:.....	52
6.7.3.4.	Floculante-1165:.....	54
6.7.3.5.	Superfloculante HARFLOC 1140-1145:.....	55
6.7.4.	Caracterización del agua.....	56
6.8.	Disposición del relave.....	59
6.8.1.	Análisis técnico.....	61
6.8.1.1.	Filtro prensa:.....	61
6.8.1.2.	Fitorremediación:.....	62
6.8.1.3.	Floculación:.....	62
6.8.2.	Análisis económico.....	64
6.8.2.1.	Filtro prensa:.....	65
6.8.2.2.	Fitorremediación:.....	65
6.8.2.3.	Floculación:.....	66
6.8.2.4.	Resumen de los tres métodos:.....	69
6.8.3.	Análisis ambiental.....	71
<b>7.</b>	<b>Discusión.....</b>	<b>73</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>75</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>77</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>78</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>84</b>

## Índice de Tablas:

<b>Tabla 1.</b> Materiales de campo y de oficina .....	23
<b>Tabla 2.</b> Tipos de clima del cantón Santa Rosa .....	27
<b>Tabla 3.</b> Propiedades físicas del relave .....	45
<b>Tabla 4.</b> Propiedades químicas del relave .....	45
<b>Tabla 5.</b> Minerales presentes en el relave .....	45
<b>Tabla 6.</b> Ficha técnica del filtro prensa JINGJIN.....	47
<b>Tabla 7.</b> Tipos de fitorremediación .....	48
<b>Tabla 8.</b> Floculante HARFLOC -1110.....	50
<b>Tabla 9.</b> Floculante HARFLOC -1140.....	51
<b>Tabla 10.</b> Floculante HARFLOC -1145.....	52
<b>Tabla 11.</b> Parámetros a utilizar .....	53
<b>Tabla 12.</b> Floculante HARFLOC -1165.....	54
<b>Tabla 13.</b> Parámetros a utilizar .....	55
<b>Tabla 14.</b> Identificación de la muestra .....	56
<b>Tabla 15.</b> Apariencia de la muestra.....	57
<b>Tabla 16.</b> Informe de resultados de análisis fisicoquímico .....	57
<b>Tabla 17.</b> Informe de resultados de análisis químico.....	58
<b>Tabla 18.</b> Informe de resultados de análisis de metales .....	58
<b>Tabla 19.</b> Balance de masa y volumen.....	63
<b>Tabla 20.</b> Tratamiento de los relaves finos .....	63
<b>Tabla 21.</b> Resumen del balance de masa y volumen.....	63
<b>Tabla 22.</b> Dimensiones del tanque dosificador .....	64
<b>Tabla 23.</b> Comparación de costos .....	66
<b>Tabla 24.</b> Cálculo volumen .....	68
<b>Tabla 25.</b> Cálculo dimensionamiento.....	68

<b>Tabla 26.</b> Resumen métodos planteados .....	69
<b>Tabla 27.</b> Análisis de costos cuantitativos .....	70
<b>Tabla 28.</b> Análisis de costos cualitativos .....	70
<b>Tabla 29.</b> Puntuación para valoración de impactos.....	71
<b>Tabla 30.</b> Impactos negativos.....	71
<b>Tabla 31.</b> Impactos positivos .....	72

### **Índice de Figuras:**

<b>Figura 1.</b> Esquema de un tranque de relave.....	14
<b>Figura 2.</b> Métodos de construcción aguas arriba (a), aguas abajo (b) y línea central (c) .....	16
<b>Figura 3.</b> Filtro prensa.....	19
<b>Figura 4.</b> Mapa de ubicación del área minera “Los Ingleses” .....	24
<b>Figura 5.</b> Acceso al área de estudio .....	25
<b>Figura 6.</b> Geología regional de la parroquia Bellamaría.....	26
<b>Figura 7.</b> Muestreo .....	30
<b>Figura 8.</b> Metodología para la caracterización de relaves .....	33
<b>Figura 9.</b> Prueba de jarras con polímeros .....	35
<b>Figura 10.</b> Planta de tratamiento EMINZASA .....	37
<b>Figura 11.</b> Geología local superficial.....	39
<b>Figura 12.</b> Hidrografía de la concesión "Los Ingleses" .....	40
<b>Figura 13.</b> a) Trituradora de mandíbula; b) molino de bolas; c) celdas serrano .....	43
<b>Figura 14.</b> a) Relavera; b) piscina de sedimentación; c) piscina de clarificación.....	44
<b>Figura 15.</b> a) área de filtrado; b) filtro prensa.....	47
<b>Figura 16.</b> Planta Lemna minor .....	48
<b>Figura 17.</b> Proceso de sedimentación Flocculante HARFLOC 1140.....	52
<b>Figura 18.</b> Proceso de sedimentación Flocculante HARFLOC 1145.....	53

<b>Figura 19.</b> Superfloculante 1140-1145 .....	56
<b>Figura 20.</b> Disposición de las relaveras .....	60
<b>Figura 21.</b> Tanque de agitación.....	64

### **Índice de Anexos:**

<b>Anexo 1.</b> Mapa de ubicación .....	84
<b>Anexo 2.</b> Mapa de geología regional .....	85
<b>Anexo 3.</b> Mapa de geología local .....	86
<b>Anexo 4.</b> Ficha de muestreo .....	87
<b>Anexo 5.</b> Diagrama flujo de la planta .....	88
<b>Anexo 6.</b> Identificación de minerales .....	89
<b>Anexo 7.</b> Análisis de calidad de agua.....	91
<b>Anexo 8.</b> Certificado traducción del idioma inglés .....	96

## **1. Título**

**Tratamiento y disposición final de relaves generados en la Planta de Beneficio EMINZA S.A., ubicada en el Cantón Santa Rosa, Provincia El Oro.**

## 2. Resumen

El Trabajo de Titulación denominado “Tratamiento y disposición final de relaves generados en la Planta de Beneficio EMINZA S.A., ubicada en el Cantón Santa Rosa, Provincia El Oro”, está enfocado en conocer cuál es el manejo, tratamiento y la disposición final que se da a los depósitos de relave, y a su vez, poder determinar cuál sería el método de tratamiento más adecuado para aplicarlo a los sólidos sedimentados en los respectivos depósitos de relaves, para de esta manera identificar también cual será la disposición final de dichos residuos de tal forma que también se pueda reducir en cierto grado el impacto ambiental.

Por este motivo se planteó como objetivo general establecer un método para el tratamiento y la disposición final de relaves generados en la Planta de Beneficio EMINZA S.A., ubicada en el Cantón Santa Rosa, Provincia El Oro; acompañado de tres objetivos específicos, el primero de ellos se basa en describir los procesos generales de la Planta de Beneficio EMINZA S.A. y la generación de los relaves producto de las etapas de concentración de minerales; el segundo en caracterizar el relave que genera los procesos de beneficio con el fin de describir sus condiciones para tratamiento y disposición final; mientras que el tercero hace énfasis en evaluar una alternativa de orden técnico, económico y ambiental para el tratamiento y disposición integral de los relaves acorde a la normativa legal vigente.

Por ende, para cumplir adecuadamente con lo planificado se evaluaron tres técnicas de tratamiento de relaves, filtro prensa, fitorremediación y floculación; realizando también una prueba de jarras, de igual manera, se propuso un método adecuado para la disposición de los relaves, considerando el tonelaje diario, la morfología y topografía del terreno, mientras que para poder determinar una alternativa de orden técnico, económico y ambiental se realizó el análisis respectivo de cada uno de los métodos para tratamiento, obteniendo como resultados que el método que va de la mano con lo económico así como el tiempo que se tarde para realizar cada prueba, es el de floculación, que permitió emplear un superfloculante capaz de realizar una filtración mucho más rápida y eficaz; así mismo se pudo concluir que dichos métodos de igual forma resultan muy efectivos para el tratamiento de relaves, pese a que se diferencia bastante, pero cumplen adecuadamente su función, teniendo más variación en cuanto a lo económico, el tiempo y el impacto ambiental que tenga cada uno de estos procesos.

**Palabras clave:** relaves, planta de beneficio, tratamiento, impacto ambiental.

## 2.1. Abstract

The titling work is called "Treatment and final disposal of tailings generated in the EMINZA S.A. Beneficiation Plant, located in the Santa Rosa canton, El Oro province." It is focused on knowing what the management, treatment, and final disposal is of the tailing's deposits, and in turn, determining what would be the most appropriate treatment method to apply to the settled solids in the respective tailing's deposits, in order to also identify the final disposal of such waste in such a way that the environmental impact can also be reduced to a certain degree.

For this reason, the general objective was to establish a method for the treatment and final disposal of tailings generated in the EMINZA S.A. Beneficiation Plant, located in the Santa Rosa Canton, El Oro Province; accompanied by three specific objectives. The first one is based on describing the general processes of the EMINZA S.A. Processing Plant. and the generation of tailings product of the mineral concentration stages; the second to characterize the tailings that generate the beneficiation processes to describe their conditions for treatment and final disposal; while the third emphasizes evaluating a technical, economic, and environmental alternative for the comprehensive treatment and disposal of tailings under current legal regulations.

Therefore, in order to adequately comply with the plan, three tailings treatment techniques were evaluated: filter press, phytoremediation and flocculation; also carrying out a jar test, in the same way, it will be possible to determine an adequate method for the disposal of the tailings, considering the daily tonnage, the morphology and topography of the land, while in order to determine an alternative of a technical, economic and environmental order the respective analysis of each one of the methods for treatment was carried out, obtaining as results that the method that goes hand in hand with the economic as well as the time it takes to carry out each test, is the flocculation method, which helped to use a superflocculant capable of much faster and more effective filtration; Likewise, it was possible to conclude that these methods were equally effective for the treatment of tailings, despite the fact that they are quite different, but they adequately fulfill their function, having more variation in terms of economics, time and environmental impact. each of these processes.

**Keywords:** tailings, beneficiation plant, treatment, environmental impact.

### **3. Introducción**

En el Ecuador existe un gran potencial minero, lo que ha generado el interés de varios sectores empresariales y grupos sociales respecto a la explotación de estos recursos, al existir una alta demanda del refinamiento de minerales, se produce un alto contenido de relaves los mismos que ocupan demasiado espacio, además de ser un peligro constante para la población que se encuentra cerca de una planta de beneficio y de la mano van los daños ambientales que provocan dichos relaves.

Los proyectos mineros de explotación de oro a mediana y gran escala cuentan con depósitos de relaves que acumulan materiales sólidos finos que se producen en el proceso de beneficio de minerales, la composición de los sólidos sedimentados en los depósitos de relaves es muy variada y depende de las características del mineral y de los procesos físicos, químicos y metalúrgicos a los cuales ha sido sometido.

Una piscina de relaves de beneficio de oro tendrá un contenido económico, que podrá ser recuperado con los procesos metalúrgicos adecuados y la tecnología apropiada para este fin, el contenido aurífero, en el relave minero, será el más bajo de acuerdo con la tecnificación utilizada durante los procesos metalúrgicos de beneficio, transporte, almacenamiento y operación del depósito en particular.

La problemática de este trabajo es la alta generación de residuos de relaves que se produce en una planta de beneficio de minerales, dichos residuos ocupan demasiado espacio. Debido a la presencia de minerales pesados como arsénico, cianuro, etc., se genera contaminación ambiental e hídrica ya que como producto final del relave se tiene aguas negras con mineras mismas que desembocan en afluentes produciendo contaminación ambiental, a más de producir daños graves en la salud de la población.

El presente trabajo de investigación pretende analizar la situación actual de la gestión, tratamiento y disposición final de relaves mineros en la Planta de Beneficio EMINZA S.A., con el fin de identificar cual es el mejor método de tratamiento a aplicar a los sólidos sedimentados en los depósitos de relaves como también identificar cual es la disposición final de dichos residuos, también se pretende reducir el impacto ambiental, trabajando en una minería responsable.

La importancia de la presente investigación radica en los resultados que pueden alcanzar al trabajar de forma responsable en la gestión, tratamiento y disposición final de residuos producidos en la Planta de Beneficio EMINZA S.A., apegados a la normativa legal

vigente. A más de servir como guía aplicativa para el manejo y disposición final de residuos en otras plantas de beneficio.

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

**Objetivo general.**

- Establecer un método para el tratamiento y la disposición final de relaves generados en la Planta de Beneficio EMINZA S.A., ubicada en el Cantón Santa Rosa, Provincia El Oro.

**Objetivos específicos:**

- Describir los procesos generales de la Planta de Beneficio EMINZA S.A. y la generación de los relaves producto de las etapas de concentración de minerales.
- Caracterizar el relave que genera los procesos de beneficio con el fin de describir sus condiciones para tratamiento y disposición final.
- Evaluar una alternativa de orden técnico, económico y ambiental para el tratamiento y disposición integral de los relaves acorde a la normativa legal vigente.

## 4. Marco Teórico

### 4.1. Marco legal

La normativa aplicable al proyecto contempla desde las normativas superiores del estado hasta las normas técnicas, siguiendo la jerarquía de la pirámide de Kelsen como señala el Art. 425 de la Constitución de la República del Ecuador. El orden jerárquico de aplicación de las normas será el siguiente: La Constitución; los tratados y convenios internacionales; las leyes orgánicas; las leyes ordinarias; las normas regionales y las ordenanzas distritales; los decretos y reglamentos; las ordenanzas; los acuerdos y las resoluciones; y los demás actos y decisiones de los poderes públicos. (Sánchez A. , 2022).

Dentro de ellos tenemos:

- Constitución de la República del Ecuador. Registro Oficial 449 de 20-oct.-2008 Última modificación: 25-ene.-2021. Aplican artículos 14, 15, 72 y 408.
- Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente. Aplica los artículos Art. 79.- Desechos peligrosos; Art. 81.- Obligatoriedad; Art. 83.- Fases, Art. 88.- Responsabilidades, Art. 95.- Del etiquetado, Art. 96.- De la compatibilidad, Art. 123.- Del aprovechamiento.
- Política pública de reparación integral.
- Ley de Minería. Aplica artículos 1, 68, 81 y 83.
- Código orgánico penal. Título IV: Infracciones en particular aplica artículos 252, 254 y 257.
- Código Orgánico Del Ambiente aplican los artículos 173, 181, 235, 236, 238 y 239.
- Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Ámbito Minero.
- Acuerdo Ministerial No. 037: Reglamento Ambiental para actividades Mineras. Capítulo VI: Disposiciones generales de tipo técnico ambiental aplica artículos 72, 74, 76, 77, 78 y 101.
- Acuerdo Ministerial No. 026: Registro de Generadores de Desechos Peligrosos, Gestión de Desechos Peligrosos y para el Transporte de Materiales Peligrosos.

#### 4.1.1. Constitución de la República del Ecuador

La Constitución de la República del Ecuador (2021), menciona los siguientes artículos:

**Art. 14.** Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

**Art. 15.** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

**Art. 72.** La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependen de los sistemas naturales afectados.

**Art. 408.** Son de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado los recursos naturales no renovables y, en general, los productos del subsuelo, yacimientos minerales y de hidrocarburos, sustancias cuya naturaleza sea distinta de la del suelo, incluso los que se encuentren en las áreas cubiertas por las aguas del mar territorial y las zonas marítimas; así como la biodiversidad y su patrimonio genético y el espectro radioeléctrico. Estos bienes sólo podrán ser explotados en estricto cumplimiento de los principios ambientales establecidos en la Constitución.

#### ***4.1.2. Política pública de reparación integral***

La Política Pública de Reparación Integral de daños o pasivos ambientales y sociales está definida como una necesidad que tiene el Estado ecuatoriano de articular acciones que permitan restablecer las condiciones de los componentes ambientales y sociales afectados por la operación defectuosa de actividades económicas, programas o proyectos privados o estatales, en cualquier parte del territorio nacional. La política está enfocada en la reparación integral de los daños ambientales para contribuir al mejoramiento de la calidad de vida y la protección de los derechos de la naturaleza. En sus inicios esta política estaba orientada a las actividades petroleras, en la actualidad ya es aplicable para la minería

#### ***4.1.3. Ley de minería***

##### **Título I: Disposiciones fundamentales.** Capítulo I: De los preceptos generales

**Art 1.-** Del Objetivo de la Ley. - Esta ley norma el ejercicio de los derechos soberanos del Estado Ecuatoriano, para administrar, regular, controlar y gestionar el sector estratégico

minero, de conformidad con los principios de sostenibilidad, precaución, prevención y eficiencia.

**Título IV: De las obligaciones de los titulares mineros.** Capítulo I: De las obligaciones en general **Art 68.-** Seguridad e higiene minera-industrial.- Los titulares de derechos mineros tienen la obligación de preservar la salud mental y física y la vida de su personal técnico y de sus trabajadores, aplicando las normas de seguridad e higiene minera-industrial previstas en las disposiciones legales y reglamentarias pertinentes, dotándoles de servicios de salud y atención permanente, además, de condiciones higiénicas y cómodas de habitación en los campamentos estables de trabajo, según planos y especificaciones aprobados por la Agencia de Regulación y Control Minero y el Ministerio de Trabajo y Empleo. (...) (Sánchez A. , 2022)

#### ***4.1.4. Código Orgánico Del Ambiente.***

**Art 173.-** De las obligaciones del operador. El operador de un proyecto, obra y actividad, pública, privada o mixta, tendrá la obligación de prevenir, evitar, reducir y, en los casos que sea posible, eliminar los impactos y riesgos ambientales que pueda generar su actividad. Cuando se produzca algún tipo de afectación al ambiente, el operador establecerá todos los mecanismos necesarios para su restauración. (...)

**Art 181.-** De los planes de manejo ambiental. El plan de manejo ambiental será el instrumento de cumplimiento obligatorio para el operador, el mismo que comprende varios subplanes, en función de las características del proyecto, obra o actividad. La finalidad del plan de manejo será establecer en detalle y orden cronológico, las acciones cuya ejecución se requiera para prevenir, evitar, controlar, mitigar, corregir, compensar, restaurar y reparar, según corresponda. (...)

**Art. 235.-** De la gestión integral de los residuos y desechos peligrosos y especiales. Para la gestión integral de los residuos y desechos peligrosos y especiales, las políticas, lineamientos, regulación y control serán establecidas por la Autoridad Ambiental Nacional, así como los mecanismos o procedimientos para la implementación de los convenios e instrumentos internacionales ratificados por el Estado.

**Art. 236.-** Fases de la gestión integral de residuos y desechos peligrosos y especiales. Las fases para la gestión integral de los residuos y desechos peligrosos y especiales serán las definidas por la Autoridad Ambiental Nacional.

**Art. 238.-** Responsabilidades del generador. Toda persona natural o jurídica definida como generador de residuos y desechos peligrosos y especiales, es el titular y responsable del manejo ambiental de los mismos desde su generación hasta su eliminación o disposición final, de conformidad con el principio de jerarquización y las disposiciones de este Código. (...)

**Art. 239.-** Disposiciones para la gestión de residuos y desechos peligrosos y especiales. Se aplicarán las siguientes disposiciones:

1. Considerando la disponibilidad de tecnologías existentes para el transporte, eliminación o disposición final de residuos y desechos peligrosos y especiales, la Autoridad Ambiental Nacional dispondrá, de conformidad con la norma técnica, la presentación de requerimientos adicionales como parte de la regularización;
2. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales o Metropolitanos definirán las rutas de circulación y áreas de transferencia, que serán habilitadas para el transporte de residuos y desechos peligrosos y especiales; y,
3. Todo movimiento transfronterizo de residuos y desechos peligrosos y especiales, incluyendo lo relacionado a tráfico ilícito de los mismos, será regulado por la normativa específica que la Autoridad Ambiental Nacional expida para el efecto, en cumplimiento con las disposiciones nacionales e internacionales respectivas y conforme las disposiciones de este Código.

#### ***4.1.5. Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el Ámbito Minero.***

El Reglamento tiene por objeto establecer normas para la aplicación de la Ley de Minería, a fin de precautelar la seguridad y salud en el trabajo de las personas en todas las fases de la actividad minera como lo señala el Capítulo VII, Art. 27 de la Ley de Minería.

A partir este reglamento se dispondrá de los lineamientos generales para realizar la actividad de prevención de riesgos laborales bajo los regímenes especiales de minería artesanal, pequeña, mediana y gran minería.

#### **4.2. Proceso de Beneficio de Minerales (Refinamiento)**

El Centro Nacional Minero (2002), establece que el beneficio de minerales “comprende un conjunto de operaciones y/o procesos a los que se somete un mineral en bruto para extraer económicamente de él un concentrado o metal para su posterior utilización en la industria”, reconociéndose siete fases: Prospección, exploración, explotación, beneficio, fundición, refinación y comercialización, de los cuales, según se considera al beneficio uno de los más perjudiciales al ambiente cuando no tiene un debido manejo de los procesos.

#### **4.2.1. Trituración o Chancado**

El chancado es una operación unitaria o grupo de operaciones unitarias en el procesamiento de minerales, cuya función es la reducción de grandes trozos de rocas a fragmentos pequeños. La chancadora es la primera etapa de la reducción de tamaños, generalmente trabaja en seco y se realiza en dos o tres etapas que son: chancadora primaria, secundaria y ocasionalmente terciaria. (Samuel, s.f.)

Hay cuatro maneras básicas de reducir el tamaño del material que son: impacto, atrición (fricción), deslizamiento y compresión. (Samuel, s.f.)

- A. Impacto.** - Se refiere a un golpe instantáneo de un objeto moviéndose contra otro; ambos pueden estar moviéndose en cuyo caso nos encontramos ante un impacto dinámico.
- B. A fricción.** - El término es aplicado para la reducción de material, por medio de fricción entre dos superficies duras.
- C. Deslizamiento.** - La reducción de tamaño por deslizamiento, consiste en cortar por hendiduras el material.
- D. Compresión.** - En las chancadoras mayormente intervienen fuerzas de compresión, como su nombre lo indica la chancadora por compresión es hecha entre dos superficies, generalmente usan este método las chancadoras de quijada y las giratorias. (Samuel, s.f.)

#### **4.2.2. Molienda**

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

Es la operación final del proceso de conminución, y consiste en reducir de tamaño partículas procedentes de la trituración media o fina (con dimensiones por debajo de 20 mm) hasta un tamaño que se encuentra en el rango 28-200 mallas Tyler en la molienda gruesa, y menores de 325 mallas en la molienda fina. La molienda gruesa se conoce en la práctica como convencional. (Servicio Geológico Colombiano, s.f.)

### **4.2.3. Clasificación.**

Separación de una mezcla en dos o más fracciones en base al tamaño. Los sistemas de clasificación se dividen en dos categorías generales:

- **Clasificación mineral a granel:** Evalúa el metal contenido y asocia su valor en base a volúmenes, con la cantidad de material en cada una de ellas determinada por el tipo de sistema, normalmente la clasificación de mineral a granel se realiza en la cinta transportadora donde un volumen representa varios metros lineales de mineral primario chancado con un peso de entre 50 kls y cinco toneladas (NextOre, 2020).
- **Clasificación por partículas:** Evalúa las rocas o partículas individualmente y decide si son valiosas y si deben ser retenidas para su procesamiento o rechazadas. Para ello, el mineral debe ser triturado, clasificado y esparcido uniformemente en una sola capa sobre una cinta transportadora ancha por encima o por debajo de un sensor instalado. Luego se utilizan sopladores o palas neumáticas para redirigir el mineral a la línea de producto correspondiente (NextOre, 2020).

### **4.2.4. Concentración**

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

**4.2.4.1. Concentración Gravimétrica:** Son métodos de separación de minerales que utilizan el principio de la gravedad. Esta concentración es realizada en canalones, bateas y en los tanques de sedimentación y en esta etapa se producen la concentración de metales pesados como el mercurio, es decir, el oro se concentra con las partículas más pesadas en la batea, y el agua se lleva las partículas más livianas (Caicedo, 2014).

**4.2.4.2. Flotación:** Según Portal Minero S.A (2006), la flotación se define como un proceso fisicoquímico mediante el cual se produce la separación de los minerales sulfurados del metal a recuperar del resto de los minerales y especies que componen la mayor parte de la roca original.

Para Portal Minero S.A (2006), los principios básicos en que se fundamenta el proceso de la flotación son los siguientes:

- La hidrofobicidad del mineral que permite la adherencia de las partículas sólidas a las burbujas de aire.
- La formación de una espuma estable sobre la superficie del agua que permite mantener las partículas sobre la superficie

Para utilizar un proceso de flotación se requiere la adición de reactivos químicos al sistema, estos reactivos de flotación son los colectores, depresores, activadores y modificadores, cuyas acciones principales son inducir e inhibir hidrofobicidad de las partículas y darle estabilidad a la espuma formada

### **4.3. Relaves**

El relave minero es un residuo, mezcla de mineral molido con agua y otros compuestos, que queda como resultado de haber extraído los minerales sulfurados en el proceso de flotación. Este residuo, también conocido como cola, es transportado mediante canaletas o cañerías hasta lugares especialmente habilitados o tranques, donde el agua es recuperada o evaporada para quedar dispuesto finalmente como un depósito estratificado de materiales finos (arenas y limos). (Malhue, 2015)

Los relaves son almacenados en estanques o diques hechos de desechos de mina, relleno de tierra o roca, o del mismo residuo, por tanto, la fase sólida se asienta quedando en la superficie una capa acuosa, al secarse tiene problemas de polvo al ser esparcidas por el viento, estas estructuras son propensas a filtraciones provocando contaminación del suelo y agua y en otros casos pueden colapsar, si no se realiza una correcta estabilización. (Sánchez Y. , Estudio del relave minero de la planta de beneficio Santa Lucia código 191038 del sector la maravilla de la parroquia Pucará, 2019)

#### **4.3.1. Estado del Relave**

Sánchez en su estudio del relave minero de la planta de beneficio Santa Lucia código 191038 del sector la maravilla de la parroquia Pucará, (2019), menciona que el relave se clasifica según su estado en varios grupos de acuerdo al país y su legislación vigente entre los cuales se presenta:

- **Activo:** Es parte de una concesión vigente, abierta y activa.
- **Inactivo o No Activo:** Son aquellos que a la fecha de vigencia de la Ley se encontraban localizados en concesión vigente, en áreas, labores o instalaciones que estaban sin operar durante dos años o más o están paralizadas temporalmente. Son aquellas que no

reciben relaves de la concentradora y no retienen o colectan agua superficial, además, están en proceso de cierre o reapertura.

- **Abandonado:** Se considera cuando el dueño deja el sitio de carácter permanente y sin cumplimiento de las medidas de cierre o cuando el término final se manifiesta por ciertos hechos que tengan como consecuencia la imposibilidad de reanudar la actividad productiva y muchos de estos constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad.

#### **4.3.2. Características del relave**

En la industria minera hay variados procesos para la extracción de mineral y los relaves son generalmente producto de: Flotación, cianuración, carbón de pulpa, desmonte de mina, residuos de pilas de lixiviación, escorias, placeres o lavaderos de oro, concentración gravimétrica, entre otros. Las propiedades físicas y características químicas dependen del proceso de recuperación y disposición final de residuos. (Ministerio de Minas y Energía, 1997) “Las características físicas de los depósitos de relaves dependen fundamentalmente de la forma hidráulica de su deposición. Estas propiedades son importantes para comprender cómo responderá el depósito a la carga, a la infiltración y al movimiento sísmico” (Sánchez, 2019)

Al depositar el relave en pulpa se forma una playa con una leve inclinación y de acuerdo al tamaño del material se asientan, los más grueso inicialmente, las partículas más finas se disponen más lejos, y las arcillas y limos en la poza de decantación; esto crea zonas segregadas por el tamaño de grano conocidas como:

- **Arenas, arenas de relaves, o relaves arenosos:** Son materiales predominantemente más grandes que 0.074 mm lo que significa que menos del 50% son más finos que ese tamaño. (Oré & Parodi, 2008)
- **Lamas:** Son predominantemente materiales del tamaño del limo, más del 50% menor de 0.074 mm” (Sánchez, 2019).

#### **4.3.3. Gestión de relaves**

Para una adecuada gestión de relaves es necesario contar con procedimientos estandarizados y estrategias para la optimización del uso de agua. (Escobar, 2020). Las precauciones que se toman cuando termina el proceso pueden variar en gran medida según el tipo de relaves. Cuando los relaves no contienen sustancias nocivas, se drena el agua de los depósitos para asegurar la estabilidad física, luego se les da forma, se los cubre con tierra y vegetación para crear un relieve estable. En otros casos, se deberán tomar medidas a largo plazo

para asegurar la estabilidad física y química, así como el posterior uso seguro de la tierra de los depósitos de relaves (ICMM, 2020).

Las instalaciones de relaves almacenan el principal flujo de residuos de una mina. Sin una gestión apropiada, estas instalaciones representan un significativo riesgo para las comunidades y medio ambiente circundante en caso de que ocurriera una catástrofe tal como un colapso, una filtración de agua contaminada o una generación extraordinaria de polvo. (ISOMETRIX, s.f.)

#### **4.3.4. Depósito de relaves.**

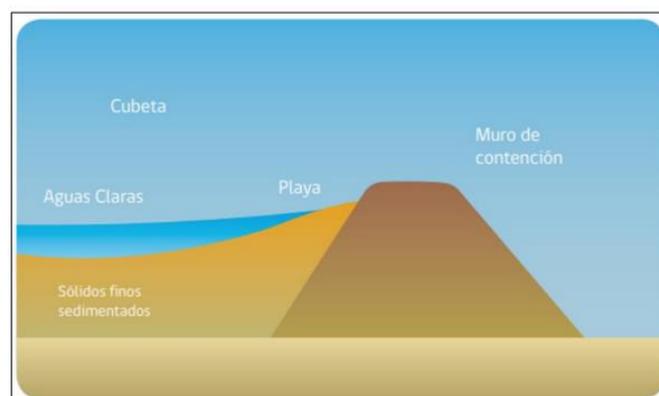
Es toda obra estructurada en forma segura para contener relaves provenientes de una planta de concentración húmeda de especies de minerales. Además, contempla sus obras anexas. Su función principal es la de servir como depósito, generalmente, definitivo de los materiales sólidos provenientes del relave transportado desde la planta, permitiendo así la recuperación, en gran medida, del agua que transporta dichos sólidos. (Malhue, 2015)

**4.3.4.1. Tipos de depósitos de Relaves:** Existen distintos tipos de relaves que se diferencia en la cantidad de agua que contiene (densidad del relave) y la forma de contener el depósito. (Servicio Nacional de Geología y Minería Chileno, 2023)

Según el Servicio Nacional de Geología y Minería Chileno, (2023), dentro de los tipos de depósitos tenemos:

- a. **Tranque de Relave:** Depósito en el cual el muro es construido por la fracción más gruesa del relave, compactado, proveniente de un hidrociclón (operación que separa sólidos gruesos de sólidos más finos, mediante impulsión por flujo de agua). La parte fina, denominada Lama, se deposita en la cubeta del depósito. (Malhue, 2015)

**Figura 1.** Esquema de un tranque de relave.



**Nota:** Cabezas, (2022)

- b. **Relave espesado:** Depósitos en el que la superficie es previamente sometida a un proceso de sedimentación, en equipo denominado Espesador, que favorece la sedimentación de los sólidos, con el objetivo de retirar parte del agua contenida, la que puede ser reutilizada para reducir el consumo hídrico de fuentes de agua limpia. El depósito de relave espesado se construye de forma tal que impida que el relave fluya a otras áreas distintas a las del sitio autorizado, y contar con un sistema de piscinas de recuperación de agua remanente que pudiese fluir fuera del depósito.
- c. **Relave Filtrado:** Es similar al espesado, es un depósito en que el material contiene aún menos agua, gracias al proceso de filtrado, para asegurar así una humedad menor a 20%. Esta filtración es también similar a la utilizada en Agua Potable.
- d. **Relave en pasta:** Corresponden a una mezcla de agua con sólido, que contiene abundantes partículas finas y bajo contenido de agua, de modo que la mezcla tenga una consistencia espesa, similar a una pulpa de alta densidad.
- e. **Otros tipos:** Existen otros tipos de depósitos de relaves, como por ejemplo los depósitos en minas subterráneas, en rajos abandonados, entre otros.

#### ***4.3.5. Tipos de diseño de construcción de muro para los depósitos de los relaves***

Los depósitos de relaves pueden tener algunos tipos de diseño de construcción de muro: aguas abajo, eje central y aguas arriba (ICMM, 2020). Los mismos se mencionan a continuación:

- **Aguas abajo:** El diseño aguas abajo comienza con una presa impermeable inicial; los relaves se descargan en la presa y, a medida que crece, se construye un muro nuevo y hace base sobre la pendiente aguas abajo de la sección anterior, de manera que la cima de la presa se mueva aguas abajo con cada crecimiento. El diseño aguas abajo se desarrolló para áreas con actividad sísmica y de muchas precipitaciones o con mucha captación de agua. (ICMM, 2020)
- **Aguas arriba:** Las construcciones aguas arriba comienzan con una presa inicial. Los relaves se descargan dentro del depósito y forman una playa de relaves. Los relaves depositados de forma contigua a la presa se pueden drenar y compactar para usarse como base para niveles posteriores del muro a medida que la presa se eleva. De esa forma, la cima de la presa se mueve aguas arriba con cada elevación. (ICMM, 2020)

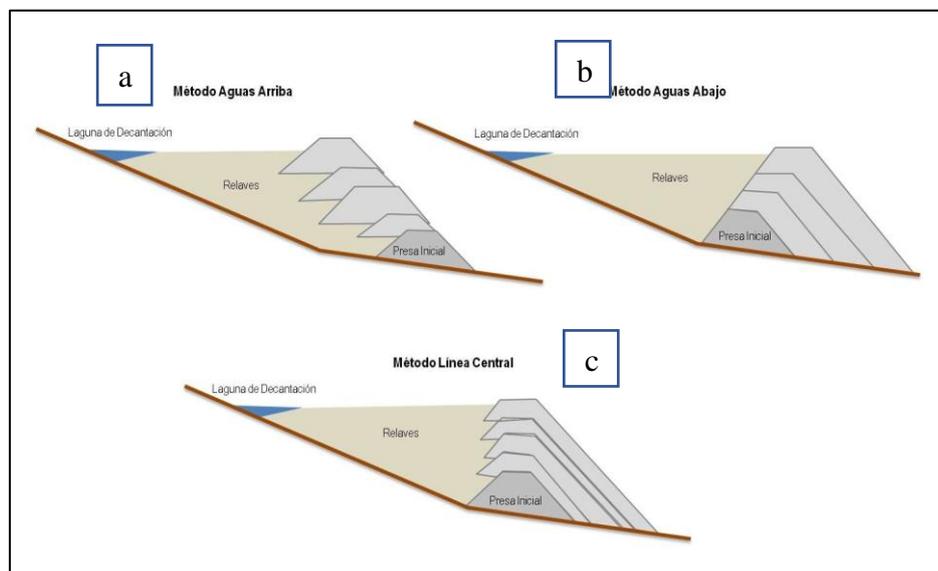
Las presas aguas arriba deben elevarse lentamente para que los relaves sólidos tengan tiempo de secarse y consolidarse lo suficiente como para soportar un nivel nuevo de la presa.

Este diseño funciona bien para instalaciones en lugares de pocas precipitaciones y con poca actividad sísmica. (ICMM, 2020)

- **Eje central:** El método de eje central es un híbrido entre el de aguas arriba y el de aguas abajo. En las construcciones de eje central, la presa se construye verticalmente a partir de la presa inicial. Por lo tanto, la cima de la represa se mantiene fija respecto de las direcciones aguas abajo y aguas arriba, a medida que la represa se eleva sucesivamente. Se puede incorporar un sistema de drenaje interno para darle más estabilidad. (ICMM, 2020)

Los métodos de construcción se indican en la siguiente Figura 2.

**Figura 2.** Métodos de construcción aguas arriba (a), aguas abajo (b) y línea central (c)



*Nota:* Padrino (2018)

#### 4.3.6. Manejo de relaves

Los residuos son transportados a su lugar de almacenamiento de varias formas diferentes. El más común es el transporte de lechada en una tubería desde los espesadores (normalmente ubicados en la planta de procesamiento) hasta los puntos de depósito situados dentro o alrededor de una instalación de almacenamiento de relaves superficiales. Las propiedades de los relaves, el tonelaje y la topografía del sitio dictan el tipo de sistema de transporte necesario para administrar los relaves de manera rentable y eficiente. (Álvarez, 2017)

De acuerdo con Australian Government citado por Álvarez, (2017), los transportes utilizados en la actualidad dependiendo de las propiedades de los relaves son los siguientes:

Para lodos son los siguientes:

- **Sistemas de tuberías bombeadas:** Transporte por tuberías mediante sistemas de bombeo centrífugos o de desplazamiento positivo.
- **Sistema de tubería de presión de gravitación:** Cuando la instalación de almacenamiento se encuentra a una elevación más baja en comparación con la planta de procesamiento y los relaves pueden fluir sin necesidad de un sistema de bombeo. Pueden ser necesarias disipaciones de energía tales como cajas de caída o coquillas para evitar altas velocidades de flujo y el posterior desgaste en el sistema de tuberías. (Alvarez, 2017)
- **Canal (launder):** Un sistema de lavado abierto (o tapado) de hormigón donde los residuos fluyen gravitacionalmente con una superficie libre como una suspensión de baja densidad (relaves convencionales). Este sistema de transporte no es adecuado para relaves espesados de alta densidad debido a sus propiedades reológicas. Cuando se bombea la suspensión de relaves, se debe considerar la reología de los mismos y las capacidades del sistema de bombeo. A mayor concentración de sólidos en la suspensión de relaves, mayor tensión de rendimiento y más difícil es el bombeo. (Alvarez, 2017)

Para torta húmeda (relaves filtrados) son los siguientes

- **Cinta transportadora:** Se utiliza para transportar los relaves filtrados (o arenas de ciclón gruesas) como una torta húmeda (normalmente con un contenido de humedad inferior al 18%) hasta un punto de eliminación (pila seca).
- **Camión:** Es el más viable cuando se realizan operaciones con bajo tonelaje de relaves, así como cuando el terreno es difícil y no permite la construcción de una cinta transportadora.

#### ***4.3.7. Tratamiento de relave deposición y almacenamiento de relaves.***

Debido a los problemas causados por el consumo excesivo de agua en la actividad minera y el volumen resultante de relaves generados, se han desarrollado diferentes técnicas de gestión de relaves, como el espesamiento y el filtrado, que optimizan el uso del agua, haciendo el proceso más sostenible. Además, como consecuencia de la reducción de agua, la ocupación de la tierra y el riesgo de fracaso se reducen también. (Alvarez, 2017)

Entre las diferentes técnicas de almacenamiento de relaves, la más común es el almacenamiento convencional. La instalación principal del embalse convencional es un

terraplén para retener los relaves y el agua. El colapso de estos terraplenes conlleva daños catastróficos al medio ambiente y la seguridad pública, causando incluso la pérdida de vidas humanas, tanto durante las fases de operación como en las fases de cierre posteriores. (Alvarez, 2017)

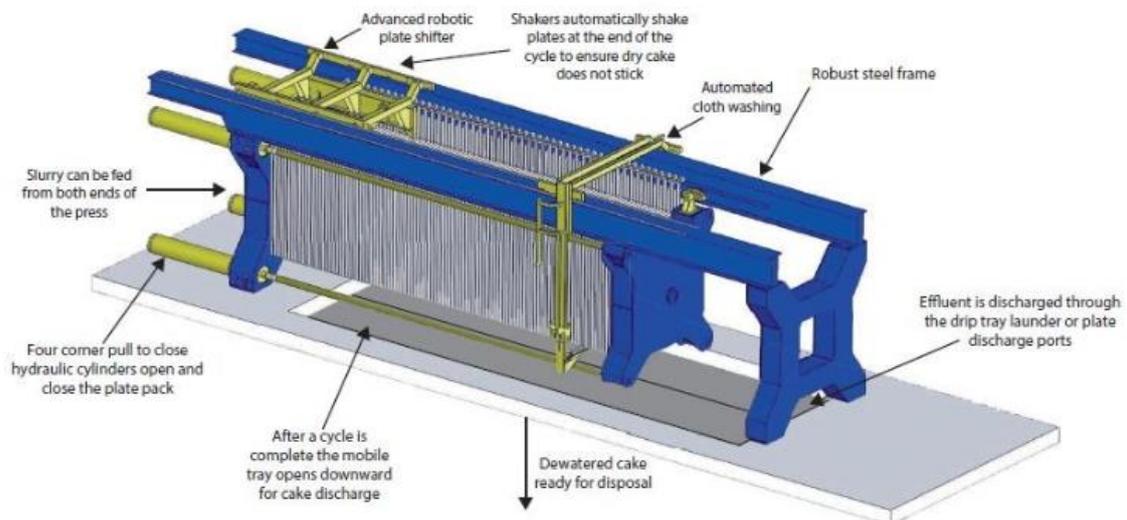
**4.3.7.1. Técnicas para el tratamiento de relave:** Dentro de las técnicas a evaluar en nuestro estudio tenemos:

- **Fitorremediación:** La fitorremediación es una de las ramas de la biorremediación que utiliza plantas y microorganismos asociados a la raíz para remover, transformar o acumular sustancias contaminantes localizadas en suelos, sedimentos, acuíferos, cuerpos de agua e incluso en la atmósfera (Biorremedia S.A, (S/F)) Se refiere al tratamiento de problemas medioambientales mediante el uso de plantas, un proceso más sencillo y muchos menos costosos que modalidades tradicionales, como excavar el material contaminante y depositarlo en un lugar controlado. Asimismo, como el resto de las modalidades de biorremediación, se evita el impacto ecológico de la maquinaria y el transporte de las sustancias peligrosas, que además debes ser almacenadas y no desaparecen. (Malhue, 2015).
- **Tecnología de filtrado:** El filtrado es un proceso de separación sólido-líquido, que permite una mayor recuperación de agua que la depositación convencional y el espesamiento de relaves; del orden de dos veces. El proceso de separación se realiza, ya sea por medio de presión o mediante el vacío, lo que determina el tipo de filtro a utilizar. Para la elección de la tecnología a aplicar (presión o vacío) es necesario conocer, entre otros factores: las propiedades de la pulpa, las características del sólido, el tonelaje a tratar, etc. (Capone, 2016).
- **Filtro prensa:** En las últimas décadas los filtros de prensa han tenido importantes avances tecnológicos, con relevantes aumentos de capacidad, de hasta 13000 TMPD dependiendo de las características de los relaves. Esto los ha transformado en una tecnología de gran interés en la actualidad. Otras características de los filtros de prensa que lo hacen atractivo con respecto a los filtros de banda para grandes producciones de relaves, con el desarrollo tecnológico actual, es el menor consumo de energía, y el área requerida para sus instalaciones es mucho menor. Además, el filtrado de los finos del relave es eficiente, por lo que no requiere obligatoriamente la separación previa mediante ciclones, y se puede filtrar relave integral con buenos rendimientos (Capone, 2016).

Un filtro de prensa se compone de una serie de placas verticales, yuxtapuestas y acopladas (Ver Figura 4). Las placas prensadas entre ellas cuentan con un sistema hidráulico neumático que permite su apertura o cierre. Entre las placas existen membranas filtrantes por ambos lados de la placa. El llenado de las cámaras se realiza mediante una bomba de relaves, a través de orificios se alimenta el sistema para ser prensado en cada cámara de filtración, los que están generalmente colocados en el centro de estas placas permitiendo una distribución adecuada del flujo, presión adecuada y mejor drenaje del relave dentro de la cámara. (Capone, 2016).

Lodos sólidos se acumulan gradualmente en la cámara de filtración hasta que se genera una pasta compacta final. El agua filtrada se colecta en la parte de atrás del soporte de filtración mediante ductos internos. El sistema generalmente cuenta con un sistema de inyección de aire a presión que permite soplar el material y obtener humedades menores. Finalmente, el queque filtrado en cada placa que se descarga abriendo las placas mediante un sistema hidráulico, dejando caer el material filtrado sobre una correa recolectora (Capone, 2016).

**Figura 3.** Filtro prensa



*Nota:* Industry Manager Mining ECN Automation, (2020)

#### 4.3.8. Disposición final de los relaves

El proceso de disposición final de los relaves es el siguiente:

- Relleno hidráulico de relaves secos en las galerías existentes por la explotación del proyecto minero Río Blanco.

- Utilización de los relaves para fabricación de ladrillos, depende análisis físico químico del sedimento.
- Cierre técnico del depósito de relaves.

#### 4.4. Caracterización de Relaves

Entre los diferentes métodos que existen para la caracterización de las muestras, se debe empezar por los más simples relacionados con obtener información de los elementos, compuestos presentes, cantidades y concentraciones.

##### 4.4.1. Muestreo

El proceso del muestreo es un conjunto de trabajos encaminados a determinar la composición (cuantitativa y cualitativa) de los componentes útiles e impurezas del mineral (GEOXNET, 2023).

**4.4.1.1. Tipos de muestreos:** (Casal & Enric, 2003) mencionan los siguientes tipos de muestreo:

- **Muestreo por selección intencionada (muestreo por conveniencia):** Consiste en la elección por métodos no aleatorios de una muestra cuyas características sean similares a las de la población objetivo. En este tipo de muestreos la representatividad la determina el investigador de modo subjetivo.
- **Muestreo aleatorio:** En el muestreo aleatorio todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser elegidos. Los individuos que formarán parte de la muestra se elegirán al azar mediante números aleatorios. Existen varios métodos para obtener números aleatorios, los más frecuentes son la utilización de tablas de números aleatorios o generarlos por ordenador.
- **Muestreo a partir del material ya extraído (“grab sampling”):** Consiste en la recogida de muestras grandes a partir del material ya extraído y acumulado en los frentes o bien en las zonas de acopio, así como de las vagonetas y otros medios de transporte empleados para el movimiento del mineral. Se recogen muestras de varios kilogramos, aunque la cantidad adecuada depende del tamaño de los fragmentos grandes y de la naturaleza de la mineralización, tal como se verá en un apartado posterior (IngeOexpert, s. f.).

#### 4.4.2. Caracterización Física

(Carlos et al., 2013), la caracterización física de los relaves incluye las siguientes características:

- **Granulometría:** Análisis granulométrico se define como la medición de los granos de una fracción de suelo o muestra sedimentaria, el análisis mecánico determina el rango de tamaños de las partículas presentes expresado en porcentaje del total de una muestra seca
- **Conductividad Eléctrica (CE):** Es una propiedad física que tienen algunos minerales que pueden conducir la electricidad según el tipo de enlaces que tengan. Así, según sus enlaces, los minerales pueden ser:
  1. **Conductores de la electricidad.** Los metales nativos, los sulfuros, el grafito y algunos óxidos. Son minerales con enlaces puramente metálico, son buenos conductores eléctricos.
  2. **Semiconductores:** Los sulfuros de los metales de transición. Su enlace es parcialmente metálico.
  3. **Dieléctricos o malos conductores de la electricidad.** La mayoría de los minerales que contienen oxígeno, como *silicatos, carbonatos, óxidos*, etc., son aislantes. Sus enlaces son iónicos o covalentes.
- **Densidad:** La densidad es una propiedad física de la materia que describe el grado de compacidad de una sustancia. La densidad describe cuán unidos están los átomos de un elemento o las moléculas de un compuesto. Mientras más unidas están las partículas individuales de una sustancia, más densa es la sustancia. Para el análisis de las rocas se hace uso de la densidad real y aparente (ASTM D 4254, 1996).

#### 4.4.3. Caracterización Química

La caracterización química incluye:

- **Análisis Químicos:** Estas técnicas son la primera aproximación para obtener información de diferentes materiales. Permiten conocer principalmente la cantidad de elementos químicos y sus concentraciones (Villanueva, 2019).
- **Potencial de Hidrogeno (pH):** Según la clasificación de los rangos de pH de los suelos del Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos, los relaves entre superficie y los 0.5 m corresponden a “ultra ácidos - extremadamente ácidos”, de los 0.50 m a 1.0 de profundidad a “fuertemente ácidos - ligeramente ácidos” y para

aquellos de mayor profundidad a “neutros - muy fuertemente alcalinos”. (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, 2022).

## 5. Metodología

### 5.1. Materiales

Los materiales empleados en el desarrollo del presente trabajo se agrupan en dos categorías; los materiales de campo y los materiales de oficina, los cuales se detallan a continuación:

**Tabla 1.** Materiales de campo y de oficina

<b>Materiales de campo</b>	<b>Materiales de oficina</b>
Libreta de campo	Software Arcgis 10.5
Dron	Software Autocad 2018
GPS	Global Mapper
Martillo geológico	Documentos Bibliográficos
Cinta métrica	Cartas geológicas
Brújula Brunton	Infoplan
Equipo de protección personal	Paquete de office 2019
Cámara fotográfica	
Fundas plásticas	
Pala	
Hojas geológicas	

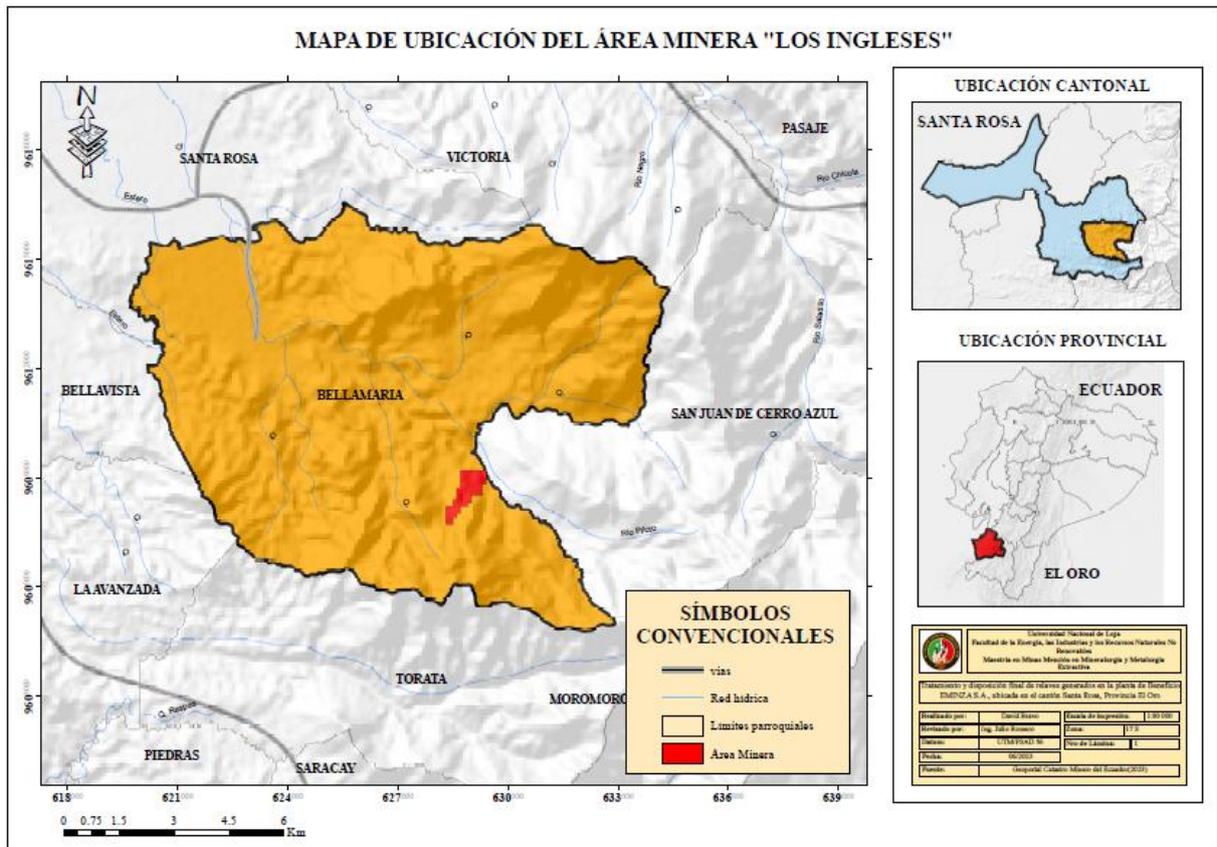
*Nota:* Elaborado por El Autor

### 5.2. Área de estudio

#### 5.2.1. Ubicación y acceso

La planta de tratamiento EMINZA S.A. se encuentra ubicada en la provincia de El Oro, en el cantón Santa Rosa, en la parroquia Bellamaría, específicamente en el sector de Birón (Ver Figura 4).

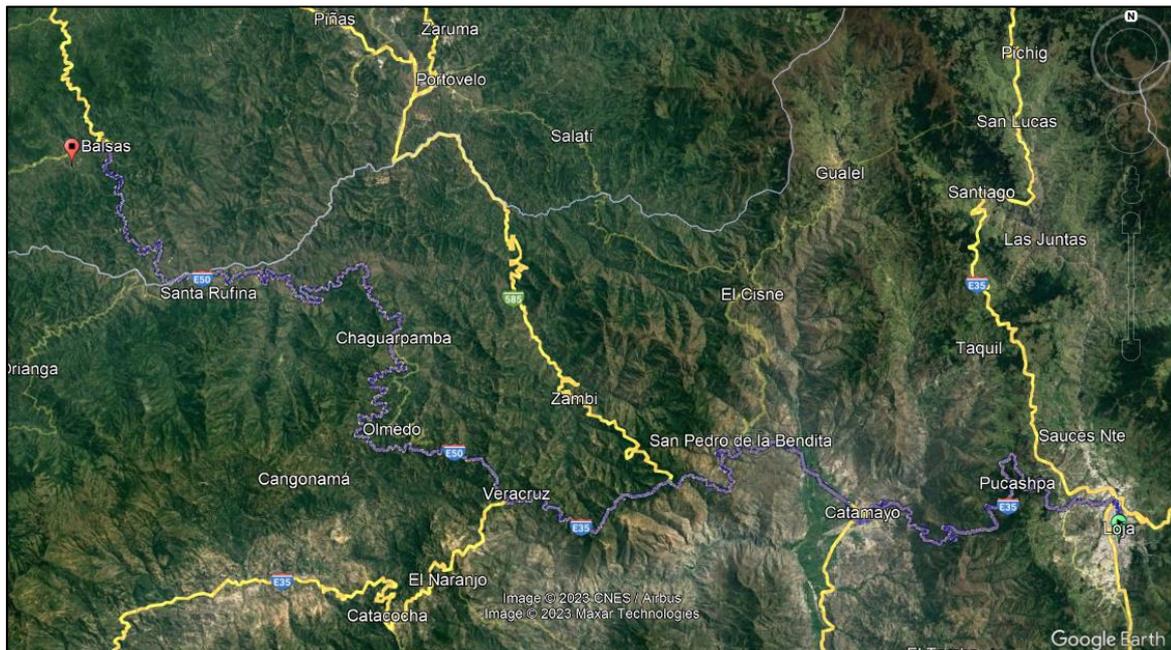
**Figura 4.** Mapa de ubicación del área minera “Los Ingleses”



*Nota:* Elaborado por El Autor

Para trasladarse al área de estudio se toma la vía Panamericana Isidro Ayora/ Troncal de la Sierra vía a la costa se continúa por la vía Balsas-Marcabelí, que permite la integración del cantón Santa Rosa con las provincias del Norte del país (Guayas y Loja) y el Sur de la república del Perú, por esta razón, y por su ubicación en el centro de la provincia, su cabecera cantonal es considerada una ciudad de paso. (GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN SANTA ROSA, 2019-2023). a planta de tratamiento EMINZA S.A.

**Figura 5.** Acceso al área de estudio



*Nota:* Tomado de Google Earth, (2023)

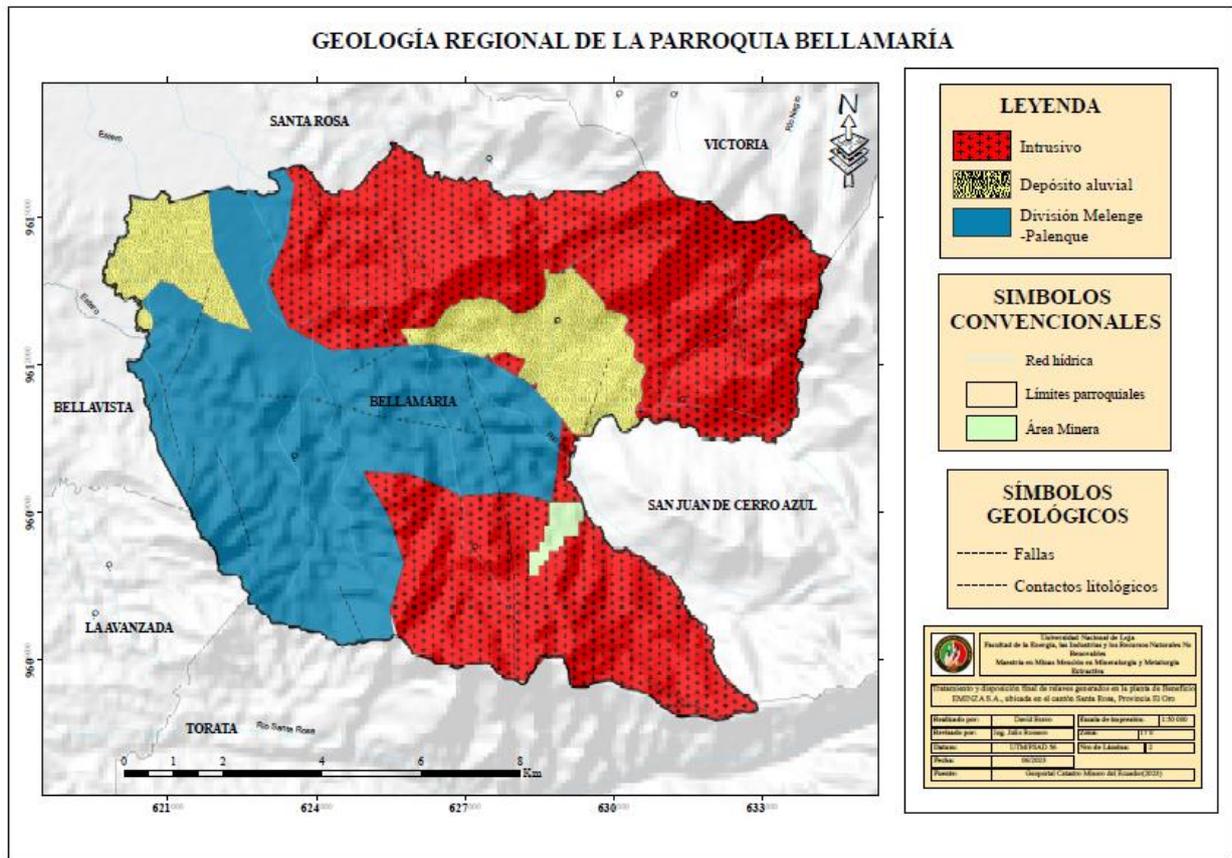
### 5.2.2. Geología regional

Según la hoja geológica de Santa Rosa (2017), la geología regional está compuesta por los siguientes grupos y unidades:

- **Depósitos aluviales:** Material que se extiende desde el pie de la cordillera hasta el borde litoral depositados junto a los cauces de todos los ríos de la zona de estudio en especial en los ríos San Agustín, Calaguro, Arenilla y Santa Rosa; cubriendo una vasta llanura al oeste de la hoja. comprenden gravas, arenas, limos y arcillas no consolidados.
- **Depósitos de llanura aluvial (QLa):** Se ubican al oeste de la zona de estudio. Comprenden el cordón litoral y las barreras de arena que se originan en el límite costanero por acción del mar, depositados desde la línea de costa.
- **División Melange Palenque (Jkp).** Es interpretada como la matriz de un complejo regional de melange que comprende rocas meta sedimentarias de grado bajo a medio. Está constituida por filitas esquistosas, pizarras, cuarcitas, esquistos cuarzo - feldespáticos, esquistos cuarzo - sericíticos y esquistos cloríticos. Se han realizado varios intentos directos para datar la edad del melange, con resultados infructuosos, sin embargo, en base a consideraciones geológicas regionales, se interpreta una edad Jurásica tardía a Cretácica temprana (Aspden y otros, 1995 citado por (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2017).

A continuación, en la Figura 6 se detallan los grupos y unidades mencionadas anteriormente.

**Figura 6.** Geología regional de la parroquia Bellamaría



*Nota:* Elaborado por El Autor

### 5.2.3. Geomorfología

Esta zona se caracteriza por tener factores geográficos con predominio de relieves montañosos con una espesa vegetación tropical y húmeda que generó durante el cuaternario y previo a este una descomposición de las litologías presentes favoreciendo los procesos erosivos a través de cuerpos de agua muy dinámicos y colapsos locales de roca y suelo que han modelado el terreno y permitido la aparición de estructuras mineralizadas.

Se confirma que los macizos corresponden básicamente al complejo metamórfico compuesto de esquistos verdes y negros, gneis, cuarcitas y meta sedimentos con relieves que presentan una fuerte pendiente.

#### 5.2.4. Clima

- **Isotermas (Temperatura):** Mediante este análisis de las isotermas, se puede determinar que las zonas que poseen una temperatura entre los 24 y 26 °C, abarcan el 80,06 % de la superficie del cantón, equivalente a 66.050,33 ha, abarcando la mayor parte de cantón desde Bellamaría y Torata, hacia el oeste, cubriendo también todo el Archipiélago de Jambelí. (Gad Municipal de Santa Rosa, 2014-2017)

La temperatura disminuye conforme se vaya acercando hacia las estribaciones de la cordillera de los Andes, específicamente hacia el lado este del cantón. Como sucede en la parte oriental Bellamaría y Torata donde la temperatura fluctúa entre los 22 y 24 ° C, cubriendo una extensión de 11.592,76 ha, equivalentes al 14,05 % del área total, del cantón. (Gad Municipal de Santa Rosa, 2014-2017).

- **Isoyetas (lluvias):** La precipitación en el Cantón Santa Rosa fluctúa entre los 0 y 1.250 mm de precipitación total anual; la precipitación disminuye conforme se va acercando hacia el Océano Pacífico, este fenómeno se debe a la incidencia directa de la corriente marina fría de Humboldt, que disminuye la condensación y la formación de lluvia. En cambio, en el lado oriental del cantón la precipitación es mayor por la formación de lluvias orográficas originadas en la cordillera de los Andes.

Las zonas que poseen un rango de precipitación entre los 0 y 500 mm, abarcan una extensión de 13.239,88 ha, equivalentes al 16,05 % de la superficie del cantón, ubicándose en la parte norte y occidental del Archipiélago de Jambelí (Costa Rica). Por su parte, las zonas con una precipitación total anual entre 500 y 750 mm se ubican en la parte central del archipiélago abarcando una superficie del 34,37% que corresponde a 28.355,21 ha; y en la parte continental del cantón en las localidades de Santa Rosa, Bellavista precipitaciones que fluctúan entre los 750 y 1.000 mm, se ubican en la parte nororiental, centro y sur del cantón, en Victoria, Bellamaría y Torata, extendiéndose por 38.787,22 ha (47,01 % de la superficie del cantón). (Gad Municipal de Santa Rosa, 2014-2017).

- **Pisos Climáticos:** En la Tabla 2 se describe la superficie que abarca cada tipo climático dentro del territorio.

**Tabla 2.** Tipos de clima del cantón Santa Rosa

Tipo de Clima	Área (ha)	Porcentaje (%)
Ecuatorial Mesotérmico Semi Húmedo	4.688,68	5,68

Tropical Megatérmico Seco	64.455,35	78,13
Tropical Megatérmico Semi Árido	13.360,52	16,19
Total	82.504,55	100,00

*Nota:* GAD de Santa Rosa (2014-2017)

Es importante señalar que cada tipo climático descrito en el cuadro anterior presenta características que diferencia a cada una de estas zonas por su temperatura, precipitación, humedad relativa entre las más importantes (Gad Municipal de Santa Rosa, 2014-2017)

### **5.2.5. Hidrografía**

Según El Gad Municipal de Santa Rosa (2019-2023), el cantón Santa Rosa cuenta con dos cuencas hidrográficas de importancia en la provincia:

- La cuenca del río Santa Rosa: Es la más representativa en el cantón pues comprende una cobertura superficial de 76,63% sobre el territorio, equivalente a 435,46 km<sup>2</sup>.
- La cuenca del río Arenillas: Ocupa sobre el cantón una superficie de drenaje de 23,38%, equivalente a un área territorial de 132,84 km<sup>2</sup>.

### **5.3. Desarrollo de la Metodología**

En búsqueda de la respuesta al problema científico ¿Cómo es el Tratamiento y disposición final de los relaves generados en la Planta de Beneficio de la empresa minera EMINZA S.A. Ubicada en el Cantón Santa Rosa, Provincia de El Oro?; que emerge de la generación de residuos, producto de los procesos industriales para obtención de minerales. El enfoque de la ruta mixta de investigación brindó un panorama completo en donde se contrasta a lo descrito por (Hernández-Sampieri & Mendoza Torres, 2020) “los métodos mixtos o híbridos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos” (pág. 10). Los métodos científicos como la observación, análisis de laboratorio, informes de ensayos aplicados permitieron el desarrollo de los objetivos que responden al problema científico planteado.

Para llegar a establecer un método para el tratamiento y la disposición final de relaves generados en la Planta de Beneficio EMINZA S.A., ubicada en el Cantón Santa Rosa, Provincia El Oro, fue necesario conocer las características técnicas de la planta y la cantidad de relave que produce dicha planta, mediante la recopilación de datos de campo, fundamentado en el criterio de (Muñoz Razo, 2011) quien define al propósito de la recolección de datos en

“estudiar las características, conductas y peculiaridades del tema de estudio y establecer una comparación con la teoría existente sobre el tema, para corroborarla, complementarla o refutarla, y así generar nuevos conocimientos sobre el objeto de estudio” (pág. 25).

De manera general se divide la metodología en tres fases:

- **Fase de campo:** Comprendió la descripción visual del área de estudio y el muestreo.
- **Fase de laboratorio:** Se realizó los análisis de densidad, granulometría, contenido de humedad, pH, conductividad eléctrica, y análisis mineralógicos.
- **Fase de oficina:** Se evaluaron los datos previamente obtenidos y se realizaron los cálculos correspondientes para obtener el tratamiento y gestión adecuado de los relaves.

**5.3.1. Metodología para el primer objetivo: Describir los procesos generales de la Planta de Beneficio EMINZA S.A. y la generación de los relaves producto de las etapas de concentración de minerales.**

- **Descripción del área de estudio:** Se describió los procesos generales de la Planta de Beneficio EMINZA S.A. y la generación de los relaves producto de las etapas de concentración de minerales mediante la aplicación del método cualitativo de la observación, así mismo, se identificó in situ cuales son los procesos que la planta de beneficio EMINZA S.A aplica en el beneficio de minerales y posteriormente en la generación de relaves.

**5.3.2. Metodología para el segundo objetivo: Caracterizar el relave que genera los procesos de beneficio con el fin de describir sus condiciones para tratamiento y disposición final.**

**5.3.2.1. Muestreo:** Para la toma de muestras en este estudio se utilizó el muestreo al azar, se seleccionó el muestreo aleatorio simple (es un proceso en el que cada integrante del público objetivo y cada muestra posible, tienen la misma posibilidad de ser elegidos).

Las muestras de material sólido de relave fueron tomadas en fundas ziploc, mismas que fueron codificadas para su identificación (Ver Figura 7). Las muestras de material líquido fueron recolectadas en un valde de 20 L.

Para análisis geotécnico se requieren 5 Kg de residuo al cual se cuartea, se toma 1 kg de muestra y se procede a determinar el porcentaje de humedad. A la muestra seca se realiza análisis químicos como la determinación de metales por el método de absorción atómica.

**Punto de muestreo:**

Se tomó 10 L de lodo en el punto de descarga a relavera en las siguientes coordenadas georreferenciadas UTM/PSAD56:

X: 629027 E      Y: 9608981 N      Z: 276 msnm

La muestra fue homogeneizada y agitada finalmente se extrajo una porción de 2 L para ser distribuida en los vasos de precipitación para realizar la prueba de jarras.

**Figura 7.** Muestreo



*Nota:* Elaborado por El Autor

**5.3.2.2. Caracterización del relave:** Se realizaron ensayos de laboratorio como el análisis geoquímico, la caracterización fisicoquímica del material sólido y el análisis de agua residual, agua natural – superficial, agua de consumo. Para ello se tuvieron que analizar los siguientes parámetros:

Entre los diferentes métodos que existen para la caracterización de las muestras, se debe empezar por los más simples relacionados con obtener información de los elementos, compuestos presentes, cantidades y concentraciones.

**Propiedades físicas:** Éstas fueron determinadas en el laboratorio acreditado GRUNtec, en donde se obtuvieron las propiedades que se mencionan a continuación:

- **Densidad:** Sirvió para poder determinar la capacidad de sedimentación del relave y de esta manera, gestionar una adecuada disposición de los lodos.

Se determinó a través del método del picnómetro que consiste en que se debe llenar el picnómetro de agua y pesar (M1), luego se tendrá que vaciar la mitad del líquido y volver a pesar (M2), el paso siguiente consiste en añadir el sólido que se desea medir y pesar

nuevamente (M3), a continuación de ello, se eliminan las burbujas de aire por completo. Finalmente, se debe volver a llenar el picnómetro de agua, teniendo cuidado de no formar burbujas (M4).

- **Granulometría:** Esta prueba se realiza con la finalidad de lograr una mejor clasificación de tamaño del relave, y un mayor grado de liberación de minerales valiosos, el ensayo de granulometría se realizó de la siguiente manera:

Se seleccionó 300 g mediante el método del cuarteo mecánico dentro d 1 Kg de la muestra y se procedió a secar las muestras en el horno a 110°C durante 24 horas, posteriormente se e seleccionó el set de tamices de mallas 4, 8 16, 30, 50, 100 y 200 con los tamaños que se requirieron para acomodarlo de forma decreciente; se pesó la muestra inicial para luego colocarlo en la torre de tamices creadas en el paso anterior y se tamizó por 5 minutos, seguido de eso, se pesó lo retenido en cada tamiz y se anotó el valor obtenido, finalmente se procedió con los cálculos del % Retenido, mediante la ecuación 1:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso parcial}}{\text{Peso total}} * 100$$

Luego se calculó el % Retenido Acumulado, mediante la siguiente ecuación 2:

$$\% \text{ Retenido acumulado} = \sum \text{ de los } \% \text{ retenidos en los tamices de mayor tamaño}$$

Finalmente se procedió a calcular el % del pasante acumulado con la ecuación 3.

$$\% \text{ Pasante acumulado} = 100 \% - \% \text{ Pasante Retenido}$$

Para el cálculo de % de material fina se repite el proceso, pero con una masa total de 66.39 g tamizada atreves de la malla de 100.

- **Contenido de humedad:** Se empleó con la finalidad de poder determinar la cantidad de líquido que se encuentre contenido en el relave y de esta manera conocer que cantidad de agua puede recircular.
- **Concentración gravimétrica:** Se realizó la preparación de la muestra, reduciendo su tamaño a una granulometría adecuada, pasante malla #200 (95 μm), con la granulometría adecuada se cuarteó el material hasta obtener una muestra de entre los 500 y 400 gr, la cual se utilizó para la concentración en una mesa vibratoria, de igual manera, se colocó los canales de flujo de la mesa vibratoria, y los recipientes donde van a almacenarse el concentrado y el relave.

Posteriormente se abrió las llaves para regular el flujo de agua adecuado para la concentración, se encendió la mesa y se ajustó la amplitud de las vibraciones de la misma para el ensayo, además de eso, se colocó la muestra en la zona de alimentación de la mesa vibratoria.

Se verificó que el ensayo se realice con la menor pérdida de material posible, una vez finalizada la concentración, se decantó el concentrado y las colas, así mismo se secó el concentrado y las colas en el horno para finalmente analizar el centrado en un respectivo microscopio binocular.

**Propiedades químicas:** Fueron realizadas de igual manera en el Laboratorio Gruntec, obteniendo las siguientes:

- **pH:** Permitted evaluar el grado de acidez, basicidad o neutralidad que presentaron cada una de las muestras.
- **Conductividad eléctrica:** Fue de utilidad para poder determinar la capacidad de conducción de corriente eléctrica.

Para determinar el pH y la conductividad eléctrica se pesó 15 g de relave seco, se tamizó y se homogenizó, al relave homogenizado se procedió a colocarlo en un vaso de precipitación de 100 mL más 25 mL de agua destilada; dicha mezcla se agitó durante alrededor de 30 min, posterior a ello, se dejó en reposo por 1 hora, de tal forma que pueda favorecer la decantación; con la ayuda del peachímetro se realizó la correspondiente medición del pH de la muestra y con el conductímetro se leyó la conductividad eléctrica de la muestra.

**Propiedades mineralógicas:** Estas propiedades fueron llevadas a cabo en el Laboratorio certificado ALBEXXUS.

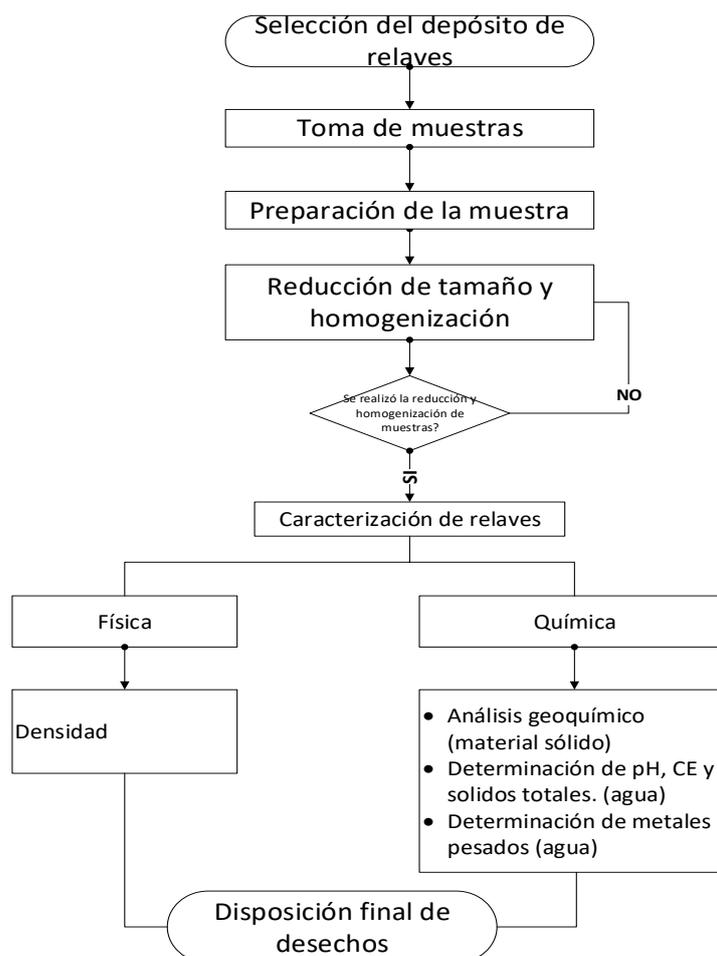
- **Espectrofotometría de absorción atómica:** Se la realizó con el objetivo de conocer que elementos se encuentran en el relave, así como la posible existencia de minerales penalizantes.

La Figura 9. muestra el proceso realizado para la caracterización de relaves

- **Ensayo al fuego:** Fue de utilidad para la identificación de manera cualitativa de plata y oro, mientras que para la cuantificación de los mismos metales se aplicó el método de copelación en barras dore.

En la Figura 8, se esquematizó la metodología para el segundo objetivo:

**Figura 8.** Metodología para la caracterización de relaves



*Nota:* Elaborado por El Autor

**5.3.2.3. Caracterización del agua:** Se efectuaron pruebas de gravedad específica, absorción de agua, pH y conductividad eléctrica, mismas que se mencionan a continuación:

- **Gravedad específica y Absorción de agua**

Primero se secó la muestra al sol, luego se obtuvo 1Kg de muestra mediante cuarteo, posteriormente se procedió a secar en el horno por 24h, después se sumergió la muestra en agua por 24h, se decantó el exceso de agua, teniendo el cuidado respectivo para no perder muestra, seguido de eso, se la procedió a colocar en un recipiente de secado y luego se colocó el conjunto en la planta de calentamiento a 100°C. Se movió la muestra de manera constante con la ayuda del palustre y luego, con el empleo del cono de absorción de arena y el apisonador se verificó el estado saturado superficialmente seco.

Se pesó el frasco volumétrico y se tomó 500 g de la masa en estado saturado superficialmente seco y se la colocó dentro de dicho frasco con la ayuda del embudo, se procedió a llenar con agua hasta 5mm por encima de la muestra y luego se puso una franela en

una superficie plana, en donde, se enroló el frasco volumétrico y se agitó continuamente para llenar los vacíos con agua; finalmente, luego del rolado se lo dejó reposar por 5 minutos.

Se llenó con agua hasta la marca de calibración y se tomó el peso del conjunto de frasco + agua + muestra, posteriormente se vertió el contenido que está dentro del frasco en un recipiente, que luego se dejó secar en un horno a 110°C por 24 h y se procedió a pesarlo en seco.

### ***5.3.3. Metodología para el tercer objetivo: Evaluar una alternativa de orden técnico, económico y ambiental para el tratamiento y disposición integral de los relaves acorde a la normativa legal vigente.***

La aplicación de este método se consideró partiendo del concepto de (Muñoz Razo, 2011) “consiste en la separación de las partes de un todo con la finalidad de estudiarlas en forma individual (análisis) para después efectuar la reunión racional de los elementos dispersos y estudiarlos en su totalidad (síntesis)” (pág. 217).

Para establecer un método para el tratamiento y la disposición final de relaves generados en la planta de Beneficio EMINZA S.A, se debe considerar el resultado de los modelos de balance de masa y agua del proceso de beneficio del mineral, además del resultado del análisis físico químico del agua y del sedimento que constituye el relave como también de la infraestructura que posee la planta de beneficio en estudio, misma que permitirá desarrollar una propuesta metodológica adecuada para el tratamiento y la disposición final de relaves.

Dentro de las propuestas para el adecuado tratamiento de los relaves se planteó reducir el contenido de agua de los residuos mineros mediante el uso de filtros de prensa para estabilizar al material sólido; otra de las propuestas es aplicar la fitorremediación con el objetivo de estabilizar el suelo como también purificar o reducir la contaminación del agua, suelo y aire.

Para evaluar una alternativa de orden técnico, económico y ambiental para el tratamiento y disposición integral de los relaves acorde a la normativa legal vigente se aplicó el método de análisis síntesis, en él se evaluaron algunas técnicas de tratamiento de relaves como:

- **Técnicas físicas (filtro prensa):** Es una de las técnicas más importantes para el tratamiento de los relaves, así como para la clarificación de aguas residuales. Permite obtener un relave filtrado y recuperar hasta el 85% de agua.

- **Técnicas biológicas (fitorremediación):** Es empleado como una técnica para reducir la contaminación, la misma aprovecha la capacidad de ciertas especies vegetales para absorber, acumular, metabolizar y estabilizar contaminantes presentes en los lodos.
- **Técnicas químicas (polímeros):** Son una nueva tecnología que permite modificar las propiedades del relave como la densidad, la velocidad de sedimentación y la recuperación de agua, además de ser una técnica económica y viables. (Ver Figura 9)

**Figura 9.** Prueba de jarras con polímeros



*Nota:* Elaborado por El Autor

El procedimiento para la prueba de jarras fue el siguiente:

1. Si requiere un volumen de 12 litros para esta prueba, se coloca 2 litros de muestra en cada uno de los seis recipientes.
2. Se programa primero una mezcla rápida intensa y de corta duración, aproximadamente 1 minuto, seguida de una mezcla lenta de aproximadamente 25 minutos, al final se deja reposar por al menos 10 minutos sin mezcla.
3. Se calcula las diferentes dosis a analizar y se coloca una dosis distinta en cada jarra, justo en el momento en el que comienza la mezcla rápida.
4. Se enciende el programa secuencial y se observa el comportamiento de cada jarra.
5. Al final del tiempo de reposo se observa el volumen de lodos generados y la velocidad de sedimentación.
6. Se extrae una muestra del agua clarificada mediante la ayuda de las llaves que existen en cada jarra.
7. Se analiza los parámetros que se consideren más representativos como pH, turbidez y temperatura.
8. Se recomienda realizar esta prueba con vigilancia continua de la misma, es una prueba de corta duración, los detalles visuales que nos brinda junto con los resultados que se

obtiene del análisis en laboratorio de los parámetros de cada jarra nos permiten determinar la dosis óptima.

De igual manera se propuso un método adecuado para la disposición de los relaves, considerando el tonelaje diario, la morfología y topografía del terreno. Para poder determinar una alternativa de orden técnico, económico y ambiental para el tratamiento y disposición integral de los relaves acorde a la normativa legal vigente se evalúa la normativa legal vigente en función a pirámide de Kelsen, la mayor parte de los artículos descritos en el marco legal exponen que se debe buscar alternativas limpias para reducir la contaminación del medio ambiente como también garantizar la salud de la población.

Para la disposición final de relaves en el caso de los sólidos se planteó reutilizarlos para evitar acumulación de los mismos y ganar espacio. De los desechos sólidos en base a su composición química se pueden obtener varios subproductos útiles en diferentes empresas como es el caso de ladrillos y baldosas útiles en la construcción; obtención de carbonatos (Ca) útil en la industria alimentaria, textil, farmacéutica, entre otras.

## 6. Resultados

### 6.1. Información general del área de estudio

El material mineralizado proviene del área minera “LOS INGLESES” código 139 de la cual EMINZASA (Ver Figura 10) es cotitular, y en donde actualmente se realiza explotación a cielo abierto, en la cual se obtiene como mineral principal oro; de esta manera, en los frentes de explotación se extraen 1 500 t/día de material mineralizado y estéril. Por otra parte, en la planta de tratamiento el tonelaje diario anual ha sido establecido en función de 325 días/año lo que en promedio representa un procesamiento de 500 t/día, y en el que la recuperación es realizada a través del proceso de flotación.

**Figura 10.** Planta de tratamiento EMINZASA



*Nota:* Elaborado por El Autor

continuación, se muestran datos generales de la planta de tratamiento:

- **Capacidad de la planta**
- Instalada. 600 T/día
- Operativa. 500 T/día
- **Balance metalúrgico.**
  - A. Tonelaje procesado = 290 Ton/día
  - B. Ley de corte = 1.2%
  - C. Ley de cabeza = 0.62 %

- D. Porcentaje de Recuperación de oro en el concentrado = 90,45 %
- E. Porcentaje de Recuperación de oro en el relave = 9,55 %
- F. Tipo y peso de producto obtenido = concentrado 2.456,79 g/Ton Au
- G. Ley de colas = 0.06 g/Ton

## **6.2. Geología local**

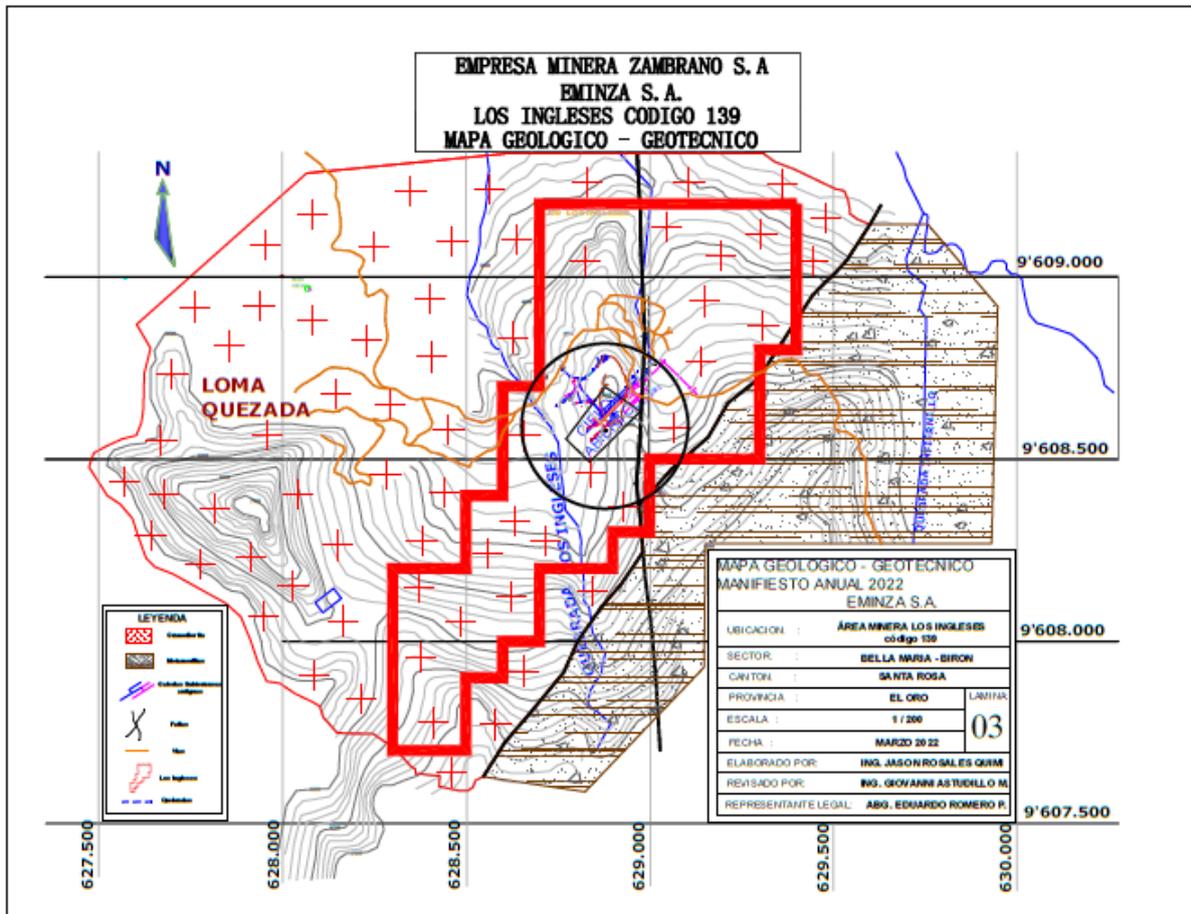
La geología local superficial del área minera “Los Ingleses” en su mayoría corresponde a la formación “Melange palenque” constituida de un paquete potente de sedimentos metamorfoseados, intruidos por rocas ígneas intrusivas granodioríticas descompuestas y argilitizadas provenientes del intrusivo de la zona. Adicionalmente a ello, se presentan brechas de colapso en una parte considerable del batolito existente y cuerpos dispersos de brechas de contacto con fragmentos meta sedimentarios.

La roca granodiorítica es la formación huésped de la mineralización que afectó rocas metamórficas del cretáceo aflorantes al este y sur, la cuales aparecen como ventanas erosionadas; hay una gama de estructuras pequeñas que aparecen como brechas litológicas y brechas hidrotermales, que por lo general están mineralizadas; la brechas por lo general presentan una diferenciación particular por el contenido fragmentario, hecho por el cual existe en detalle una asociación de brechas de clastos soportantes de granodiorita, es decir, fragmentos de gran tamaño con una matriz mineralizada y una brecha de matriz soportante mineralizada con pequeños clastos meta sedimentarios.

En zonas adyacentes al depósito Los Ingleses sector Loma Quezada, en cambio, afloran cuerpos meta sedimentarios “División Melange Palenque” los cuales, en contacto vertical, se destacan por la presencia de rocas cornéanas síntoma a su vez de la existencia de posibles depósitos de minerales de contacto meta somático.

La representación de lo que anteriormente se ha mencionado se la puede apreciar con mayor detalle en la Figura 11.

**Figura 11.** Geología local superficial



*Nota:* Tomado de Empresa Minera Zambrano S.A.

### 6.3. Hidrología

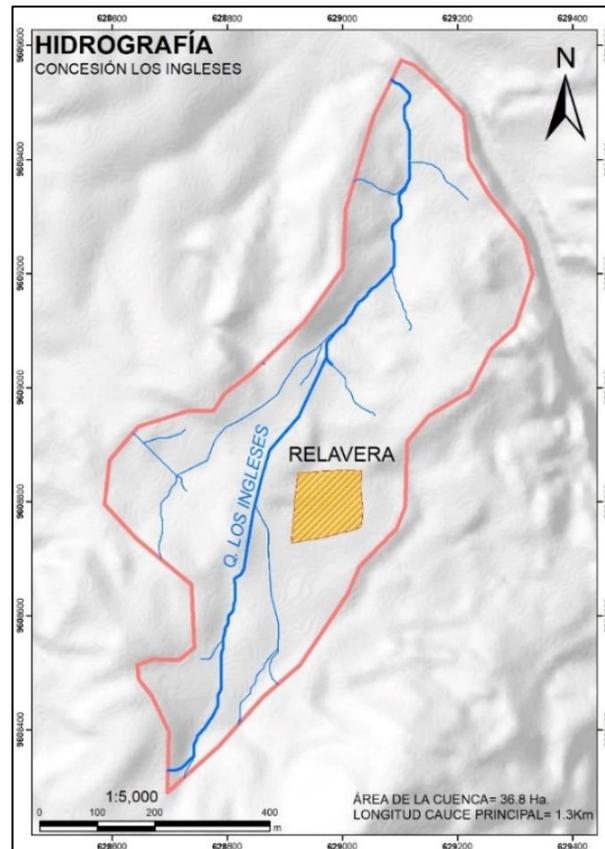
El área donde se tiene pensado implantar la relavera se encuentra en la zona media – alta de la microcuenca de la quebrada los Ingleses, subcuenca del río Santa Rosa, margen derecho aguas abajo, la cual posee un drenaje ramificado tipo dendrítico, con una longitud de su cauce principal de 1.3 kilómetros, por ende, el área donde se diseña la relavera no forma parte de la red de drenaje natural, razón por la cual no se estiman desviaciones de los cauces así como aportaciones de agua en la ocupación de volumen del vaso de la relavera.

Según el Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Bellamaría el territorio de la parroquia se ubica en la cuenca hidrográfica del río Santa Rosa, subcuenca del mismo nombre, los principales cursos hídricos en la parroquia son el río Caluguro, río Chico, río Tadao, río Byron, río Piloto, estero Los Reyes, estero Palmira, estero El Palmar quebrada Moras; el recurso hídrico del río Caluguro es fuente de suministro de agua para riego. Hay importantes

acequias y canales de riego, el río Caluguro en la parroquia, corresponde a la cuenca sujeta en este sector a eventuales inundaciones (GAD Provincial del cantón Santa Rosa, 2015)

En la Figura 12 se muestra la cuenca la concesión minera “Los Ingleses”, al encontrarse cerca un cuerpo de agua puede generar contaminación, surgiendo la necesidad de brindar una gestión adecuada de los residuos mineros.

**Figura 12:** Hidrografía de la concesión "Los Ingleses"



*Nota:* Elaborado por El Autor

#### 6.4. Pluviosidad

De acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Bellamaría (2011). las diferentes estaciones meteorológicas brindan una considerable información en cuanto a los niveles de pluviosidad de una zona, mediante las isoyetas se puede conocer de una manera aproximada cual es el comportamiento de las lluvias en diferentes periodos del año, factor importante en la ocurrencia de movimientos en masa e inundaciones.

La Parroquia Bellamaría se caracteriza por tener dos tipos de climas: Tropical Mega térmico Seco y Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo.

- Tropical Mega térmico Seco: Con influencia en la zona Oeste de la parroquia, con una cobertura del 10% en el territorio, con un total pluviométrico anual comprendido de 500mm a 750mm, tomados de diciembre a mayo.
- Ecuatorial Mesotérmico semihúmedo: Clima característico de la zona interandina, las precipitaciones anuales fluctúan entre 500 y 2.000 mm y están repartidas en dos estaciones lluviosas, de febrero a mayo y en octubre-noviembre.

## 6.5. Descripción general del área de estudio

En este apartado de a continuación se incluye el proceso de tratamiento y beneficio, y se describe como es la conminución y la recuperación del mineral valioso.

### 6.5.1. Proceso de tratamiento y beneficio

**6.5.1.1. Conminución:** La conminución contempla la trituración primaria, secundaria y terciaria, así como el proceso de molienda y clasificación, los cuales consisten en lo siguiente:

1. **Trituración Primaria:** El mineral extraído de mina, es almacenado en la tolva de gruesos, para su respectiva reducción de tamaño, mediante la trituradora primaria de mandíbulas que lo reduce entre 2"-3"; además de eso, este producto es transportado mediante una faja transportadora N°01 hacia una zaranda vibratoria con malla 5/8"; el producto (-5/8") pasa a la faja transportadora N°02 y los gruesos (+5/8") (Ver Figura 14; a)
2. **Trituración secundaria:** Una vez finalizado el proceso anterior pasa a una segunda trituración de mandíbula en el que se obtienen fragmentos de 1"
3. **Trituración terciaria:** Luego pasa a la trituradora secundaria cónica, para su reducción de tamaño a -5/8", la cual es transportada por la misma faja transportadora N°02, para su respectivo almacenamiento y posterior traslado a la tolva de finos mediante volquetas; en este determinado punto el material ya consta de condiciones aptas para la fase de molienda
4. **Molienda-clasificación.** El material triturado es almacenado en la tolva de finos este es transportado mediante fajas transportadoras hacia los molinos de bolas, 4'x8', 6'x8' y 7'x 12', para su correspondiente molienda (Ver Figura 14; b), dando como resultado una pulpa (mineral + agua + reactivos químicos) con un producto molido de 90% malla -100, la cual es bombeada mediante una bomba de sólidos 4" x 3", hacia un Hidrociclón D10, de la cual se obtiene 02 productos:
  - Underflow (gruesos), que retornan al molino de bolas, como carga circulante.

- Overflow (finos), que pasan al proceso de flotación.

**6.5.1.2. Proceso de beneficio:** En este punto se encuentran los procesos respectivos para la recuperación del mineral, en donde, la empresa utiliza el método de gravimetría y flotación, explicado a continuación:

- 1. Flotación. (Colectiva o selectiva):** La pulpa es llevada al acondicionador de reactivos químicos 5' x 5', donde son acondicionados los colectores (Z-11; AR1404; Mix [Z-11/AR-1404]) y espumante D-250; dicha pulpa acondicionada pasa a 04 celdas de flotación Serrano 6' x 6', de la primera Celda Serrano 6' x 6' su concentrado es llevado a un banco de celdas de flotación tipo Denver 110 x 110 para su limpieza, en la cual se obtienen mejores leyes de concentrado la cual es almacenada en la cocha de concentrado.
- El relave de la primera celda serrano 6' x 6', se encarga de alimentar a la segunda celda serrano 6' x 6', el relave de ésta a su vez alimenta a la tercera celda serrano 6' x 6', la cual de igual forma alimenta a la cuarta celda serrano 6' x 6'; los concentrados de estas celdas Serrano van en contracorriente, es decir, el concentrado de la celda serrano N°4, pasa a la celda serrano N°3 y de ésta a la celda serrano N°2 y para posteriormente pasar a la celda serrano N°1 para su recuperación.
- El relave final se obtiene de la última celda Serrano N°4, que es almacenada en las relaveras.
- 2. Concentración Gravimétrica.** El concentrado obtenido de la celda de flotación tipo Denver es almacenado en 6 cochas para concentrado de 14 TM c/u; en donde se le agrega floculante para precipitar los finos del concentrado y eliminar el agua hacia las dos pozas de sedimentación.
- 3. Decantación.** Seguido de eso, el concentrado es llenado en big bags, las cuales son almacenadas en el patio de concentrado para su respectiva exportación.

En la Figura 13 se muestra la planta

**Figura 13.** a) Trituradora de mandíbula; b) molino de bolas; c) celdas serrano



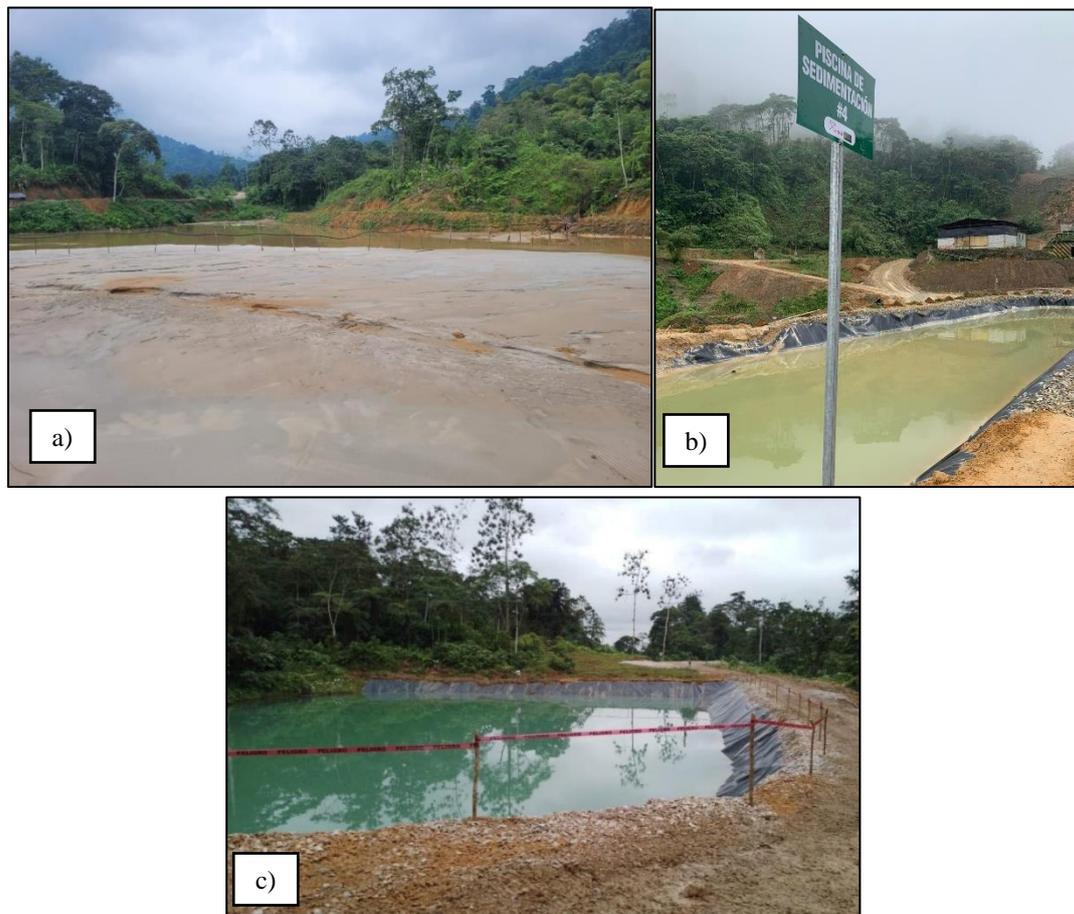
*Nota:* Elaborado por El Autor

Revisar Anexo1, donde se encuentra el flujograma de la planta de beneficio

### **6.5.2. Relavera**

La planta está conformada por un circuito de tres relaveras conectadas en un sistema de construcción aguas arriba; en donde, dos tienen la función de servir como deposito inicial y una para decantación (Ver Figura 14: a), de igual manera, se cuenta con tres piscinas de clarificación/sedimentación, (Ver Figura 14; b y c), mismas que constan en el Estudio de Impacto Ambiental aprobado por el MAATE, según la base de información de la planta, estas cumplen con las auditorias y monitoreos semestrales de agua tanto al ingreso como a la descarga, resultados que indican que se encuentran dentro de los límites permisibles, la capacidad de las relaveras es de 280.000 toneladas, la capacidad de las piscinas de sedimentación es de 4.570 m<sup>3</sup>

**Figura 14.** a) Relavera; b) piscina de sedimentación; c) piscina de clarificación



*Nota:* Elaborado por El Autor

## 6.6. Caracterización del relave

El relave es de naturaleza polimetálica sulfurado, con un alto contenido de metales pesados como son: cobre, plomo, zinc, hierro, cadmio, arsénico, entre otros; esto provoca que el relave sea un potencial generador de aguas ácidas y contaminación de suelos del medio circundante, es por este motivo que se efectuó la caracterización del mismo, la cual comprendió las propiedades físicas, químicas y mineralógicas que se detallan a continuación:

### 6.6.1. Caracterización física

La caracterización física abarca los resultados de densidad, granulometría, contenido de humedad y concentración gravimétrica.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Propiedades físicas del relave

<b>Propiedades físicas del relave</b>	
Densidad	1125 g/L
Granulometría	Malla% 200-57
Contenido de humedad	27 al 32%
<b>Dilución</b>	
% de Sólidos	29.17
% de líquidos	70.83

*Nota:* Elaborado por autor

### 6.6.2. Caracterización química

La Tabla 4, correspondiente a la caracterización química indica que el Ph es ligeramente ácido y la conductividad es 1.08 us.

**Tabla 4.** Propiedades químicas del relave

<b>Propiedades químicas del relave</b>	
pH	6
Conductividad eléctrica	1.08

*Nota:* Elaborado por autor

### 6.6.3. Caracterización mineralógica

Luego de que hayan sido realizadas las pruebas de identificación se encontraron minerales en mayores concentraciones de plata, hierro, oro y cobre, las cuales se explican en la tabla siguiente.

**Tabla 5.** Minerales presentes en el relave

<b>Identificación de minerales en el relave</b>	
Au g/t	0.4
Ag g/t	3.84
Cu %	0.05
Pb %	0.01
Zn %	0.02
As %	0.1
Sb %	0.01
Fe %	3.15
Bi%	0.01
cd%	0

*Nota:* Elaborado por autor, adaptado de laboratorio Albexxus, (2023)

Revisar Anexo 2, resultados de laboratorio Albexxus

## **6.7. Tratamiento y disposición de los relaves**

### **6.7.1. Filtro prensa**

Empleado para desaguar residuos y recuperar agua de proceso, estos tipos de filtros constan de placas que al momento de cerrarse crean cámaras que posteriormente se llenan de pulpa, debido a que emplea una bomba de alimentación.

Dicha bomba de alimentación presenta cierto nivel de presión, la cual permite que se puedan desaguar las pulpas, en donde el agua pasa a través de un colector que se crea debido a los orificios en las esquinas de las placas de filtrado o a través de llaves individuales que se encuentran en cada placa, y los residuos de filtración sólidos quedan en las cámaras.

Este filtro de prensa se encuentra conformado por una estructura de soporte encargada de sostener las placas empotradas, en donde también la presión hidráulica se emplea para mantener dichas placas lo más juntas posible, generando de esa manera un cierre hermético conforme a sus perímetros y espacios vacíos presentes en las placas.

Una bomba de pulpa de alta presión permite que la pulpa entre en las cámaras vacías para poder empezar con el desaguado, en donde, los sólidos de la pulpa permanecen entre las placas mientras que el agua limpia filtrada pasa a través de la malla de las telas filtrantes y sale por los orificios de las placas de filtrado.

De igual manera, cuando las cámaras están llenas de sólidos de pulpa desaguados, la bomba de alimentación de pulpa se detiene de manera automática, además de eso, la presión hidráulica encargada de mantener las placas juntas se libera para que las mismas puedan individualmente separarse, lo que también genera que los residuos de filtración de material sólido desaguado caigan fuera del filtro de prensa.

El filtro de prensa opera en ciclos que se pueden resumir de la siguiente manera:

- Cerrado: Cuando el filtro se encuentra limpio y vacío.
- Llenado: Cuando se encuentra con las cámaras cerradas, las cuales se llenan de relaves para su filtración.
- Filtración: Aumento de presión en las cámaras una vez que se encuentren llenas.
- Apertura: Cuando las placas se separan permitiendo que se descargue el relave filtrado.
- Limpieza: Se lleva a cabo la limpieza de las cámaras con sistemas de agua presurizada (Capone, 2016).

La Figura 15 muestra el filtro prensa a) área de filtrado b) filtro prensa

**Figura 15.** a) área de filtrado; b) filtro prensa



*Nota:* Elaborado por El Autor

La Tabla 6, señala las especificaciones técnicas de uno de los filtros que se encuentran en el país.

**Tabla 6.** Ficha técnica del filtro prensa JINGJIN

<b><i>ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL FILTRO PRENSA</i></b>	
Modelo	<i>JINGJIN</i>
Tipo	<i>XMZ200/1500-UI</i>
Área de filtración	<i>200 m<sup>2</sup></i>
Presión de prensado hidráulico	<i>24 Mpa</i>
Contrapresión	<i>30 Mpa</i>
Agujero de anclaje	<i>5700 mm</i>
N-° de placa	<i>51 Pcs</i>
Presión de filtración	<i>0.8Mpa</i>
N-° de serie	<i>180611442</i>
N-° de tarea	<i>B18</i>
Peso	<i>18.500 kg.</i>
Dimensiones	<i>7250 mm (largo) x 2000 mm (ancho) x 2080 mm (alto).</i>
Presión de trabajo	<i>0,6 MPa</i>

*Nota:* Elaborado por autor, adaptado de JINGJIN, (2020)

### **6.7.2. Fitorremediación**

La fitorremediación viene determinada por el uso de plantas que se adaptan a condiciones extremas y tienen la capacidad de aprovechar los minerales disueltos, es decir, de absorberlos permitiendo una mejor filtración del agua, la fitorremediación es un proceso ecológico con un enfoque práctico para limpiar suelos contaminados con metales, siendo uno de los métodos más rentables de extracción de metales del suelo.

Estas fitotecnologías presentan algunas ventajas, siendo las más relevantes la limpieza y la economía, esto debido a que no usan ningún tipo de reactivo químico que resulte peligroso,

así mismo no afecta al ecosistema, gracias a que se aplican técnicas agrícolas comunes, además es un proceso que se realiza in situ por lo que no genera costos adicionales de transporte (Jaramillo, M.; Flores E, 2012).

Existen algunos tipos de fitorremediación, pero solo cuatro son las importantes para la absorción de metales pesados, los mismos que se explican en la siguiente tabla:

**Tabla 7.** Tipos de fitorremediación

<b>Tipo</b>	<b>Proceso involucrado</b>	<b>Contaminación tratada</b>
Fitoextracción	Plantas concentran metales en las partes cosechables	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, selenio, zinc
Rizofiltración	Absorber, precipitar y concentrar metales pesados a través de las raíces	Cadmio, cobalto, cromo. Níquel, mercurio, plomo, selenio, zinc, entre otros
Fitoestabilización	Plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos	Lagunas de desecho de yacimientos mineros
Fitovolatilización	Plantas captan y modifican metales pesados y los liberan a la atmósfera	Mercurio, selenio y solventes clorados

*Nota:* Elaborado por autor, adaptado de Jaramillo, M.; Flores E, (2012).

Hay ciertos tipos de plantas acuáticas capaces de acumular cuatro o más metales, es decir, hiperacumuladoras, una de ellas es la Lemna minor o lenteja de agua capaz de acumular cuatro metales, los cuales son: cadmio, cobre, plomo, zinc y mercurio; este tipo de planta es muy pequeña y presenta una estructura relativamente simple, a su vez, presenta una de las tasas de crecimiento más altas.

**Figura 16.** Planta Lemna minor



*Nota:* Attalea, (2021).

Así mismo se puede adaptar a una amplia variedad de zonas geográficas y climáticas, En comparación con otras plantas acuáticas, la lenteja de agua es menos sensible a las fluctuaciones del pH, el daño causado por plagas y enfermedades y tiene una alta capacidad de recuperación de nutrientes.

Además, puede crecer en cualquier condición de iluminación, siendo más rápido este proceso en partes calmadas y ricas en nutrientes (N y P), el Fe es un elemento limitante para su adecuado desarrollo, puede también tolerar un rango de pH amplio, siendo el óptimo entre 4,5 y 7,5 (Cantó, 2018).

Por ende, este tipo de planta resulta de gran utilidad para este proceso de fitorremediación gracias a las características que presenta, de tal manera que permitan filtrar de manera más adecuada los metales existentes en los relaves que se están analizando en el presente trabajo.

### ***6.7.3. Floculación***

La floculación es una técnica que consiste en añadir al agua residual aditivos químicos con el objetivo de ayudar a la sedimentación de materia coloidal no sedimentable y a su vez aumentar la rapidez de sedimentación mediante la coagulación que permita la formación de flóculos.

Para tratamiento de relaves se analizó esta técnica más a detalle, con la finalidad de que permita recuperar la mayor cantidad de agua, y que a su vez esté libre de metales pesados, es por ese motivo que se trabajó con cuatro tipos de floculantes, los cuales se describen a continuación:

- **HARFLOC – 1110:** Copolímero de Acrilamida y Monómero catiónico cuaternizado
- **HARFLOC – 1140:** Copolímero de Acrilamida y Monómero no iónico cuaternizado
- **HARFLOC – 1145:** Copolímero de Acrilamida y Monómero no iónico cuaternizado
- **HARFLOC – 1165:** Copolímero de Acrilamida y ácido acrílico

Los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

**6.7.3.1. Floculante-1110:** Es un Super Floculante Catiónico de orden de cationidad muy alto, que está dando excelentes resultados en la Industria Minera, petrolera en perforación control de sólidos (Dewatering), agua de formación, plantas potabilizadoras, lodos activados provenientes de aguas grises y negras, textiles, pinturas, industria azucarera; es un producto químico sintético que se puede adaptar a una amplia gama de aplicaciones como, por ejemplo: deshidratación y compactación de Lodos (Dewatering), floculaciones, clarificaciones, etc (EcoFluid System, 2023).

En la Tabla 8, se muestran las especificaciones

**Tabla 8.** Floculante HARFLOC -1110

<b>Ficha técnica HARFLOC - 1110</b>	
Naturaleza química: Copolímero de Acrilamida y Monómero catiónico cuaternizado	
<b>Especificaciones</b>	<b>Índice</b>
Apariencia	Polvo granular blanquecino
Nombre comercial	HARFLOC – 1110
Nombre químico	Poliacrilamida/Polielectrolito
Carga iónica	Catiónica
Tamaño de partícula	20 – 100 malla
Peso molecular	Alto (5 – 15 millón)
Grado de carga	Mediano (17 – 20) %
Contenido sólido	89% Mínimo
Densidad aparente	Aprox. 0.80
Gravedad específica a 25°C	1.01 – 1.1
Viscosidad aproximada de Brokfield a 25°C	100 – 1000 cps
Grado de hidrólisis	10 – 50%
Contenido activo	100%
Concentración de trabajo recomendada	0.1 – 0.5%
Rango de pH	4 – 9
Temperatura de almacenamiento (°C)	0 – 35
Vida útil aproximada	2 – 3 años

*Nota:* EcoFluid System, (2023).

Este tipo de floculante catiónico no tuvo efecto en el relave debido a su composición considerando la presencia oro, plata, hierro, cobre y en menor concentración arsénico, que dificultan el proceso de sedimentación.

**6.7.3.2. Floculante-1140:** Es un Super Floculante no iónica que está dando excelentes resultados en la Industria Minera, Petrolera (Unidades de Dewatering), extractoras de aceite, aguas residuales PTAR, Plantas Potabilizadoras, textiles, industria azucarera; es fácil de disolverse en el agua, hidrolítica, no es sensible al cambio de valor de pH, y se puede modificar para abarcar una amplia gama de aplicaciones como deshidratación, floculación y clarificación (EcoFluid System, 2023).

En la Tabla 9 se describen las especificaciones

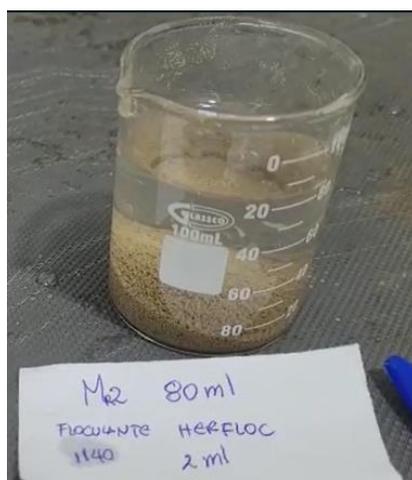
**Tabla 9.** Floculante HARFLOC -1140

<b>Ficha técnica HARFLOC - 1140</b>	
Naturaleza química: Copolímero de Acrilamida y Monómero no iónico cuaternizado	
<b>Especificaciones</b>	<b>Índice</b>
Apariencia	Polvo granular blanquecino
Nombre comercial	HARFLOC – 1140
Nombre químico	Poliacrilamida/Polielectrolito
Carga iónica	No iónica
Tamaño de partícula	20 – 100 malla
Peso molecular	Alto (6 – 18 millón)
Grado de carga	Mediano (1 – 3) %
Contenido sólido	89% Mínimo – 91% Máximo
Densidad aparente	Aprox. 0.80
Gravedad específica a 25°C	1.01 – 1.1
Viscosidad aproximada de Brokfield a 25°C	100 – 1000 cps
Grado de hidrólisis	10 – 40%
Contenido activo	100%
Concentración de trabajo recomendada	0.1 – 0.5%
Rango de pH	4 – 9
Temperatura de almacenamiento (°C)	0 – 35
Vida útil aproximada	2 años

*Nota:* EcoFluid System, (2023).

La dosificación fue de 2 ml en un tamaño de muestra de 80 ml, en el que se observa una sedimentación normal y aún existe presencia de turbidez.

**Figura 17.** Proceso de sedimentación Floculante HARFLOC 1140



*Nota:* Elaborado por El Autor

**6.7.3.3. Floculante-1145:** Es un Super Floculante no iónica que está dando excelentes resultados en la Industria Minera, Petrolera (Unidades de dewatering), extractoras de aceite, aguas residuales PTAR, Plantas Potabilizadoras, industrias azucareras es posible una deshidratación inmediata de los lodos, es decir se obtiene 2 fases bien marcadas: una sedimentación rápida obteniendo un sólido muy compacto y una fase líquida que es el agua. En la Tabla 10, se encuentra las especificaciones del floculante:

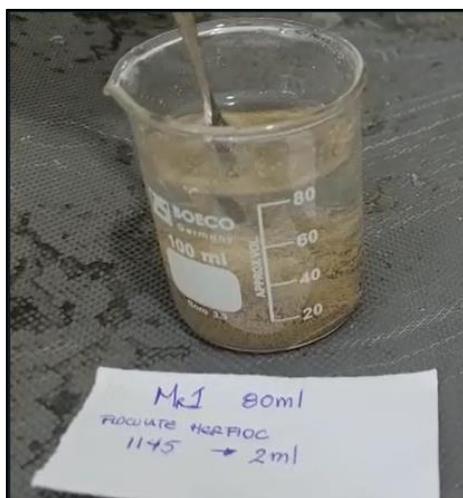
**Tabla 10.** Floculante HARFLOC -1145

<b>Ficha técnica HARFLOC - 1145</b>	
Naturaleza química: Copolímero de Acrilamida y Monómero no iónico cuaternizado	
<b>Especificaciones</b>	<b>Índice</b>
Apariencia	Polvo granular blanquecino
Nombre comercial	HARFLOC – 1145
Nombre químico	Poliacrilamida/Polielectrolito
Carga iónica	No iónica
Tamaño de partícula	20 – 100 malla
Peso molecular	Alto (6 – 16 millón)
Grado de carga	Mediano (4 – 8) %
Contenido sólido	89% Mínimo – 91% Máximo
Densidad aparente	Aprox. 0.75
Gravedad específica a 25°C	1.01 – 1.1
Viscosidad aproximada de Brokfield a 25°C	100 – 1000 cps
Grado de hidrólisis	10 – 30%
Contenido activo	100%
Concentración de trabajo recomendada	0.1 – 0.4%
Rango de pH	4 – 9,5
Temperatura de almacenamiento (°C)	0 – 35
Vida útil aproximada	2 – 3años

*Nota:* EcoFluid System, (2023).

La dosificación fue de 2 ml en un tamaño de muestra de 80 ml, en el que se observa una sedimentación normal y aún existe presencia de turbidez.

**Figura 18.** Proceso de sedimentación Floculante HARFLOC 1145



*Nota:* Elaborado por El Autor

Para un correcto funcionamiento de los floculantes antes mencionados se deberán seguir los siguientes parámetros (Ver tabla 11), de tal forma que se garantice que los resultados que se obtengan sean lo más apropiados posible.

**Tabla 11.** Parámetros a utilizar

<b>Parámetros a utilizar para el correcto funcionamiento del Super Floculante HARFLOC - 1110, 1140, 1145</b>	
Velocidad de agitación	55 a 70 rpm
Concentración de disolución	0,1 – 0,2%
RPM para pruebas de Jarras	Durante 1 min agite en 100-120 rpm y después agite lentamente en 30 a 60 rpm y determine el floculo más grande, tiempo de sedimentación y turbidez del agua
Tiempo de disolución	De acuerdo a las estadísticas generalmente se requiere como mínimo 1 hora de agitación para que se disuelva en su totalidad y sobre todo incremente su punto de corte, si es más mucho mejor para su maduración
Dosis	Se basa en los resultados de pruebas de jarras
Paquete	Bolsa de polietileno PE neta de 25 Kg o bolsa de papel Kraft neta de 25 Kg
Almacenamiento	Debe almacenarse en su embalaje original en un lugar fresco y seco, lejos de fuentes de calor, llamas, humedad y protegido de la luz solar directa

*Nota:* EcoFluid System, (2023).

**6.7.3.4. Floculante-1165:** Es un Super Floculante aniónico sintética soluble en el agua que se puede adaptar a una amplia gama de aplicaciones, dando excelentes resultados en la Industria Minera, Petrolera (Unidades de dewatering), extractoras de aceite, aguas residuales PTAR, Plantas Potabilizadoras, textiles, pinturas, Industria Azucarera Deshidratación inmediata de los lodos, es decir se obtiene 2 fases bien marcadas: una sedimentación rápida obteniendo un sólido muy compacto y una fase líquida que es un agua totalmente cristalina, que facilita su recirculación nuevamente al proceso.

**Tabla 12.** Floculante HARFLOC -1165

<b>Ficha técnica HARFLOC - 1165</b>	
Naturaleza química: Copolímero de Acrilamida y ácido acrílico, de peso molecular muy alto, suministrado como polvo granulado	
<b>Especificaciones</b>	<b>Índice</b>
Apariencia	Polvo granular blanquecino
Nombre comercial	HARFLOC – 1165
Nombre químico	Copolímero de Acrilamida y ácido acrílico
Carga iónica	Aniónicas
Tamaño de partícula	20 – 100 malla
Peso molecular	Muy alto (17 – 19 millón)
Grado de carga	Mediano (30 – 40) %
Contenido sólido	89% Mínimo – 93% Máximo
Densidad aparente	Aprox. 0.80
Gravedad específica a 25°C	1.01 – 1.1
Viscosidad aproximada de Brokfield a 25°C	100 – 1000 cps
Grado de hidrólisis	10 – 30%
Contenido activo	100%
Concentración de trabajo recomendada	0.1 – 0.5%
Rango de pH	6,0 – 9,0
Temperatura de almacenamiento (°C)	0 – 35
Vida útil aproximada	2 años

*Nota:* EcoFluid System, (2023).

Este floculante aniónico no tuvo efecto considerable en el relave, esto debido a su composición, considerando también la presencia de oro, plata, hierro, cobre, y arsénico en menor concentración, lo cual dificultó el proceso de sedimentación; por ende, se puede deducir que los floculantes que sean catiónicos y aniónicos contendrán carga eléctrica positiva y negativo, razón por la cual no brindaran el resultado requerido.

Por otra parte, el relave, al ser una mezcla de sulfatos, sulfuros, metales, carbonatos y agua con sustancias químicas provenientes de la flotación, dificulta que estos floculantes puedan actuar; concluyendo de esta manera que debido a la composición que presentan los lodos, dichos floculantes no tendrán ningún tipo de efecto para el tratamiento de relaves del área minera Eminza S.A.

Así mismo para que el floculante HARFLOC 1165 funcione de la mejor manera, y dé el resultado requerido, hay ciertas consideraciones que se deberán tomar en cuenta, las mismas que se detallan en la siguiente tabla:

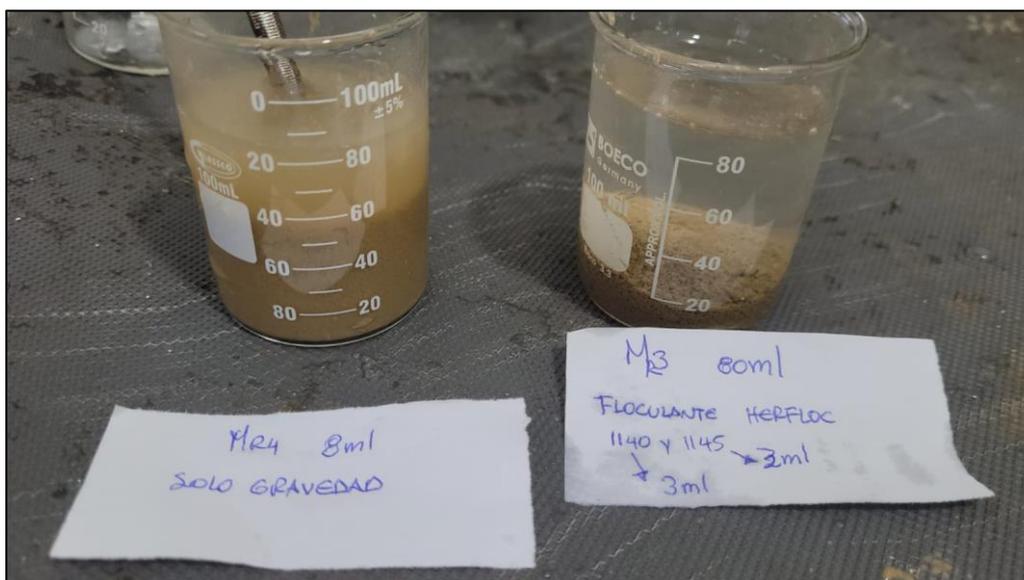
**Tabla 13.** Parámetros a utilizar

<b>Parámetros a utilizar para el correcto funcionamiento del Super Floculante HARFLOC - 1165</b>	
Velocidad de agitación	55 a 70 rpm
Concentración de disolución	0,1 – 0,2%
RPM para pruebas de Jarras	Durante 1 min agite en 100-120 rpm y después agite lentamente en 20 a 40 rpm y determine el floculo más grande, tiempo de sedimentación y turbidez del agua
Tiempo de disolución	De acuerdo a las estadísticas generalmente se requiere como mínimo 1 hora de agitación para que se disuelva en su totalidad y sobre todo incrementa su punto de corte, si es más mucho mejor para su maduración
Dosis Paquete	Se basa en los resultados de pruebas de jarras Bolsa de polietileno PE neta de 25 Kg o bolsa de papel Kraft neta de 25 Kg por big bag de 750 Kg
Almacenamiento	Debe almacenarse en su embalaje original en un lugar fresco y seco, lejos de fuentes de calor, llamas, humedad y protegido de la luz solar directa; para almacenar la solución de polímero se debe usar recipientes de plástico, esmalte, fibra de vidrio y vidrio.

*Nota:* EcoFluid System, (2023).

**6.7.3.5. Superfloculante HARFLOC 1140-1145:** La prueba de jarras determinó que los floculantes HARFLOC 1110 y 1165 no dieron resultados positivos con el relave, sin embargo, con los floculantes HARFLOC 1140 y 1145 se obtuvo una mayor sedimentación y menor turbidez, lo cual era lo que se buscaba conseguir, por lo que se optó por combinar ambos floculantes en una dosificación de 3ml cada uno y observar el resultado, el cual fue que se logró una agua cristalina y libre de sedimentos (Ver Figura 20).

**Figura 19.** Superfloculante 1140-1145



*Nota:* Elaborado por El Autor

#### 6.7.4. Caracterización del agua

Una vez realizados las pruebas de jarras y determinado el superfloculante se realizó la caracterización del agua residual que fue efectuada a través de la muestra proveniente del tratamiento físico, en donde el tipo de descarga es continua; en el sitio de muestreo donde tuvo lugar, específicamente en la descarga de agua de la Empresa Eminza, dicha muestra se tomó de una tubería de PVC de 10 pulgadas de diámetro que descarga el agua residual al ambiente existente, mismo en donde es evidente la presencia de vegetación y arbustos alrededor del punto de monitoreo.

La muestra tiene las siguientes características (Ver Tabla 14)

**Tabla 14.** Identificación de la muestra

Apariencia de la muestra			
<b>Olor</b>	Inodora	<b>Sólidos suspendidos</b>	Bajo
<b>Color</b>	Incolora	<b>Materia flotante</b>	Ausencia
<b>Espuma</b>	Ausencia	<b>Aceites y grasas</b>	Ausencia
<b>Turbidez</b>	Bajo	<b>Otro</b>	N/A

*Nota:* Elaborado por autor, adaptado de Gruntec, (2023)

De igual manera, se realizó un análisis de las características del agua como: Ph, conductividad, temperatura, caudal y sulfuros; esto de acuerdo a la percepción del técnico a cargo, a continuación, se detallan los resultados (Ver Tabla 15).

**Tabla 15.** Apariencia de la muestra

<b>Apariencia de la muestra (Percepción del técnico a cargo)</b>								
<b>Especificar apariencia de la muestra:</b> Muestra no presenta características adicionales								
<b>Condiciones de preservación/ conservación:</b> Muestra conservada a $4 \pm 2$ °C								
<b>Hidróxido de sodio NaOH 6M</b>			<b>NaOH 6M + Acetato de Zinc <math>ZnC_4H_6O_4</math> 2N</b>	<b>Ácido fosfórico <math>H_3PO_4</math> (c)</b>	<b>Ácido nítrico <math>HNO_3</math></b>	<b>Ácido sulfúrico <math>H_2SO_4</math> 1:1</b>		
Sustancias tensoactivas	Cromo hexavalente	Cianuro	Sulfuro	Fenoles	Metales	Nitrógeno total	Amonio	DQ0
-	X	X	X	X	X	-	X	X

*Nota:* Elaborado por autor, adaptado de Gruntec, (2023)

Al encontrarse sustancias nocivas dentro del agua, tales como sustancias tensoactivas, cromo, cianuro, fenoles, metales y nitrógeno, se tuvo que realizar el análisis de cada una, el cual está dividido en tres fases; la primera corresponde a la caracterización física-química, la segunda a la caracterización química y la tercera a la caracterización de metales, los resultados obtenidos se detallan a continuación:

- **Caracterización física-química:** Se analizó parámetros como conductividad, materia flotante, pH, temperatura, color, sólidos suspendidos totales y sólidos totales gravimétricos, todos los parámetros mencionados se encuentran dentro de los límites máximos permisibles. Los resultados se encuentran descritos en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Informe de resultados de análisis fisicoquímico

<b>Parámetros medidos en Sitio</b>	<b>Resultado</b>	<b>Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce</b>
<i>Conductividad <math>\mu S/cm</math></i>	322	N/A
<i>Materia flotante cualitativo</i>	Ausencia	Ausencia
<i>pH Unidades de pH</i>	7.2	6 – 9
<i>Temperatura °C</i>	28.1	Condición natural $\pm 3$
<b>Parámetros realizados en el Laboratorio Físico Químico</b>		
<i>Color Real 1/20 APHA PtCo</i>	<9 s1)	Inapreciable en dilución: 1/20
<i>Sólidos Suspendidos Totales mg/l</i>	34 s1)	130
<i>Sólidos Totales Gravimétricos mg/l</i>	283 s1)	1600

*Nota:* Elaborado por autor, adaptado de Gruntec, (2023)

- **Caracterización química:** En este apartado se analizan aniones y no metales demostrando que los valores se encuentran dentro del rango permisible por lo que no existe contaminación química. El resultado se encuentra descrito en la tabla siguiente.

**Tabla 17.** Informe de resultados de análisis químico

<b>Aniones y No Metales</b>	<b>Resultado</b>	<b>LMPs de descarga a un cuerpo de agua dulce</b>
<i>Amonio mg/l</i>	0.10	N/A
<i>Amonio expresado como Nitrógeno mg/l</i>	0.07	30
<i>Cianuro Total mg/l</i>	<0.001	0.1
<i>Cloruro mg/l</i>	3.1	1000
<i>Fluoruro mg/l</i>	<0.05	5.0
<i>Sulfato mg/l</i>	100	1000
<i>Sulfuro mg/l</i>	<0.013 s1)	0.5
<b>Parámetros orgánicos</b>		
<i>Aceites y Grasas mg/l</i>	<0.3 s1)	30
<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/l</i>	<2 s1)	100
<i>Demanda Química de Oxígeno mg/l</i>	14 s1)	200
<i>Fenoles mg/l</i>	<0.001	0.2
<i>Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/l</i>	<0.3	20.0

*Nota:* Elaborado por autor, adaptado de Gruntec, (2023)

- **Caracterización de metales:** En este punto se analizaron los metales presentes en el agua residual, teniendo un gran nivel de importancia, debido a que su concentración es peligrosa, sin embargo, el análisis demuestra que los valores de metales están dentro del límite máximo permisible, indicando que no existe contaminación. Los resultados se encuentran descritos en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Informe de resultados de análisis de metales

<b>Metales totales</b>	<b>Resultado</b>	<b>LMPs descarga a un cuerpo de agua dulce</b>
<i>Aluminio mg/l</i>	0.57 e1)	5.0
<i>Arsénico mg/l</i>	0.024 e1)	0.1
<i>Bario mg/l</i>	0.046 e1)	2.0
<i>Cadmio mg/l</i>	0.0019 e1)	0.02
<i>Cobre mg/l</i>	0.02 e1)	1.0
<i>Fósforo mg/l</i>	<0.1 e1)	10.0
<i>Hierro mg/l</i>	0.59 e1)	10.0

<i>Manganeso mg/l</i>	1.4 e1)	2.0
<i>Mercurio mg/l</i>	<0.0002 e1)	0.005
<i>Plomo mg/l</i>	0.001 e1)	0.2
<i>Zinc mg/l</i>	0.40 e1)	5.0
<b>Metales en agua</b>		
<i>Cromo Hexavalente mg/l</i>	<0.002	0.5

*Nota:* Elaborado por autor, adaptado de Gruntec, (2023)

## 6.8. Disposición del relave

La correcta gestión ambiental de la empresa en la disposición final de relaves mineros permitirá almacenar adecuadamente los relaves provenientes del proceso metalúrgico, aplicando tecnología ecológicamente racional, económicamente viable, para proteger la integridad física de las personas, el ambiente y el aspecto sociocultural circundante.

La disposición de los relaves se llevó a cabo teniendo en consideración la capacidad de generación de los mismos, la cual es de 480 ton/día, de igual manera se tomó en cuenta algunos parámetros como lo son la geología, geomorfología y la pluviosidad.

Dado que actualmente existen dos relaveras (Ver Figura 21), se puede emplear el método de construcción aguas arriba, el cual consiste en depositar el material, de tal modo que el mismo sea incorporado a la estructura de la presa, y pueda cumplir con el objetivo de ir ascendiendo en altura

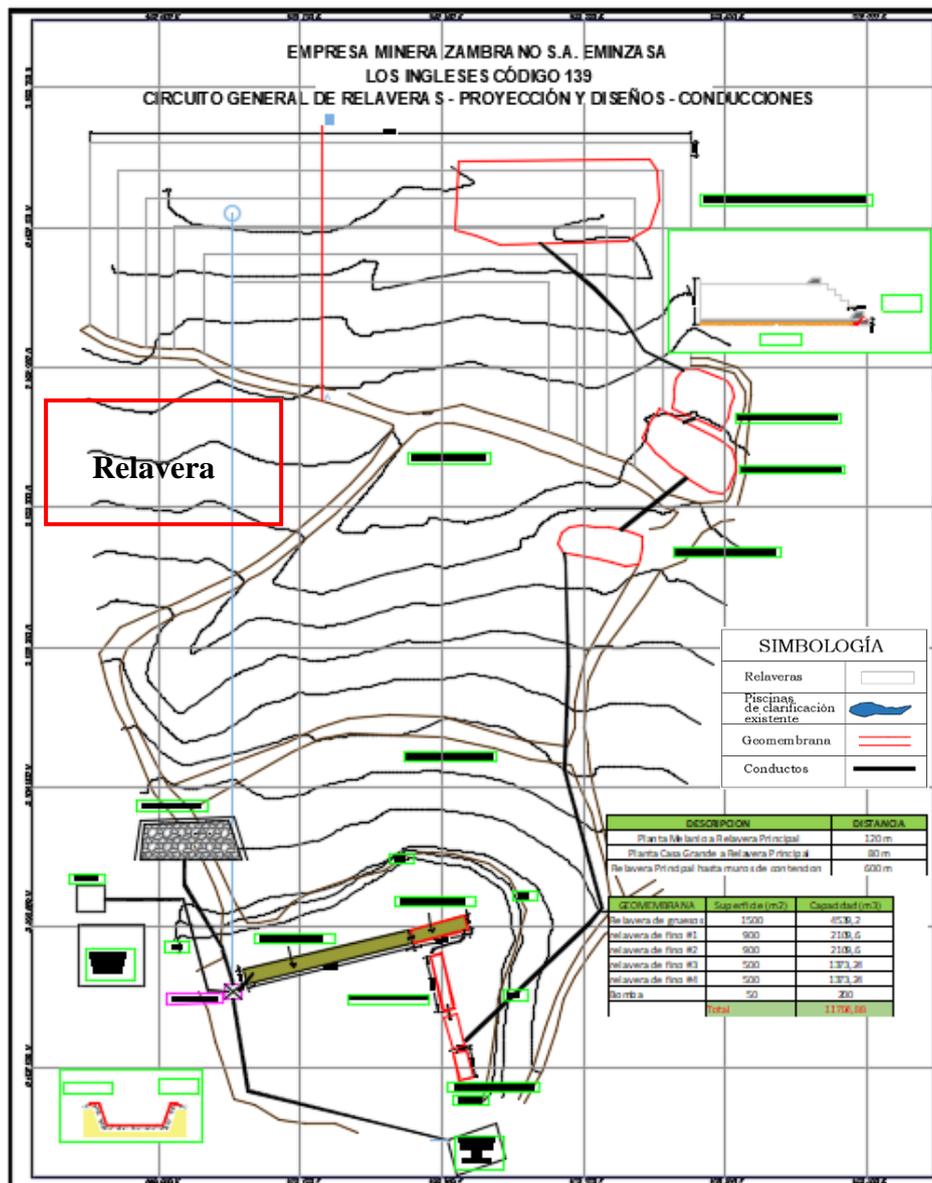
El clima de igual manera influye directamente en los relaves, debido a que las condiciones meteorológicas pueden producir alteraciones en la composición tanto física como química de los metales almacenados en dichos relaves, por ende, es necesario conocer en que temporadas es donde el clima presenta más variaciones en dicha zona.

Las temperaturas medias anuales están comprendidas generalmente entre 17 y 28° C, pero pueden en ocasiones ser inferiores en las vertientes menos expuestas al sol; las temperaturas mínimas descienden rara vez a menos de 15° C y las máximas no superan los 30° C. Variando en función de la altura y de la exposición, la humedad relativa tiene valores comprendidos entre el 65 y el 85% y la duración de la insolación puede ir de 1.000 a 2.000 horas anuales, las precipitaciones anuales fluctúan entre 500 y 2.000 mm y están repartidas en dos estaciones lluviosas, de febrero a mayo y en octubre-noviembre, la estación seca principal, comprende de junio a septiembre (Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Bellamaría, 2011)

Para este apartado se propone implementar otra relavera que permita depositar el material tratado mediante floculación, cabe mencionar que este material ya viene secado debido al procedimiento realizado, es por ello que se opta por otro sitio que permita estudiar y utilizar el relave para darle un uso industrial.

Tratando de aprovechar el espacio se considera la ubicación de la relavera hacia el SW de las que están planificadas de esta manera:

**Figura 20.** Disposición de las relaveras



*Nota:* Adaptado de Eminza. S.A, (2022)

**Área** 433.54 m<sup>2</sup>

**Profundidad:** 5 m

### 6.8.1. Análisis técnico

Tomando en consideración los tres métodos planteados en el presente trabajo de filtro prensa, fitorremediación y floculantes, se analiza cual es método más idóneo a implementar

**6.8.1.1. Filtro prensa:** Al terminar el proceso de beneficio se debe disponer de una adecuada gestión, el filtro prensa tiene una aplicación para el secado de concentrados y para relave. Sin embargo, 20 toneladas solamente son de concentrado y 480 de relaves, es por ello que inmediatamente el relave debe ser secado y tratado por lo que el filtro debe ser capaz de extraer humedad de toda esta cantidad de residuo. Asimismo, es importante considerar el consumo energético y que cantidad de humedad puede retirar el filtro.

Existen estudios en el que se demuestra que con el filtro es posible recuperar el 80% al 90% del agua, sin embargo, existe la desventaja de que retiene partículas de 17  $\mu\text{m}$  en adelante, las menores a este valor pasan a través del filtro, lo que se consideraría como lamas, por ende, se debe optar por un tratamiento adicional de biorremediación o floculación para poder extraer los metales pesados.

A continuación, se realizó el cálculo de volumen que necesitaría el filtro para 480 T de relave.

$$Vol Fp = \frac{vl * \%Sl}{\%St * \#tandas}$$
$$Vol Fp = \frac{1925000 * 29.17\%}{30\% * 3} = 623\ 913.89\ L$$

Vol Fp: Volumen del filtro prensa en filtro (L)

VI: volumen de lodos a deshidratar en el día (L)

%Sl: Porcentaje de sólidos en lodos (29.17)

%St: Porcentaje de sólidos en torta (30%)

#tandas: Número de tandas (normalmente 3 turnos en 8 horas)

En cuanto al porcentaje de solidos el filtro es capaz de comprimir y deshidratar sólidos hasta obtener del 25% al 60% por peso de los lodos compactados, que es el equivalente del 5.83 % al 17.57% de los sólidos.

**6.8.1.2. Fitorremediación:** La fitorremediación es un proceso ecológico con un enfoque práctico para limpiar agua contaminados con metales, siendo uno de los métodos más rentables de extracción de metales, sin embargo, no es útil para extraer humedad que es lo que principalmente se aborda en este trabajo, su empleo es válido como un tratamiento adicional de estabilización y retención de metales pesados para filtro prensa en el que el porcentaje de metales que puedan pasar a través del filtro puedan ser absorbidas por las especies.

Asimismo, considerando la temperatura y el clima, se debe elegir una especie que se adapte a las características antes mencionadas, e implementar un área para este tratamiento como son las piscinas.

Se ha seleccionado una especie denominada *Lemna minor* o comúnmente conocida como lenteja de agua, es un tipo de alga que presenta una estructura muy simple y una de las tasas más altas en el mundo. En comparación con otras plantas acuáticas, son muy tolerantes a un amplio rango de temperaturas. Docaur (1983), menciona un rango de 25 a 31 °C, asimismo tolera amplios rangos de pH de 3 a 10.

La lemna minor está conformada por una o varias frondas (conjunto de hojas), las cuales pueden reproducirse 20 o 50 veces durante su ciclo de vida, el cual puede prolongarse de 10 días a varias semanas, Lemon *et al.* (2001) mencionan que el tiempo de vida promedio de las frondas de la especie lemna minor es de 31,3 días con una producción de 14,0 frondas, así mismo, con una tasa de producción de 0,45 frondas por día.

**6.8.1.3. Floculación:** Como se mencionó previamente los floculantes son productos diseñados para optimizar la velocidad de sedimentación, mejorar la clarificación/turbidez del sobrenadante (overflow) y adecuar el porcentaje de sólidos del concentrado o relave a las etapas subsiguientes, como las etapas de filtrado o tanques de relave. Es una nueva tecnología que permite extraer más humedad que con el filtro prensa, con la finalidad de demostrar que es posible recuperar mayor cantidad de agua se presenta el siguiente estudio realizado por la empresa EcoFluid System para la empresa Eminza. S.A.

Se puede observar la recuperación de agua del concentrado sin tratamiento previo de 266.69 a 320.03 Lt (Ver Tabla 19) con una cantidad de relave de 1604,42 a 1925.30 m<sup>3</sup>/día, luego de realizado el tratamiento de puede demostrar una recuperación de agua de 1217,18 a 1460,62 m<sup>3</sup>/día (Ver Tabla 20) incluyendo el agua del concentrando demostrando su eficiencia en el objetivo que se pretende cumplir.

**Tabla 19.** Balance de masa y volumen

<b>Balance de masa y volumen para llevar un buen control de los relaves</b>												
Material Mineralizado x Día (d=2,5)	Agua Requerida para procesar	Total Volumen Ingresado	Volumen Concentrado (3,5%) (d=2,9g/ml)	Material Esteril = 1667 Kg/m3	Vol. Relave	Agua Recuperada del Concentrado	Relave Fino (Lama)	# de Plantas Benef.	Total Relave Fino No Tratado			
Tn/día	m3/día	m3/día	m3/día	Tn/día	m3/día	m3/día	Tn/día	m3/día	m3/día	m3/día		m3/día
500,0	192,31	1750,00	1942,31	15,50	4,56	333,33	484,50	1604,42	266,69	1337,72	1	1337,72
600,0	230,77	2100,00	2330,77	18,60	5,47	400,00	581,40	1925,30	320,03	1605,27	1	1605,27

*Nota:* EcoFluid System, (2023).

**Tabla 20.** Tratamiento de los relaves finos

<b>Tratamiento de los relaves finos o lamas después de que sale de la Relavera</b>						
Material Mineralizado Tn/día	Volumen Después (d=1,15)	de Relave de la Relavera	Sólidos dispuestos en la Relavera	Agua Recuperada	Agua Recuperada Total, Incluyendo el agua del Concentrado	
	m3/día	Tn/día	m3/día	Tn/día	m3/día	
500	1337,72	1618,65	387,24	681,54	950,49	1217,18
600	1605,27	1942,38	464,68	817,84	1140,59	1460,62

*Nota:* EcoFluid System, (2023).

A manera de resumen se muestra la Tabla 21, en el que se especifica la cantidad de agua recuperada en 480 a 580 T de relave.

**Tabla 21.** Resumen del balance de masa y volumen

<b>Resumen del balance de masa y volumen</b>								
Mineral a Procesar	Agua (m3)	Requerida	Agua Recuperada			Agua a completar de Captación o de Mina		
Tn	m3/día	l/s	m3/día	l/s	%	m3/día	l/s	
500	1750	20,3	1217	14,1	69,6%	533	6,2	
600	2100	24,3	1461	16,9	69,6%	639	7,4	

*Nota:* EcoFluid System, (2023)

Para poder realizar esta técnica de floculación se deben implementar los tanques de agitación que son equipos de utilizados para mezclas fases homogéneas y heterogéneas en este caso el lodo y el superfloculante. La dosificación va a venir definida por el ensayo de jarras, a continuación, se muestra la dosis ajustada a la cantidad de relave.

Caudal (Q): 24 l/s

Volumen a tratar (v): 2073 m<sup>3</sup>/día

Solución (sf): 1.5 (de los 3ml del ensayo se pierde un 50% al aplicar en grandes dosis).

Caudal del polímero: 0.5 (l/s)

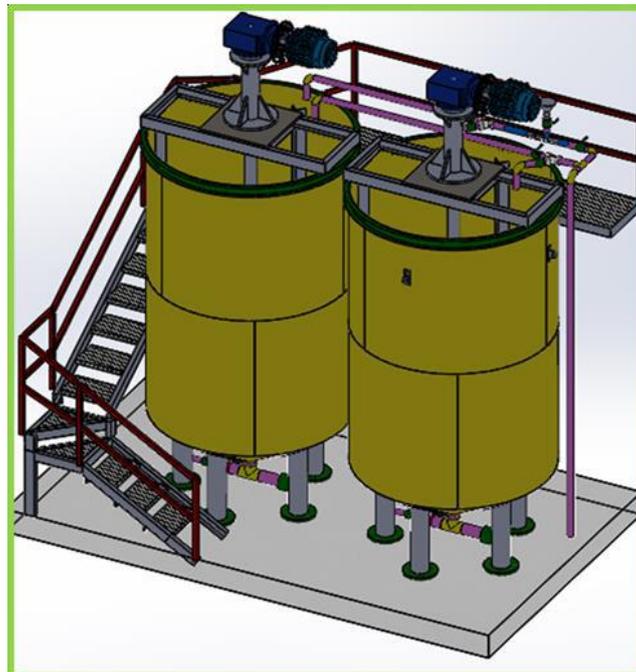
**Tanques de agitación:** La empresa Ecofluid System, recomienda las siguientes dimensiones para los tanques

**Tabla 22.** Dimensiones del tanque dosificador

<b>Dimensiones de los tanques de relaves</b>	
Perímetro (m)	8
Altura (m)	3
Diámetro (m)	2.55
Sección (m <sup>2</sup> )	7.65
Volumen T (m <sup>3</sup> )	15.28
<b>Volumen del cono cilindro</b>	
Altura (m)	0.6
Volumen (m <sup>3</sup> )	1.02
Angulo (°)	23.23
<b>VOLUMEN TOTAL (m<sup>3</sup>)</b>	<b>16.30</b>

*Nota:* Elaborado por autor, adaptado de Ecofluid System, (2023)

**Figura 21.** Tanque de agitación



*Nota:* Ecofluid System, (2023)

### 6.8.2. Análisis económico

Para el análisis económico se llevó a cabo una comparación entre las tres metodologías planteadas de filtro prensa, fitorremediación y floculación; con la finalidad de conocer cual

método es el que mejor cumple su función, así como el costo que conlleva cada uno, de tal manera que se determine que procedimiento es el más adecuado.

**6.8.2.1. Filtro prensa:** El método de filtro prensa es el más costoso de los tres esto debido a la maquinaria que se debe implementar y a los costos que conlleva cada uno de los procesos que la conforman para su correcto funcionamiento.

Adicional a ello, cabe mencionar que los filtros prensa presentan varios problemas operacionales y de mantenimiento que varían desde dificultades en los sistemas de alimentación de reactivos y acondicionamiento del fango hasta periodos de puesta fuera del servicio para realizar las labores de mantenimiento demasiado prolongados.

De igual manera, la ventaja principal que los filtros prensa presentan es su capacidad para conseguir sequedades superiores al 35%, en donde, los costos energéticos son equiparables a la filtración por vacío y son adaptables a diferentes tipos de relaves, sin embargo, como se lo mencionó previamente tienen un costo de inversión muy alto, así mismo, necesitan gran cantidad de reactivos en la fase de acondicionamiento y generan altos costos de explotación.

Cabe mencionar también que este proceso es uno de los más recomendables gracias a la maquinaria que ocupa, lo que genera que cumpla correctamente con su función, sin embargo, debido a los costos que requiere no siempre es el más utilizado, por ende, se opta por otros métodos.

De igual manera cabe recalcar que el consumo energético que presenta el proceso de filtro prensa se sitúa entre 40 y 60 kWh/t MS.

**6.8.2.2. Fitorremediación:** La fitorremediación por su parte es el que menos costo requiere, ya que como se lo ha mencionado antes es una tecnología sustentable, esto por el hecho de que el uso de plantas para la absorción de metales resulta muy económico y a su vez limpio ya que no emplea reactivos peligrosos, de igual manera, es un proceso que se realiza in situ, por ende, no requiere costos adicionales de transporte y sus costos operacionales no son muy significativos.

La principal ventaja que presenta la fitorremediación es que su principal fuente de energía es la solar, lo que provoca a su vez que se mejore en buena manera el entorno donde se la ubique, sin embargo, una desventaja que presenta es que solo puede implementarse a bajas

concentraciones de contaminación, así como que no permite extraer humedad lo cual es algo que se busca en este trabajo.

No requiere consumo de energía, ni tampoco genera un costo extra por personal especializado debido a que solo ocupan prácticas agrícolas comunes o convencionales, lo cual genera que este proceso sea recomendable, sin embargo, requiere de mucho más tiempo que los otros dos métodos, así como de un área determinada para su producción.

De igual manera para este proceso se implementó la especie de planta acuática lemna minor o lenteja de agua gracias a su facilidad para adaptarse a cualquier tipo de ambiente y a su capacidad para absorber metales, lo que hace que sea una de las recomendables para la fitorremediación.

**6.8.2.3. Floculación:** Para la floculación como ya se lo mencionó anteriormente se realizaron pruebas con cuatro tipos de floculantes HARFLOC, 1110, 1140, 1145 y 1165, obteniendo los siguientes resultados, haciendo referencia al costo que significaron:

**Tabla 23.** Comparación de costos

Comparación de costos mediante el sistema de prueba de jarras														
Químicos utilizados en pruebas de jarras	Volúmenes de las soluciones gastadas de los diferentes químicos [ml]													
	Concentración solución %	Costo / kilo	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3			Muestra 4		
			Kg /m <sup>3</sup>	\$/ m <sup>3</sup>	V (ml)									
<b>Coagulantes</b>														
Sulfato de Aluminio	2,5	\$0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cloruro férrico			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrato de Calcio			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Floculantes catiónicos</b>														
HARFLOC - 1110	0,10	\$6,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

	0,10	\$6,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	0,10	\$6,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	0,10	\$6,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Floculantes aniónicos</b>												
HARF LOC - 1665	0,16	\$5,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	0,16	\$5,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	0,16	\$4,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Floculantes no iónicos</b>												
HARF LOC - 1145	0,10	\$6,00	0,037	0,225	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
HARF LOC - 1145	0,10	\$6,00	0,00	0,00		0,031	0,187	2,5	0,00	0,00	0,00	
HARF LOC - 1145	0,10	\$6,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,025	0,150	2	0,00	
HARF LOC - 1145	0,10	\$6,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00		0,019	0,125
<b>Control de pH / Alcalinidad</b>												
Ácido clorhídrico (gls)		\$10,90	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
Carbonato de calcio	2,00	\$1,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
Ácido fosfórico	2,00	\$2,40	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
Cal hidratada	2,00	\$0,40	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
<b>Oxidantes</b>												
	0,50	\$5,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
	0,50		0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
Volumen de la muestra empleada (ml)			80			80			80		80	

Índice de Willcomb: Escala (1-10)	4	6	8	6
Tiempo de floculación (min)	2	2	2	2
Sólidos suspendidos (mg/l)	70	32	12	27
Peso en gramos del sólido (g)				
pH final de la muestra	7,1	7,1	7,2	7,1
Kg polímero por m3 a tratar	0,037	0,031	0,025	0,019
Costo por m3 a tratar	\$0,225	\$0,187	\$0,150	\$0,112
Costo por tratar los m3	150	\$337,16	\$280,96	\$224,77
Consumo de kg de polyacrilamida	56,19	46,83	37,46	28,10

*Nota:* EcoFluid System, (2023).

Este método de floculantes se sitúa en cuanto a los costos en una posición intermedia entre los otros dos procesos, siendo más económico que la filtro prensa, pero más costoso que el proceso de fitorremediación, por ende, es el procedimiento que se empleó en el presente trabajo, dado que también permite extraer más humedad que el proceso de filtro prensa.

Adicional a ello, para conocer el volumen del tanque con el consumo aproximado de polímetro, así como el costo que tendrá el mismo, se realizó un respectivo cálculo obteniendo los resultados que se pueden apreciar en la tabla siguiente:

**Tabla 24.** Cálculo volumen

Cálculo volumen tanque dosificador y consumo químico														
ml de muestra:	80	ml de solución:	1,5	% concentración química:	0,10	g/l o kg/m3:	1	Usd/kg	\$6,00					
Caudal a tratar (l/s)	Volumen a tratar (m3/h)	Volumen a tratar (m3)	Volumen a tratar (m3)	Tratar y dosificar la química (l/s)	Q Kg/día	Cálculo Química (24h) Sx/día	Volumen del (m3)	Usd/m3	Volumen (12h) V. trata (m3)	V. tanque (m3)	Volumen (8h) V. tratar (m3)	V. tanque (m3)	Volumen (4h) V. tratar (m3)	V. tanque (m3)
20	72,0	172	32,4	0,50	32,4	1,30	\$194	\$0,1	864,	16,2	576,	10,8	288,	5,40
0		8,0	0	0	0		,40	13	00	0	00	0	00	
24	86,4	207	38,8	0,60	38,8	1,56	\$233	\$0,1	1036	19,4	691,	12,9	345,	6,48
0		3,6	8	8	8		,28	13	,80	4	20	6	60	

*Nota:* EcoFluid System, (2023).

De igual manera se llevó a cabo el cálculo para conocer el dimensionamiento que tendrá el tanque dosificar y cilíndrico, lo cual se puede apreciar en la tabla 25

**Tabla 25.** Cálculo dimensionamiento

Dosificador para el super floculante
Dimensionamiento del tanque dosificador

Perímetro	8 m
Altura	3 m
Diámetro	2,55 m
Volumen t.	15,28 m <sup>3</sup>
Volumen del Cono Cilíndrico	
Altura	0,6 m
Volumen	1,02 m <sup>3</sup>
Ángulo	25,23 Grados
Vol. total	16,30 m <sup>3</sup>
<b>Tanque polímero proyectado</b>	
<b>Dimensionamiento del tanque cilíndrico</b>	
Perímetro	9 m
Altura	3 m
Diámetro	2,86 m
Volumen t.	19,34 m <sup>3</sup>
Volumen del Cono Cilíndrico	
Altura	0,6 m
Volumen	1,29 m <sup>3</sup>
Ángulo	22,73 Grados
Vol. total	20,63 m <sup>3</sup>
<b>Tanque polímero proyectado</b>	
<b>Dimensionamiento del tanque cilíndrico</b>	
Perímetro	9 m
Altura	3,75 m
Diámetro	2,86 m
Volumen t.	24,17 m <sup>3</sup>
Volumen del Cono Cilíndrico	
Altura	0,7 m
Volumen	1,50 m <sup>3</sup>
Ángulo	26,04 Grados
Vol. total	25,68 m <sup>3</sup>

*Nota:* EcoFluid System, (2023).

De esta manera se analizó que es lo que conlleva la implementación de este método de floculación y el costo que tiene cada elemento que se ocupa, para garantizar que el resultado sea el deseado.

**6.8.2.4. Resumen de los tres métodos:** Para comprender de mejor manera estos tres tipos de procesos antes mencionados y lo que conlleva cada uno, se realizó la siguiente tabla:

**Tabla 26.** Resumen métodos planteados

<b>Métodos planteados</b>					
<b>Filtro prensa</b>		<b>Fitorremediación</b>		<b>Floculación</b>	
<b>Descripción:</b>	Una de las técnicas más importantes para el tratamiento de los relaves, así como para la clarificación de las aguas residuales	<b>Descripción:</b>	Empleado como técnica para reducir la contaminación, la misma aprovecha la capacidad de absorción de ciertas especies vegetales	<b>Descripción:</b>	Una técnica que permite cambiar las propiedades del relave como la densidad, velocidad de sedimentación y recuperación de agua

<b>Característica:</b>	Logra sequedades superiores al 35% Los costos energéticos son equiparables a la filtración por vacío y son adaptables Recuperan del 80% al 90% del agua	<b>Características:</b>	No emplea reactivos peligrosos Es un proceso que se realiza in situ No requiere costos adicionales de transporte y sus costos operacionales no son bajos.	<b>Características:</b>	Mejora la clarificación / turbidez del sobrenadante Adecua el porcentaje de sólidos del relave a las etapas subsiguientes Extrae más humedad que el filtro prensa
<b>Economía:</b>	Es el método más costoso dado la maquinaria que ocupa y los procesos que conlleva al momento de emplearla para los relaves	<b>Economía:</b>	Es el proceso más económico y ambiental, gracias a que emplea plantas, y en este caso la lenteja de agua o Lemna minor que fue la analizada	<b>Economía:</b>	Es un proceso que se colocaría intermedio en cuanto a costos, siendo en parte económico y viable, dependiendo de los polímeros que se implementen.

*Nota:* Elaborado por El Autor

La empresa EcoFluid System realizó unos análisis económicos tanto cualitativo como cuantitativo (Ver Tabla 27 y 28) comparando con otros tipos de tratamiento, de igual manera se tiene que los relaves filtrados son los de mayor costo y lo de menor costo son los floculantes, en este análisis no se ha tomado en cuenta los de fitorremediación.

**Tabla 27.** Análisis de costos cuantitativos

<b>Análisis de costos cuantitativos: métodos de disposición de relaves</b>						
<b>Tecnología de deshidratación</b>	<b>Proceso típico &amp; costo de transporte (USD/Tn)</b>	<b>Presencia y costo de manejo de agua (USD/Tn)</b>	<b>Costo total (USD/Tn)</b>	<b>Rango del costo mundial (USD/Tn)</b>	<b>Incremento relativo del total, comparado con convencional (%)</b>	
Convencional sin espesador	\$0,20	\$1,00	\$1,20	\$0,50 - \$2,50	100,00%	
Espesado de alta densidad	\$0,50	\$1,00	\$1,50	\$0,75 - \$2,50	125,00%	
Pasta	\$1,50	\$0,50	\$2,00	\$2,00 - \$8,00	166,67%	
Filtrado	\$5,00	\$0,20	\$5,20	\$4,00 - \$12,00	433,33%	
Nueva tecnología EcoFluidSystem "EFS"	\$0,42	\$0,13	\$0,55	\$0,50 - \$1,10	45,83%	

*Nota:* EcoFluid System, (2023).

**Tabla 28.** Análisis de costos cualitativos

<b>Análisis de costos cualitativos: métodos de disposición de relaves</b>							
<b>Tecnología de</b>	<b>Capex al empezar la</b>	<b>Capex de equipos</b>	<b>Costos plena</b>	<b>Costos etapas</b>	<b>Capex otra relavera</b>	<b>Planta tratamie</b>	<b>Cierre de presa de relaves</b>

deshidratación	relavera o presa	o	operación	recircimie nto		nto de agua	de
Convencional sin espesador	Muy alto	Bajo	Bajo	Alto	Alto	Si	Alto
Pasta	Bajo	Medio	Medio	Medio	Alto	No	Medio
Filtrado	Bajo	Alto	Alto	Bajo	Bajo	No	Bajo
Nueva tecnología EcoFluidSystem “EFS”	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Muy bajo	Bajo	No	Muy bajo

*Nota:* EcoFluid System, (2023).

### 6.8.3. Análisis ambiental

Aunque las tres técnicas cumplen con la finalidad de recuperar agua más limpia, existen técnicas que generan menor impacto ambiental es por ello que se analiza las técnicas de tratamiento de relaves:

A fin de determinar la que menor impacto genera se realizó una matriz de impactos que evalúa impactos positivos y negativos la misma se muestra a continuación:

**Puntuación:** La Tabla 27 muestra la puntuación de los impactos tanto positivos como negativos.

**Tabla 29.** Puntuación para valoración de impactos

Puntuación negativa		Puntuación positiva	
<b>Alta</b>	3	<b>Alta</b>	3
<b>Media</b>	2	<b>Media</b>	2
<b>Baja</b>	1	<b>Baja</b>	1

*Nota:* Elaborado por El Autor

**Impactos negativos:** La Tabla 28, muestra el análisis de impactos negativos en las técnicas de tratamiento.

**Tabla 30.** Impactos negativos

Indicadores	Técnica de tratamiento		
	Fitorremediación	Filtro Prensa	Floculantes
Emisiones gases	2	1	3
Alteración de la composición del agua	1	2	3
Derrame de aceites	1	3	1
Generación de desechos	1	3	3
Alteración a la composición del suelo por la técnica In situ	3	1	1

Alteración a la composición del aire	3	1	2
Ruido	1	3	1
<b>Sumatoria</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>14</b>

*Nota:* Elaborado por El Autor

**Impactos positivos:** La Tabla 29, muestra el análisis de impactos negativos en las técnicas de tratamiento.

**Tabla 31.** Impactos positivos

Indicadores	Técnica de tratamiento		
	Fitorremediación	Filtro Prensa	Floculantes
Mayor recuperación de agua	2	1	3
Mayor deshidratación	1	2	3
Mayor compactación	1	3	2
Generación de microhábitats	3	0	0
Interacción con procesos ecológicos a nivel macro	1	0	0
Eficiencia en la obtención del LMP	1	2	3
<b>Sumatoria</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>11</b>

*Nota:* Elaborado por El Autor

Resultado del análisis ambiental se tiene que la técnica que menor impacto ambiental tiene es fitorremediación ya que no es compleja de realizar y no tiene afectaciones adicionales sobre la calidad del agua, sin embargo, no tiene tanta eficiencia como lo son los floculantes que son lo que mayor puntuación obtuvieron en el análisis de impactos positivo, de esta manera se puede concluir que las técnicas más idóneas son floculación y luego fitorremediación como tratamiento adicional.

Cabe mencionar que, como resultado de los análisis de caracterización de agua se tiene que la misma está dentro del rango de los límites máximos permisibles establecidos por Libro del TULSMA VI, es decir puede ser devuelta a los cauces o en su defecto ser reutilizada en el proceso de beneficio de esta forma se está cumpliendo con legislación vigente.

## 7. Discusión

El tratamiento de relaves consiste en la correcta elección y gestión de la tecnología disponible que permita el reaprovechamiento de los componentes por su alto contenido de agua, sólidos e incluso metales. Al hablar de filtrado de relaves, apuntamos a dos temas, la recuperación de agua y el impacto ambiental, en este trabajo nos enfocamos principalmente en el primero de estos, es por ello que se analizaron tres técnicas, filtro prensa, fitorremediación y floculación, en las que se encontró mayor efectividad en la floculación sin embargo al analizar el tema de costos fitorremediación es el más económico.

En el estudio de Cuadro y otros (2019), denominado “Alternativa para la sustitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y moringa oleífera en tratamiento de aguas superficiales” realizado en Ecuador para reducir la turbidez menciona que los floculantes a base de almidón alcanzaron un 97.94 % en remoción de turbidez; de igual manera, Salgado (2023), en su investigación “Estudio Experimental para la detección de floculante en el sobrenadante de operaciones de espesamiento de relaves mineros” menciona que en Chile el consumo de agua alcanzó 54.6 m<sup>3</sup>/s, valor que fue cubierto en un 70% por agua recuperada, en un 24% por agua fresca y el 5% restante por agua de mar. El porcentaje cubierto por agua recuperada es aún mayor en las operaciones de concentración de mineral, donde alcanza el 75%, al compararlo con el presente trabajo, se obtiene que los floculantes a base de polímero alcanzan hasta un 98% de remoción de sólidos.

El crecimiento de la minería y las actividades de procesamiento de minerales ha provocado un aumento peligroso en la cantidad de materiales que se liberan, generalmente metales pesados que representan un riesgo grave para los seres humanos, animales y el medio ambiente, por ende, el uso de plantas para descontaminar suelos es una tecnología prometedora dados sus potenciales fitorremediadores, es por ello que Jaramillo y Flores (2012), en su trabajo “Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua) y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera menciona que la especie *Lemna minor* tiene una eficiencia del 24 al 26% y combinada con el de la especie *Eichornia crassipes* alcanza un porcentaje del 26 al 27%, es por este motivo que este tratamiento debe ser empleado como un complemento de otro tratamiento principal como podría ser el método de floculación o filtro prensa.

Asimismo, al analizar la técnica de filtro prensa Capone (2016), en su estudio “Filtros de prensa para relaves” señala que el contenido de finos de los relaves, específicamente el de arcillas, afecta directamente la tasa de filtrado, por ende, el número de equipos a utilizar y los costos asociados es significativo, debido también a que el filtro prensa deja pasar lo que comúnmente se denomina “lomas”, por esa razón, el agua tendrá turbidez y contenido de metales pesados; adicionalmente a ello, es capaz de comprimir y deshidratar sólidos hasta obtener del 25% al 60% por peso de los lodos compactados. Es por ese motivo que su uso se ve limitado y es necesario considerar una técnica adicional.

Para finalizar, se logró cumplir con los objetivos propuestos en el presente trabajo, de esta manera es posible brindar un técnica eficiente y segura para el tratamiento de los relaves, obteniendo una mayor recuperación de agua de casi el 98% con una calidad de agua que está dentro de los LMPs establecidos en la legislación vigente, adicionalmente si se requiere mejorar aún más se propone un tratamiento de fitorremediación con una especie de alga denominada lenteja de agua, es así que es posible lograr una explotación eficiente y sostenible.

## 8. Conclusiones

- El análisis de los procesos aplicados en la Planta de Beneficio EMINZA S.A. para la extracción, recuperación y generación de relaves mineros son diseñados de acuerdo a la capacidad de producción y las necesidades de la planta, así mismo este análisis permitió identificar como es el funcionamiento de cada uno.
- Mediante la caracterización del relave, a través del análisis de las propiedades físicas, químicas y mineralógicas, se pudo identificar que los relaves son de naturaleza polimetálica sulfurado, con un considerable contenido de metales de cobre, plomo, cadmio, hierro, entre otros; los cuales generan una contaminación considerable de suelos, por ende, se debe realizar el respectivo tratamiento para dichos relaves.
- La prueba de jarras con los polímeros permitió observar que tipo de floculante era el más adecuado para implementar, resultando en un super floculante fruto de la combinación de los floculantes HARFLOC - 1140 Y HARFLOC – 1145, el cual fue el que mejor resultados dio permitiendo recuperar gran cantidad de agua cristalina libre de sedimentos.
- Al analizar la composición química de los sólidos como de los líquidos presentes en los relaves permitió realizar un correcto proceso de tratamiento y disposición final de los mismos, dado que de esta manera se conoció el nivel de toxicidad que tienen y si el agua que se recupera se podrá volver a utilizar, lo cual en este trabajo dio un resultado positivo.
- De acuerdo al análisis técnico realizado entre los métodos de filtro prensa, fitorremediación y floculación, se determinó que el óptimo es el de floculación, el cual permite extraer mayor cantidad de humedad en comparación con el filtro prensa, lo cual es lo requería generar en el presente trabajo, observar cual es el procedimiento que presenta mayor recuperación de agua.
- Se concluyó que el método de floculación es el que mejor se adapta en la realización del presente trabajo, a nivel económico y de tiempo, dado que en el análisis económico se pudo evidenciar que el más costoso era el de filtro prensa, y el más económico y ambiental era el de fitorremediación, sin embargo, este no es capaz de extraer humedad, razón por la cual no fue de utilidad, mientras que el procedimiento a través de polímeros no representa un costo significativo y es muy viable.
- Como una alternativa para el tratamiento de los relaves, específicamente del agua producida en los mismos y para que el aire se encuentre libre de contaminantes, se pudo

determinar que el proceso de fitorremediación es una alternativa tecnológica beneficiosa, económica, sostenible y está acorde a la normativa legal vigente; gracias a la implementación de la especie *Lemna minor* o lenteja de agua, la cual puede absorber algunos metales pesados, como lo son el cadmio, cobre, plomo, zinc y mercurio, y así mismo genera un impacto ambiental positivo.

## 9. Recomendaciones

- Se recomienda aplicar técnicas de fitorremediación a los relaves para estabilizar y retener metales pesados en las raíces de las plantas, las especies *Lemna minor* y *Eichornia crassipes* pueden ser una buena opción debido a sus características, sin embargo, no es recomendable utilizar este tratamiento como el único ya que su capacidad de absorción de humedad es poca.
- Considerando las características del relave es recomendable continuar la investigación de sus propiedades a fin de determinar un uso industrial y minimizar el impacto ambiental. Actualmente existen diversos usos como relleno para labores antiguas subterráneas, adoquines u otros posibles usos para evitar la acumulación excesiva de los relaves en un solo sitio.
- Se recomienda realizar monitoreos constantes y seguimiento para el transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición de relaves, así como de la relavera, a fin evitar posibles focos de contaminación.
- Los floculantes utilizados para esta prueba (HARFLOC 1140-1145) pueden ser empleado para el proceso de concentración, porque permiten la precipitación de metales pesados y es posible recuperar agua libre de contaminantes a su vez podrían servir para el proceso de flotación.
- Se establece como recomendación el estudio de las relaveras, con la finalidad de realizar pruebas más detalladas con el relave y establecer con mayor exactitud el comportamiento operacional y determinar un diseño adecuado para la disposición final de los residuos mineros.
- Si bien es cierto la mena varía en su composición porque va de acuerdo a las características del yacimiento, es por ello que se recomienda evaluar periódicamente las características del relave así como del agua recuperada que es cerca del 98% y es reutilizada en el proceso de beneficio, a fin de evitar el retorno de posibles aguas contaminadas.

## 10. Bibliografía

- (2020). Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/equipos-mineros-filtro-prensa-omar-fimbres/?originalSubdomain=es>
- Álvarez, M. (2017). *Sostenibilidad de tratamiento de residuos mineros asociados al riesgo* . Obtenido de <https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/43659/TFMMirenJosuAlvarezAmigoRUO.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Alvarez, M. (2017). *Sostenibilidad de tratamientos de residuos mineros asociada al riesgo*. Obtenido de <https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/43659/TFMMirenJosuAlvarezAmigoRUO.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Arias, K. (15 de 06 de 2013). *Geoquímica de Elementos Trazas*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/120406433/geoquimica-de-elementos-trazas>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (24 de Noviembre de 2011). *Ley de minería. Registro Oficial Suplemento 517 de 29-ene-2009*. Obtenido de [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_mineria.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_mineria.pdf)
- Briones, J. (2022). “*Caracterización del riesgo asociado a la presencia de relaves mineros en la provincia de El Oro*”. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/55502/1/T-70716%20BRIONES%20ESCALDA.pdf>
- Cabezas, B. (2022). *Caracterización geológica, granulométrica y geoquímica del relave abandonado El Escorial de Cabildo*. Obtenido de <https://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/23625>
- Caicedo, S. (18 de 07 de 2014). *PLANTEAMIENTO DE UNA TECNOLOGÍA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA EL PROCESO DE BENEFICIO DE ORO SIN MERCURIO*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/11872>
- Capone, M. (2016). *Filtros de prensa para relaves*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142809>
- CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2. (25 de 01 de 2021). *Registro Oficial No. 449 , 20 de Octubre 2008*. Obtenido de <https://biblioteca.defensoria.gob.ec/handle/37000/3390>

- Diemme Filtration. (2022). *Filtro prensa de viga*. Obtenido de [https://www.diemmefiltration.com/es/filtros-prensa/filtro-prensa-ght-f/?\\_gl=1\\*1qp5k4h\\*\\_up\\*MQ..\\*\\_ga\\*MTgyMTYxNTQxOC4xNjgyMjMwNjYx\\*\\_ga\\_PNQ092PTEP\\*MTY4MjIzMDY1OS4xLjAuMTY4MjIzMDY1OS4wLjAuMA..](https://www.diemmefiltration.com/es/filtros-prensa/filtro-prensa-ght-f/?_gl=1*1qp5k4h*_up*MQ..*_ga*MTgyMTYxNTQxOC4xNjgyMjMwNjYx*_ga_PNQ092PTEP*MTY4MjIzMDY1OS4xLjAuMTY4MjIzMDY1OS4wLjAuMA..)
- EcuRed. (s.f.). Obtenido de [https://www.ecured.cu/Densidad\\_aparente](https://www.ecured.cu/Densidad_aparente)
- Escobar, O. (2020). *MANEJO, GESTIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RELAVES MINEROS GENERADOS EN EL PROYECTO RÍO BLANCO*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/344371423\\_MANEJO\\_GESTION\\_TRATAMIENTO\\_Y\\_DISPOSICION\\_FINAL\\_DE\\_RELAVES\\_MINEROS\\_GENERADOS\\_EN\\_EL\\_PROYECTO\\_RIO\\_BLANCO](https://www.researchgate.net/publication/344371423_MANEJO_GESTION_TRATAMIENTO_Y_DISPOSICION_FINAL_DE_RELAVES_MINEROS_GENERADOS_EN_EL_PROYECTO_RIO_BLANCO)
- Espín, D. (2018). *Manejo, gestión, tratamiento y disposición final de los relaves generados por el beneficio del mineral obtenido de la explotación del proyecto río Blanco*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14002/1/T-ESPE-057836.pdf>
- Espinoza, N. (2021). *Revalorización de relaves mineros*. Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/50565/3560901069175UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gad Municipal de Santa Rosa. (2014-2017). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Santa Rosa*. Obtenido de [file:///C:/Users/Pc%20one/Downloads/PDOT%202014-2017%20SANTA%20ROSA%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Pc%20one/Downloads/PDOT%202014-2017%20SANTA%20ROSA%20(1).pdf)
- GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN SANTA ROSA. (2019-2023). Obtenido de <http://www.santarosa.gob.ec/web/geografia-y-ubicacion/>
- González, F. (2022). *Caracterización física, química y mineralógica del tranque de relaves N°2, Planta la cocinera, ovalle, región de Coquimbo, Chile*. Obtenido de <file:///C:/Users/Pc%20one/Downloads/Tesis%20Felipe%20Gonzalez%20Arias.Marked.pdf>
- Huanga, L. G. (2022). *REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CADMIO Y PLOMO DE AGUAS RESIDUALES DE RELAVES MINEROS MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE FILTROS LITOLÓGICOS*. Obtenido de [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18623/1/T-27503\\_GUERRERO%20MAZA%20LUZ%20ALICIA.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18623/1/T-27503_GUERRERO%20MAZA%20LUZ%20ALICIA.pdf)

- ICMM. (05 de 08 de 2020). *Gestión ambiental / Residuos de relaves*. Obtenido de <https://www.icmm.com/es/gestion-ambiental/gestion-de-desechos/acerca-de-los-relaves>
- ICMM. (5 de 08 de 2020). *Gestión ambiental. Residuos de relaves*. Obtenido de <https://www.icmm.com/es/gestion-ambiental/gestion-de-desechos/acerca-de-los-relaves>
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2017). *Hoja geológica de Machala*. Obtenido de <https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-tematicos-1-100-000/>
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (03 de 2022). *Caracterización geoquímica y mineralógica de relaves mineros La Ciénega - La libertad*. Obtenido de <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3702>
- ISOMETRIX. (s.f.). *Sistema de Gestión de Relaves*. Obtenido de <https://www.isometrix.com/uploads/files/Sistema-de-Gesti%C3%B3n-de-Relaves.pdf>
- Lalangui, L., & Méndez, D. (2021). *Caracterización de relaves mineros para su aprovechamiento en la fabricación de materiales de construcción*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/55505>
- Leiva, R. B. (2015). “*MEDICIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOQUÍMICAS Y MECÁNICAS DEL PASIVO AMBIENTAL RELAVE MINA PAREDONES PARA SU PROPUESTA DE UTILIZACIÓN COMO RELLENO EN PASTA PARA LABORES MINERAS SUBTERRÁNEAS – CAJAMARCA – SETIEMBRE 2015*”. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/5565/Benites%20Mostacero%20c%20Rogger%20Hans%20y%20Leiva%20Cercado%20Yanet.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Malhue, R. (2015). *Análisis de efectividad de las fitoestabilizaciones del Embalse de Relave Cauquenes, CODELCO*. Obtenido de <http://suelosustentable.cl/wp-content/uploads/2017/02/An%C3%A1lisis-de-efectividad-de-las-fitoestabilizaciones-del-Embalse-de-Relave-Cauquenes-CODELCO.pdf>
- Ministerio del Ambiente . (2020). Obtenido de [https://www.mercuryconvention.org/sites/default/files/documents/national\\_action\\_plan/NAP-Ecuador-May2020-ES.pdf](https://www.mercuryconvention.org/sites/default/files/documents/national_action_plan/NAP-Ecuador-May2020-ES.pdf)

- Murillo, I. (2021). *Análisis mineralógico y muestreo Geoquímico de la relavera CEMM-1 en el distrito de Catac, Perú*. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/54875/1/T-70669%20Murillo%20Lozano.pdf>
- Naranjo, J. (2020). *Caracterización geoquímica de pasivos ambientales mineros de la relavera “El tablón”*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22070>
- NextOre. (s.f.). *Clasificación del mineral a granel*. Obtenido de [https://nextore.com.au/wp-content/uploads/2020/11/NextOre\\_Whitepaper\\_Es.pdf](https://nextore.com.au/wp-content/uploads/2020/11/NextOre_Whitepaper_Es.pdf)
- Norma ASTM C 117 - 95. (2023). Obtenido de <https://pdfcoffee.com/astm-c-117-95-3-pdf-free.html>
- OnterGIS-Blog, México. (s.f.). *Introducción al análisis Geoquímico y representación gráfica en exploración minera*. Obtenido de <https://ontergisblog.wordpress.com/2019/08/19/introduccion-al-analisis-geoquimico-y-representacion-grafica-en-exploracion-minera/>
- Paredes, J. (03 de 2015). *Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros*. Obtenido de [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56700801/08ambientalesparedesucsmperufinal-libre.pdf?1527787715=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEvaluacion\\_de\\_la\\_aplicabilidad\\_de\\_especi.pdf&Expires=1679109947&Signature=DNzywqy6TRxEd~VoTGP4j-6auoZm](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/56700801/08ambientalesparedesucsmperufinal-libre.pdf?1527787715=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEvaluacion_de_la_aplicabilidad_de_especi.pdf&Expires=1679109947&Signature=DNzywqy6TRxEd~VoTGP4j-6auoZm)
- Parra, P., & Tapia, I. (2022). *“Análisis de la cinética de molienda entre molino chileno, molino de bolas de la planta de tratamiento FIRSTMETAL y molino SAG a escala de laboratorio, variando el porcentaje de humedad”*. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/11770/1/17298.pdf>
- Propiedades eléctricas de los minerales*. (s.f.). Obtenido de [https://biologia-geologia.com/geologia/2424\\_propiedades\\_electricas.html](https://biologia-geologia.com/geologia/2424_propiedades_electricas.html)
- Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa . (2017). *MANEJO, GESTIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RELAVES MINEROS GENERADOS EN EL PROYECTO RÍO BLANCO*. Obtenido de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-seguridad-defensa/article/view/RCSDV2N4ART1/pdf>

- Samuel, Q. (s.f.). *Trituración o Chancado*. Obtenido de [https://www.academia.edu/15179423/TRITURACION\\_O\\_CHANCADO](https://www.academia.edu/15179423/TRITURACION_O_CHANCADO)
- Sánchez, A. (2022). *Desechos sólidos peligrosos generados en la planta de tratamiento y beneficio de minerales RUMICURI*. Obtenido de [https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/SANCHEZ%20LEON%20ADRIANA%20ESTE FANIA\\_compressed.pdf](https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/SANCHEZ%20LEON%20ADRIANA%20ESTE FANIA_compressed.pdf)
- Sánchez, Y. (2019). *Estudio del relave minero de la planta de beneficio Santa Lucía*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21631/1/S%20a1nchez%20Val verde%20Yohana%20Estefan%20ada.pdf>
- Sánchez, Y. (2019). *Estudio del relave minero de la planta de beneficio Santa Lucía código 191038 del sector la maravilla de la parroquia Pucará*. Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21631/1/S%20A1nchez%20Valverde%20Yohana%20Estefan%20ADa.pdf>
- Servicio Geológico Colombiano. (s.f.). *GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DEL BENEFICIO DE ORO SIN EL USO DE MERCURIO*. Obtenido de [https://www.minenergia.gov.co/documents/7140/guia-mejoramiento-productivo-beneficio-oro-sin-mercurio-suarez-buenosaires-tam\\_tQzIsA5.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/7140/guia-mejoramiento-productivo-beneficio-oro-sin-mercurio-suarez-buenosaires-tam_tQzIsA5.pdf)
- Servicio Geológico Mexicano. (22 de 03 de 2017). *Beneficio y transformación de minerales*. Obtenido de [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html)
- Servicio Nacional de Geología y Minería Chileno. (2023). *Depósitos de relaves*. Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/preguntas-frecuentes-sobre-relaves/>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. Departamento de Seguridad Minera. (2007). *Guía técnica de operación y control de depósitos de relave*. Obtenido de <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/12/GuiaTecOperacionDepRelaves.pdf>
- Sistema de Geológico Mexicano. (10 de 01 de 2023). *Beneficio y transformación de minerales*. Obtenido de

[https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html#:~:text=El%20proceso%20consiste%20en%20modificar,y%20de%20su%20composici%C3%B3n%20qu%C3%ADmica.](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html#:~:text=El%20proceso%20consiste%20en%20modificar,y%20de%20su%20composici%C3%B3n%20qu%C3%ADmica.)

Universidad Industrial de Santander. (07 de 12 de 2017). *Ensayo al Fuego y Caracterización de Minerales*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/421206682/Informe-n%C2%BA-3-Ensayo-Al-Fuego>

Universidad Nacional de Colombia. (2008). *Concentración de minerales*. Obtenido de <https://unal.edu.co/resultados-de-la-busqueda/?q=CONCENTRACION%20DE%20MINERALES%20>

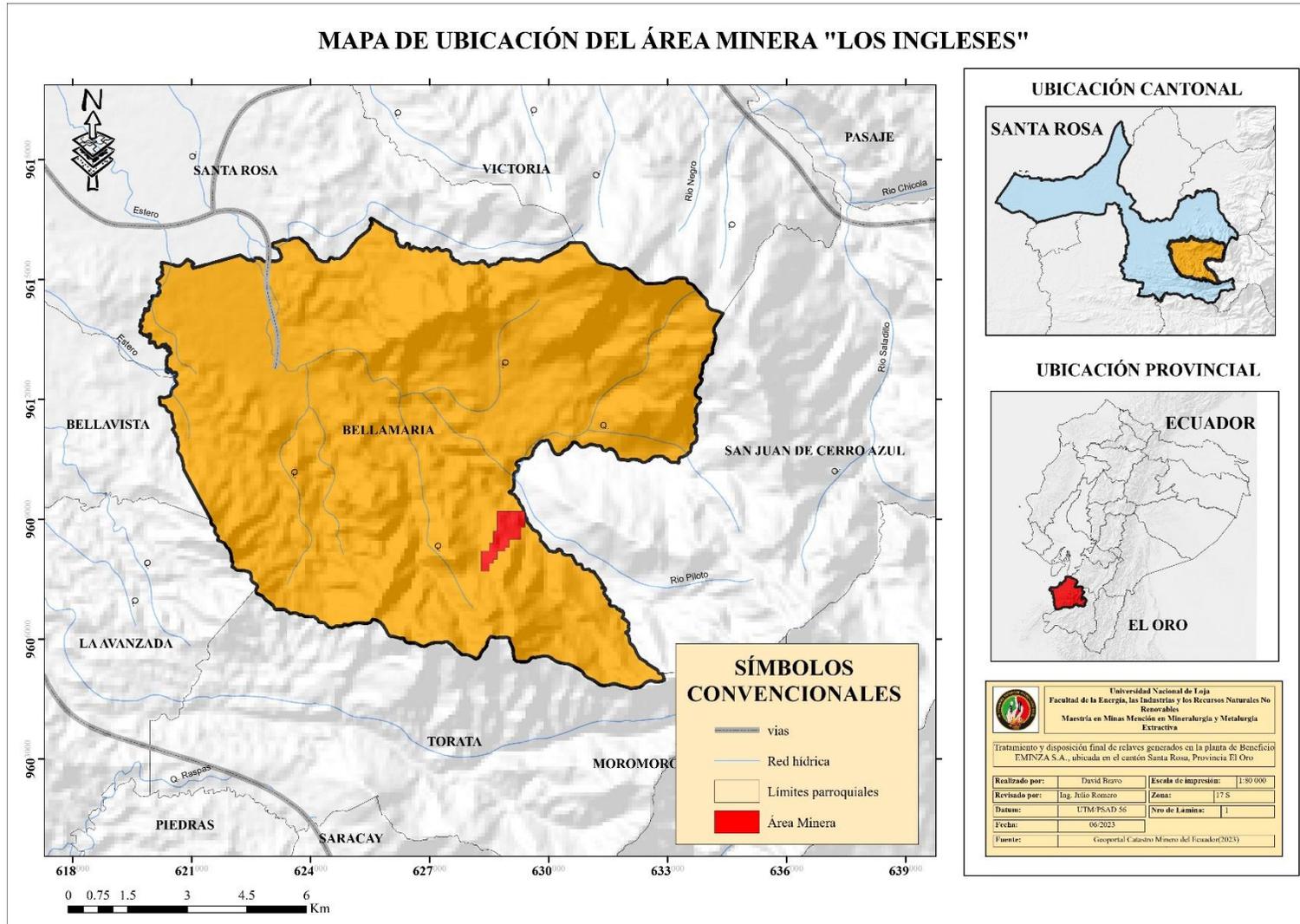
Villacís, J. (2009). *Diseño de planta para beneficiar el mineral de Pachicar por el método de flotación*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1712/1/CD-2287.pdf>

Villanueva, D. (2019). *Metodología de caracterización geoquímica de residuos mineros aplicable en faena*. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/170594/Metodolog%C3%ADa-de-caracterizaci%C3%B3n-geoqu%C3%ADmica-de-residuos-mineros.pdf?sequence=1>

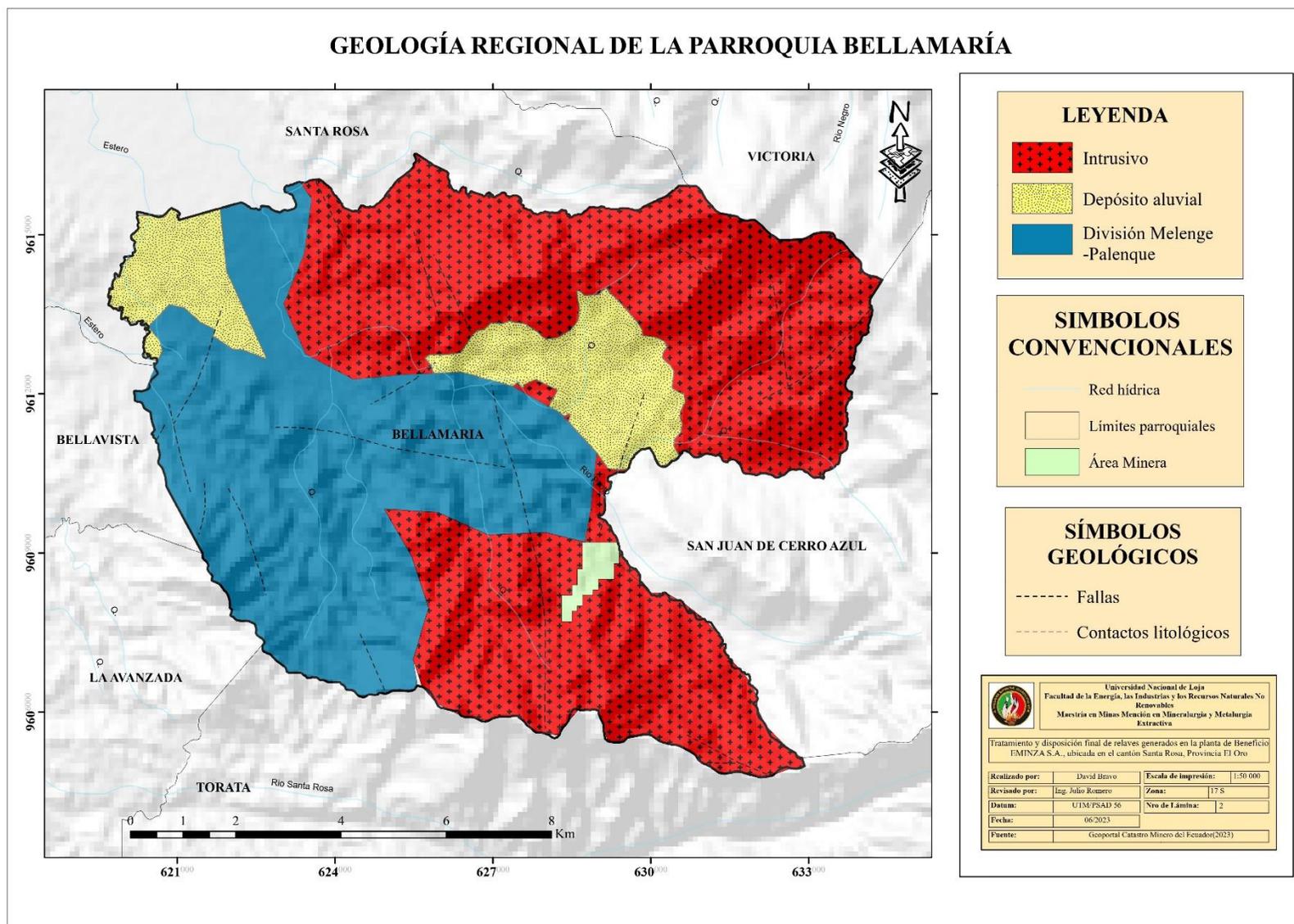
Wikipedia. (02 de 12 de 2021). *Flotación*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Flotaci%C3%B3n\\_\(proceso\)#:~:text=La%20flotaci%C3%B3n%20es%20un%20proceso,fase%20o%20pasen%20a%20otra.](https://es.wikipedia.org/wiki/Flotaci%C3%B3n_(proceso)#:~:text=La%20flotaci%C3%B3n%20es%20un%20proceso,fase%20o%20pasen%20a%20otra.)

# 11. Anexos

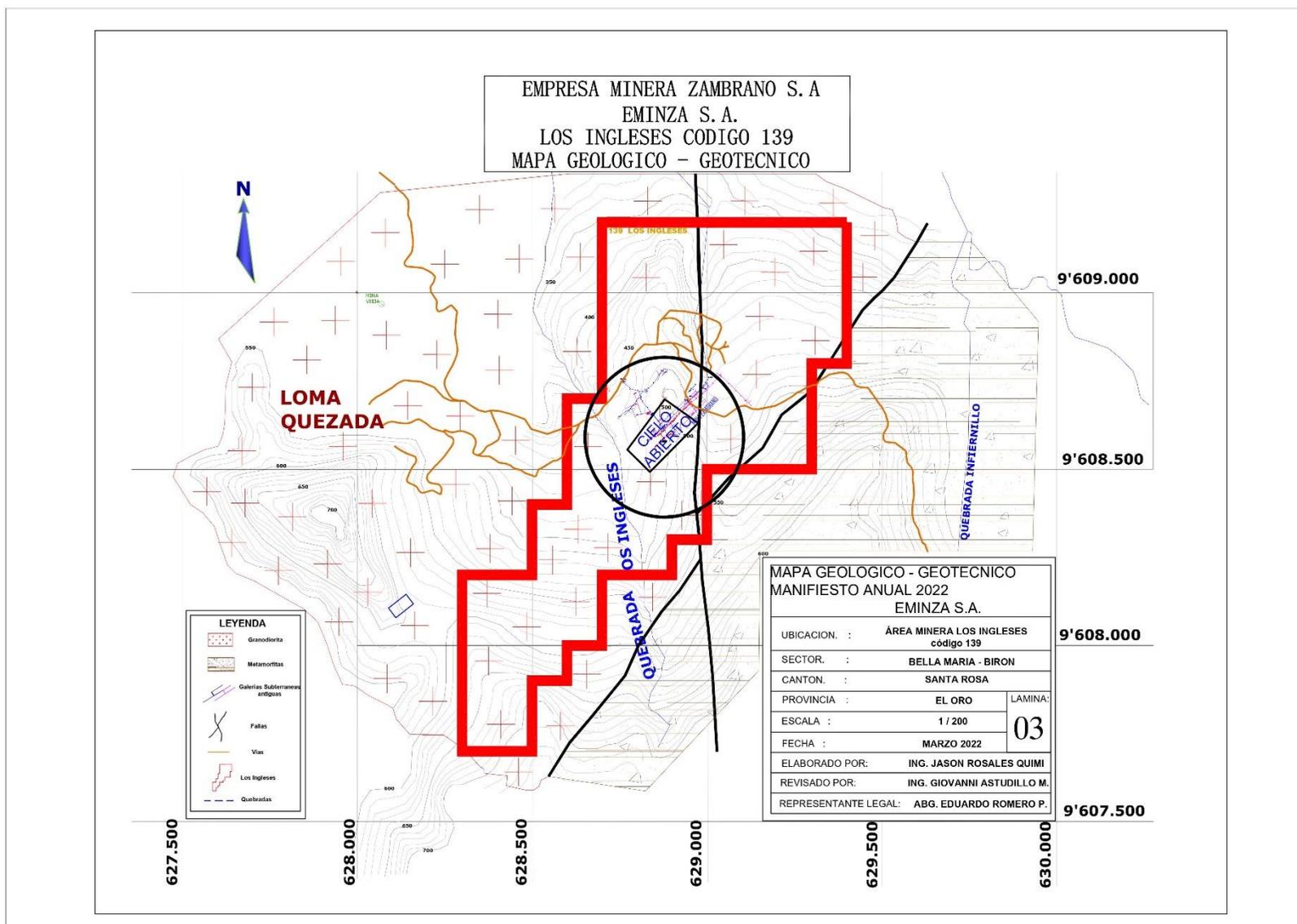
## Anexo 1. Mapa de ubicación



Anexo 2. Mapa de geología regional



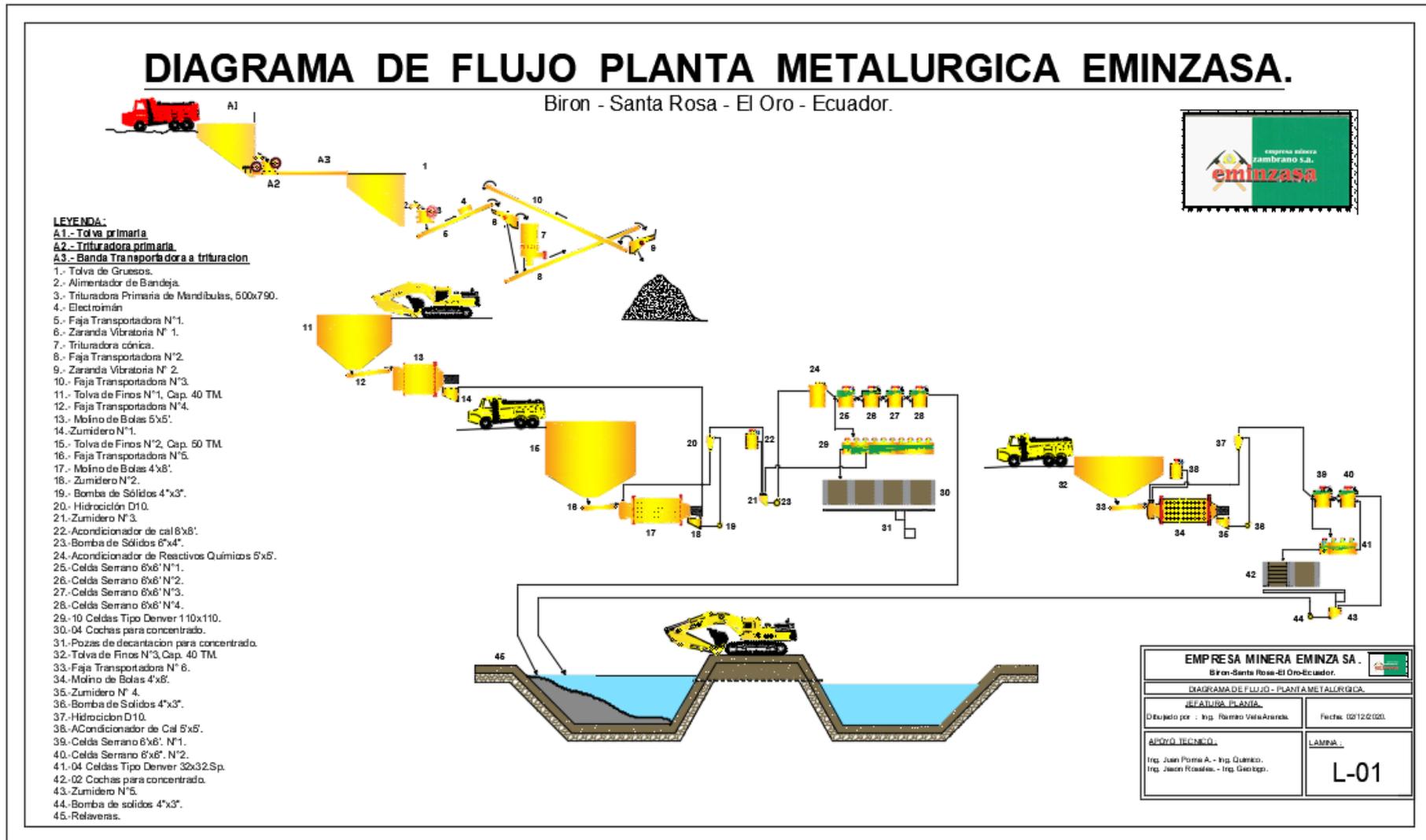
Anexo 3. Mapa de geología local



**Anexo 4.** Ficha de muestreo

<b>MUESTREO DE RELAVE</b>			
<b>Coordenadas</b>	X: 628733 Y: 9608475 Z: 380	Datum	WGS84
<b>Dimensiones</b>	<b>A:</b> 212.35 <b>L:</b> 83.79	<b>Fotografía</b>	
<b>Código</b>	<b>M01</b>		

Anexo 5. Diagrama flujo de la planta



Nota: Eminza. S.A. (2020)

## INFORME DE ENSAYO

Nº. 22893

<b>Cliente</b>	: <u>David Bravo Gonzalez</u>
<b>Dirección</b>	: <u>Loja</u>
<b>Tipo de Muestra</b>	: <u>Mineral</u>
<b>Envase</b>	: Funda Plástica
<b>Condición de la Muestra</b>	: En buenas condiciones para ser analizada
<b>Recepción de Muestra Nº</b>	: 15925
<b>Fecha de Recepción de Muestras</b>	: 2023-04-03 07:23:41.0
<b>Fecha Inició Análisis</b>	: 2023-04-03
<b>Fecha Terminó Análisis</b>	: 2023-04-03
<b>Fecha de Emisión del Informe</b>	: 2023-04-03

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

Firmado digitalmente por CINTHIA  
MELINA RIOS AGUILAR  
Nombre de reconocimiento (DN):  
c=CINTHIA MELINA RIOS AGUILAR,  
serialNumber=27012309832,  
o=SERVIDOR DE CERTIFICACION DE  
INFORMACION o-SECURITY GATA  
S.A.S. c=EC  
Fecha: 2023.04.03 16:34:43 -0500'

**Cinthia Ríos Aguilar**  
**Jefe de Laboratorio**

Página 1 de 2

## INFORME DE ENSAYO

Nº. 22893

### RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Comp.	Cod.	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb*	#Malla*	Hum*
	Nº	Alb.	g/t	g/t	%	%	%	%	%	%	%
RELAVE	2	101826	0.40	3.84	0.05	0.01	0.02	0.10	0.01	200 - 57	27.32

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

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.

#### 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

## INFORME DE ENSAYO

Nº. 22899

### RESULTADOS

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	Comp.	Cod.	Fe	Bi*	Cd*
	Nº	Alb.	%	%	%
RELAVE	2	101826	3.15	0.01	0.00

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

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 Nº SAE LEN 19-007.

#### 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

*Nota:* Albøxxus, (2023)

## Anexo 7. Análisis de calidad de agua



**Ciente:** EMPRESA MINERA ZAMBRANO S A EMINZASA  
 EL ORO / MACHALA / AV 25 DE JUNIO 141 Y GUAYAQUIL  
 Telf: 07 2985587 / 0999962113

**Actividad principal del cliente:** Extracción de metales preciosos: oro  
**Atn:** Ing. Vladimir Franco  
**Proyecto:** Monitoreo Eminza - Agua Residual  
**Fecha de Recepción:** 13 Ene 2023  
**Tipo de Muestra:** 1 Muestra de Agua residual  
**Fecha de Término de Análisis:** 24 Ene 2023  
**Identificación Gruentec:** 2301353-AD001  
**Fecha de Emisión del Informe:** 25 Ene 2023

**INFORME**  
 de RESULTADOS  
 de ANÁLISIS



Identificación de la muestra, cliente b):	DE 1	Fecha Medición	Tabla 9. Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
Fecha de Muestreo:	12 Ene 2023			
No. Reporte Gruentec:	2301353-AD001			

### Parámetros medidos en Sitio

Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}^{(1,2)}$	322	12 Ene 2023	N/A	EPA SW 846 9050 A / MM-AG-02
Materia flotante cualitativo <sup>(1)</sup>	Ausencia	12 Ene 2023	Ausencia	NMX-AA-006-SCFI-2000; SM 2530 B / MM-AG-61
pH Unidades de pH <sup>(1,2)</sup>	7.2	12 Ene 2023	6 - 9	SM 4500 H / MM-AG-01
Temperatura $^{\circ}\text{C}^{(1,2)}$	28.1	12 Ene 2023	Condición natural $\pm 3$	SM 2550 B / MM-AG-43

### Parámetros realizados en el Laboratorio

#### Físico Químico

Color Real 1/20 APHA PtCo <sup>(1)</sup>	<9 <sup>s1)</sup>	13 Ene 2023	Inapreciable en dilución: 1/20	SM 2120 C / MM-AG-36
Sólidos Suspendedos Totales mg/l <sup>(1)</sup>	34 <sup>s1)</sup>	13 Ene 2023	130	SM 2540 D / MM-AG-05
Sólidos Totales Gravimétricos mg/l <sup>(1)</sup>	283 <sup>s1)</sup>	13 Ene 2023	1600	SM 2540 B / MM-AG-06

#### Aniones y No Metales

Amonio mg/l <sup>(1)</sup>	0.10	17 Ene 2023	N/A	SM 4500 Norg / MM-AG-15
Amonio expresado como Nitrógeno mg/l <sup>(1)</sup>	0.07	17 Ene 2023	30	SM 4500 Norg / MM-AG-15
Cianuro Total mg/l <sup>(1)</sup>	<0.001	16 Ene 2023	0.1	SM 4500 CN / MM-AG-28B
Cloruro mg/l <sup>(1)</sup>	3.1	16 Ene 2023	1000	EPA 300.1 / MM-AG/S-37
Fluoruro mg/l <sup>(1)</sup>	<0.05	16 Ene 2023	5.0	EPA 300.1 / MM-AG/S-37
Sulfato mg/l <sup>(1)</sup>	100	16 Ene 2023	1000	EPA 300.1 / MM-AG/S-37
Sulfuro mg/l <sup>(1)</sup>	<0.013 <sup>s1)</sup>	13 Ene 2023	0.5	EPA 376.2 / MM-AG-33

#### Parámetros Orgánicos

Aceites y Grasas mg/l <sup>(1)</sup>	<0.3 <sup>s1)</sup>	13 Ene 2023	30	EPA 1664 / MM-AG/S-32
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/l <sup>(1)</sup>	<2 <sup>s1)</sup>	13 Ene 2023	100	SM 5210 B,D / MM-AG-19 A/B
Demanda Química de Oxígeno mg/l <sup>(1)</sup>	14 <sup>s1)</sup>	13 Ene 2023	200	SM 5220 D / MM-AG-18
Fenoles mg/l <sup>(1)</sup>	<0.001	16 Ene 2023	0.2	EPA 420.1 / MM-AG-25 A
Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) mg/l <sup>(1)</sup>	<0.3	16 Ene 2023	20.0	EPA 8015 D / MM-AG/S-23

#### Metales totales

Aluminio mg/l <sup>(1)</sup>	0.57 <sup>s1)</sup>	20 Ene 2023	5.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Arsénico mg/l <sup>(1)</sup>	0.024 <sup>s1)</sup>	20 Ene 2023	0.1	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Bario mg/l <sup>(1)</sup>	0.046 <sup>s1)</sup>	20 Ene 2023	2.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cadmio mg/l <sup>(1)</sup>	0.0019 <sup>s1)</sup>	20 Ene 2023	0.02	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Cobre mg/l <sup>(1)</sup>	0.02 <sup>s1)</sup>	20 Ene 2023	1.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Fósforo mg/l <sup>(1)</sup>	<0.1 <sup>s1)</sup>	20 Ene 2023	10.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39

**Cliente:** EMPRESA MINERA ZAMBRANO S A EMINZASA  
EL ORO / MACHALA / AV 25 DE JUNIO 141 Y GUAYAQUIL  
Telf: 07 2985587 / 0999962113

**Actividad principal del cliente:** Extracción de metales preciosos: oro

**Atn:** Ing. Vladimir Franco

**Proyecto:** Monitoreo Eminza - Agua Residual

**Fecha de Recepción:** 13 Ene 2023

**Tipo de Muestra:** 1 Muestra de Agua residual

**Fecha de Término de Análisis:** 24 Ene 2023

**Identificación Gruentec:** 2301353-AD001

**Fecha de Emisión del Informe:** 25 Ene 2023

**INFORME**  
de RESULTADOS  
de ANÁLISIS



Acreditación N° SAE LEN 05-008  
LABORATORIO DE ENSAYOS



Identificación de la muestra, cliente b):	DE 1	Fecha Medición	Tabla 9. Anexo 1, Acuerdo Ministerial 097-A, TULSMA Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	Método Adaptado de Referencia / Método Interno
<b>Fecha de Muestreo:</b>	12 Ene 2023			
<b>No. Reporte Gruentec:</b>	2301353-AD001			

**Metales totales**

Hierro mg/l <sup>(1)</sup>	0.59 <sup>e1)</sup>	20 Ene 2023	10.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Manganeso mg/l <sup>(1)</sup>	1.4 <sup>e1)</sup>	20 Ene 2023	2.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Mercurio mg/l <sup>(1)</sup>	<0.0002 <sup>e1)</sup>	20 Ene 2023	0.005	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Plomo mg/l <sup>(1)</sup>	0.001 <sup>e1)</sup>	20 Ene 2023	0.2	EPA 6020 B / MM-AG/S-39
Zinc mg/l <sup>(1)</sup>	0.40 <sup>e1)</sup>	20 Ene 2023	5.0	EPA 6020 B / MM-AG/S-39

**Metales en Agua**

Cromo Hexavalente mg/l <sup>(1)</sup>	<0.002	24 Ene 2023	0.5	EPA 3060 A / MM-AG/S-38
---------------------------------------	--------	-------------	-----	-------------------------

**Acreditaciones**

(1) Servicio de Acreditación Ecuatoriano: Certificado No. SAE LEN 05-008

(2) Organismo de Acreditación Americano A2LA: Certificado No.4290.01

**Notas y Aclaraciones**

Los ensayos marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación del SAE

Lugar de ejecución del Análisis: Todos los analisis presentados fueron realizados en la Matriz Quito, a excepción de los marcados con la letra (s)

N/A - No Aplica

a) Los equipos utilizados en los ensayos presentados cuentan con sus debidos certificados de calibración o sus homólogos, solicitar al Laboratorio en caso de requerirlos

b) Información proporcionada por el cliente, Gruentec no se responsabiliza por la veracidad de la misma.

c) La muestra presentó condiciones adecuadas de preservación y conservación. Llegó en envases adecuados para proteger sus características.

d) Gruentec cumple con todas las condiciones ambientales requeridas para los ensayos, en caso de requerirlas, solicitar.

e) Diluciones:

e1) La Muestra presenta características que hicieron necesario aplicar dilución 2x.

s1) Parámetros realizados en Laboratorio Sucursal Guayaquil

**Porcentaje de incertidumbre por método o analito (u)**

Aceites y Grasas = 30%; Amonio = 10%; Amonio expresado como Nitrógeno = 10%; Aniones = 20%; Cianuro Total = 22%;

Color Real 1/20 = 18%; Conductividad = 11.0%; Cromo Hexavalente = 16%; Demanda Bioquímica de Oxígeno = 16%;

Demanda Química de Oxígeno = 22%; Fenoles = 16%;Hidrocarburos totales de petróleo (C8-C40) = 28%; Metales = 18%;

Sólidos Suspendedos Totales = 18%; Sólidos Totales Gravimétricos = 14%; Sulfuro = 27%; Temperatura = 17.0%;

**Valor e interpretación de la incertidumbre por método o analito (U)**

El valor de la incertidumbre de cada medición (U) se determina mediante la fórmula  $U = u/100 \cdot C$ , donde C es el valor de la medición.

El rango de incertidumbre obtenido se encuentra en el intervalo  $C \pm U$

**Valor e interpretación de la incertidumbre en métodos microbiológicos y pH**

En métodos microbiológicos y pH, el intervalo de incertidumbre no se establece respecto a un porcentaje de la medición sino a un rango determinado de forma estadística, los mismos que se detallan a continuación:

Intervalo de incertidumbre (U) para pH =  $C \pm 0.2$

ISABEL LAURA  
ESTRELLA  
SORIA

Firmado digitalmente por ISABEL LAURA  
ESTRELLA SORIA  
DN: cn=ISABEL LAURA ESTRELLA  
SORIA, o=SEC O=SECURITY DATA SA, 2  
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE  
INFORMACION  
Motivo: Estoy aprobando este documento  
URL: http://  
Fecha: 2023.01.25 17:24:05.00

**Ing. Isabel Estrella**  
Gerente de Operaciones

Nota 1: Este informe de resultados, opiniones y/o interpretaciones están basados en la información y la muestra provista por el cliente, para quien se ha realizado de manera exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de la muestra, objeto de este informe fue realizada por personal técnico de Gruentec. Ver adjunto el Registro de Campo correspondiente. El Plan Muestreo no fue definido por Gruentec, por lo que no se responsabiliza por la información relacionada.

Nota 3: Sin la aprobación del laboratorio no se debe reproducir este informe, excepto si se lo realiza en su totalidad.

# REGISTRO DE TOMA DE MUESTRA DE AGUA SIMPLE



INFORMACIÓN GENERAL						
EMPRESA:	EMPRESA MINERA ZAMBRANO S A EMINZASA					
ACTIVIDAD DE LA EMPRESA:	Empresa dedicada a la extracción de metales preciosos: oro					
PROYECTO:	Monitoreo Eminza - Agua residual					
DIRECCIÓN TOMA DE MUESTRA:	Provincia: El Oro, Cantón: Santa Rosa, Parroquia: Bellamaría, Sitio: Birón, Concesión Minera Los Ingleses, Empresa Eminza.					
TÉCNICO EMPRESA:	Ing. Vladimir Franco					
TÉCNICO GRUENTEC:	Ing. Erick Moreno					
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA						
Identificación de la muestra:	DE 1	Identificación Gruentec:	EZA-2301353-AD001			
Fecha y hora de toma de muestra:	12/01/2023 12:00	Cadena de Custodia N°:	31412			
Fecha de análisis completado (1):	22/01/2023	Fecha de emisión (2):	25/01/2023			
Coordenadas geográficas (3):		17 M	E	629305	Error:	± 4 m
			N	9608761	Datum:	WGS84

METODOLOGÍA							
La toma de muestras de agua se basa en lo establecido en las normas y metodologías de referencia:							
- Norma de Calidad Ambiental y Descargas de Efluentes: Recurso Agua, ANEXO I, A.M. 097, LIBRO VI, TULSMA.							
- Norma Técnica para el Control de Descargas Líquidas (NT002). Código Municipal para el Distrito Metropolitano de Quito.							
- Métodos Estándar, Edición 23, 2017. Capítulo 1060. Recolección y conservación de muestras, Método estándar para el análisis de agua y aguas residuales.							
- Norma ISO 5667:2006-01. Calidad del agua. Muestreo. Parte 1: Guía para el diseño de los programas de muestreo y técnicas de muestreo.							
- Norma ISO 5667:2006-05. Guía sobre muestreo de agua potable de obras de tratamiento y sistemas de distribución por tuberías.							
- Norma ISO 5667:2006-06. Guía sobre muestreo de ríos y arroyos.							
- Norma ISO 5667:2006-09. Guía sobre muestreo de aguas marinas.							
- NTE INEN 1108:2014-01. Agua potable. Requisitos.							
- NTE INEN 2169:98 Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras.							
- NTE INEN 2176:98 Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo.							
TIPO DE MUESTRA							
Matriz de la muestra:	Agua residual						
Facilidades del sitio de toma de muestra:	Accesible						
Tipo de descarga:	Frecuencia de la descarga (horas de descarga al día):	Tipo de cuerpo receptor al cual se descarga:	Tipo de tratamiento (físico, químico, biológico):	Tiempo de tratamiento por día (horas):	Días de operación por semana:		
Continua	24	Ambiente	Físico	24	7		
SITIO DE MUESTREO							
Descripción física y observaciones del sitio de toma de muestra							
Monitoreo realizado en la descarga de agua de la Empresa Eminza, la muestra se tomó de una tubería de PVC de 10 pulgadas de diámetro que descarga el agua residual al ambiente. Presencia de vegetación y arbustos alrededor del punto de monitoreo.							
Condiciones meteorológicas (Alto-Medio-Bajo-Ausencia)		Lluvia:	Ausencia	Humedad:	Medio	Viento:	Ausencia

# REGISTRO DE TOMA DE MUESTRA DE AGUA SIMPLE



IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA										
Identificación de la muestra:	DE 1			Identificación Gruentec:	EZA-2301353-AD001					
APARIENCIA DE LA MUESTRA <sup>(4)</sup>										
Olor	Inodora			Sólidos suspendidos	Bajo					
Color	Incolora			Materia flotante	Ausencia					
Espuma	Ausencia			Aceites y grasas	Ausencia					
Turbidez	Bajo			Otro (algas, etc.)	N/A					
VERIFICACIÓN DE EQUIPOS										
Equipos utilizados:			Parámetro:	Valor del estándar:				Observaciones:		
MULP 14	Sondas: ELEC 201	Hora: 7:00	pH [N/A]:	7 ≈	7.05	8 ≈	8.03	Verificación del parámetro pH		
MULP 14	ELEC 140	7:00	Conductividad [µS/cm]:	1000 ≈	1009	1412≈	1416	Verificación del parámetro Conductividad		
MULP 14	ELEC 201	7:00	Temperatura [°C]:	OK				Verificación del parámetro Temperatura		
MEDICIÓN DE PARÁMETROS IN SITU <sup>(5)</sup>										
Parámetro	Unidades	Valor	Duplicado	Parámetro	Unidades	Valor	Duplicado			
pH	-	7.22	7.25	Turbidez	[NTU]	n.d.	n.d.			
Conductividad	[uS/cm]	322	328	Oxígeno Disuelto	[mg/l]	n.d.	n.d.			
Temperatura muestra	[°C]	27.9	27.9	% Saturación Oxígeno	[%]	n.d.	n.d.			
Temperatura muestra corregida <sup>(6)</sup>	[°C]	28.1	28.1	Potencial Redox	[mV]	n.d.	n.d.			
Temperatura ambiente	[°C]	n.d.	n.d.	Cloro residual libre	[mg/l]	n.d.	n.d.			
Caudal	[l/s]	n.d.	n.d.	Cloro residual total	[mg/l]	n.d.	n.d.			
Sulfuro	[mg/l]	n.d.	n.d.	Color	[Pt Co]	n.d.	n.d.			
<b>Medición de caudal:</b> N/A Observaciones: Parámetro no solicitado por le cliente										
APARIENCIA DE LA MUESTRA (Percepción del técnico a cargo)										
<b>Especificar apariencia de la muestra:</b> Muestra no presenta características adicionales										
<b>Condiciones de preservación/ conservación:</b> Muestra conservada a 4 ±2 °C										
Hidróxido de sodio NaOH 6M			NaOH 6M + Acetato de Zinc ZnC <sub>4</sub> H <sub>7</sub> O <sub>4</sub> 2N	Ácido fosfórico H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (c)	Ácido nítrico HNO <sub>3</sub> (c)	Ácido sulfúrico H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:1				
Sustancias tensoactivas	Cromo hexavalente	Cianuro	Sulfuro	Fenoles	Metales	Nitrógeno total Kjeldahl	Amonio	DQO		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Criterio de toma de muestra										
La ubicación del punto de toma de muestra, el tipo de muestra, y la frecuencia y/o fecha de toma de muestra ha sido definida por el cliente.										
<b>Notas:</b> (1) Fecha de finalización del registro de campo. (2) Fecha de reporte de resultados al cliente por Gruentec Cía Ltda. (3) Coordenadas geográficas proporcionadas por el cliente, podrán diferir hasta 30 metros de la registrada por el equipo GPS, lo cual puede deberse a la apreciación del equipo, condiciones topográficas y las señales satelitales disponibles. (4) Características físicas de la muestra observadas por el técnico en campo. (5) Datos crudos de la muestra, obtenidos del equipo de medición. (6) Corrección del parámetro en función del termómetro patrón. N/A: no aplica ; n.d.: no determinado										

# REGISTRO DE TOMA DE MUESTRA DE AGUA SIMPLE



IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
Identificación de la muestra:	DE 1	Identificación Gruentec:	EZA-2301353-AD001



**FOTOGRAFÍAS DE LA TOMA DE MUESTRA**

Fotografía 1. Panorámica del área de toma de muestra	Fotografía 2. Sitio de toma de muestra
Fotografía 3. Apariencia de la muestra	Fotografía 4. Coordenadas geográficas registradas con el GPS

**ISABEL LAURA ESTRELLA SORIA**

Firmado digitalmente por ISABEL LAURA ESTRELLA SORIA.  
 DN: cn=ISABEL LAURA ESTRELLA SORIA, o=CSI-SECURITY S.A.S, 2.5.1=IDENTIFICACION DE INFORMACION  
 Motivo: Estoy aprobando este documento  
 Ubicación:  
 Fecha: 2023-01-26 17:24:05-0500

Ing. Isabel Estrella  
 Gerente de Operaciones

**Anexo 8.** Certificado traducción del idioma inglés

Loja, 25 de junio del 2023

Yo, Dayana Micaela Ochoa Guailas, con cédula de identidad 1900842145, Licenciada en Ciencias de la Educación mención inglés registro Nro. 1031-2022-2554787

**CERTIFICO:**

Que, he realizado la traducción al idioma inglés de él resumen del Trabajo de Integración Curricular denominado “Tratamiento y disposición final de relaves generados en la Planta de Beneficio EMINZA S.A.” ubicada en el Cantón Santa Rosa, Provincia El Oro, elaborado por el Ing. David Orlando Bravo González con cédula de ciudadanía número 1104675705, graduado de la carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento territorial y egresado de la maestría en Minas Mención en Mineralurgia y Metalurgia extractiva en la Universidad Nacional de Loja.

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

Atentamente:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Dayana Micaela Ochoa Guailas', written in a cursive style.

Lcda. Dayana Micaela Ochoa Guailas  
C.I.: 1900842145