



1859



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

Diseño de la relavera en la planta de Beneficio de Minerales “Alto Vizcaya”

Código 390356, cantón Zaruma, provincia de El Oro

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

**AUTOR:**

Doménica Salomé Mendieta Cueva

**DIRECTOR:**

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, MgSc.

Loja- Ecuador

2025

## **Certificación**

Loja, 27 de febrero de 2025

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de la relavera en la planta de Beneficio de Minerales “Alto Vizcaya” Código 390356, cantón Zaruma, provincia de El Oro**, previo a la obtención del título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, de la autoría del estudiante **Domenica Salome Mendieta Cueva**, con cedula de identidad Nro. **1104739345**, 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. Stalin Iván Puglla Arévalo, MgSc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Domenica Salome Mendieta Cueva**, declaro ser la autora 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:** 1104739345

**Fecha:** 27 de febrero del 2025

**Correo electrónico:** [domenica.mendieta@unl.edu.ec](mailto:domenica.mendieta@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0997356461

**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, **Domenica Salome Mendieta Cueva**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de la relavera en la planta de beneficio de Minerales “Alto Vizcaya” Código 390356, cantón Zaruma, provincia de El Oro**, como requisito para optar por el título de Magister en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo 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 veintisiete días del mes de febrero del dos mil veinticinco

**Firma:**

**Cédula de identidad:** 1104739345

**Fecha:** 27 de febrero del 2025

**Correo electrónico:** [domenica.mendieta@unl.edu.ec](mailto:domenica.mendieta@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0997356461

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

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

## **Dedicatoria**

Con mucho cariño, dedico este trabajo a mi querida madre, Mayra Edith Cueva Salazar, por su constante apoyo y por ser mi fuente de inspiración para alcanzar mis sueños. También a mis abuelitos, Ángel Amable Cueva Paz (†) y Olimpia Concepción Salazar Pérez (†), quienes me guiaron con amor y sentaron las bases para mi desarrollo durante mi juventud.

***Doménica Salome Mendieta Cueva***

## **Agradecimiento**

Mi agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja por su dedicación y esfuerzo en brindar una educación de calidad a la comunidad. Así como por haber creado la Maestría en Minas mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva de la cual me siento orgullosa de formar parte.

A mis docentes por compartir sus conocimientos y sentar las bases para desarrollarnos en el ámbito laboral y académico.

A la Empresa Sociedad Civil Minera GOLDMINS, planta de beneficio ALTO VIZCAYA, por brindarme un espacio para realizar mi trabajo de titulación de posgrado.

A mi director Ing. Iván Puglla por su ayuda y por sus consejos que guiaron a la culminación con éxito de este proyecto.

A IGMA Consultores S.A por su valioso apoyo y asesoría.

A mis hermanos Ismael y Mayra Mendieta, así como mis sobrinos Zoe Mendieta y Ángel Ortega por su cariño y constante apoyo en todo momento.

A mis amigos Nohelia Mora, Yuleysi Patiño y Nervo Sánchez por compartir momentos inolvidables conmigo y por brindarme su amistad.

***Doménica Salome Mendieta Cueva***

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
Índice de tablas .....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xiii
<b>1. Título</b> .....	<b>14</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>15</b>
2.1. Abstract.....	16
<b>3. Introducción</b> .....	<b>17</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>19</b>
4.1. Beneficio de minerales .....	19
4.1.1. Conminución .....	19
4.1.2. Lixiviación .....	19
4.1.3. Flotación.....	19
4.2. Relaves.....	20
4.2.1. Características físico-químicas de los relaves.....	20
4.2.2. Clasificación de relaves.....	21
4.3. Relaveras .....	21
4.3.1. Métodos de disposición de relaves.....	21
4.3.2. Componentes principales para un para la construcción de relaveras .....	23
4.4. Geología.....	24
4.4.1. Geotecnia.....	24
<b>5. Metodología</b> .....	<b>25</b>
5.1. Ubicación y acceso .....	25
5.1.1. Ubicación .....	25
5.1.2. Acceso .....	25
5.2. Materiales .....	26
5.2.1. Materiales de campo.....	26
5.2.2. Materiales de laboratorio.....	26
5.2.3. Materiales de oficina y programas utilitarios .....	27

5.3.	Métodos .....	27
5.3.1.	Metodología para el primer objetivo .....	28
5.3.2.	Metodología para el segundo objetivo .....	31
5.3.3.	Metodología para el tercer objetivo .....	37
<b>6.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>40</b>
6.1.	Descripción del proceso generador de relaves .....	40
6.1.1.	Trituración.....	40
6.1.2.	Molienda.....	41
6.1.3.	Cianuración .....	43
6.1.4.	Tratamiento de relaves .....	44
6.2.	Selección del sitio de ubicación de la relavera .....	46
6.2.1.	Geología regional .....	46
6.2.2.	Clima .....	47
6.2.3.	Precipitaciones .....	48
6.2.4.	Períodos de retorno.....	49
6.2.5.	Topografía .....	50
6.2.6.	Morfología.....	51
6.2.7.	Selección del sitio para la relavera .....	52
6.3.	Condiciones geológicas – geotécnicas .....	52
6.3.1.	Geología local .....	52
6.3.2.	Geomorfología .....	56
6.3.3.	Ensayo de penetración estándar (SPT).....	58
6.3.4.	Sísmica de refracción .....	59
6.3.5.	Ensayo de permeabilidad .....	61
6.3.6.	Hidrología.....	61
6.3.7.	Geohidrología.....	63
6.4.	Caracterización del relave .....	64
6.4.1.	Densidad.....	64
6.4.2.	pH, conductividad y salinidad.....	65
6.4.3.	Contenido de humedad.....	65
6.4.4.	Porcentaje de sólidos .....	65
6.4.5.	Grado de saturación.....	65
6.4.6.	Granulometría.....	66
6.4.7.	Caracterización mineralógica.....	68
6.5.	Diseño de la relavera de la planta “Alto Vizcaya” .....	69



6.5.1.	Método de disposición de relaves .....	69
6.5.2.	Diseño de la forma y presa de relaves .....	70
6.5.3.	Selección del material de préstamo .....	73
6.5.4.	Drenaje .....	73
6.5.5.	Permeabilidad.....	74
6.5.6.	Análisis de estabilidad.....	75
6.5.7.	Diseño final .....	78
6.5.8.	Análisis de costos .....	79
<b>7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>80</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>82</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>83</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>84</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>87</b>

## Índice de tablas:

Tabla 1. Precipitaciones y períodos de retorno .....	49
Tabla 2. Información in-situ y resultados de laboratorio para las muestras de los ensayos SPT. .....	58
Tabla 3. Resultados del sondaje 1.....	58
Tabla 4. Resultados del sondaje 2.....	59
Tabla 5. Complejos sísmicos, velocidades de onda y correspondência geológica LS01 .....	60
Tabla 6. Parámetros dinámicos, línea sísmica 01 .....	60
Tabla 7. Resultado de permeabilidad.....	61
Tabla 8. Calidad de agua.....	62
Tabla 9. Resultados de pH, conductividad y salinidad .....	65
Tabla 10. Resultados contenidos de humedad .....	65
Tabla 11. Resultados de porcentaje de sólidos .....	65
Tabla 12. Grado de saturación .....	66
Tabla 13. Resultados granulometría Ensayo No. 1 .....	66
Tabla 14. Resultados de granulometría 2.....	67
Tabla 15. Resultados de granulometría 3.....	68
Tabla 16. Volumen del vaso de la relavera.....	72
Tabla 17. Volumen de material de préstamo .....	72

## Índice de figuras:

Figura 1. Método de construcción aguas arriba .....	22
Figura 2. Método aguas abajo .....	22
Figura 3. Método eje central .....	22
Figura 4. Ubicación de la planta “Alto Vizcaya” .....	25
Figura 5. Acceso al área de estudio .....	26
Figura 6. Levantamiento topográfico .....	28
Figura 7. Ensayo SPT .....	29
Figura 8. Sísmica de refracción .....	30
Figura 9. Geometría de adquisición .....	31
Figura 10. Ensayo de permeabilidad .....	31
Figura 11. Punto de muestreo .....	32
Figura 12. Muestra representativa de relave .....	32
Figura 13. Preparación de la muestra .....	33
Figura 14. Peso del volumen conocido .....	33
Figura 15. Peso del relave .....	34
Figura 16. Medición de pH .....	34
Figura 17. Medida de masa .....	35
Figura 18. Secado de las muestras .....	35
Figura 19. Relave secado .....	36
Figura 20. Triturado de la muestra y cuarteado .....	36
Figura 21. Tamizado .....	37
Figura 22. Medición de la muestra de relave tamizada .....	37
Figura 23. Trituración primaria .....	40
Figura 24. Criba .....	41
Figura 25. Molinos chilenos .....	41
Figura 26. Molinos de bolas .....	42
Figura 27. Hidrociclón para reclasificación de tamaños .....	43
Figura 28. Concentrador Falcón .....	43
Figura 29. Tanques de cianuración .....	44
Figura 30. Espesador de relave .....	44
Figura 31. Relavera de la Planta Alto Vizcaya .....	45
Figura 32. Tratamiento de relaves .....	45
Figura 33. Geología regional .....	46
Figura 34. Mapa de precipitación .....	48
Figura 35. Precipitación acumulada anual del periodo 2001 a 2011 .....	49
Figura 36. Curva de intensidad, duración y frecuencia .....	50
Figura 37. Topografía del área de relavera .....	51
Figura 38. Morfología del terreno .....	51
Figura 39. Ubicación de la relavera .....	52
Figura 40. Geología local .....	53
Figura 41. Afloramiento 1 de la zona de estudio .....	53
Figura 42. Afloramiento 2 .....	54
Figura 43. Afloramiento 3 .....	54
Figura 44. Afloramiento 4 .....	55
Figura 45. Afloramiento 5 .....	56
Figura 46. Geomorfología .....	57

Figura 47. Relieve volcánico colinado muy alto .....	57
Figura 48. Perfil sísmico línea 1 .....	59
Figura 49. Quebrada en el área de influencia .....	61
Figura 50. Caudales medios mensuales de la microcuenca de la zona de ampliación. ....	62
Figura 51. Curva granulométrica del ensayo 1. ....	67
Figura 52. Curva granulométrica No.2 .....	67
Figura 53. Curva granulométrica 3 .....	68
Figura 54. Disposición de relaves .....	70
Figura 55. Forma del vaso de relavera y de la presa de relaves.....	70
Figura 56. Perfil de la relavera.....	71
Figura 57. Cuneta de coronación .....	73
Figura 58. Análisis de drenaje en H Canal .....	74
Figura 59. Parámetros para el modelo de geomembrana.....	74
Figura 60. Resultados de geomembrana .....	75
Figura 61. Análisis estático.....	76
Figura 62. Análisis estático permeabilidad.....	76
Figura 63. Análisis pseudosestático.....	77
Figura 64. Diseño final .....	78

## Índice de anexos:

Anexo 1. Mapa de ubicación .....	87
Anexo 2. Mapa de precipitaciones.....	87
Anexo 3. Mapa geológico regional.....	87
Anexo 4. Mapa geológico local .....	87
Anexo 5. Mapa geomorfológico .....	87
Anexo 6. Mapa topográfico .....	87
Anexo 7. Perfiles transversales del vaso de la relavera .....	87
Anexo 8. Perfiles transversales de la presa de relaves.....	87
Anexo 9. Diseño de relavera.....	87
Anexo 10. Ficha de actividades .....	88
Anexo 11. Calidad de agua .....	90
Anexo 12. Traducción del idioma inglés .....	902

## **1. Título.**

**Diseño de la relavera en la planta de Beneficio de Minerales “Alto Vizcaya” Código  
390356, cantón Zaruma, provincia de El Oro.**

## 2. Resumen.

Los relaves son los residuos provenientes del procesamiento de minerales, en el caso de la Planta “Alto Vizcaya” código 390356 consiste en las etapas de conminución (trituration – molienda), posterior cianuración con carbón activado. Los materiales que no tienen valor económico se conducen hacia un tanque espesador donde se añade floculante para aumentar su densidad y obtener menor contenido de humedad, seguido se transportan a la relavera para su disposición final.

La relavera debe tener la capacidad de almacenar el volumen de relave generados según la capacidad operativa de la planta, es por lo que, el presente trabajo se enfoca en el diseño para el depósito de relaves espesados. El primer paso es determinar las características del área como la geología, geomorfología, topografía, e hidrología con ello se determina el lugar de emplazamiento en el que se realizaron los análisis de suelos que comprenden SPT, y sísmica de refracción los cuales sirvieron para realizar el análisis de estabilidad.

Como segundo punto se tiene las características del relave las cuales sirven para determinar la cantidad de volumen a depositar y sus condiciones. De este modo se determinó un pH de 8 equivalente a alcalino, densidad de 1.48 Ton/m<sup>3</sup>, porcentaje de sólidos del 76.96%, finalmente la granulometría en el que el 59% es pasante del tamiz 150. En lo que respecta a mineralogía, el relave está compuesto por óxidos de sílice, potasio, hierro y aluminio, sulfuros como la piritita, y elementos como el magnesio y cobre.

Para el diseño de la relavera, se determinó el método de disposición eje central, que consiste en ubicar la presa conteniendo al vaso de la relavera para colocar el relave de manera ascendente. Adicionalmente se consideró como material de préstamo para la construcción de la presa roca encajante. De igual manera se consideró la implementación de una cuneta de coronación para drenaje producto de la recolección agua de lluvias y las obtenidas del proceso de sedimentación de los relaves.

Finalmente se elaboró el análisis de estabilidad utilizando el método de Bishop simplificado, de este modo se realizó el análisis en condiciones normales (estático) y en condiciones de sismo (pseudostático), en el que para el primero se obtuvo un factor de seguridad de 1.5 y en el segundo 1.1, estos valores se encuentran establecidos dentro de la Norma Ecuatoriana de Construcción, lo que garantizan la estabilidad de la estructura.

**Palabras clave:** Relaves, relavera, diseño, disposición, drenaje, estabilidad, factor de seguridad.

## 2.1. Abstract

Tailings are waste from mineral processing, in the case of the “Alto Vizcaya” Plant code 390356 it consists of the stages of comminution (crushing – grinding), subsequent cyanidation with activated carbon. Materials that have no economic value are taken to a thickening tank where flocculant is added to increase their density and obtain lower moisture content, then they are transported to the tailings dam for final disposal.

The tailings dam must have the capacity to store the volume of tailings generated according to the operational capacity of the plant, which is why this work focuses on the design for the thickened tailings deposit. The first step is to determine the characteristics of the area such as geology, geomorphology, topography, and hydrology, thereby determining the location where soil analyses were performed, including SPT and refraction seismic, which served to perform the stability analysis.

The second point is the characteristics of the tailings, which are used to determine the amount of volume to be deposited and its conditions. In this way, a pH of 8, equivalent to alkaline, density of 1.48 Ton/m<sup>3</sup>, percentage of solids of 76.96%, and finally the granulometry, in which 59% passes sieve 150, was determined. Regarding mineralogy, the tailings are composed of silica, potassium, iron and aluminum oxides, sulfides such as pyrite, and elements such as magnesium and copper.

For the design of the tailings dam, the central axis arrangement method was determined, which consists of locating the dam containing the tailings dam basin to place the tailings in an ascending manner. Additionally, rock was considered as borrow material for the construction of the dam. Likewise, the implementation of a crown ditch for drainage resulting from the collection of rainwater and water obtained from the sedimentation process of the tailings was considered.

Finally, the stability analysis was carried out using the simplified Bishop method, thus the analysis was carried out under normal conditions (static) and under earthquake conditions (pseudostatic), in which a safety factor of 1.5 was obtained for the first and 1.1 for the second, these values are established within the Ecuadorian Construction Standard, which guarantee the stability of the structure.

**Keywords:** Tailings, tailings dam, design, disposal, drainage, stability, safety factor.



### 3. Introducción

El beneficio de minerales corresponde a la etapa de recuperación de los minerales valiosos, para ello se ejecutan una serie de actividades que van desde trituración, molienda, y diferentes procesos mineralúrgicos ya sea cianuración o flotación. A nivel mundial el gran problema es la generación de residuos minero-metalúrgicos conocidos como relaves, los cuales deben ser tratados y gestionados de manera eficiente con el fin de evitar la generación de pasivos ambientales.

A nivel mundial Jiang et al. (2020), estima una generación de relaves de 20 a 25 mil millones de toneladas de relave anuales, producidas por la gran cantidad de metales de interés que se encuentran en bajas concentraciones en la corteza terrestre. Estos desechos mineros, traen consigo numerosos problemas, entre los cuales destacan la contaminación ambiental; como la filtración de metales pesados y sustancias tóxicas al suelo, además de la alteración de los diferentes ecosistemas.

De la misma manera, otro de los problemas que presenta los relaves, es el uso de grandes extensiones de terreno de suelo que se adecuan para el depósito de estos desechos. De este modo, ha llegado a convertirse en un riesgo de deslizamientos o fallas sísmicas debido a la amenaza que presenta en las zonas cercanas a las relaveras, muestra de ello es lo ocurrido en las presas de relave de Córrego de Feijao en Brrumadihno (Brasil) y el estanque de relave en Mount Polley (Canadá) (PETROENERGÍA, 2021).

En Ecuador, un país con alto potencial minero, los relaves son un problema preocupante, debido a que la actividad minera crece en diversas regiones del país. Teijlingen (2019), señala que la expansión de la minería implica la construcción de decenas de depósitos de relaves, la mayoría dentro de ecosistemas sensibles. Sumándole, los problemas de falta de infraestructura adecuada para el manejo de relaves y las deficiencias en la tecnología y supervisión ambiental.

En el distrito más antiguo del país Zaruma – Portovelo, provincia de El Oro, las concentraciones de metales pesados en los suelos, producto de los procesos de cianuración y flotación aplicados, tienen niveles que superan los límites establecidos según la Normativa ecuatoriana (Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2020).

Por otro lado, los estudios realizados por FUNSDAD (2017) en los relaves de Vivanco y Chancha Gerais (Portovelo), muestran concentraciones de niveles de plomo (Pb), arsénico (As), Zinc (Zn) y mercurio (Hg) que rebasan el máximo permisible señalado en la norma de

calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados (Oviedo-Anchundia et al., 2017)

En este contexto, en la parroquia Malvas, cantón Zaruma, se encuentra la planta de beneficio Alto Vizcaya código 390356, en ella se encuentran dispuestas cuatro relaveras de forma aleatoria en la que no se ha considerado un diseño técnico y adecuado para almacenar la cantidad de relaves que la planta genera. Adicionalmente, el terreno donde se emplazan no cuenta con estudios geológicos y geotécnicos que sustenten su ubicación. Es por ello que surge la necesidad de realizar un diseño adecuado que almacene los relaves provenientes de los diferentes procesos de cianuración y flotación que se aplican en dicha instalación.

En este contexto los objetivos para la presente investigación son los siguientes:

### **Objetivo general**

- Diseñar la relavera de la planta de beneficio de minerales “Alto Vizcaya” código 390356, ubicada el cantón Zaruma, provincia de El Oro.

### **Objetivos específicos**

- Determinar las condiciones geológicas y geotécnicas actuales donde se ubicará la relavera.
- Caracterizar el relave proveniente de la planta de beneficio de minerales “Alto Vizcaya” código 390356.
- Elaborar el diseño integral de la relavera de la planta de beneficio “Alto Vizcaya” código 390356.

## 4. Marco teórico.

### 4.1. Beneficio de minerales

Es una rama de la ciencia y la tecnología que se ocupa del procesamiento de minerales, se basa en procesos de separación y concentración de minerales valiosos presentes en una mena o mineral libre eliminando los materiales no deseados conocidos como ganga (Drzymała & Swatek, 2007).

#### 4.1.1. Conminución

Es el conjunto de procesos que permiten la liberación o desprendimiento de los minerales valiosos para separarlo de los minerales de la ganga asociados al tamaño de partícula más grueso posible (Wills, 1994, p. 29). En este proceso se comprenden dos actividades:

- **Trituración:** Son la primera etapa de reducción de tamaño controlada en el proceso, en etapa se produce agregados para la reducción de tamaño adicional. Esto se logra a través de diferentes equipos como trituradoras de mandíbulas, trituradoras cónicas y de impacto. Generalmente los parámetros de calidad a considerar suelen ser resistencia, tamaño y forma. (METSO, 2015, p. 3).

- **Molienda:** Es un proceso de pulverización que utiliza fuerzas mecánicas de impacto, compresión, cizallamiento y desgaste de la roca, de manera general tienen dos propósitos; liberar minerales individuales atrapados en los cristales de roca y así abrir la posibilidad de un enriquecimiento posterior en forma de separación, y producir finos a partir de fracciones minerales aumentando la superficie específica (METSO, 2015, p. 3:25).

#### 4.1.2. Lixiviación

Son proceso que se aplican directamente sobre los minerales a través de un ataque químico, en la minería del oro, es un proceso hidrometalúrgico conocido como cianuración es una técnica utilizada en la recuperación de oro, consiste en disolver los metales mediante soluciones alcalinas cianuradas, en presencia del oxígeno. En el proceso del oro, se utiliza carbón activado para producir la adsorción del oro directamente en la pulpa cianurada, a medida que se va disolviendo o pasando por la solución (CIP) (Portal Minero S.A, 2006, pp. 179, 183).

#### 4.1.3. Flotación

Kelly & Spottiswood (1990, p. 331) mencionan que es un proceso físico-químico que consiste en separar los minerales valiosos de los no valiosos por medio de compuestos

químicos, este proceso se basa en la química interfacial de las partículas minerales en solución. La flotación es el método más utilizado para procesar minerales sulfurosos, y también es aplicable para minerales metálicos no sulfurosos. También es aplicable en minerales de baja ley y aquellos que necesitan molienda más fina para obtener el grado de liberación adecuado.

La concentración por flotación se basa en dos variables; primero, las condiciones químicas, es decir la interacción de los reactivos químicos con las partículas minerales para dar lugar a un producto hidrofóbico. Segundo, las condiciones físico-mecánicas de los equipos (celdas, tanques etc.) (Kelly & Spottiswood, 1990, p. 331).

## 4.2. Relaves

Los relaves (colas) son residuos mineros que se producen en el procesamiento de los materiales trabajados en las plantas de beneficio. Consisten en una suspensión fina de sólidos en líquidos, formada por el material proveniente del yacimiento del cual se extraído el mineral valioso, se considera una pulpa húmeda de minerales y roca encajante que han experimentado el proceso de beneficio ya sea cianuración o flotación.

Esta pulpa presenta una razón aproximada de agua/sólidos que van del orden de 1:1 a 2:1. No obstante, las características y el comportamiento de esta pulpa dependerá de la relación directa entre agua y sólidos, además de las características de las partículas sólidas (Ramírez, 2007, p. 4).

### 4.2.1. Características físico-químicas de los relaves

- **Densidad:** En un parámetro físico que proporciona información sobre la masa de un objeto dividida por su volumen, es decir cuanta cantidad de masa existe en cierta cantidad de volumen se mide en  $\text{kg/m}^3$  o en  $\text{gr/cm}^3$  (METTLER TOLEDO, 2016).

- **Granulometría:** Es la distribución de tamaños de partículas o el diámetro medio de grano, se obtiene mediante cribado de un peso conocido a través de una serie de tamices con tamaños de malla más finos (Budhu, 2010, p. 37).

- **pH:** Es un término que se utiliza para definir la acidez o alcalinidad de una solución, en resumen, es una medida de la concentración de iones de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) en una solución (Orozco Lab, 2023).

- **Contenido de humedad:** Es la cantidad de agua presente en el relave, luego del proceso de beneficio, (Ramírez, 2007, p. 18) señala que es equivalente a identificar la consistencia inicial del material.

- **Conductividad eléctrica:** Es la propiedad de todo elemento que tiene la facultad de conducir la electricidad. Esta propiedad física se basa en la capacidad de los elementos de conducir la corriente eléctrica a través de ellos mismos (LabProcess, 2020).

#### **4.2.2. Clasificación de relaves**

Los relaves se clasifican según su proporción de fase sólida y fase líquida de esta forma según el Ministerio de Minas y Energía de Colombia [MINERGIA] (2020, p. 10); se tiene los siguientes:

- **Convencionales:** Tienen una fase sólida entre el 20% y 40%, son los más comunes y se manejan en forma de pulpa.

- **Espesados:** son aquellos que contienen una fase sólida entre el 60% y 75%, se caracterización por la reducción significativa de agua.

- **Filtrados:** Contienen un mínimo del 80% de fase sólida, son manejados en forma casi seca, lo que facilita su transporte y disposición.

- **En pasta:** Son similares a los relaves espesados con un 70% y el 85% de sólidos, con una mejor estabilidad y menos cantidad de agua.

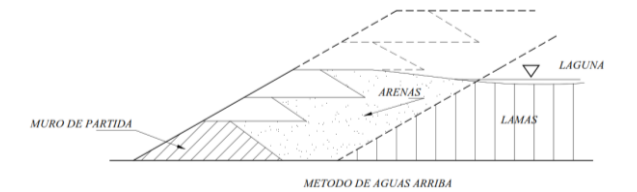
### **4.3. Relaveras**

También conocidas como presas de relave, son obras de infraestructura e ingeniería que tienen por objetivo almacenar y represar los relaves. Son construidas a partir de un muro inicial formado por material de préstamo, que puede ser roca estéril y/o material grueso del relave previamente clasificados por un proceso de separación física. Además, el muro inicial y el suelo de fundación de la presa deben estar debidamente impermeabilizados con el objetivo de evitar infiltraciones, y contar con canales perimetrales para el desagüe\ (Ministerio de Minas y Energía de Colombia [MINERGIA], 2020, p. 13).

#### **4.3.1. Métodos de disposición de relaves**

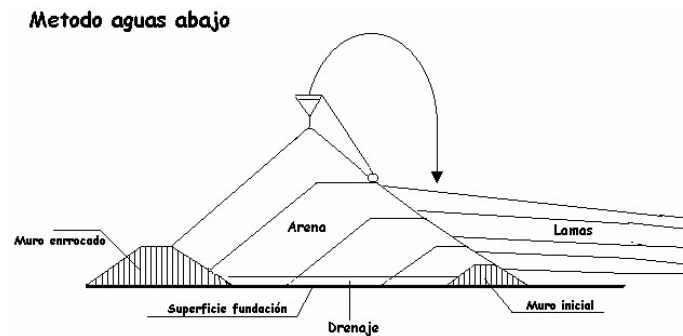
- **Método aguas arriba:** Es en un muro inicial construido por un material de empréstito compactado sobre el cual se de depositan los relaves (Ver Figura 1), para ello comúnmente se utilizan hidrociclones por donde la fracción más gruesa se descarga por el flujo inferior (underFlow) y se desposita junto al muro inicial, mientras la fracción más fina o también conocidas como lamas sale por el flujo superior (overflow), donde se deposita hacia

el centro del tranque, de esta manera se va formando el pozo de sedimentación al sedimentar las partículas más pesadas (Ramírez, 2007, p. 8).



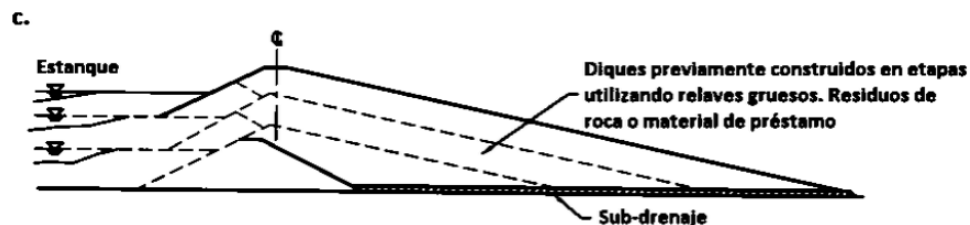
**Figura 1.** Método de construcción aguas arriba  
**Fuente:** Ramírez (2007, p. 9)

- **Método aguas abajo:** Se inicia construyendo un muro de partida de empréstito compactado desde el cual se vacía arena cicloneada hacia el lado del talud aguas abajo de este muro y las lamas se colocan hacia el talud aguas arriba (Ver Figura 2). Este método implica la construcción de la relavera (presa de relaves) con la progresiva adición de material en el lado de aguas abajo del muro inicial (Ramírez, 2007, p. 9).



**Figura 2.** Método aguas abajo  
**Fuente:** Ramírez (2007, p. 10)

- **Método eje central o mixto:** Se inicia con un muro de partida, sobre el cual se colocan las arenas cicloneadas hacia aguas abajo y las lamas hacia aguas arriba (Ver Figura 3). Una vez completado el vaciado, se eleva la línea de alimentación de arenas y lamas, siguiendo el mismo plano vertical inicial de la berma de coronamiento del muro inicial (Ramírez, 2007, p. 10).



**Figura 3.** Método eje central  
**Fuente:** Martin et al, (2002)

#### 4.3.2. Componentes principales para un para la construcción de relaveras

Según Ramírez (2007, p. 18, 19), los compones principales de un depósito de relaves son:

- **Cubeta:** Tiene relación con la vida útil de la relavera y corresponde al volumen físico en el cual se colocan los finos (lamas) y la mayor parte de agua, formándose una laguna de aguas claras.

- **Muro:** Es la delimitación de la cubeta y permite contenes los residuos que en ella se descargan, es el componente más importante en lo que a estabilidad se refiere.

- **Sistema de descarga:** Permite depositar los relaves en la cubeta, por lo que si falla se detiene la operación del depósito. También este sistema se suele usar para clasificar los tamaños de partícula, de modo que parte de este material puede usarse para construcción del muro perimetral.

- **Zona de descarga:** Conocida como zona de playa ya que esta conformada por arena fina y seca, en esta área se descargan los relaves y se encuentra cerca a la línea de vaciado.

- **Pozo de aguas claras:** Sirve para recuperar aguas y a su vez evacuarlas desde la cubeta.

- **Sistema de recuperación de aguas:** Permite devolver al sistema las aguas claras, mediante bombeo.

- **Sistema de drenaje:** Su propósito es deprimir al máximo el nivel freático con el fin de evitar su interacción, es por ello que se protege con filtros para evitar que el flujo de agua arrastre sedimentos y produzca el colapso de la relavera (Ramírez, 2007, p. 18).

- **Sistema de impermeabilización:** Evita la contaminación del suelo y de aguas subterráneas (Ramírez, 2007, p. 18).

- **Canales de desvío:** Son las zanjas construidas en las laderas para para captar y desviar las escorrentías superficiales, impidiendo su ingreso a la cubeta del tranque o embalse de relaves (Ramírez, 2007, p. 18).

- **Berma de coronamiento:** Es la faja horizontal de mayor cota del talud externo del muro de contención (Ramírez, 2007, p. 18).

- **Revancha:** Es la diferencia de cota entre la línea de coronamiento y la superficie inmediatamente vecina de la fracción aguas adentro del tranque, generalmente lamosa o de arena muy fina (Ramírez, 2007, p. 19).

- **Muro de partida:** Muro construido con material grueso de empréstito al inicio del depósito de relaves (Ramírez, 2007, p. 19).

#### 4.4. Geología

Para Tarbuck & Lutgens, p. (2017, p. 3), la geología es la ciencia que persigue la comprensión del planeta tierra, estudia los materiales que la componen y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo y encima de la superficie.

##### 4.4.1. Geotecnia

Es una rama de la geología que aborda el estudio de los materiales geológicos desde una óptica ingenieril, a través de la mecánica de los suelos y las mecánicas de las rocas, con ello se busca evaluar el comportamiento y propiedades de los materiales terrestres (Geosphaera Consultores, 2019).

- **Permeabilidad de los suelos:** Es la facilidad para que el agua circule a través del suelo, y dependerá de la granulometría, la densidad y la forma y orientación de las partículas (González de Vallejo, 2002, p. 39,29).

- **SPT:** Permite obtener un valor N de resistencia a la penetración que se correlaciona con parámetros geotécnicos como densidad relativa, ángulo de rozamiento, carga admisible y los asentos en los suelos granulares, también se obtiene muestras para realizar ensayos de identificación en el laboratorio (González de Vallejo, 2002, p. 341).

- **Sísmica de refracción:** Consiste en la elaboración de perfiles longitudinales instrumentados con sensores también conocidos como geófonos, espaciados entre sí a una distancia conocida. Otorga información como estratigrafía del suelo y propiedades del suelo (González de Vallejo, 2002, p. 332,333).



## 5. Metodología.

### 5.1. Ubicación y acceso

#### 5.1.1. Ubicación

Las instalaciones de la planta de Beneficio Alto Vizcaya código 390356, se ubican sobre el sector El Portete de la parroquia Malvas, cantón Zaruma en la provincia de El Oro, con una superficie 66.98 Ha.

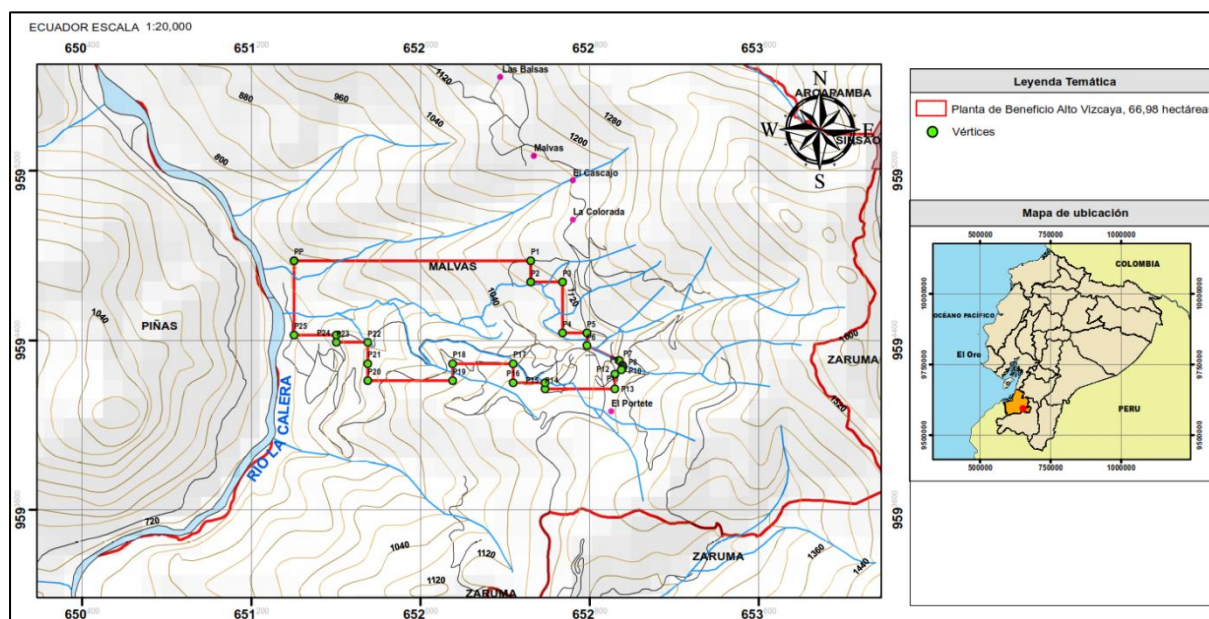


Figura 4. Ubicación de la planta “Alto Vizcaya”

*Nota: Para mayor detalle revisar Anexo 1: Mapa de ubicación*

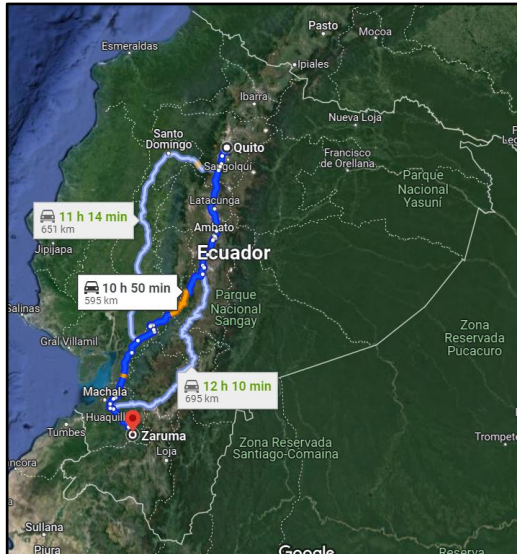
#### 5.1.2. Acceso

Desde la ciudad de Quito, el viaje hacia el cantón Zaruma en Ecuador implica tomar una serie de caminos y rutas de la siguiente manera, de la ciudad de Quito y se dirige hacia el sur por la carretera Panamericana Troncal de la Sierra, conocida como E35. Se toma la carretera E25, que es la Troncal de la Costa, y continúa en dirección a la provincia de Guayas. Una vez en la provincia de El Oro, toma la carretera E583 hacia la ciudad de Machala hacia luego hasta el cantón Piñas y se toma la vía a Zaruma – Atahualpa que lleva hasta el sector Portete en la parroquia de Malvas. Este recorrido toma 11 horas con 20 minutos (Ver Figura 5, a).

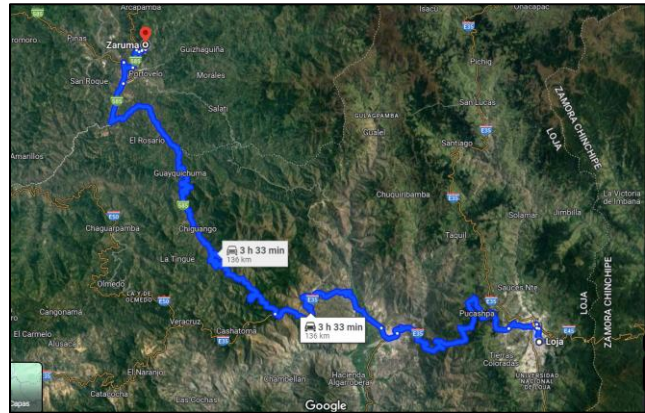
Desde la ciudad de Loja, el acceso se realiza vía a la costa E35/E50, hasta llegar al cantón Catamayo, posterior se dirige a la parroquia San Pedro de la Bendita, donde se toma la vía Chinchas-Portovelo/E585, la cual conduce al cantón al Portovelo, en Portovelo se toma la vía a Zaruma y posterior la que conduce al cantón Atahualpa, hasta llegar al sector el Portete

en el cantón Malvas. Este viaje tiene una duración de 3 horas con 30 minutos (Ver Figura 5, b).

a) Acceso desde la ciudad de Quito



b) Acceso desde la ciudad de Loja



**Figura 5.** Acceso al área de estudio  
**Nota:** Google maps (s.f)

## 5.2. Materiales

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en la presente investigación, se utilizó un conjunto de materiales, equipos y software específicos para cada actividad a desarrollar, los mismos que se mencionan a continuación:

### 5.2.1. *Materiales de campo*

Los materiales para utilizar son los siguientes:

- GPS
- Cubetas (Baldes)
- Fundas de muestreo
- Martillo geológico
- Fichas geológicas
- Equipo de protección personal (EPP)
- Sismógrafo PASI GEA24
- Cable de 60 metros
- 12 Geófonos verticales con sensibilidad 14 Hz
- Fichas de campo
- Libreta de campo
- Esferográficos
- Esferográfico
- Dron
- Lupa geológica

### 5.2.2. *Materiales de laboratorio*

Los materiales de laboratorio serán los siguientes:

- Picnómetro
- Bomba al vacío
- Balanza analítica
- Taras
- A más de los equipos de laboratorio (cuyo servicio contrató el Titular Minero)
- Mufla
- Tamices analíticos
- Peachímetro
- Fichas de laboratorio

### 5.2.3. *Materiales de oficina y programas utilitarios*

Los materiales de oficina y programas utilitarios se describen a continuación:

- Carta geológica de Zaruma escala 1:100 000
- Fichas de campo
- ArcGis 10.9
- Google earth
- Civil 3D
- Slide, como software de libre acceso
- Geosoft como software de libre acceso
- Metashape software de libre acceso
- Paquete de office 2020
- H Canal, como software de libre acceso

### 5.3. **Métodos**

Para el presente trabajo se utilizó una metodología que comprende tres fases citadas a continuación:

***Fase de campo:*** En esta fase se realizó un análisis preliminar del área, el levantamiento topográfico, levantamiento geológico, hidrológico e hidrogeológico y la recolección de muestras geológicas y de relave.

***Fase de laboratorio:*** Se elaboró la caracterización de las propiedades físicas a través de los ensayos de densidad pH, contenido de humedad y granulometría, además de la caracterización de las muestras de mano.

**Fase de oficina:** Consistió en la tabulación y el análisis de la información obtenida en las fases previas, además de los cálculos, la elaboración de diseños y de mapas.

### 5.3.1. Metodología para el primer objetivo

*Determinar las condiciones geológicas y geotécnicas actuales donde se ubicará la relavera*

Me como se describe a continuación:

- **Levantamiento topográfico:** Se elaboró un vuelo de dron con traslape en 75 horizontal y 65 vertical a una altura de 100 metros con resolución de 13 pixeles por centímetro. sobre el predio de la planta “Alto Vizcaya” a fin de determinar la morfología del sector y con ello analizar el lugar más adecuado y estratégico para la ubicación de la relavera (Ver Figura 6).



**Figura 6.** Levantamiento topográfico  
**Nota:** Estsuelcon, 2024

Adicionalmente con el fin de determinar la topográfica a detalle se realizó un levantamiento topográfico con estación total a escala 1:1.

- **Levantamiento geológico:** Se elaboró con el fin de caracterizar los materiales que están conformando al sector, para ello como información preliminar se utilizó la hoja geológica de Zaruma 1: 100 000 de la que se describe el entorno geológico regional del sector. Posterior se realizarán recorridos por la zona precisando la identificación y descripción de los afloramientos naturales y artificiales, y procurando se tomarán muestras para identificar el tipo de roca y se elaborará el mapa de geología local.

- **Análisis hidrológico:** Involucró un recorrido de campo sobre cada uno de los cuerpos de agua previamente identificados en la fase uno. Durante este recorrido, el equipo técnico llevó a cabo una inspección detallada para evaluar las condiciones, características

hidrométricas y fuentes de contaminación de cada cuerpo de agua; se tomó in situ los valores de pH, conductividad, sólidos totales y la temperatura. Así mismo, se verificó la presencia o ausencia de caudal en los cuerpos de agua registrados en la primera fase, y con ello la redefinición de caudales que han sido derivados o modificado su curso natural para prevenir su contaminación.

- **Geotecnia:** En este parámetro se utilizó los resultados proporcionados por la Empresa Sociedad Civil Minera GOLDMINS, realizados en mayo del 2024, de los siguientes parámetros:

**SPT:** El ensayo consiste en clavar un muestreador de tubo con el fin de obtener el índice de resistencia a la penetración que ofrecen los suelos al ser ensayados por un penetrómetro (Ver Figura 7). La ejecución del ensayo viene acompañada de la recuperación de una muestra alterada representativa para ser ensayadas en laboratorio.



**Figura 7.** Ensayo SPT

Los ensayos de penetración estándar S.P.T son ejecutados de acuerdo con la norma ASTM-1586.

Estos se realizan sobre las proximidades al punto de coordenadas UTM/WGS-84: 651484; 9594634N Y 651545 E y 9594432 N, de cuyos análisis se define la información sobre la estratigrafía del suelo y los siguientes parámetros:

*1. Clasificación del Suelo, según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS):* Clasifica el suelo en función a su granulometría y también determina el límite líquido y límite plástico.

2. *Número de golpes de la prueba de penetración estándar (Nspt)*: Son la cantidad de golpes que se realizan para penetrar un tubo metálico y extraer un testigo con ello se obtiene información sobre las capas del suelo,

3. *Número de golpes corregido a 60% de la energía de golpeo (N60)*: Este valor ajusta el número de golpes obtenidos en el ensayo para considerar la variación en la energía aplicada durante la prueba.

4. *Número de golpes corregido a 160% de la energía de golpeo (N160)*: Similar al N60, pero ajustado a un nivel de energía más alto, proporcionando una medida adicional de la resistencia del suelo.

5. *Resistencia a la carga última neta (qult neta)*: Indica la capacidad del suelo para soportar cargas sin fallar, expresada en Kg/cm<sup>2</sup>.

6. *carga admisible neta (qadm neta)*: Representa la carga máxima que el suelo puede soportar de manera segura, también expresada en Kg/cm<sup>2</sup>.

7. *Cohesión según Stoud 1974 (C STROUD 1974)*: Este parámetro mide la resistencia al corte del suelo debido a su cohesión, expresada en Kg/cm<sup>2</sup>.

8. *Ángulo de fricción según Osaki 1959 ( $\phi$ )*: Determina la resistencia al deslizamiento del suelo, expresado en grados, de acuerdo con el método de Osaki de 1959.

**Sísmica de refracción:** La línea sísmica se realizó con una orientación NO-SE atravesando la quebrada sin nombre, este ensayo ha permitido conocer la estratigrafía del área de estudio en profundidad; y, consistió en la ejecución de un perfil de 60.00 metros para procurar la información indirecta de 1/3 en profundidad a través de la recepción de las ondas Vp (Ver Figura 8).



**Figura 8.** Sísmica de refracción

Durante la prospección sísmica para la recepción de las ondas Vp se utilizó la metodología Z-Z, es decir geófonos verticales con disparos en sentido vertical. Se realizaron 3

disparos utilizando una fuente de energía mediante golpeo en cada base, distribuidos de la siguiente manera: Dos disparos en los extremos de la base a 1.50 m de distancia de los geófonos 1-12 y uno entre los geófonos 6 – 7.



**Figura 9.** Geometría de adquisición

**Ensayo de permeabilidad:** Consiste en saturar primero el suelo hasta que el aire de los vacíos sea expulsado y con esto lograr que haya una infiltración más uniforme en el suelo, todo esto para introducir un caudal conocido de manera que se mantenga un nivel constante dentro de profundidad de ensayo (Ver Figura 10).



**Figura 10.** Ensayo de permeabilidad

Se realizó en los puntos donde se hizo los SPT, y consistió en saturar primero el suelo hasta que el aire de los vacíos sea expulsado y con esto lograr que haya una infiltración más uniforme en el suelo, todo esto para introducir un caudal conocido de manera que se mantenga un nivel constante dentro de profundidad de ensayo.

Una vez que el proceso se estabiliza se calcula la permeabilidad de dicho suelo. El caudal de admisión debe medirse en intervalos de tiempo constantes o variables hasta que se mantenga un gasto (descenso de agua) constante.

### **5.3.2. Metodología para el segundo objetivo**

*Caracterizar el relave proveniente de la planta de beneficio de minerales “Alto Vizcaya” código 390356.*

El proceso es el siguiente:

**Muestreo:** El muestreo realizado es del tipo puntual ya que se considera el relave que se va a depositar en la relavera, es por ello que se muestreo en el canalón de paso donde se

coloca el floculante para minimizar la cantidad de agua, con ello se obtiene una muestra representativa y se analiza las características del relave que se mencionan posteriormente.

a) Relavera actual



b) Punto de muestreo



**Figura 11.** Punto de muestreo

El tipo de muestreo utilizado es la salida de descarga de la relavera ya que esta muestra es representativa por ende mantiene las características del relave. Para realizar la caracterización del relave se utilizó un balde de 2 galones correctamente sellado recolectado con 24 horas de anticipación para que la lectura de los ensayos no se altere, el recipiente se llenó con relave, (Ver **Figura 12**). Y posterior llevar las muestras a ensayar en los laboratorios de la Universidad Nacional de Loja (UNL)



**Figura 12.** Muestra representativa de relave

**Densidad:** Considerando al relave como una mezcla de sólidos y líquidos se consideró determinar la densidad por medio de la norma ASTM D5057, el grupo B que corresponde a Gránulos, polvos y líquidos, sólidos o lodos reactivos con agua (ASTM INTERNATIONAL, 1996b) para ello se desarrolla el siguiente procedimiento:

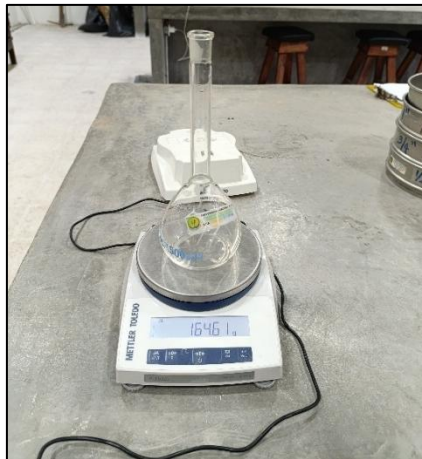


1. Se prepara la muestra agitándola hasta que se haga constante como se muestra en la Figura 13.



**Figura 13.** Preparación de la muestra

2. Se elige un recipiente de volumen conocido en este caso un matraz se lo pesa y se encera la balanza Figura 15.



**Figura 14.** Peso del volumen conocido

3. Se coloca la muestra en el recipiente hasta colmar.



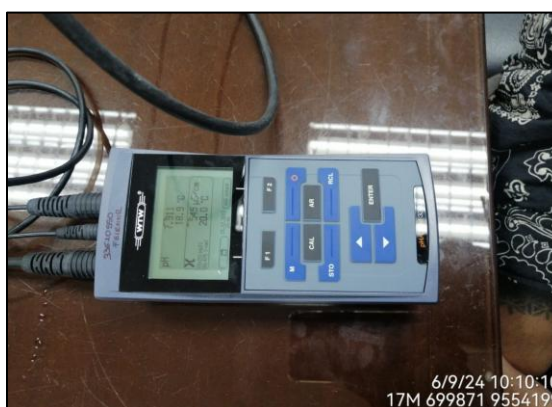
**Figura 15.** Peso del relave

4. Finalmente se aplica la siguiente expresión:

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

**pH:** Es un parámetro importante ya que influye directamente en la formación de drenaje ácido y a su vez también es posible determinar la capacidad de adsorción de los metales pesados. Es por ello que se realizó un ensayo de pH utilizando un pH-metro considerando de 0 a 7 ácido y de 7 a 14 alcalino.

Para medirlo se preparó la muestra en un vaso de precipitación y se la agitó hasta formar una mezcla homogénea posterior se utilizó un equipo denominado pH-metro, el cual consta de un electrodo previamente calibrado que se introduce en la mezcla de relave, se espera unos minutos hasta que el equipo se estabilice y se toma la lectura (Ver **Figura 16**).



**Figura 16.** Medición de pH

- **Contenido de humedad:** Este factor es fundamental ya que de esta forma es posible determinar la consistencia del relave y estabilidad geotécnica. Adicionalmente para el depósito de los relaves se busca que contengan la menor cantidad de agua.

Para determinar el contenido de humedad se siguió el siguiente procedimiento contemplado en la Norma ASTM D2216-19: Métodos de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca por masa (ASTM INTERNATIONAL, 1996)

1. Se peso con la balanza tres recipientes y se lo enceró. Con fines de confiabilidad se realizó tres ensayos.

2. Se colocó cierta cantidad de muestra como fue extraída de campo y se lo pesa (Ver Figura 17).



**Figura 17.** Medida de masa

3. Se colocó las muestras en el horno a 105° hasta que se seque por completo (Ver Figura 18).



**Figura 18.** Secado de las muestras

4. Se pesa y la diferencia es el contenido de humedad.

- **Porcentaje de sólidos:** Con los resultados de peso seco y peso húmedo es posible determinar el porcentaje de sólidos, el cual permite deducir la cantidad de material sólido que se deposita en la relavera. Se aplicó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de sólidos} = \frac{\text{Masa de sólidos}}{\text{Masa total}} * 100\%$$

- **Granulometría:** Para este fin se utilizó la norma ASTM E 11-20, el cual consta del siguiente procedimiento:

El relave será secado en el horno a una temperatura constante de 105 °C (Ver Figura 18).



**Figura 19.** Relave secado

Homogeneizar la muestra y cuartear (Ver Figura 20).



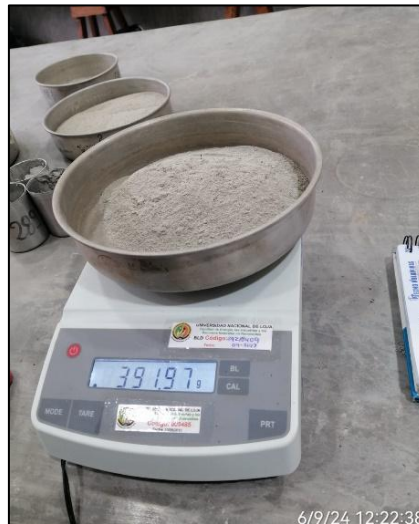
**Figura 20.** Triturado de la muestra y cuarteado

1. La muestra se colocó en los tamices de ser ultrafina, el cual se agitará manualmente hasta que las partículas se vayan reteniendo en el tamiz correspondiente (Ver Figura 21)



**Figura 21.** Tamizado

2. Luego, las fracciones presentes en cada tamiz se pesaron manteniendo un margen de error del 2%, con ello se determinó el peso retenido (Ver Figura 22).



**Figura 22.** Medición de la muestra de relave tamizada

3. Se elaborarán las curvas granulométricas de acuerdo con los modelos de Rosim y Schumman, que son los ideales para partículas finas.

- **Caracterización mineralógica:** Esta información será proporcionada por la Sociedad Civil Minera GOLDMINS, en la que se describe la composición mineralógica del relave.

### 5.3.3. Metodología para el tercer objetivo

*Elaborar el diseño integral de la relavera de la planta de beneficio “Alto Vizcaya” código 390356*

Para este propósito se conjuga el siguiente procedimiento aplicado que se describe a continuación:

**1. Selección del sitio de emplazamiento:** Para ello se consideró los estudios y/o criterios litológicos, morfológicos e hidrológicos que permite elegir el lugar más adecuado para ubicar la relavera:

**2. Elaboración de los perfiles:** Sobre la base del levantamiento topográfico a detalle del área previamente definida, se realizó una serie de perfiles topográficos de donde se ubicará el proyecto de construcción de la relavera para ello se utilizó el software de libre acceso Civil CAD 3D.

**3. Determinación de las cotas:** Una vez definida la zona de emplazamiento de la relavera se determinó la cota máxima a la que puede crecer el embalse para garantizar que la relavera maneje el volumen de relaves sin riesgos de desbordamiento.

**4. Diseño de la forma:** Se determinó el método de disposición de relavera y con ello la forma de la relavera.

**5. Diseño de la presa de relaves:** La presa de relaves es la estructura que va a contener los relaves y evita un colapso, es por ello que debe estar correctamente cimentada, para diseñarla se consideró los perfiles longitudinales y transversales, para ello se utilizó el software Civil CAD 3D.

**6. Selección de material de préstamo:** El material de préstamo es el componente principal de la presa de relaves, porque con ello se construirá la misma, por lo tanto su selección debe estar basado en parámetros como como facilidad de transporte y condiciones físicas y mecánicas del material.

**7. Determinación del drenaje:** El drenaje es otro componente principal del diseño de relaves ya que debe gestionar de manera eficiente las aguas provenientes del relave y de lluvia. Adicionalmente el agua es un factor condicionante en la estabilidad de la relavera que puede perjudicarla negativamente; para determinar las dimensiones del canal se utilizó el software H Canal el cual considera los parámetros técnicos y el caudal necesario para que no colapse la estructura.

**8. Determinación del sistema de impermeabilización:** En función a la caracterización mineralógica, y el análisis granulométrico se eligió el método de impermeabilización más adecuado con el fin de minimizar la exposición de componentes al suelo y con ello evitar la contaminación de este.

**9. Análisis de estabilidad:** Es un análisis necesario para realizar ya que con ello se determina el factor de seguridad de la estructura además de los posibles fallos que podría presentar. En este contexto, se utilizó el software slide, en el que se realizó un análisis estático pseudoestático considerando los siguientes factores:

- Capas de suelo con sus características de peso específico, cohesión, fricción y permeabilidad, previamente obtenidos de los ensayos de geotecnia.
- Material de préstamo y sus características
- Relave y sus características
- Agua con sus características de caudal y nivel freático.

**10. Diseño final:** Con los datos recopilados, analizados y tabulados, presentó el informe y el diseño final de la relavera.

## 6. Resultados.

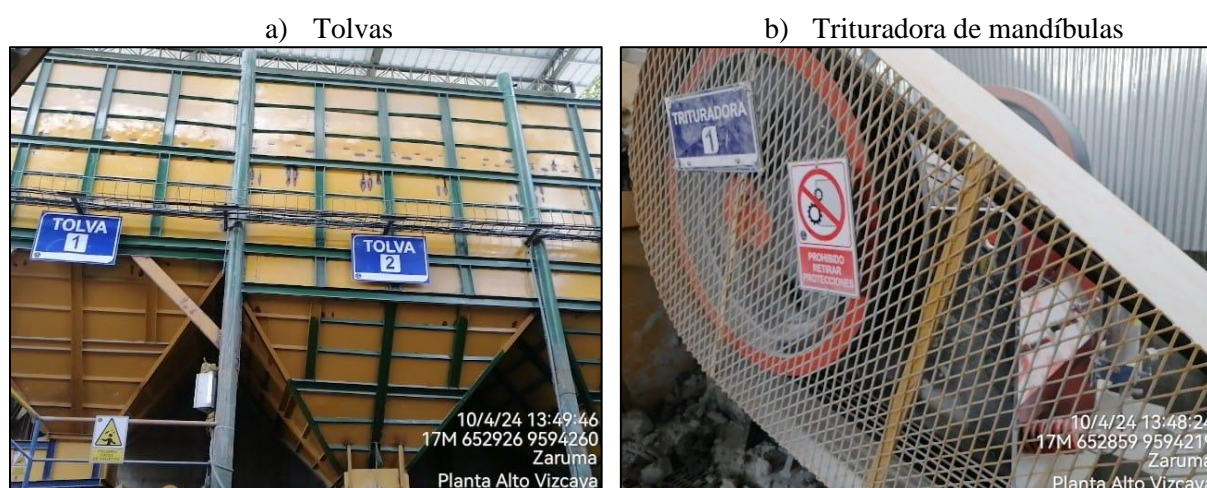
Los relaves generados en la planta Alto Vizcaya son producto del proceso de mineralurgia y metalurgia que aplica la empresa para su procesamiento de minerales. Es indispensable un circuito de tratamiento y beneficio que comienza por la conminución, seguida de la clasificación de tamaños y finalmente cianuración, el cual consiste en impregnación de oro disuelto por una sustancia de cianuro en los poros de carbón activado. El residuo de este procedimiento es el relave, el cual recibe un tratamiento de floculación con el fin de obtener un pH neutro, evitar la infiltración de metales pesados al suelo y a cuerpos de agua cercanos, además de un contenido de humedad bajo, con ello se obtiene la mayor cantidad de agua de buena calidad por ende es posible realizar la circulación al proceso inicial. A continuación, se describen los procesos previamente mencionados.

### 6.1. Descripción del proceso generador de relaves

Los relaves son el resultado del procesamiento de minerales provenientes de las minas, actualmente la capacidad instalada de la planta es de 800 ton/día sin embargo la capacidad operativa es de 700 ton/día. Contando con los procesos de:

#### 6.1.1. Trituración

Es alimentado a través de cuatro tolvas (Figura 23; a) con capacidad para 100 toneladas, esta etapa de trituración se realiza por medio de una trituradora de mandíbulas 500 x 700 de capacidad para 120 toneladas (Figura 23; b), el tamaño de partículas es de  $F = 40\% 1 \text{ ft}$   $P = 85\% \text{ m}^{-3/4}$ .



**Figura 23.** Trituración primaria

**Clasificación:** Una vez finalizada la etapa de trituración, el siguiente paso en el proceso de manejo de mineral es la clasificación. Durante esta fase, los fragmentos de roca se someten



a un sistema de cribado o tamizado para separar aquellos que cumplen con las dimensiones requeridas, para ello se usa la zaranda malla ¾” (Ver Figura 24). Los fragmentos que alcanzan el tamaño especificado avanzan a la siguiente etapa del proceso, mientras que los que no cumplen con las dimensiones regresan al circuito de trituración para ser procesados nuevamente. El transporte del mineral es llevado a cabo a través de bandas transportadoras.



**Figura 24.** Criba

### 6.1.2. Molienda

La molienda es llevada a cabo en dos procesos con la utilización de molinos de ruedas (tipo trapiche chilenos) y molinos de bolas de diferentes capacidades: convencional y bolas, como se describe a continuación.

- **Molienda convencional:** El material procedente de la etapa de trituración se dirige a cuatro tolvas, que suministran a los molinos chilenos de cuatro ruedas (Ver Figura 25) con una capacidad de 4 toneladas. El tamaño de partícula de entrada es de aproximadamente el 70% de m-1” y el de salida es entre el 50 y 60% de m-200. Estos molinos tienen una capacidad de procesamiento de entre 80 y 85 toneladas por día y son alimentados a través de un alimentador.



**Figura 25.** Molinos chilenos

**Molienda de bolas:** En esta etapa del proceso, se emplea un molino de bolas (ver



Figura 26) de dimensiones 8x12 ft, alimentado por un alimentador automático de motor de 10 Hp, con una capacidad de procesamiento de 300 toneladas/día. Este molino recibe material con un tamaño de partícula en el cual el 70% es menor a 1 milímetro ( $F=70\% \text{ m-200}$ ) y actualmente, se está instalando un segundo molino de 7x12, con una capacidad de 240 toneladas, para aumentar la producción y optimizar el proceso de molienda, con las mismas tamaño de partícula que sirva para remolienda y e ocasiones alternativas para procesos primarios.



**Figura 26.** Molinos de bolas

**Clasificación:** Para esta etapa se utiliza un hidrociclón de la marca HAIWANG, capacidad de 14-18 m<sup>3</sup>/h. El proceso comienza con la introducción de la pulpa mineral obtenida en el proceso de molienda hacia el hidrociclón (Ver Figura 26) a través de un conducto de alimentación. Las partículas más grandes son dirigidas hacia la parte inferior del hidrociclón y se descargan como un flujo de rechazo. Las partículas que cumplen con el tamaño son de 12 micras (D12) las que no cumplen con los requisitos de tamaño deseados, son redirigidas al proceso de molienda nuevamente, específicamente al molino de bolas de dimensiones 6x10 ft, para una nueva reducción de tamaño.



**Figura 27.** Hidrociclón para reclasificación de tamaños

- **Recuperación**

**Gravimetría:** El material que se obtiene de las descargas de los molinos chilenos se canaliza hacia unos concentradores Falcon de la serie SB350 capacidad de 15 ton/hora, donde se recolecta oro utilizando métodos gravimétricos. Luego, dependiendo del proceso seguido, este producto se dirige al área de flotación o cianuración para su posterior tratamiento.



**Figura 28.** Concentrador Falcón

### 6.1.3. Cianuración

Se recibe el material tanto del concentrador Falcon como de los molinos chilenos. El material se procesa en 4 tanques, y se utiliza soda cáustica para controlar el pH. Además, se agrega carbón activado en una dosis de 250 kg por circuito y cianuro en una proporción de 2 kg por tonelada. La característica distintiva de esta cianuración radica en el método de recolección o cosecha: en este proceso, el carbón impregnado de oro se recolecta por lotes, mientras que en la cianuración convencional se espera hasta el final para extraer el carbón cuando está completamente cargado.

El carbón recolectado es transportado a una zaranda donde se ensaca para su posterior etapa de elusión y lo que no va hacia la relavera.



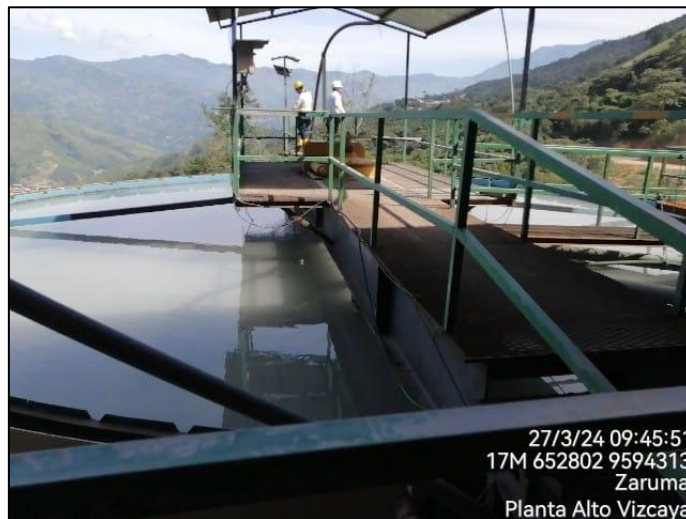
**Figura 29.** Tanques de cianuración

#### **6.1.4. Tratamiento de relaves**

Actualmente se están generando alrededor de 32.43 m<sup>3</sup> de relave

El tratamiento de relaves consiste en enviar el relave como menor cantidad de agua posible para su posterior recirculación para ello se realiza el siguiente procedimiento:

1. El relave va hacia un tanque espesador que sedimenta los sólidos y espesa los relaves para aumentar su densidad y facilitar su disposición.



**Figura 30.** Espesador de relave

2. Las lamas pasan a los tanques de sedimentación cónicos; por medio de bombas son enviados a los hidrociclones que separan las partículas finas de las gruesas; las lamas van hacia unos tanques en donde se añade floculante y aumenta su densidad y facilitan su transporte.

3. Las arenas con densidades de 1800 a 2300 kg/L son enviadas hacia la relavera con un porcentaje de sólidos mayor al 75%.

4. La empresa cuenta con cuatro relaveras con las siguientes dimensiones y capacidades:

- *Relavera 1:* Dimensiones de 16 m de ancho por 80m de largo y capacidad 10240 m<sup>3</sup>

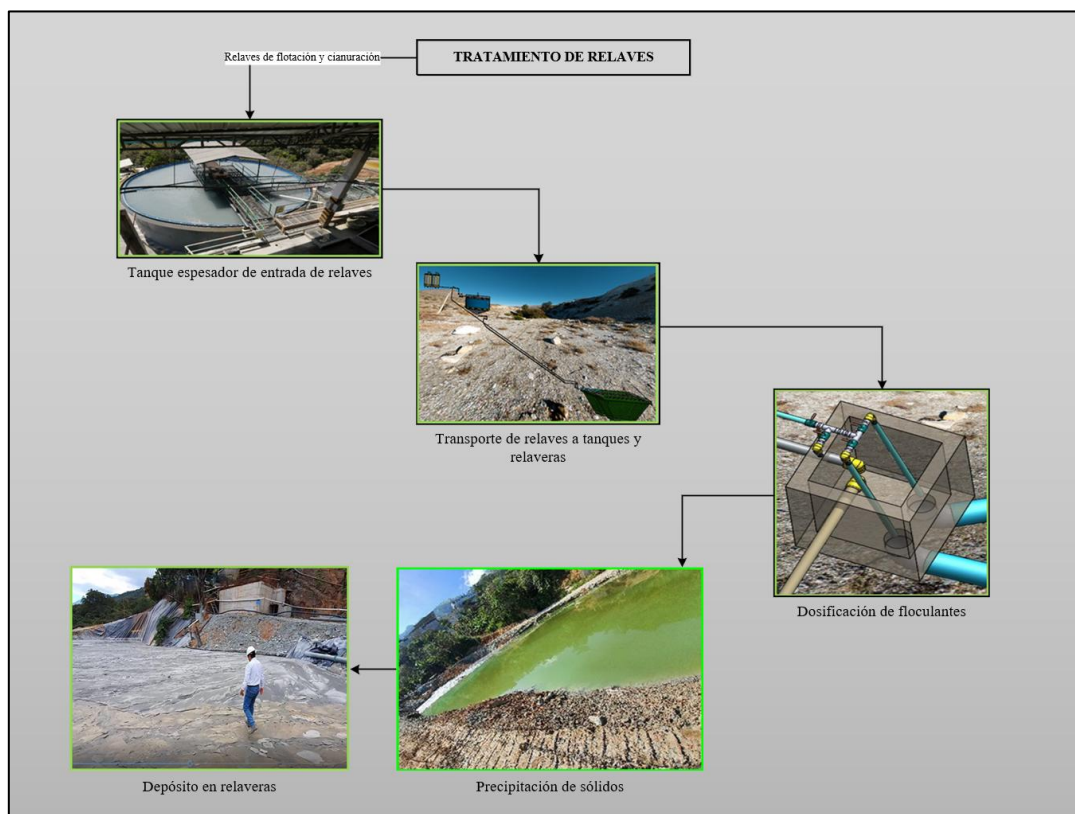
- *Relavera 2*: Dimensiones de 26.5 m de ancho por 50 m largo y capacidad de 6625 m<sup>3</sup>
- *Relavera 3*: Dimensiones de 25.19 m de ancho por 17.25 m de largo y capacidad 2173 m<sup>3</sup>
- *Relavera 4*: Dimensiones de 16.94 m de ancho por 29.41 m de largo y capacidad 2492 m<sup>3</sup>.

La Figura 30 muestra las relaveras en mención:



**Figura 31.** Relavera de la Planta Alto Vizcaya

La Figura 32, muestra el tratamiento de relaves.



**Figura 32.** Tratamiento de relaves

## 6.2. Selección del sitio de ubicación de la relavera

### 6.2.1. Geología regional

Según las hojas geológicas de Zaruma y Santa Rosa del año 2017 (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2017), la geología regional del sector está comprendida por depósitos aluviales, rocas andesitas a riolitas, a continuación, se describen el mapa geológico (Ver Figura 33).

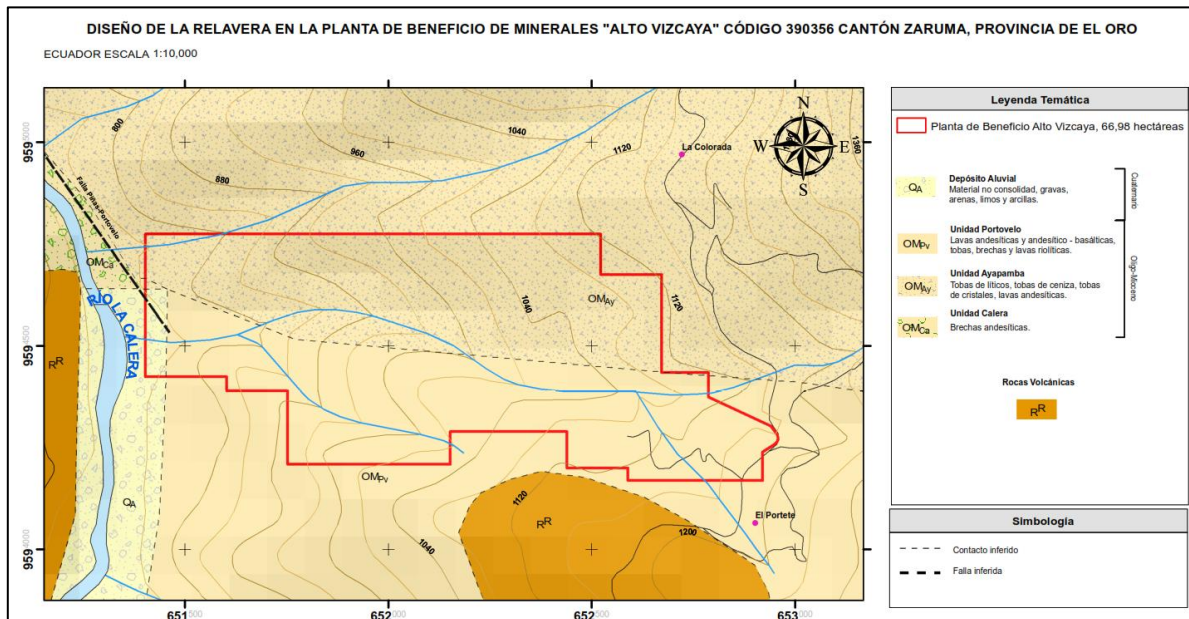


Figura 33. Geología regional

*Nota: Para mayor detalle revisar el Anexo 2, mapa geológico regional*

- **Unidad Portovelo (OM<sub>pv</sub>):** Definida por Pratt y otros (1997). Abarca gran parte del complejo volcánico calco-alcalino terciario de la zona de interés. Su afloramiento tipo se ubica en el sector de Paccha (UTM: 648281 E, 9603533 N). Litológicamente consiste en lavas de composición andesítica a andesítica basáltica, tobas de cristales, brechas andesíticas y lavas riolíticas.

- **Unidad Ayapamba (OM<sub>ay</sub>):** Se extiende como una franja en dirección NO-SE en el centro sur de la zona de estudio. Aflora en las localidades de Malvas (UTM: 652445 E; 9595639 N), Arcapamba (UTM: 653622 E; 9596310 N) y Ayapamba (UTM: 646860 E; 9600441 N). su litología se compone de tobas de líticos, tobas de ceniza, tobas de cristales, lavas andesíticas y ocasionales diques andesíticos. Estratigráficamente este flujo subyace a las típicas lavas andesíticas silicificadas de la Unidad Portovelo y yace discordantemente sobre la Unidad Calera hacia el suroeste.

- **Unidad Calera (OM<sub>CA</sub>):** Aflora en el límite centro sur de la zona de estudio con localidad tipo en el sector Calera Grande (UTM: 649280 E; 9595084 N). Consiste mayoritariamente de brechas andesíticas de color crema, gris verdoso claro a púrpura, con clastos angulosos andesíticos de color verde claro, dentro de una matriz vítrea fina. Presenta un contacto discordante hacia el norte y este, bajo la Unidad Ayapamba; mientras que al oeste se encuentra cubierta por lavas andesíticas de la Unidad Portovelo. Estratigráficamente esta unidad es considerada como el flujo volcánico más antiguo de la zona de estudio.

- **Riolitas (R<sub>R</sub>):** Se localizan en el centro-este del área, formando domos alineados en dirección NO—SE. Los principales afloramientos se observan en los sectores Chala Chica (UTM: 659936 E; 9615337 N). Las rocas son de textura porfirítica y estructura masiva. Se encuentran intruyendo a las unidades Chilla, Huiñacay y Chillacocha. La datación más joven de estas intrusiones está reportada al sur de Saraguro con una edad de  $9.6 \pm 0.5$  Ma correspondiente al Mioceno tardío.

### 6.2.2. *Clima*

La posición ecuatorial del Ecuador conlleva una escasa variabilidad estacional a largo del año, caracterizada principalmente por dos estaciones bien definidas: la húmeda (invierno) y la seca (verano). La duración de estas estaciones varía según la región del país.

En la región Costa se observa una marcada variabilidad climática, desde un clima tropical árido en el suroeste hasta condiciones secas a húmedas en el centro-sur y niveles de humedad muy elevados en el norte, especialmente en la zona del Chocó (Pourrut, 1983).

Según Pourrut (1983), la estación húmeda, que abarca desde diciembre hasta abril-mayo, se caracteriza por altas temperaturas y lluvias abundantes, fenómeno atribuido a la presencia de la corriente cálida de El Niño y la Zona de Convergencia Intertropical. En contraste, la estación seca, con temperaturas más moderadas y una disminución significativa en las precipitaciones, se extiende de junio a noviembre o diciembre.

La temperatura promedio en toda la región costera se sitúa alrededor de los 24-25°C, pudiendo descender a menos de 22°C en áreas de mayor altitud, como las zonas de cordillera. La variación anual en los niveles de precipitación es considerable, oscilando desde menos de 60 mm en la península de Santa Elena hasta más de 2000 mm en otras áreas, dependiendo de la proximidad a la corriente de Humboldt. Este gradiente pluviométrico resulta en una amplia diversidad de hábitats, desde zonas desérticas hasta bosques húmedos tropicales. Además, se observa un gradiente de lluvia de oeste (más seco) a este, donde la presencia de los Andes

favorece la liberación de humedad del aire proveniente del océano, generando lluvias (Pourrut, 1983).

El clima en el área de estudio según el INAMHI (2017), es subhúmedo con moderado déficit de agua en época seca, megatérmico o cálido, y húmedo con moderado déficit de agua en la temporada seca, mesotérmico semicálido. Esta diversidad climática en la zona refleja características específicas en términos de humedad y temperatura durante diferentes períodos del año. En general, la zona se clasifica como mega térmica o cálida, lo que implica temperaturas cálidas o incluso elevadas durante todo el año, con cambios estacionales mínimos. En algunas áreas, se experimenta un clima húmedo con un déficit moderado de agua durante la temporada seca.

### 6.2.3. Precipitaciones

Para el caso de la estación meteorológica de Zaruma la precipitación anual es de 1484.44 mm, el mes de mayo registra la máxima precipitación con 479.6 mm y el mes de enero presenta el menor promedio de precipitación con 0,1 mm. Es evidente la presencia de dos etapas bien marcadas de precipitación durante un año, con mayor precipitación los meses de diciembre a mayo, mientras que los meses comprendidos entre junio y noviembre las precipitaciones son bajas y en algunos casos inexistentes.

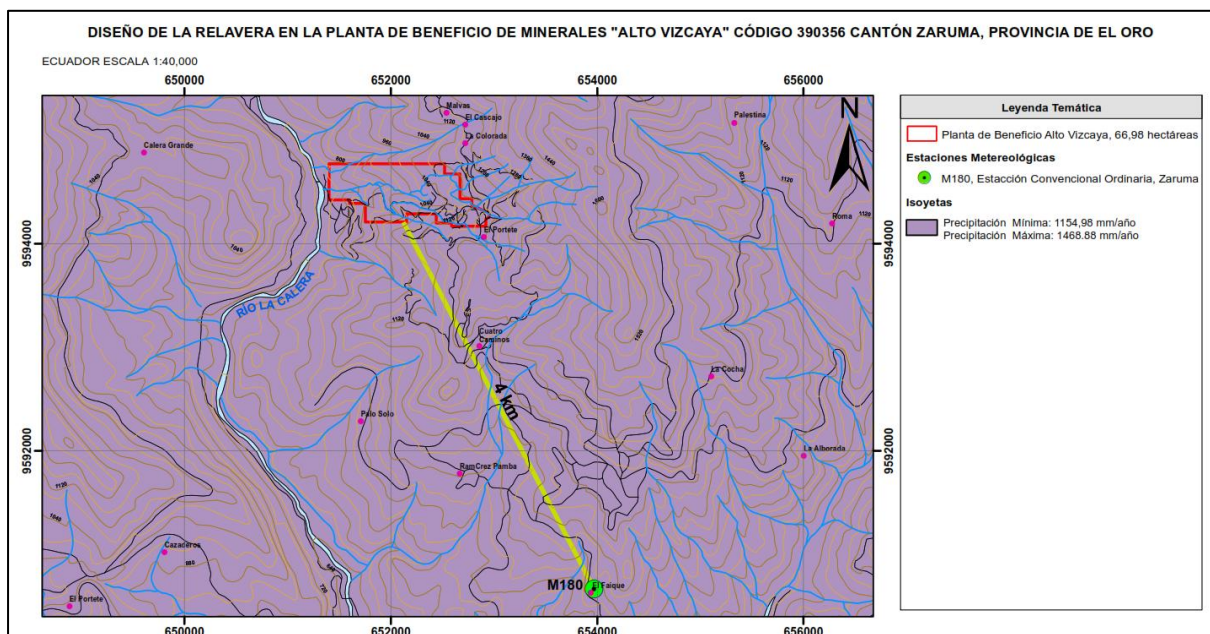
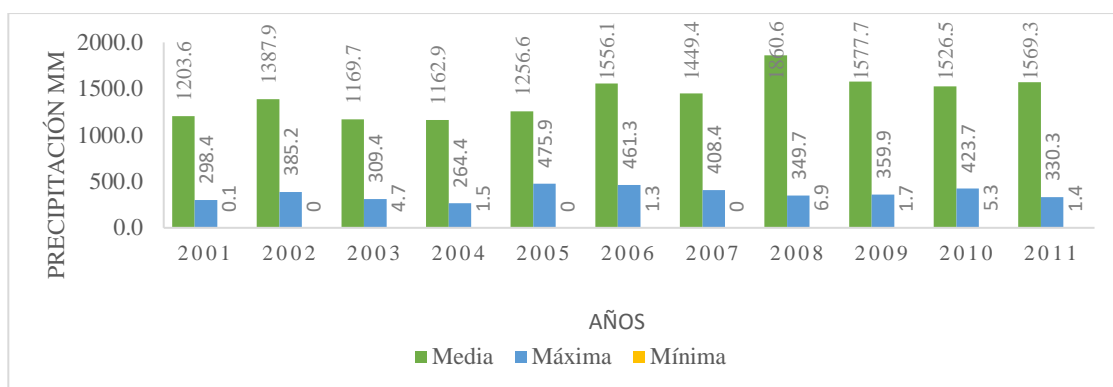


Figura 34. Mapa de precipitación

*Nota: Para mayor detalle revisar el Anexo 3: Mapa de precipitaciones*





**Figura 35.** Precipitación acumulada anual del periodo 2001 a 2011  
**Fuente:** INHAMI. (2001 a 2011)

#### 6.2.4. Períodos de retorno

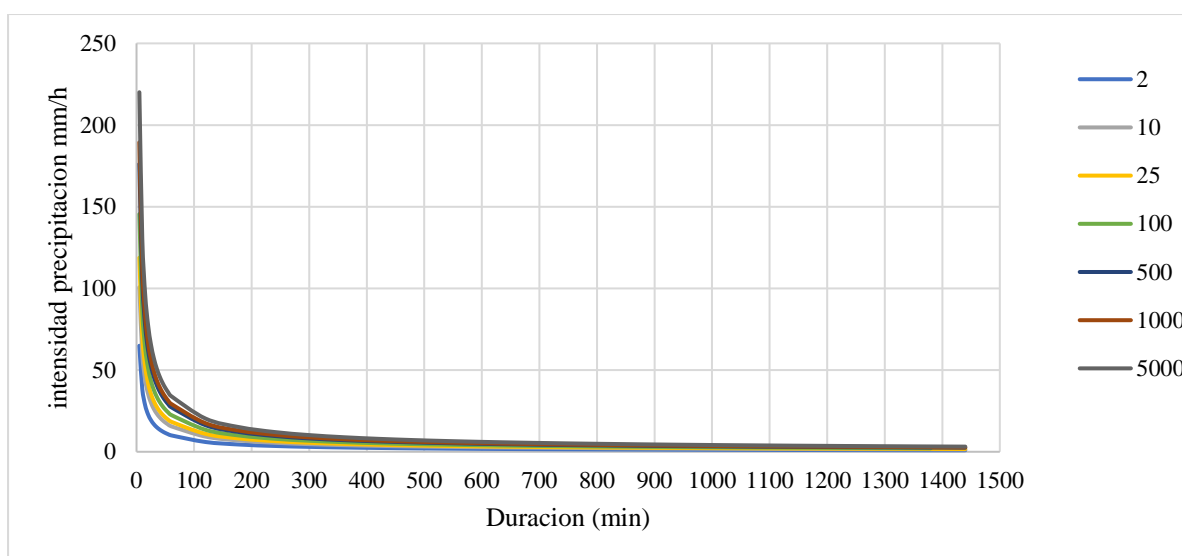
Para determinar el caudal máximo de la microcuenca de la zona de emplazamiento, se utilizan registros históricos de precipitación máxima para un periodo máximo de 24 horas.

**Tabla 1.** Precipitaciones y períodos de retorno

Duración (Horas)	Precipitación máxima en 24 horas (mm)									
	22.28	29.69	34.60	40.79	45.39	49.95	60.50	65.03	75.55	80.08
	Periodo de Retorno (Años)									
	2	5	10	25	50	100	500	1000	5000	10000
	Precipitación (mm)									
0.1	64.9	86.5	100.8	118.8	132.2	145.5	176.2	189.4	220.1	233.3
0.2	38.6	51.4	59.9	70.7	78.6	86.5	104.8	112.6	130.9	138.7
0.3	28.5	37.9	44.2	52.1	58.0	63.8	77.3	83.1	96.5	102.3
0.3	23.0	30.6	35.6	42.0	46.7	51.4	62.3	67.0	77.8	82.5
0.4	19.4	25.9	30.1	35.5	39.5	43.5	52.7	56.7	65.8	69.8
0.5	16.9	22.6	26.3	31.0	34.5	38.0	46.0	49.4	57.4	60.9
0.6	15.1	20.1	23.4	27.6	30.7	33.8	41.0	44.0	51.1	54.2
0.7	13.6	18.2	21.2	25.0	27.8	30.6	37.0	39.8	46.3	49.0
0.8	12.5	16.6	19.4	22.9	25.4	28.0	33.9	36.5	42.4	44.9
0.8	11.5	15.4	17.9	21.1	23.5	25.9	31.3	33.7	39.1	41.5
0.9	10.7	14.3	16.7	19.7	21.9	24.1	29.2	31.4	36.4	38.6
1.0	10.1	13.4	15.6	18.4	20.5	22.6	27.3	29.4	34.1	36.2
2.0	6.0	8.0	9.3	11.0	12.2	13.4	16.3	17.5	20.3	21.5
3.0	4.4	5.9	6.9	8.1	9.0	9.9	12.0	12.9	15.0	15.9
4.0	3.6	4.7	5.5	6.5	7.3	8.0	9.7	10.4	12.1	12.8
5.0	3.0	4.0	4.7	5.5	6.1	6.7	8.2	8.8	10.2	10.8
6.0	2.6	3.5	4.1	4.8	5.3	5.9	7.1	7.7	8.9	9.4
7.0	2.3	3.1	3.6	4.3	4.8	5.2	6.4	6.8	7.9	8.4
8.0	2.1	2.8	3.3	3.9	4.3	4.7	5.7	6.2	7.2	7.6
9.0	1.9	2.6	3.0	3.5	3.9	4.3	5.3	5.7	6.6	7.0
10.0	1.8	2.4	2.8	3.3	3.6	4.0	4.9	5.2	6.1	6.4
11.0	1.7	2.2	2.6	3.1	3.4	3.7	4.5	4.9	5.7	6.0
12.0	1.6	2.1	2.4	2.9	3.2	3.5	4.2	4.6	5.3	5.6
13.0	1.5	2.0	2.3	2.7	3.0	3.3	4.0	4.3	5.0	5.3
14.0	1.4	1.9	2.2	2.5	2.8	3.1	3.8	4.1	4.7	5.0
15.0	1.3	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.6	3.9	4.5	4.7
16.0	1.3	1.7	2.0	2.3	2.6	2.8	3.4	3.7	4.3	4.5
17.0	1.2	1.6	1.9	2.2	2.4	2.7	3.3	3.5	4.1	4.3
18.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.6	3.1	3.4	3.9	4.1
19.0	1.1	1.5	1.7	2.0	2.3	2.5	3.0	3.2	3.8	4.0
20.0	1.1	1.4	1.7	1.9	2.2	2.4	2.9	3.1	3.6	3.8

Duración (Horas)	Precipitación máxima en 24 horas (mm)									
	22.28	29.69	34.60	40.79	45.39	49.95	60.50	65.03	75.55	80.08
	Periodo de Retorno (Años)									
	2	5	10	25	50	100	500	1000	5000	10000
	Precipitación (mm)									
21.0	1.0	1.4	1.6	1.9	2.1	2.3	2.8	3.0	3.5	3.7
22.0	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.7	2.9	3.4	3.6
23.0	1.0	1.3	1.5	1.8	2.0	2.1	2.6	2.8	3.3	3.4
24.0	0.9	1.2	1.4	1.7	1.9	2.1	2.5	2.7	3.1	3.3

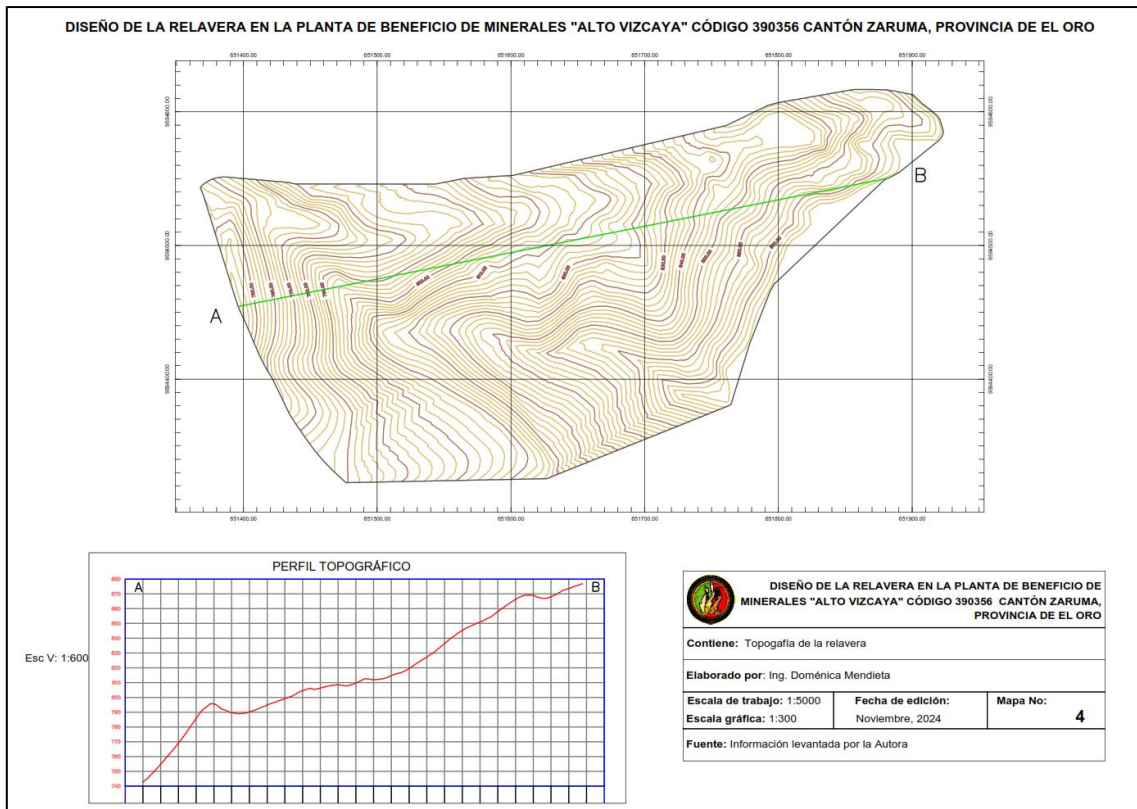
Obtenida la intensidad de esa precipitación para distintos periodos de retorno se realizó el diseño de tormentas por el método de Dick Peschke, el cual consiste en generar las curvas de intensidad duración y frecuencia para lapsos más cortos de tiempo, en este caso cada 5 minutos.



**Figura 36.** Curva de intensidad, duración y frecuencia

### 6.2.5. Topografía

El resultado del vuelo de dron sobre el área seleccionada previamente refleja la topografía del terreno (Ver Figura 32), en la que se puede observar curvas de nivel cerradas con pendientes pronunciadas que pueden influir en la construcción de la relavera.



**Figura 37.** Topografía del área de relavera

*Nota: Para mayor detalle revisar el Anexo 4: Mapa topográfico*

### 6.2.6. Morfología

La morfología presente en la zona de estudio corresponde a una de cierre corto (cuello de botella) la cual se caracteriza por su forma compacta y su pequeño perímetro en comparación con otras cuencas, es beneficioso en varios sentidos ya que favorece al drenaje debido a su tiempo de respuesta ante las precipitaciones, adicionalmente también favorece un escurrimiento más uniforme y reduce la erosión en las zonas alejadas.



**Figura 38.** Morfología del terreno

### 6.2.7. Selección del sitio para la relavera

La selección del sitio conjuga los resultados de la geología, la hidrogeología, la topografía y la morfología de esta forma se ha seleccionada la relavera conforme lo indica la Figura 34, en la que se ha considerado una zona en la que por diferencia de cotas el relave pueda descender fácilmente, además de la morfología del terreno que ayuda albergar la cantidad de relave sin que se vea comprometida a deslizamientos o colapsos. Adicionalmente en este tipo de geoforma es más factible construir la presa de relaves la cual los contendrá y hará factible su construcción.

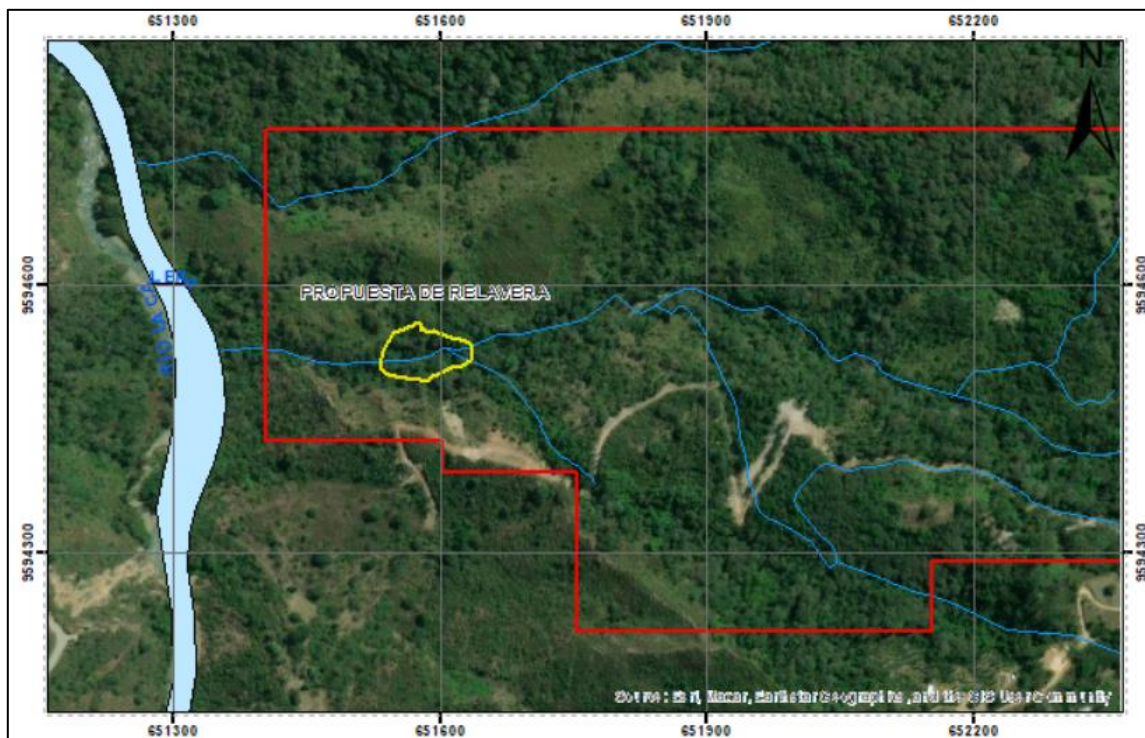
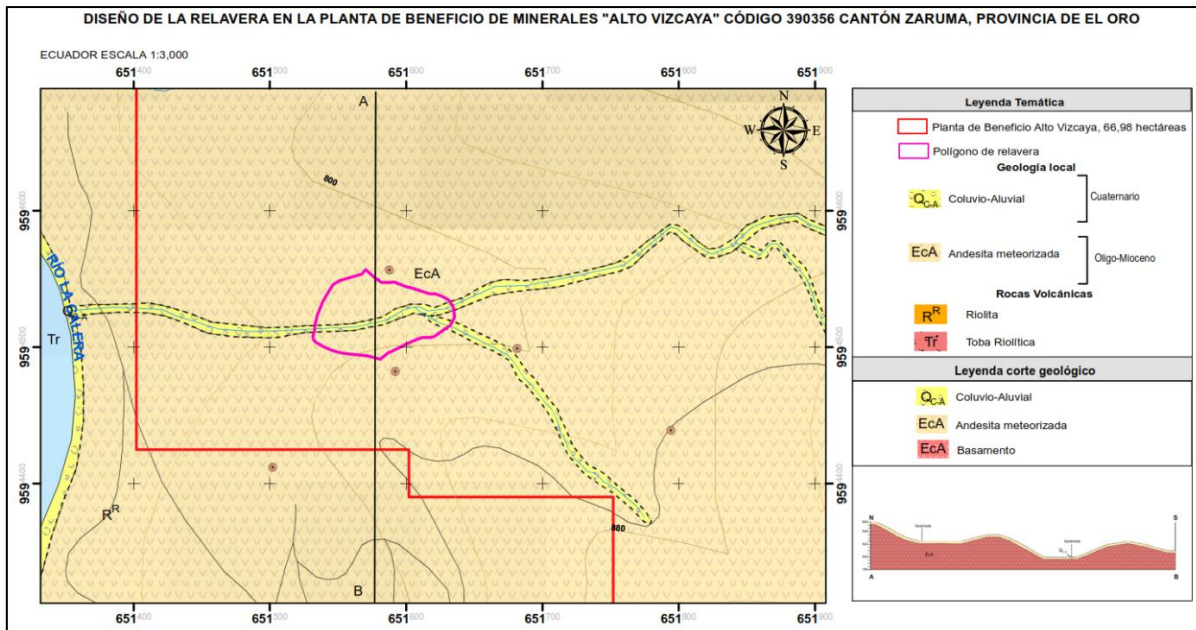


Figura 39. Ubicación de la relavera

## 6.3. Condiciones geológicas – geotécnicas

### 6.3.1. Geología local

La geología local conjuga los resultados del trabajo de campo en torno al mapeo de campo, el mismo permitió la elaboración del mapa geológico a escala 1:5 000.



*Nota: Para mayor detalle revisar el Anexo 5 que corresponde al mapa geológico local.*

**Afloramiento 1:**

*Coordenadas:*

**X:** 651502 m

**Y:** 9594412 m

**Z:** 815.6 msnm

*Dimensiones:*

60 metros de alto y 20 metros de ancho

El área superficial por donde atraviesa la relavera corresponde a andesitas intercaladas con arcillas tiene composición de minerales con feldespato, piroxenos, olivinos y hornblendas (ver Figura 36). Con el paso del tiempo los agentes atmosféricos oxidan la roca y la alteran dando coloraciones rojizas o amarillentas.



**Figura 41. Afloramiento 1 de la zona de estudio**

### **Afloramiento 2:**

*Coordenadas:* **X:** 652711 m      **Y:** 9594391 m      **Z:** 830.1 msnm

*Dimensiones:* 3 metros de alto y 5 metros de ancho

En el afloramiento 2, corresponde al basamento ígneo se presentan rocas andesitas intercaladas con limos alteradas con tonalidades amarillas que indican la presencia de óxidos de hierro y alteración debido a los agentes atmosféricos. Adicionalmente, existen diaclasas que indican la meteorización de la roca.



**Figura 42.** Afloramiento 2

### **Afloramiento 3**

*Coordenadas:* **X:** 652711 m    **Y:** 9594391 m    **Z:** 830.1 msnm

*Dimensiones:* 5 metros de alto y 8 metros de ancho.

La litología de la zona se compone de regolito, una capa de material no consolidado y fragmentado que se encuentra sobre la roca madre está compuesto principalmente de partículas de roca y minerales desintegrados. Con presencia de una matriz de arenisca arcillosa indicando que el regolito tiene una mezcla de granos de arena y arcilla, lo que influye en la permeabilidad y la capacidad de retención de agua.



**Figura 43.** Afloramiento 3

#### **Afloramiento 4**

*Ubicación:* Coordenadas UTM WGS84, x: 651589 m, y: 959554 m.

*Dimensiones:* 4 metros de alto y 3 metros de ancho.

La litología presente corresponde a saprolito de roca, con una matriz de arenisca arcillosa. Este material se forma in situ por la alteración química y física de la roca madre, manteniendo su estructura original. La matriz de arenisca arcillosa indica una mezcla de granos de arena y arcilla, influenciando sus propiedades físicas y químicas, como la permeabilidad y la capacidad de retención de agua. Además, la parte superior del saprolito presenta una amplia cobertura vegetal, que protege el suelo de la erosión y desecación, y contribuye a la estabilidad del saprolito mediante la aportación de materia orgánica.



**Figura 44.** Afloramiento 4

#### **Afloramiento 5**

*Ubicación:* Coordenadas UTM WGS84, x: 651682.16 m, y: 9594499 m.

*Dimensiones:* 6 metros de alto y 4 metros de ancho.

La litología presente corresponde a saprolito de roca con un alto contenido de arcilla. Este material se forma in situ a partir de la alteración química y física de la roca madre, manteniendo en gran medida su estructura original.



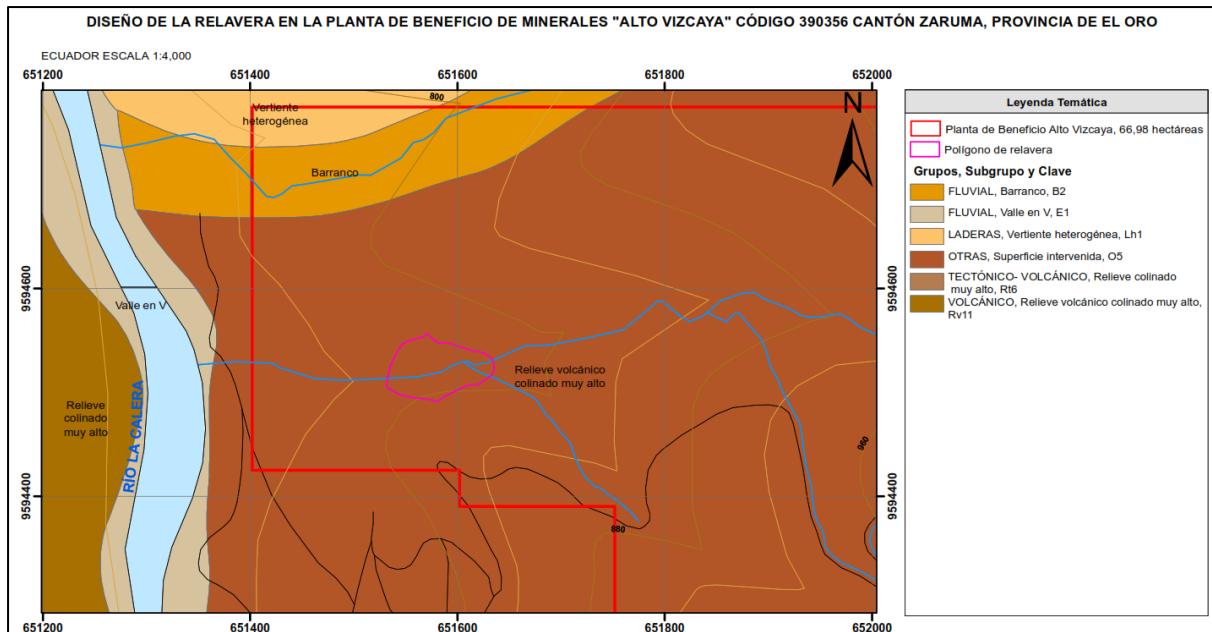
**Figura 45.** Afloramiento 5

En este apartado se analiza las propiedades de los suelos, como su clasificación de suelos, Ensayo de Penetración Estándar (SPT), sísmica de refracción y ensayos de permeabilidad. A continuación, se detallan los resultados.

### **6.3.2. Geomorfología**

Las geoformas son configuraciones que toma la superficie terrestre, producto de la interacción de procesos geológicos, climáticos y geomorfológicos, resultantes de procesos erosivos naturales o influenciados por actividades humanas, las cuales son identificadas y descritas en términos geomorfológicos. Estos relieves exhiben la variedad topográfica del área de estudio; según el Mapa Geomorfológico del Ecuador a escala 1:25000 elaborado por MAGAPSIGTIERRAS en el año 2015, la relavera de la planta de beneficio “Alto Vizacaya” no presenta una geoforma definida debido a que se encuentra intervenido sin embargo está rodeado por un relieve volcánico colinado muy alto rodeado barrancos y laderas las mimas se describen continuación:





**Figura 46. Geomorfología**

*Nota: Para mayor detalle revisar el Anexo 6 que corresponde a la geomorfología*

- Relieve volcánico colinado muy alto:** Esta geofoma se extiende y continúa por el área sin presentar características distintivas y se desarrolla sobre sustratos volcánicos que no están relacionados con erupciones volcánicas recientes (generalmente, sustratos volcánicos anteriores al Holoceno) (GEOPORTAL, 2015). La disección en conjunto le permite alcanzar desniveles máximos en su interior de entre 200 y 300 metros. Ocupa un área de 63,90 hectáreas, representando aproximadamente el 95,42% del área total, lo que la convierte en la forma dominante en la zona de estudio y es el sitio donde se ubica la infraestructura de la planta de beneficio; sin embargo, este tipo de relieve ha sido modificado debido a la apertura de vías y la construcción de las infraestructuras donde se instala la planta de beneficio.



**Figura 47. Relieve volcánico colinado muy alto**

### 6.3.3. Ensayo de penetración estándar (SPT)

Se realizaron dos perforaciones ubicadas en la Tabla 1 en las que se determinaron contenido de humedad, granulometría, clasificación de SUCS y ASSHTO.

**Tabla 2.** Información in-situ y resultados de laboratorio para las muestras de los ensayos SPT.

	Prof. m	C.H %.	LL %	LP %	IP %	GRANULOMETRÍA			SUCS	Descripción
						G	A	F		
Sondeo 1	1.00	24.24	44	27	17	24.06	20.58	55.36	ML	Limo gravoso con arena
	2.00	20.87	49	28	21	7.24	20.73	72.03		Limo con arena
	3.00	22.62	49	27	22	1.33	31.56	67.11	CL	Arcilla de baja plasticidad arenosa
	4.00	22.62	49	27	22	1.33	31.56	67.11		Limo arenoso
	6.00	29.82	40	19	21	7.79	25.12	67.09	CL	Arcilla de baja plasticidad arenosa
Sondeo 2	1.00	13.71	38	22	16	7.16	32.83	60.01	CL	Arcilla de baja plasticidad arenosa
	2.00	16.52	38	23	15	4.09	33.76	62.15	CL	Arcilla de alta plasticidad
	3.00	31.89	59	19	40	0.00	6.53	93.47	CH1	Limo con arena
	4.00	42.81	48	31	17	0.42	17.05	82.53	ML	Arena arcillosa
	5.00	35.33	45	26	19	11.12	45.92	42.96	SC	Limo arenoso
	6.00	35.98	40	28	12	3.82	35.76	60.42	ML	

**Nota.** Sociedad Civil Minera Goldmins, (2024)

El presente estudio, muestra una baja capacidad portante y alta compresibilidad debido al predominio de limos y arcillas, la baja plasticidad de las arcillas promueve la estabilidad del suelo. Adicionalmente, la granulometría evidencia un predominio de finos con baja proporción de gravas, lo que genera una baja permeabilidad y por ende mayor estabilidad.

#### 6.3.3.1. SPT 1

Superficialmente está compuesto por limos con gravas y arenas intercaladas con arcillas de baja plasticidad arenosa, con un contenido de humedad es de 24.30%. La Tabla 3, describe los resultados de cohesión (C) y  $\phi$  ángulo de fricción.

**Tabla 3.** Resultados del sondaje 1.

Pozo	Prof. m	SUCS	N <sub>spt</sub> golpes	N <sub>60</sub> golpes	N <sub>160</sub> golpes	q <sub>ult neta</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	q <sub>adm neta</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	C STROUD 1974 Kg/cm <sup>2</sup>	$\phi$ (Osaki 1959) °
SPT 1	1.00	ML	8	6	8	1.80	0.60		26
	2.00	ML	12	9	12	2.70	0.90		28
	3.00	CL	13	10	12	2.25	0.75	0.44	
	4.00	CL	19	16	18	3.72	1.24	0.72	
	5.00	ML	19	16	17	4.85	1.62		33
	6.00	CL	29	28	27	6.35	2.12	1.24	

**Nota.** Sociedad Civil Minera Goldmins, (2024)

### 6.3.3.2. SPT 2

Los materiales corresponden a arcilla de baja y alta plasticidad arenosa, intercalado con limos y arenas, arena arcillosa y más limo arenoso, el contenido de humedad promedio es de 29.30%. La Tabla 4 describe los resultados.

**Tabla 4.** Resultados del sondaje 2

Pozo	Prof.	SUCS	N <sub>spt</sub>	N <sub>60</sub>	N <sub>160</sub>	q <sub>ult neta</sub>	q <sub>adm neta</sub>	C STROUD 1974	Ø (Osaki 1959) °
SPT 2	1.00	CL	13	10	13	2.25	0.75	0.44	
	2.00	CL	19	14	19	3.29	1.10	0.64	
	3.00	CH1	9	7	8	1.56	0.52	0.30	
	4.00	ML	14	12	13	3.57	1.19		30
	5.00	SC	18	15	16	4.59	1.53		32
	6.00	ML	22	21	21	6.27	2.09		35

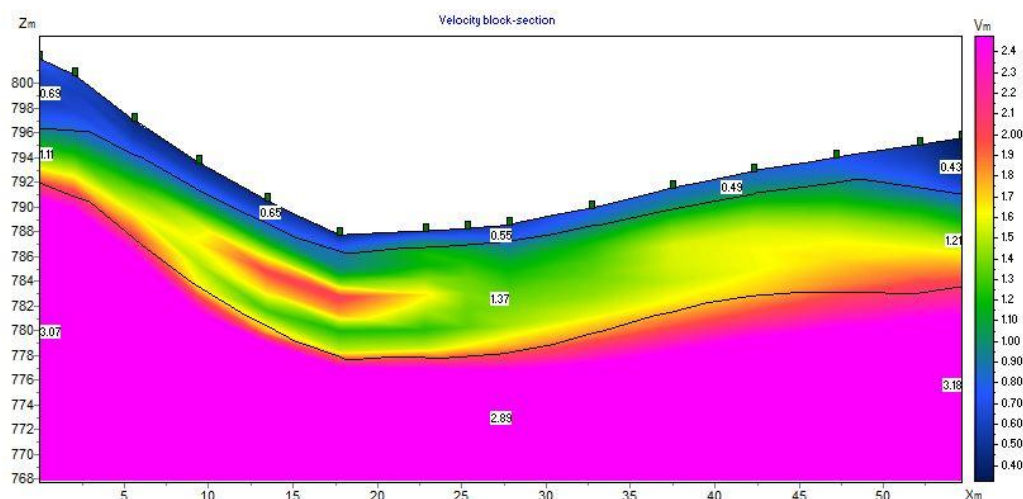
**Nota.** Sociedad Civil Minera Goldmins, (2024)

### 6.3.4. Sísmica de refracción

Se analizaron las líneas sísmicas las cuales se describen a continuación:

#### 6.3.4.1. Línea sísmica LS01

La línea sísmica se realizó con una orientación NO-SE. El error RMS obtenido para el modelo de subsuelo fue de 2.1%. En función de los valores de onda compresional, se discretizó la LSR-01 en 3 unidades sísmicas, las cuales se describen a continuación:



**Figura 48.** Perfil sísmico línea 1

**Nota.** Sociedad Civil Minera Goldmins, (2024)

Se encontraron dos capas suelo en la capa A se determinó la presencia de coluvioaluviales intercalados con limos arcillosos; en la capa B, se determinaron depósitos coluvio-

aluviales intercalados con arcillas dispuestas en roca andesítica meteorizada, y en la capa C se encontró el basamento de roca ígnea; en la Tabla 5 se describen los resultados.

**Tabla 5.** Complejos sísmicos, velocidades de onda y correspondencia geológica LS01

Capa	Velocidad Sísmica Onda P (m/s)	Espesores (m)	Tipo de material estimado
A	550	1.30 – 5.70	Suelos derivados de sedimento volcánico, tipo coluvio-aluviales compuestos por limos arenosos arcillosos, con clastos de angulosos a subredondeados.
B	1250	9.40 – 12.00	Depósitos coluvio aluviales en matriz limo arenosa arcillosa dispuesta sobre roca andesítica altamente meteorizada.
C	3050	∞	Basamento de rocas basálticas o andesíticas poco fracturada.

**Nota.** Sociedad Civil Minera Goldmins, (2024)

Adicionalmente se determinaron los parámetros dinámicos y elásticos para cada uno de los complejos geofísicos.

**Tabla 6.** Parámetros dinámicos, línea sísmica 01

CAPA SISMICA		1	2	3
<b>Potencia</b>	M	1.30 – 5.70	9.40 – 12.00	∞
<b>Vp</b>	m/s	550	1250	3050
<b>Vs</b>	m/s	385	874	2133
<b>γ</b>	gr/cm <sup>3</sup>	1.649	1.78	2.35
<b>Edin</b>	Kg/cm <sup>2</sup>	5056	28386	223082
<b>Eest</b>	Kg/cm <sup>2</sup>	2245	16079	169021
<b>Edef</b>	Kg/cm <sup>2</sup>	395	1137	3048
<b>Gdin</b>	Kg/cm <sup>2</sup>	780	6582	26992
<b>(Mindel) N</b>	Golpes	8	28	79
<b>Qa , Fs=3</b>				
<b>(Mayerhoff)</b>	Kg/cm <sup>2</sup>	0.80	2.79	7.90
<b>(Dunham) Ø</b>	°	35	43	56
<b>Vs 30</b>	m/s		1394	
<b>Tipo de Perfil</b>			B	

**Nota.** Sociedad Civil Minera Goldmins, (2024)

En conclusión, los resultados de la sísmica muestran una estratigrafía formada por tres capas, en la que la primera corresponde a terrenos coluvioaluviales con limos arcillosos arenos y clastos de variados grados de redondez lo que demuestra un material poco consolidado con escasa capacidad soporte y propensa a deformaciones. La segunda capa corresponde a coluvioaluviales con matriz arcillosa limo arenoso, situado sobre una capa de roca andesita meteorizada, lo que indica un material de mayor compactación. La última pertenece al basamento rocoso. De este modo la presencia de estos suelos poco consolidados sugiere la necesidad de realizar mejoras en el terreno por lo que se optará por seleccionar material de préstamo.

### 6.3.5. Ensayo de permeabilidad

El ensayo de permeabilidad se realizó en los puntos donde se desarrollaron los SPT, donde se obtuvo el índice de permeabilidad en el que para el SPT1 se obtuvo un índice de 0.873 m<sup>3</sup>/día y para el segundo 1.119 m<sup>3</sup>/día (Ver Tabla 7).

**Tabla 7.** Resultado de permeabilidad

No Ensayo	$\Delta(h_i/h_o)$ (cm)	kT (cm/s)	Tipo de suelo (SUCS)	Índice de Permeabilidad (m <sup>3</sup> /día)	Drenaje
Permeabilidad SPT1	1.0207	0.001085	ML	0.873	BUENO
Permeabilidad SPT2	1.246	0.001487		1.1197	

**Nota.** Sociedad Civil Minera Goldmins, (2024)

### 6.3.6. Hidrología

El principal cuerpo de agua identificado dentro del área es la quebrada que desciende de las instalaciones de la planta de beneficio Alto Vizcaya, y que tiene de tributarios varios cuerpos de agua encausados y de los cuales varios tienen origen en otras actividades de minería tanto de beneficio de minerales como de explotación subterránea. Todos estos cuerpos de agua se unen en la zona baja del área de ampliación, aportando al Rio Calera.

De acuerdo con la cartografía oficial del IGM, este cuerpo de agua no presenta un nombre y se caracteriza como una de las quebradas principales de este proyecto, dado que es la que tiene un caudal que recibe descargas de la actividad de beneficio.

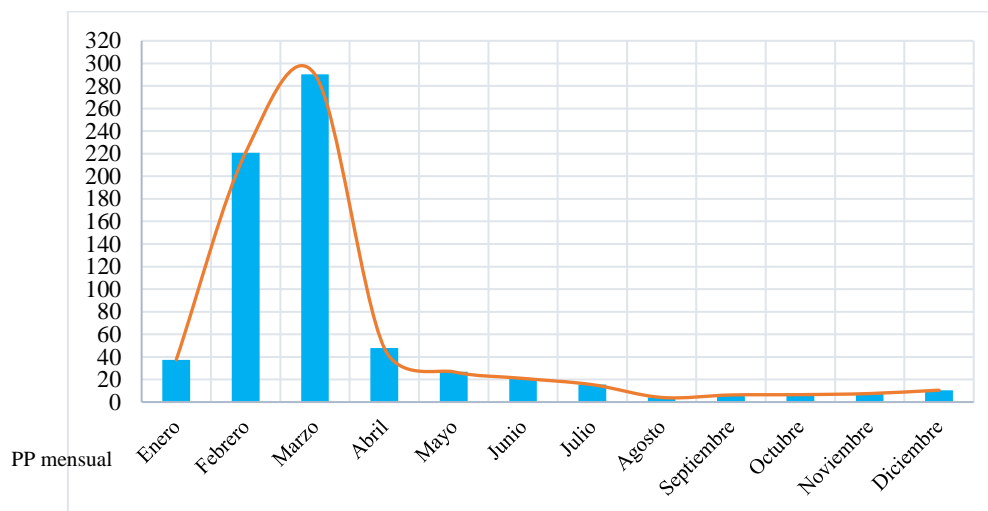
Este es un cuerpo de agua, nace aproximadamente en la cota 1480, y presenta una longitud aproximada de 2,5 km, drena en dirección E-O, y se encuentra intervenida por actividades de beneficio de minerales ajenas a este proyecto. La quebrada presenta bastante actividad de socavamiento de su cauce debido a caudales importantes en este último periodo de lluvias es por ello que se debe diseñar una cuneta de drenaje considerando estos aspectos.



**Figura 49.** Quebrada en el área de influencia

- **Caudales máximos**

Los caudales medios mensuales en período de estiaje son bajos, con aportes de agua proveniente de interior mina, se ha definido un modelo con estimaciones de caudales para medir el comportamiento del régimen hídrico que se muestran a continuación.



**Figura 50.** Caudales medios mensuales de la microcuenca de la zona de ampliación.  
**Nota.** Sociedad Civil Minera Goldmins, (2024).

- **Nivel freático:** En base al análisis geotécnico se ha determinado que el nivel freático se encuentra a 12 metros, deduciendo los materiales capaces del albergar agua como las arenas arcillosas, adicionalmente el río se encuentra próximo por lo que se infiere este dato.

- **Calidad de agua:** En vista de que la relavera se intercepta con una quebrada principal, es necesario evaluar su calidad de este modo se determinó que la quebrada tiene un pH de 8 lo que la convierte en alcalina, además de oxígeno bajo, sólidos suspendidos totales por encima de los establecido, al igual que los nitritos y nitratos, asimismo, se encontraron cantidades elevadas de cianuro y elementos como plata, aluminio, arsénico, bario, zinc, cobre, hierro, mercurio, níquel, plomo y manganeso (Ver Tabla 8). Además, en el reporte biológico se determino que no existe presencia de organismos vivos por lo que la quebrada no posee valor ecológico. Sin embargo, se destaca la importancia de brindar un tratamiento adecuado antes de su descarga final, por lo que el desvío de cauces sería una opción aceptada.

**Tabla 8.** Calidad de agua

Parámetro	Unidad	Quebrada	Lmp
pH	pH	8.02	7-9
O	%	68.5	min80
DBO	mg/l	11.37	20
DQO	mg/l	29.8	40

SST	mg/l	151	max.inc
NO2	mg/l	0.624	0.2
NO3	mg/l	78.39	13
Tensoactivos	mg/l	0.16	0,5
A&G	mg/l	1.29	0.3
HTP	mg/l	0.45	0.5
Cianuro	mg/l	11.748	0,01
Ag	mg/l	0.156	0.01
Al	mg/l	9.602	0.1
As	mg/l	0.589	0.05
Ba	mg/l	0.064	1
Be	mg/l	0.001	0.1
B	mg/l	0.010	0.75
Cd	mg/l	---	0.001
Zn	mg/l	2.118	0.03
Co	mg/l	0.052	0.2
Cu	mg/l	28.957	0.005
Cr	mg/l	0.0021	0.032
Fe	mg/l	14.605	0.3
Hg	mg/l	0.002	0.0002
Ni	mg/l	0.041	0.025
Pb	mg/l	4.427	0.001
Se	mg/l	-	0.001
Mn	mg/l	2.055	0.1

*Nota:* Revisar Anexo 11. Calidad del agua

### 6.3.7. Geohidrología

De acuerdo con el Mapa Hidrogeológico del Ecuador para el año 2014, para la zona de ampliación de la planta de beneficio Alto Vizcaya, se identifica solamente la formación Celica (Kc), cuya litología predominante es la Toba y la Andesita. No obstante, de acuerdo con el mapa de la geología local, estas tobas y andesitas se manifiestan dividiendo el área de ampliación a través de un contacto inferido. Esta litología es la predominante para casi toda el área de estudio. En la parte baja del área de ampliación se identificó un pequeño bloque de depósitos de coluvios, muy característicos de las terrazas que forman los cursos de agua y los procesos gravitacionales de montañas de marcada diferencia altitudinal.

Se considera que dicha formación presenta una alta resistencia al paso del agua, o, dicho de otro modo, presenta una porosidad eficaz muy baja, y la única forma de obtener un recurso hídrico en estos materiales se da por medios fisurados, que pueden tener origen en esfuerzos tectónicos, o por diferencias de temperatura en rocas volcánicas, planos de descompresión o discontinuidades sedimentarias. Tras el origen de estas fisuras, estas pueden estar ocluidas por minerales arcillosos, o, por el contrario, el paso del agua puede generar aberturas por procesos de disolución formando amplios conductos, sobre materiales sedimentarios como las tobas,

existentes dentro del área de ampliación, aunque este proceso también dependerá de la composición química del agua.

#### 6.4. Caracterización del relave

La caracterización del relave comprende densidad, pH, conductividad y salinidad

##### 6.4.1. Densidad

Los resultados de densidad se muestran a continuación:

##### Ensayo No.1

Peso del matraz vacío ( $P_m$ ) = 164.61 gr

Peso del matraz + muestra ( $P_{mm}$ ) = 907.02 gr

Peso total = PT

$$PT = P_{mm} - P_m$$

$$PT = 907.02 - 164.61 = 742.41 \text{ gr}$$

Volumen conocido = 500 cc

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

$$\rho = \frac{742.41 \text{ gr}}{500 \text{ cc}} = 1.48 \text{ gr/cc}$$

##### Ensayo No.2

Peso del matraz vacío = 164.61 gr

Peso del matraz + muestra = 912.04 gr

$$PT = 912.04 - 164.61 = 747.43 \text{ gr}$$

Volumen conocido = 500 cc

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

$$\rho = \frac{747.43 \text{ gr}}{500 \text{ cc}} = 1.49 \text{ gr/cc}$$

Para finalizar la densidad del relave es 1.48 gr/cc, este resultado permite determinar la cantidad de relave que tendrá la relavera.



#### 6.4.2. pH, conductividad y salinidad

El pH, conductividad y salinidad, determina la acidez y la alcalinidad de cada muestra en los resultados de la Tabla 9, reflejan un pH alcalino, esto debido a la presencia de carbonatos y cal que se utilizan en el proceso de tratamiento de relaves.

**Tabla 9.** Resultados de pH, conductividad y salinidad

Nro de muestra	pH	Conductividad $\mu\text{s}/\text{cm}$	Salinidad %
1	8.68	545	0.2
2	8.60	515	0.2

#### 6.4.3. Contenido de humedad

El contenido de humedad se encuentra en un rango de 28.36% a 35.26 % (Ver Tabla 8), lo que indica un relave con contenido de agua moderado, por lo que en el tratamiento de relaves debe procurarse eliminar la mayor cantidad de agua, debido a que mientras más seco el relave mejor será su disposición.

**Tabla 10.** Resultados contenidos de humedad

Nro	Tara	Peso vacío (gr)	Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	% contenido de humedad
1	222	23.42	122.96	94.60	28.36
2	289	28.07	152.90	117.64	35.26
3	265	29.52	142.07	109.42	32.65
				<b>PROMEDIO</b>	<b>32.09</b>

#### 6.4.4. Porcentaje de sólidos

El porcentaje de sólidos se encuentra en 76.94% lo que puede confirmar la eficiencia del tratamiento de relaves ya que el 23.06% corresponde a agua logrando recuperar la mayor cantidad de agua posible, esto contribuye al diseño de la relavera debido a que el transporte puede ser facilitado y la capacidad de almacenamiento del vaso de la relavera puede ser mayor.

**Tabla 11.** Resultados de porcentaje de sólidos

Nro	Tara	Peso vacío (gr)	Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	% de sólidos
1	222	23.42	122.96	94.60	76.94%
2	289	28.07	152.90	117.64	76.94%
3	265	29.52	142.07	109.42	77.02%
				<b>PROMEDIO</b>	<b>76.96%</b>

#### 6.4.5. Grado de saturación

Es un factor importante para evaluar el comportamiento del relave en su estabilidad es por ello que se ha determinado un grado de saturación del 17.90% lo que indica relaves prácticamente secos, con una cantidad moderada de agua.

**Tabla 12.** Grado de saturación

Tara	Densidad relave húmedo (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad relave seco (gr)	%	Porosidad	% contenido de humedad	%Saturación
222					28.36%	15.55%
289	1.48	2.7		45.19	35.26%	19.33%
265					32.65%	17.90%

Al correlacionarlo con las precipitaciones mensuales, se puede inferir que en la época de lluvias de febrero a marzo el grado de saturación aumentará por lo que en estos meses la relavera debe ser monitoreada minuciosamente, en cambio en la época de mayo a diciembre los relaves bajaran su %de saturación debido a la ausencia de lluvias lo que mejorará la estabilidad de la estructura.

#### 6.4.6. Granulometría

Los resultados en los ensayos de granulometría son los siguientes:

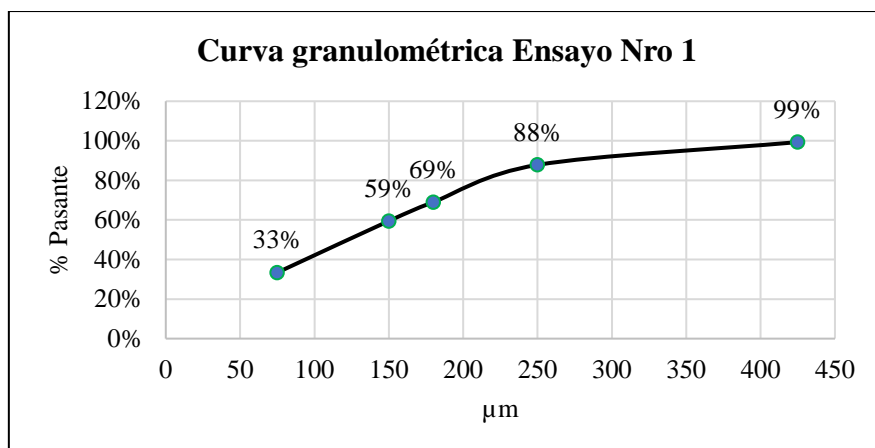
##### 6.4.6.1. Ensayo Nro. 1

Aplicando los métodos de Shuhman y Rosim Ramler se determinaron los siguientes resultados:

**Tabla 13.** Resultados granulometría Ensayo No. 1

NUMERO	MICRONES (x)	Pasante	Fracción retenida f(x)	X medio x f(x)	Varianza	Fracción pasante acumulada F(X)
40.00	425.00	2.57	0.01	2.81	702.09	0.99
60.00	250.00	44.69	0.12	28.78	2613.27	0.88
80.00	180.00	73.05	0.19	33.87	1224.59	0.69
100.00	150.00	37.08	0.10	14.33	245.26	0.59
200.00	75.00	101.16	0.26	19.54	154.17	0.33
fondo		129.70	0.33	0.00	3295.65	0.00
		388	1.00	99.32		

Resultado de los cálculos previos se obtuvo la curva granulométrica (Ver Figura 39) que evidencia el grado de finura del material a depositarse en la relavera, el cual se encuentra en fina pasando más del 59% en el tamiz 150  $\mu\text{m}$  equivalente a malla -100.



**Figura 51.** Curva granulométrica del ensayo 1.

#### 6.4.6.2. Ensayo Nro. 2

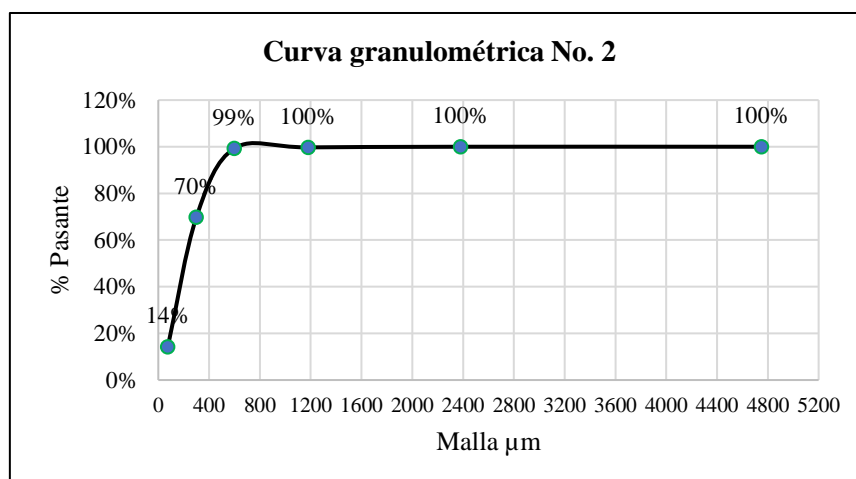
En el ensayo número 2, se determinaron los siguientes resultados:

**Tabla 14.** Resultados de granulometría 2

NUMERO	MICRONES (x)	Pasante	Fracción retenida f(x)	X medio x f(x)	Varianza	Fracción pasante acumulada F(X)
4	4750	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
8	2380.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
16	1180.00	0.21	0.00	3.29	2959.08	1.00
30	600.00	0.52	0.01	4.14	1398.59	0.99
50	300.00	22.75	0.30	90.65	6798.71	0.70
100	150	75	1.00	150.00	0.00	0.00
200	75.00	64.56	0.86	64.31	4823.35	0.14
Fondo		150.41	2.00	0.00	44949.20	-1.00

La curva granulométrica indica que el tamaño de partícula P80 se encuentra en la malla m- 300  $\mu\text{m}$ , correspondiente al tamiz No. 50, sin embargo al correlacionarlo con el resultado anterior se observa diámetros de partículas mas grandes.

**Figura 52.** Curva granulométrica No.2



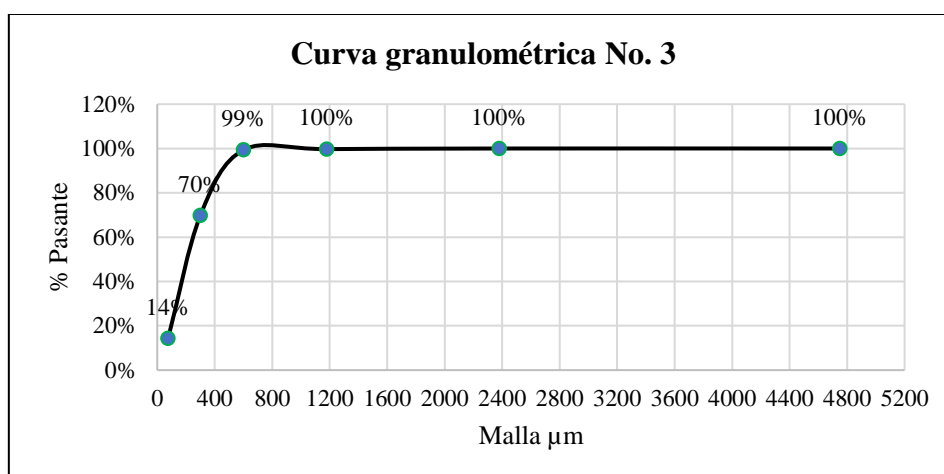
### 6.4.6.3. Ensayo Nro. 3

Los resultados del ensayo No. 3 se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 15.** Resultados de granulometría 3

NUMERO	MICRONES (x)	Pasante	Fracción retenida f(x)	X medio xf(x)	Varianza	Fracción pasante acumulada F(X)
4	4750	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
8	2380.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
16	1180.00	0.21	0.00	3.29	2959.08	1.00
30	600.00	0.52	0.01	4.14	1398.59	0.99
50	300.00	22.75	0.30	90.65	6798.71	0.70
100	150	75	1.00	150.00	0.00	0.00
200	75.00	64.56	0.86	64.31	4823.35	0.14
Fondo	133.79	150.41	2.00	267.28	524.93	-1.00

De la misma forma la curva granulométrica (Ver Figura 53) no varía con la anterior por lo que se puede correlacionar los resultados.



**Figura 53.** Curva granulometría 3

En conclusión, se puede deducir que la granulometría es variable con respecto al diámetro de partícula y con ello se puede definir tamaños de 300  $\mu m$  a 75  $\mu m$ .

### 6.4.7. Caracterización mineralógica

El estudio titulado “Aprovechamiento de relaves con fines de agregados en la fabricación de adoquines a partir de la composición mineralógica en la planta de beneficio Alto Vizcaya” realizado por (Morocho, 2023), determinó la composición mineralógica del relave por diversos métodos que se mencionan a continuación:

- **Fluorescencia de rayos X:** Se encontraron elementos predominantes como el óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) con un 69,6% seguido de óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) con un 12,1%, llegando a alcanzar valores mínimos de concentración con el óxido de potasio (K<sub>2</sub>O) con un 1,38%.

- **Espectroscopía de emisión óptica:** Se encontraron cinco elementos químicos en traza, se destaca el magnesio (Mg) con 3139,8 ppm como el elemento predominante, seguido por el cobre (Cu) con 416,6 ppm, mientras que el arsénico (As) presenta valores de concentración inferiores a 0,01 ppm.

- **Difracción de rayos X:** Por medio de esta técnica se identificaron los siguientes minerales: cuarzo (SiO<sub>2</sub>) como el mineral predominante con un 88,6%, seguido por la pirita (FeS<sub>2</sub>) con un 5,4%, mientras que la biotita presenta una concentración mínima del 0,9%.

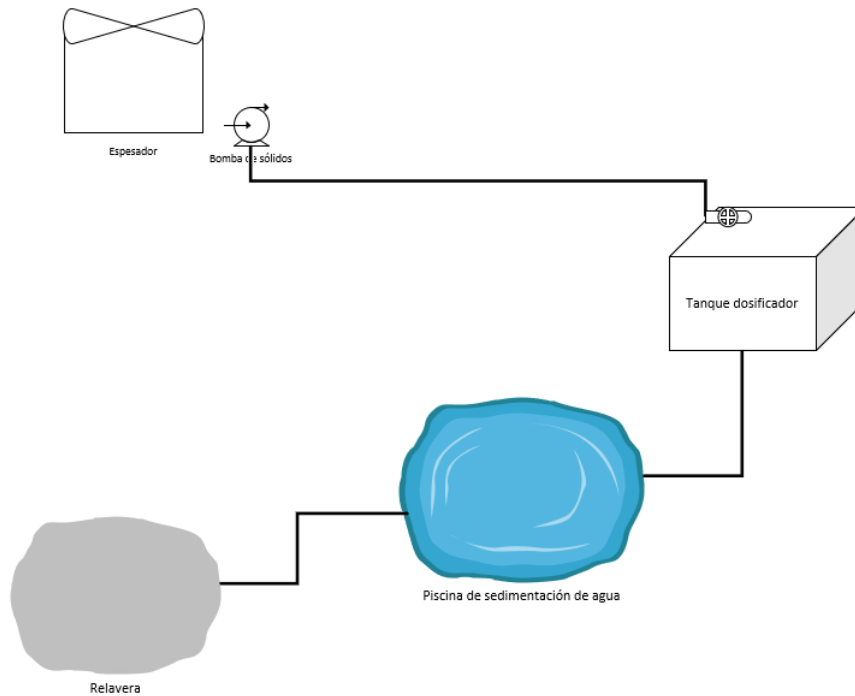
### **6.5. *Diseño de la relavera de la planta “Alto Vizcaya”***

El diseño de la relavera consiste en analizar factores, como el método de disposición, diseño de la forma y de la presa, así mismo la selección del material de préstamo, el drenaje, la impermeabilización y el análisis de estabilidad, mismos que se describen a continuación:

#### **6.5.1. *Método de disposición de relaves***

Basado en la morfología del terreno descrita en el apartado 6.2.5 Topografía y 6.2.6 Morfología, el mejor método de disposición es el de eje central ya que el espacio disponible es limitado y la topografía presenta pendientes abruptas que dificultan un sistema de aguas abajo que requiere de grandes espacios y crecimiento horizontal.

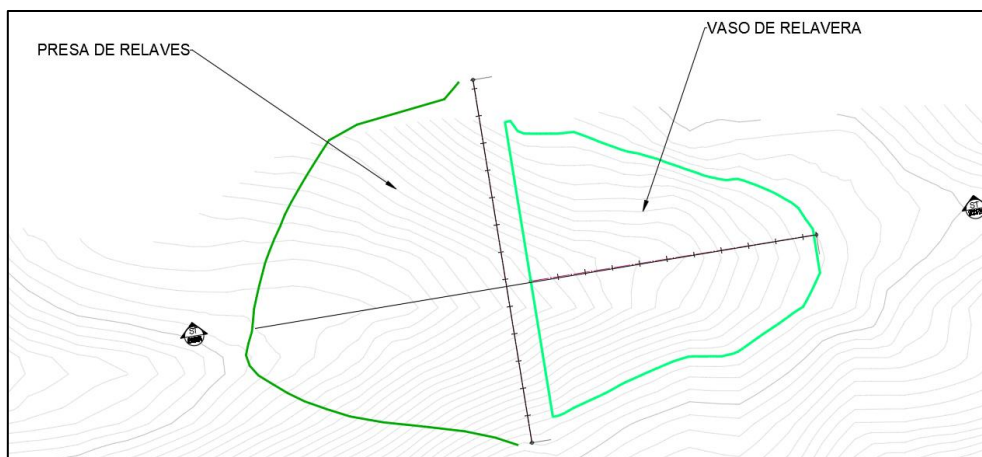
Los relaves se dispondrán sobre una base sólida en la que se realizará una presa de relaves, y con ello se determina el vaso de la relavera el cual albergara los relaves, que serán transportados por un sistema de bombeo desde el tanque espesador hacia la relavera; el esquema se lo muestra a continuación:



**Figura 54.** Disposición de relaves

### 6.5.2. *Diseño de la forma y presa de relaves*

El diseño de la forma depende de la topografía con el fin de aprovechar la forma natural del terreno se ha seleccionado el área previamente señalada, de este modo siguiendo el relieve se delimitó el siguiente espacio:



**Figura 55.** Forma del vaso de relavera y de la presa de relaves

Una vez identificado la presa que contendrá al relave y el vaso de la relavera se elaboró el diseño en perfil, en el que se muestra la manera de colocar el material de préstamo, las cotas en las que se ira creciendo con el relave, además de colocar un núcleo de arcilla para evitar la filtración del agua y evitar fallos en la presa así como contaminación de suelos, además se

consideró utilizar una pantalla de geomembrana, que permitirá aislar metales pesados y demás elementos tóxicos como cianuro evitando la infiltración al medio ambiente.

- **Construcción de la presa de relaves:**

Asumiendo un factor de seguridad de 1.5 se calcula el ángulo de inclinación de la presa de relaves, para ello se ha considerado el ángulo de fricción de  $32^\circ$ , haciendo el despeje correspondiente se determinó:

$$FS = \frac{\tan(\varphi)}{\tan(\beta)}$$

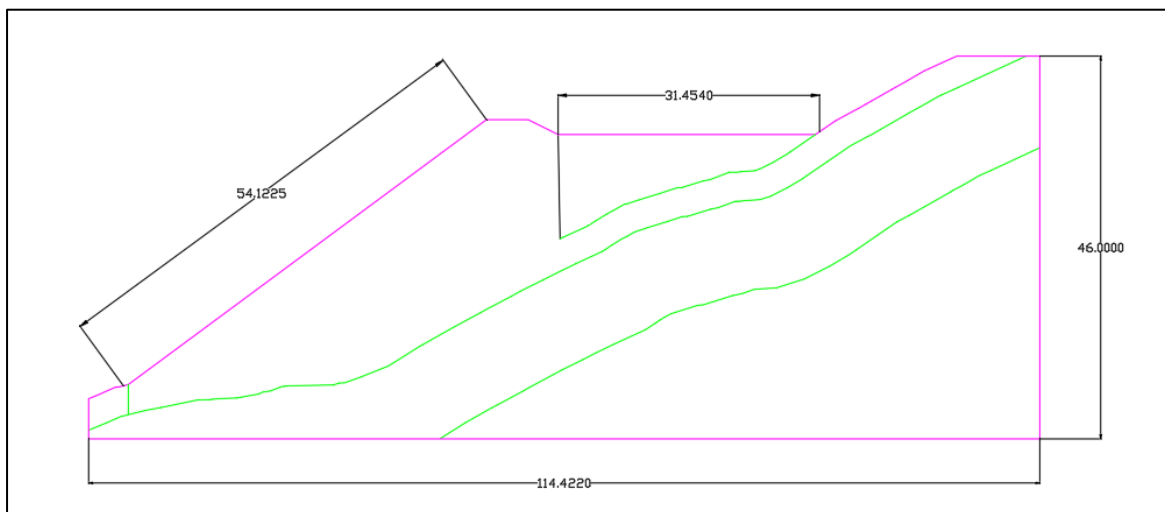
Donde:

$\varphi$  = ángulo de fricción de Osaki primera capa =  $30^\circ$

$\beta$  = Factor de seguridad

$$\beta = \arctan \frac{\tan(\varphi)}{FS}$$

$$\beta = \arctan \frac{\tan(30)}{1.5} = 21.05^\circ$$



**Figura 56.** Perfil de la relavera

Una vez identificado la presa que contendrá al relave y el vaso de la relavera se elaboró los perfiles transversales de cada uno, con ello se logró identificar la cantidad de material de préstamo y la cantidad de relave, a continuación, se muestra la cantidad de volumen calculada:

- **Vaso de relavera:** Los perfiles transversales del vaso de la relavera se encuentran en el Anexo 7, el cálculo del volumen se muestra en la Tabla 16, que da un valor de  $10586.74 \text{ m}^3$ , equivalentes a la capacidad de almacenamiento.

**Tabla 16.** Volumen del vaso de la relavera

Abscisa	Área de Relleno	Volumen de Relleno	Volumen Ac. de Relleno m <sup>3</sup>
0+000.00	375.47	0	0
0+002.00	347.14	722.62	722.62
0+004.00	322.49	669.63	1392.25
0+006.00	301.31	623.79	2016.04
0+008.00	281.85	583.16	2599.2
0+010.00	263.91	545.76	3144.96
0+012.00	249.2	513.11	3658.07
0+014.00	234.91	484.11	4142.18
0+016.00	221.23	456.14	4598.32
0+018.00	207.65	428.88	5027.2
0+020.00	195.92	403.57	5430.77
0+022.00	186.2	382.12	5812.89
0+024.00	177.43	363.63	6176.52
0+026.00	169.71	347.14	6523.67
0+028.00	161.13	330.84	6854.51
0+030.00	148.13	309.25	7163.76
0+032.00	130.98	279.1	7442.86
0+034.00	111.51	242.48	7685.35
0+036.00	92.68	204.18	7889.53
0+038.00	75.4	168.08	8057.61
0+040.00	61.38	136.78	8194.39
0+042.00	48.05	109.43	8303.82
0+044.00	35.71	83.76	8387.58
0+046.00	23.97	59.68	8447.27
0+048.00	14.18	38.15	8485.41
0+050.00	6.45	20.63	8506.04
0+052.00	1.37	7.83	8513.87
0+052.47	0	0.32	<b>10586.74</b>

- **Presa de relaves:** Los perfiles transversales de la presa de relaves se encuentran en el Anexo 8, el cálculo del volumen se muestra en la Tabla 17, con un valor de 21486.6 m<sup>3</sup> de material de préstamos esto quiere decir que es la cantidad necesaria para construir la presa de relaves.

**Tabla 17.** Volumen de material de préstamo

Abscisa	Área de Relleno	Volumen de Relleno	Volumen Ac. de Relleno m <sup>3</sup>
0+002.00	30.31	0	0
0+005.00	77.15	161.19	161.19
0+010.00	208.66	714.54	875.73
0+015.00	357.63	1415.73	2291.45
0+020.00	493.56	2127.98	4419.44
0+025.00	579.02	2681.46	7100.9
0+030.00	583.5	2906.31	10007.21
0+035.00	543.71	2818.04	12825.25
0+040.00	462.03	2514.36	15339.61
0+045.00	362.86	2062.24	17401.85
0+050.00	279.39	1605.63	19007.49



Abscisa	Área de Relleno	Volumen de Relleno	Volumen Ac. de Relleno m <sup>3</sup>
0+055.00	204.25	1209.1	20216.58
0+060.00	137.36	854.02	21070.6
0+065.00	21.49	397.13	21467.73
0+066.01	15.81	18.87	<b>21486.6</b>

### 6.5.3. Selección del material de préstamo

Para determinar el material préstamo se lo eligió en base a los siguientes parámetros:

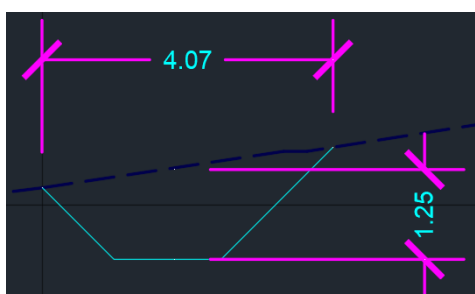
- Facilidad de transporte
- Alta Resistencia
- Baja permeabilidad
- Bajo costo económico

En base a estos factores se determinó que el material de préstamo es el proveniente de la mina GOLDMINS correspondiente a la roca encajante o también conocido como material estéril, el cual se encuentra a aproximadamente 1 kilómetro de la relavera propuesta, además esta roca equivale a unas andesitas con densidad de 2243,38 kg/m<sup>3</sup> de baja permeabilidad y cohesión, por lo que cumplen con los requisitos anteriormente mencionados.

### 6.5.4. Drenaje

El método de drenaje será una cuneta, de coronación colocará aprovechando la gravedad, cumplirá con la función de colectar las aguas lluvia, o las provenientes del relave y conducirlas hacia una planta de tratamiento de aguas, en donde se le realizará un tratamiento para su posterior descarga al cuerpo de agua más cercano, en este caso el río Malvas.

El diseño de la cuneta para desviación comprende un trapezoidal (ver Figura 57) ya que de esta forma se facilita el control y la velocidad del agua, adicionalmente los taludes inclinados son más seguros para terrenos naturales, es menos propenso a fallas estructurales.



**Figura 57.** Cuneta de coronación

Al ingresar los datos de caudales al software H Canal (ver Figura 58) ancho de solera, talud, rugosidad y pendiente, se determinó el tirante normal correspondiente a la profundidad

del agua, el área hidráulica, el espejo de agua, el número de Froude que indica el tipo de flujo, el perímetro, radio hidráulico, velocidad y energía.

Lugar: <b>ste - Malvas, El Oro, Ecuador</b>	Proyecto: <b>nta de Beneficio Alto vizcaya</b>
Tramo: <input type="text"/>	Revestimiento: <input type="text"/>

<b>Datos:</b>	
Caudal (Q): <input type="text" value="7.07"/> m <sup>3</sup> /s	
Ancho de solera (b): <input type="text" value="2"/> m	
Talud (Z): <input type="text" value="1"/>	
Rugosidad (n): <input type="text" value="0.016"/>	
Pendiente (S): <input type="text" value="0.002"/> m/m	

<b>Resultados:</b>	
Tirante normal (y): <input type="text" value="1.0830"/> m	Perímetro (p): <input type="text" value="5.0631"/> m
Área hidráulica (A): <input type="text" value="3.3387"/> m <sup>2</sup>	Radio hidráulico (R): <input type="text" value="0.6594"/> m
Espejo de agua (T): <input type="text" value="4.1659"/> m	Velocidad (v): <input type="text" value="2.1176"/> m/s
Número de Froude (F): <input type="text" value="0.7552"/>	Energía específica (E): <input type="text" value="1.3115"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo: <input type="text" value="Subcrítico"/>	

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

**Figura 58.** Análisis de drenaje en H Canal

En este contexto, la cuneta presentada será capaz de transportar un caudal de 7.07 m<sup>3</sup>/s de manera controlada, además de presentar un tipo de flujo subcrítico que es caracterizado por tener una profundidad alta, pero con una velocidad baja (2.11), de esta forma ayuda a sedimentar sólidos con el fin de obtener mayor eficiencia en el posterior tratamiento de agua.

### 6.5.5. Permeabilidad

Se ha considerado utilizar geomembrana de polietileno de alta resistencia a manera de proteger la infiltración de sustancia al suelo, para ello se ingresaron los datos del suelo y características del relave en el programa Geosoft PAVCO.

Altura del Relave H:  m

Peso Unitario γ:  Ton/m<sup>3</sup>

PH (V):  Grados

Pendiente del Talud:  2.724

Ángulo de Fricción del material superior (α):  grad [°]

Grado Requerido de Supervivencia:

Suelo de sitio:

Ángulo de Fricción del suelo de sitio (α):  grad [°]

**Suelo de cobertura**

Espesor e:  m

Ángulo de Fricción del suelo de cobertura:  grad [°]

Peso específico del suelo:  Ton/m<sup>3</sup>

Longitud de Desarrollo:  m

Distancia de instalación de la geomembrana (L):  m

**Parámetros Zanja de Anclaje**

Ángulo de Fricción del suelo α:  grad [°]

Peso específico del suelo γ:  Ton/m<sup>3</sup>

**Parámetros de la protuberancia**

Altura efectiva de la protuberancia (H<sub>ef</sub>):

Forma de la protuberancia:

Distribución de protuberancias:

Tipo de terreno:

**Factores de modificación**

Factor de modificación por forma de la protuberancia (F<sub>1</sub>):

Factor de modificación por altura de la protuberancia (F<sub>2</sub>):

Factor de modificación por forma de la protuberancia (F<sub>3</sub>):

Factor de modificación por altura de la protuberancia (F<sub>4</sub>):

Factor de modificación por rugosidad (F<sub>5</sub>):

**Figura 59.** Parámetros para el modelo de geomembrana

El tipo de geomembrana presenta un espesor de 5.11 mm, y se recomienda el uso de un geotextil no tejido NT100, como se observa en la Figura 60.



**Figura 60.** Resultados de geomembrana

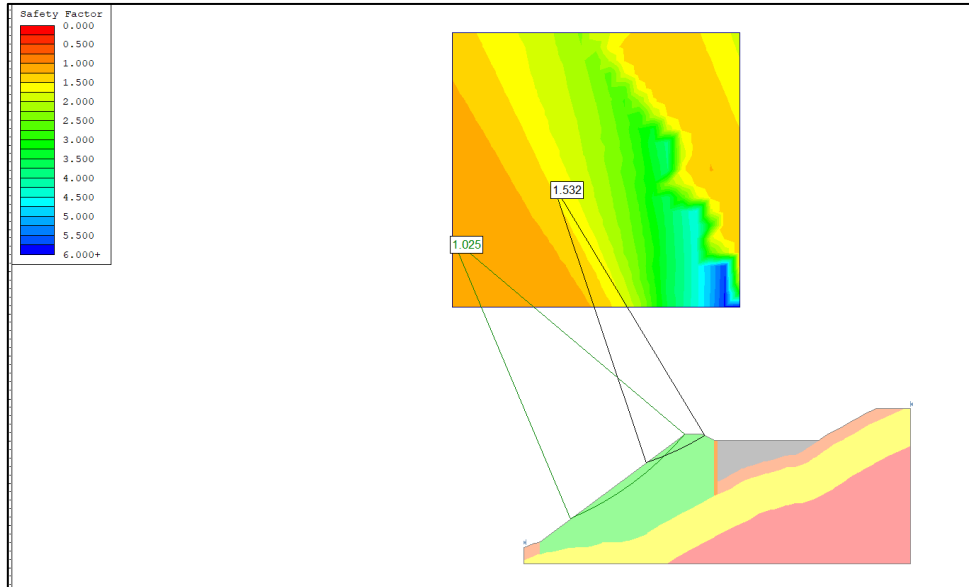
### 6.5.6. Análisis de estabilidad

Una vez determinados los parámetros de geotécnica, drenaje, material de préstamos, así como determinado el perfil se procede a realizar el análisis estático y pseudoestático, considerado el espejo de agua como nivel freático. Para elaborar el análisis de estabilidad de tomó en consideración la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), en la se establece un factor de seguridad estático de 1.5 para carga muerta más carga viva nominal y 1.1 para pseudoestático considerando afectaciones por sismos considerando un coeficiente de 0.35 según los establecido en la norma (Geotécnia y Cimentaciones, 2014).

A continuación, se realiza el análisis estabilidad de la presa de relaves, la cual es la encargada de evitar el desbordamiento de la presa de relaves, para ello se ha considerado las capas descritas en el apartado de geotecnia, sumado a ello se ha incorporado un núcleo de arcilla para aumentar la permeabilidad y con ello aumentar el factor de seguridad.

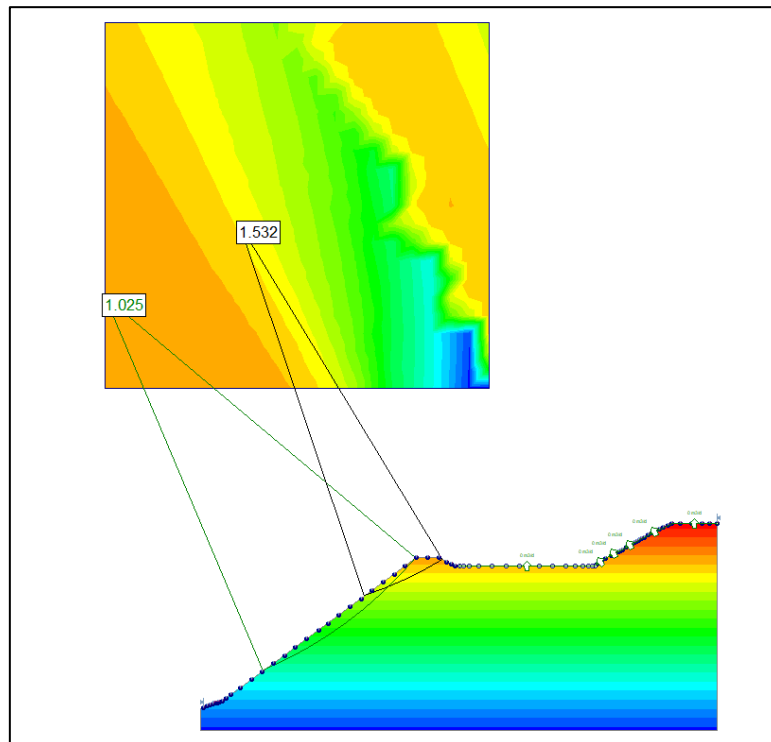
### 6.5.6.1. Análisis estático

El análisis realizado con los parámetros previamente mencionado dio como resultado un factor de 1.53, es decir cumple con la normativa establecida por lo que el diseño es aprobado. En la Figura 61, se muestra lo anteriormente descrito.



**Figura 61.** Análisis estático

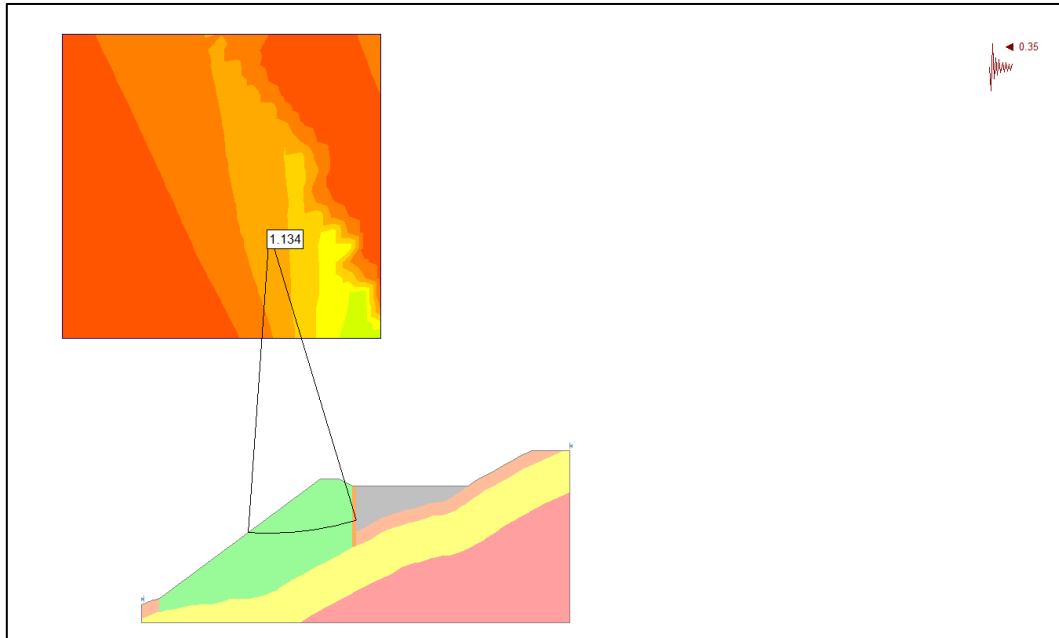
Considerando los factores hidráulicos el factor de seguridad es 1.5 (Ver Figura 62)



**Figura 62.** Análisis estático permeabilidad

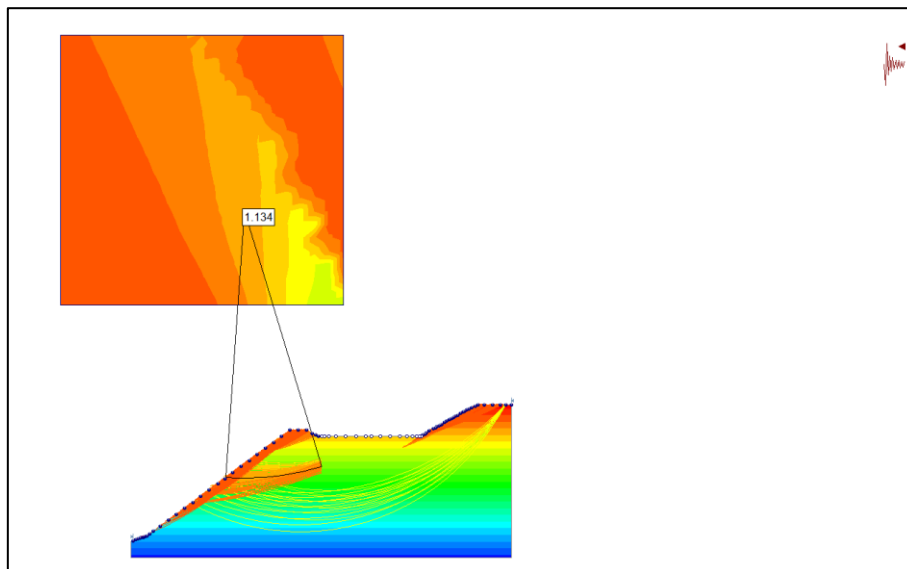
### 6.5.6.2. Análisis pseudoestático

Como se mencionó anteriormente se consideró el coeficiente sísmico, y con ello se realizó el análisis el cual dio como resultado un factor de seguridad de 1.13 (, considerando dentro de la normativa (ver Figura 63).



**Figura 63.** Análisis pseudosestático

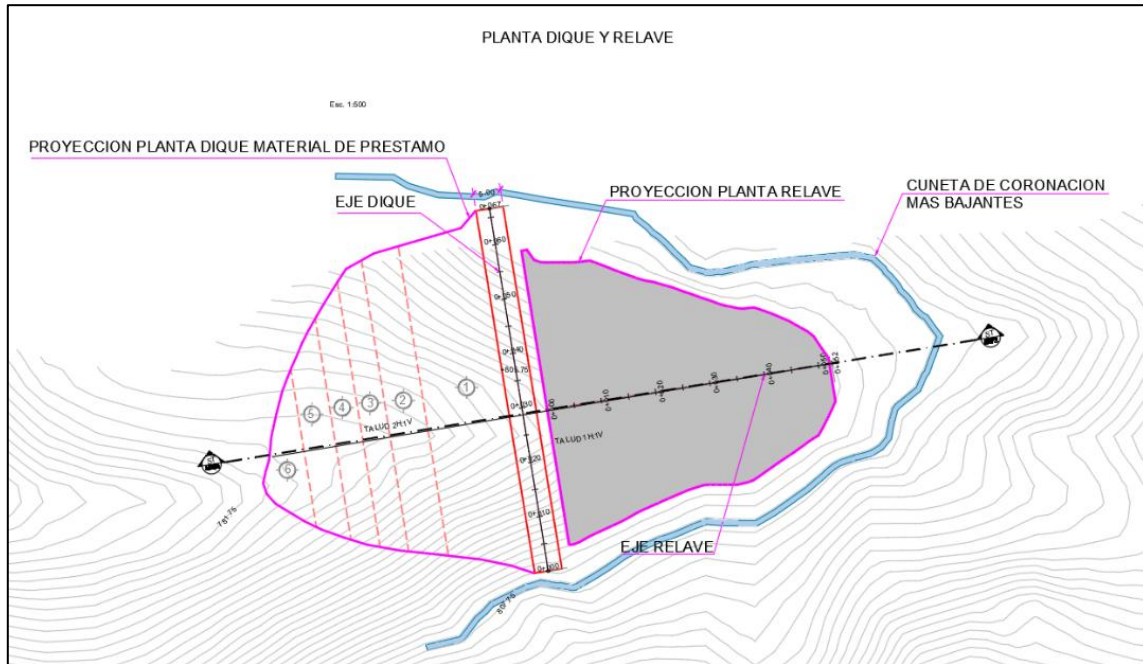
En análisis considerando los parámetros hidráulicos es el siguiente 1.13



En conclusión, el diseño presentado cumple con los factores de seguridad establecidos en la normativa por lo que asegura la estabilidad ante condiciones normales (1.5) y en caso de sismos (1.1)

### 6.5.7. Diseño final

El diseño final conjuga todos los resultados anteriormente descritos con ello se presenta el siguiente diseño con un área de relavera de 1889.19 m<sup>2</sup> y de presa de relaves área total de 2150.63 m<sup>2</sup>, (Ver Figura 50), el cual para mayor detalle se encuentra descrito en el Anexo 9. Diseño de relavera.



**Figura 64.** Diseño final

### 6.5.8. Análisis de costos

El proyecto de construcción de la relavera cuenta con un costo de \$ 154,884.52, que se distribuye en \$130 393.00 en el costo de la relavera que incluye la impermeabilización, transporte, desviación de cauces y drenaje, posterior se realizó el análisis de mano de obra en el que se determinó un costo de \$ 24,491.52. Los mismo se detallan en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Análisis de costos

Título del proyecto; Diseño de la relavera de la Planta Alto Vizcaya COSTO TOTAL COMBINADO: \$ **154,884.52**

<b>GASTOS DEL PRODUCTO</b>				
<b>NOMBRE DEL ARTÍCULO</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL ARTÍCULO</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>\$/UNIDAD</b>	<b>TOTAL</b>
Impermeabilización	Geomembrana instalada m2	2741	\$ 5.00	\$ 13,705.00
Transporte	Transporte de material préstamo m3	21486	\$ 3.00	\$ 64,458.00
Desviación de cauces	Canal de desviación (m)	282	\$ 160.00	\$ 45,120.00
Drenaje	Cuneta de agua lluvia y de relave	237	\$ 30.00	\$ 7,110.00
<b>GASTOS TOTALES DEL PRODUCTO</b>				<b>\$ 130,393.00</b>
<b>GASTOS DE MANO DE OBRA</b>				
<b>NOMBRE DE LA TAREA</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA TAREA</b>	<b>HORAS</b>	<b>\$/HORA</b>	<b>TOTAL</b>
Ing Civil	Supervisión	576	\$ 10.00	\$ 5,760.00
Ing. Ambiental	Control y supervisión	96	\$ 15.00	\$ 1,440.00
Construcción de canal	Maestro albañil	576	\$ 6.25	\$ 3,600.00
Construcción de cuneta	Maestro albañil	576	\$ 6.25	\$ 3,600.00
Construcción de canal	Ayudante de maestro	576	\$ 3.13	\$ 1,802.88
Construcción de canal	Ayudante de maestro	576	\$ 3.13	\$ 1,802.88
Construcción de cuneta	Ayudante de maestro	576	\$ 3.13	\$ 1,802.88
Construcción de cuneta	Ayudante de maestro	576	\$ 3.13	\$ 1,802.88
Impermeabilización	Ayudante	360	\$ 2.00	\$ 720.00
Impermeabilización	Ayudante	360	\$ 2.00	\$ 720.00
Impermeabilización	Ayudante	360	\$ 2.00	\$ 720.00
Impermeabilización	Ayudante	360	\$ 2.00	\$ 720.00
<b>GASTOS DE MANO DE OBRA TOTALES</b>				<b>\$ 24,491.52</b>

## 7. Discusión.

El diseño de relavera combina los resultados de la geotecnia y de la caracterización de los relaves, por su parte la geotecnia es necesaria para evaluar el suelo y sus características como peso específico, fricción, cohesión y permeabilidad, de igual manera con las características del relave en el que se incluye granulometría y el contenido de humedad. En conjunto son factores determinantes en la estabilidad de la relavera, de manera especial de la presa, cuya función es contener los relaves de una manera segura y sostenible.

Al analizar las características del relave es posible comparar los resultados con el estudio de Morocho, (2023), en el que se utilizó el método del hidrómetro para calcular en ensayo de granulometría dio como resultado más del 20% pasante del tamiz 200, en el presente estudio fue el 59%, lo que indica partículas muy finas lo que supone un adecuado tratamiento de los relaves con el fin de sedimentar la mayor cantidad de lama posible.

De igual manera se analizaron otros parámetros como contenido de humedad que se encuentra en un 32%, debido al tratamiento con floculantes que permiten recuperar casi el 68% de agua y devolverla al proceso, Rodríguez & Oldecop (2011), mencionan que la mayoría de relaves enviados a través de tuberías mantienen una proporción del 30 a 40% de sólidos, es decir en su mayoría son líquidos, esto presenta un problema en el momento del diseño de la escombrera ya que el agua interfiere de manera negativa en la estabilidad de la estructura por lo que se procura enviar el relave con la menor cantidad de agua posible.

El grado de saturación es un factor que influye directamente en el comportamiento mecánico y en el riesgo de licuefacción, con un valor del 17% indica que el relave en su mayoría seco, y con baja cantidad de relaves finos (lamas), por lo que el grado de saturación en caso de lluvias disminuye. Avellaneda & Avellaneda (2020) advierten que la infiltración de agua lluvia puede elevar el nivel freático y aumentar la saturación, sin embargo este riesgo se mitiga con la impermeabilización y el drenaje por lo que el agua es evacuada y disminuye este riesgo en caso de lluvias intensas.

Con respecto al método de disposición de relaves el elegido fue eje central debido a la topografía y a la morfología del terreno la cual corresponde a una cuenca corte cerrado caracterizada por presentar pendientes abruptas que dificultan disponer los relaves con el método aguas abajo, adicionalmente el espacio es limitado para este método; por su parte el método eje central presenta mayor facilidad y aprovechando las características del terreno se



puede obtener mayor capacidad de almacenamiento con respecto al método previamente mencionado.

La presa de relaves es la encargada de contener a los relaves por lo que su diseño debe ser correctamente ejecutado; en este estudio se ha considerado que sea construida de roca, o también conocido como material de préstamo debido a la facilidad de transporte y factores económicos. De este modo, Padilla (2009), realiza el diseño de una presa de relaves con roca en la cual la densidad que tiene es de 2.16 a 2.55 Ton/m<sup>3</sup> dando factor de seguridad de 7; en el presente estudio tiene densidad de 2.35 Ton/ m<sup>3</sup>, por lo que es apta para construirse de este material.

Otro factor importante en el diseño es el análisis de estabilidad, para lo cual se ha determinado un factor de seguridad de 1.5 en condiciones normales y 1.1 en condiciones de sismo, estos valores se encuentran dentro de lo mencionado en la normativa NEC. Bernal (2012) realizó el análisis estático-pseudoestático con el mismo método de construcción y se observó fallas en la zona donde se apoyan las lamas, para este trabajo la zona que podría presentar fallas es el muro, lo que supone reforzar los cimientos.

Para finalizar se cumplió con los objetivos y se realizó un diseño seguro y eficiente que permitirá albergar los relaves producto de cianuración, además se pudo analizar el método de tratamiento de los relaves que cumple con lo requerido y envía un material en su mayoría sólido lo que apoya a su disposición final.

## 8. Conclusiones.

- El sitio seleccionado para la relavera se determinó según la geología, morfología y ensayos geotécnicos; la geología corresponde a andesitas meteorizadas, la morfología se caracteriza por una cuenca de cierre corto. Por su parte los ensayos geotécnicos proporcionaron materiales limo gravoso, limo con arena y arcillas, dispuestos en tres capas según lo reporta la sísmica la primera capa corresponde a suelos de los materiales previamente mencionados, la segunda capa corresponde a depósitos coaluviales y por último se encuentra el basamento de rocas basálticas.

- La existencia de una quebrada en el área de implantación representa un riesgo debido a los períodos de retorno, además de que el modelo hidrogeológico presente un riesgo de infiltración, por lo que es indispensable el uso de arcilla y de una geomembrana para impermeabilizar el suelo y evitar la posible contaminación, adicionalmente, se determinó que la calidad del agua tiene parámetros por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la normativa.

- Con respecto a la caracterización de los relaves se determinó la densidad promedio de 1.48, el pH en 8.64, el contenido de humedad en 32.09%, el porcentaje de sólidos en 76.94%, grado de saturación del 17%, finalmente la granulometría que determinó como partículas extremadamente finas al 59% es decía malla -100 ( $150 \mu m$ ), con respecto a la caracterización mineralógica se encontraron elementos como óxido de silicio, óxido de aluminio, óxidos de potasio, además de elementos como el magnesio, cobre, y aluminio (concentraciones mínimas).

- El método de construcción de la relavera es de eje central, en el que se determina el vaso de la relavera (capacidad =  $10586.74 \text{ m}^3$ ), y la presa de relaves (cantidad de material =  $21486.6 \text{ m}^3$ ), adicionalmente, el caudal determinado es  $7.07 \text{ m}^3/\text{s}$ , el cual pasara por una cuneta de coronación de forma trapezoidal. Finalmente, el análisis de estabilidad en condiciones normales (estático), es de 1.5 y en condiciones de sismo (pseudostático) es de 1.1, cumpliendo los límites de la normativa.

## **9. Recomendaciones.**

- Es importante gestionar de manera adecuada los relaves con el fin de evitar infiltraciones al suelo, por lo que se recomienda investigar técnicas de tratamiento de relaves, con el fin de darle un uso industrial, así como utilizarlo para relleno de labores antiguas.
- En vista de los análisis de calidad de agua de la quebrada sin nombre, se recomienda realizar un tratamiento de agua para evitar la descarga de agua al río Calera y por ende exista contaminación en la zona.
- Se recomienda realizar un monitoreo a la presa de relaves con el fin de evitar fallos en la estructura, debido a que en el análisis de estabilidad presento fallas en la zona del talud.
- A medida que el vaso de la relavera se llena es necesario realizar una evaluación periódica de la capacidad de almacenamiento y estabilidad estructura, con el fin de determinar posibles fallos y realizar modificaciones o refuerzos con el fin que la presa continúe estable.

## 10. Bibliografía.

- ASTM INTERNATIONAL. (1996a). *D2216 Métodos de prueba estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca por masa*. <https://www.astm.org/d2216-19.html>
- ASTM INTERNATIONAL. (1996b). *D5057 Método de prueba estándar para la detección de la gravedad específica aparente y la densidad aparente de los desechos*. <https://www.astm.org/d5057-90r06.html>
- Avellaneda, J., & Avellaneda, J. (2020). *Evaluación de la estabilidad física del depósito integrado de relaves San Andrés (Perú)*. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1993-80122020000100033](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122020000100033)
- Bernal, M. (2012). *ESTABILIDAD SÍSMICA EN PRESA DE RELAVE CONSTRUIDA POR EL MÉTODO DE EJE CENTRAL*. [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112569/cf-bernal\\_mb.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112569/cf-bernal_mb.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics and Foundations*. [https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=7Zz4AAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR3&dq=Budhu,+M.+\(2015\).+Soil+Mechanics+and+Foundations.+Wiley.&ots=OkIlbqbmTC&sig=9IQFsuHK-92Yx7HyNQ7cvzg8MCI#v=onepage&q=Budhu%2C%20M.%20\(2015\).%20Soil%20Mechanics%20and%20Foundations.%20Wiley.&f=true](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=7Zz4AAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR3&dq=Budhu,+M.+(2015).+Soil+Mechanics+and+Foundations.+Wiley.&ots=OkIlbqbmTC&sig=9IQFsuHK-92Yx7HyNQ7cvzg8MCI#v=onepage&q=Budhu%2C%20M.%20(2015).%20Soil%20Mechanics%20and%20Foundations.%20Wiley.&f=true)
- Drzymała, Jan., & Swatek, A. (2007). *Mineral processing : foundations of theory and practice of minerallurgy*. University of Technology.
- Geosphera Consultores. (2019). *¿Qué es la Geotecnia?* -. <https://geosphera.es/que-es-la-geotecnia/>
- Geotécnia y Cimentaciones (2014). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/7.-NEC-SE-GC-Geotecnia-y-Cimentaciones.pdf>
- González de Vallejo, L. F. M. O. L. O. C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación.
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2017). *Hoja Geológica: Santa Rosa, El Oro*.

- Jiang, C., Wang, A., Bao, X., Ni, T., & Ling, J. (2020). A review on geopolymers in potential coating application: Materials, preparation and basic properties. *Journal of Building Engineering*, 32. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2020.101734>
- Kelly, & Spottiswood. (1990). *Introducción al procesamiento de minerales*.
- LabProcess. (2020). *¿Qué es la conductividad o conductividad eléctrica?* - Labprocess. <https://www.labprocess.es/que-es-la-conductividad-o-conductividad-electrica>
- METSO. (2015). *Basics in Minerals Processing*.
- METTLER TOLEDO. (2016). *Medición de la densidad: todo lo que es preciso saber / METTLER TOLEDO*. [https://www.mt.com/mx/es/home/applications/Application\\_Browse\\_Laboratory\\_Analytics/Density/density-measurement.html](https://www.mt.com/mx/es/home/applications/Application_Browse_Laboratory_Analytics/Density/density-measurement.html)
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2020). *ANEXO II GUÍA TÉCNICA PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE DISEÑO DE LOS DEPÓSITOS DE RELAVES*.
- Ministerio de Minas y Energía de Colombia [MINERGI]. (2020). *Propuesta de Lineamientos Técnicos de política para Estandarizar los procesos relacionados con*.
- Morocho, D. (2023). *Aprovechamiento de relaves con fines de agregados en la fabricación de adoquines a partir de la composición mineralógica en la planta de beneficio Alto Vizcaya*. Universidad Nacional de Loja.
- Orozco Lab. (2023). *¿Qué es el pH? ¿Cómo se mide? ¿Cuál es su importancia?* <https://www.orozolab.info/que-es-el-ph-como-se-mide-cual-es-su-importancia>
- Oviedo-Anchundia, R., Moína-Quimí, E., Naranjo-Morán, J., & Barcos-Arias, M. (2017). Contamination by heavy metals in the south of Ecuador associated to the mining activity. *Bionatura*, 2(4), 437–441. <https://doi.org/10.21931/RB/2017.02.04.5>
- Padilla, S. (2009). *Estudio Técnico y Económico de una Presa de Relaves Construida con el Sistema Concrete FACED ROCKFILL (DAM) (CFRD)*. <https://repositoriobiblioteca.udp.cl/IT2482.pdf>
- PETROENERGÍA. (2021). *Relave minero como alternativa de reciclaje para la industria de la construcción*. <https://www.petroenergia.info/post/relave-minero-como-alternativa-de-reciclaje-para-la-industria-de-la-construccion>

- Portal Minero S.A. (2006). *Manual General de Minería y Metalurgia*.
- Ramírez, N. (2007). *Guía técnica de operación y control de depósito de relaves*.
- Rodríguez, R., & Oldecop, L. (2011). *Humedad y Estabilidad Geotécnica de Presas de Relaves*.
- Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2017). *Earth an introduction to physical Geology* (Twelfth). Pearson Education.
- Teijlingen, K. (2019). *Los depósitos de relaves en Ecuador y sus riesgos socio-ambientales*.
- Wills, B. A. (1994). *TECNOLOGÍA DE PROCESAMIENTO DE MINERALES*.

## **11. Anexos.**

**Anexo 1.** Mapa de ubicación

**Anexo 2.** Mapa de precipitaciones

**Anexo 3.** Mapa geológico regional

**Anexo 4.** Mapa geológico local

**Anexo 5.** Mapa geomorfológico

**Anexo 6.** Mapa topográfico

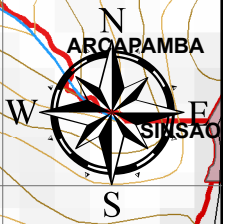
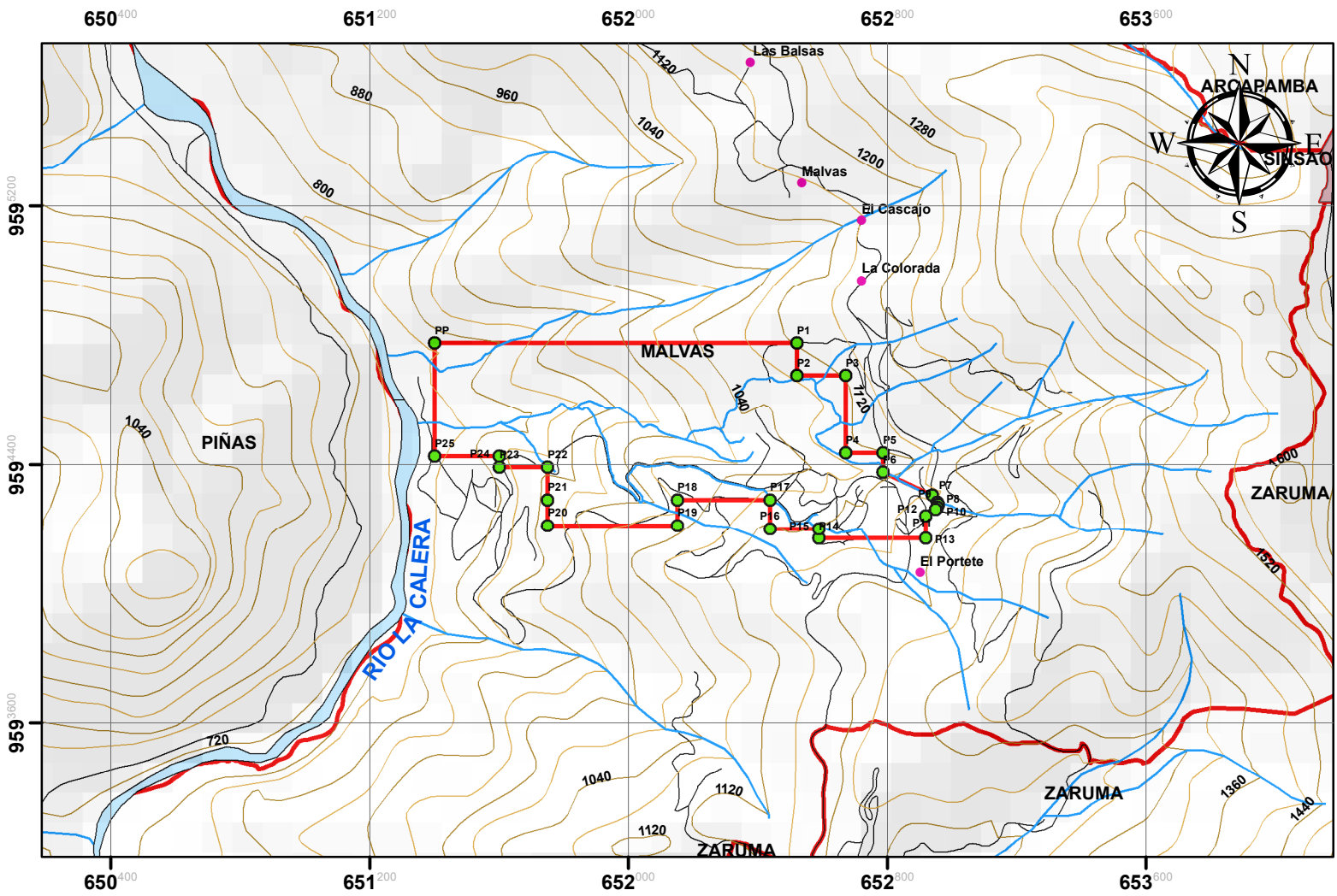
**Anexo 7.** Perfiles transversales del vaso de la relavera

**Anexo 8.** Perfiles transversales de la presa de relaves

**Anexo 9.** Diseño de relavera

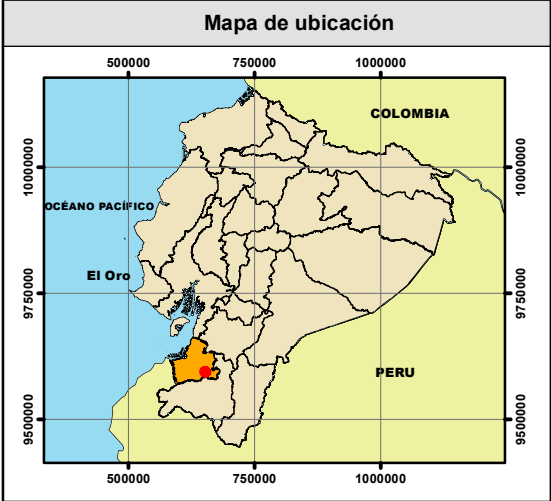
# DISEÑO DE LA RELAVERA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "ALTO VIZCAYA" CÓDIGO 390356 CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO

ECUADOR ESCALA 1:20,000



**Leyenda Temática**

- Planta de Beneficio Alto Vizcaya, 66,98 hectáreas
- Vértices



**Signos Convencionales**

- Vías
- Ríos secundarios
- Ríos primarios
- Curvas de nivel primarias
- Curvas de nivel secundarias
- Poblados
- División parroquial

**Escala numérica: 1:20,000**

Proyección: Universal Transversal de Mercator UTM  
Datum Horizontal: Sistema Geodésico Mundial WGS 84  
Zona: 17 Sur

**DISEÑO DE LA RELAVERA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "ALTO VIZCAYA" CÓDIGO 390356 CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO**

Contiene: **Ubicación del proyecto**

Elaborado por: **Ing. Doménica Mendieta**

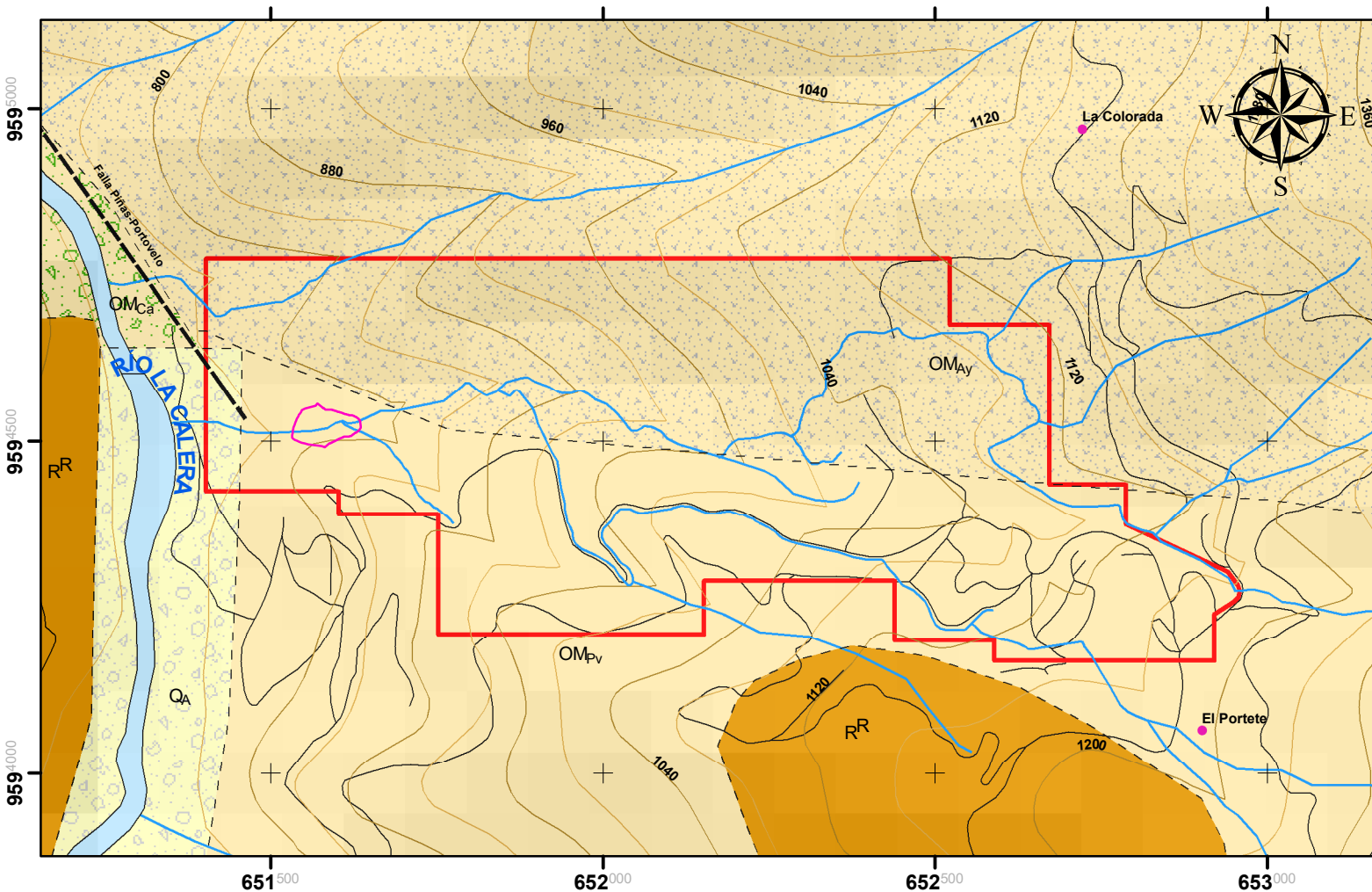
Escala de trabajo: 1:50,000	Fecha edición: Febrero, 2025	Mapa No: <b>1</b>
-----------------------------	------------------------------	-------------------

Fuente: Cartografía Básica: Instituto Geográfico Militar. (2013). Hojas Topográficas de Paccha y Zaruma. Escala 1:50,000



# DISEÑO DE LA RELAVERA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "ALTO VIZCAYA" CÓDIGO 390356 CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO

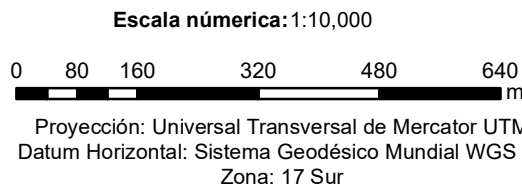
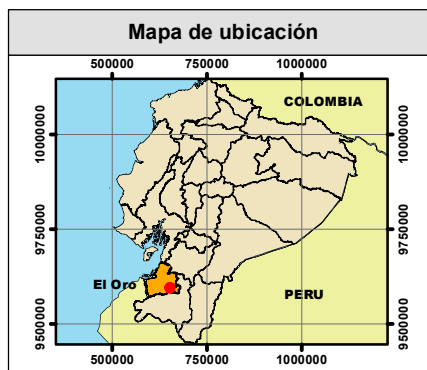
ECUADOR ESCALA 1:10,000




Leyenda Temática	
	Planta de Beneficio Alto Vizcaya, 66,98 hectáreas
	Polígono de relavera
	<b>Depósito Aluvial</b> Material no consolidado, gravas, arenas, limos y arcillas.
	<b>Unidad Portovelo</b> Lavas andesíticas y andesítico - basálticas, tobas, brechas y lavas riolíticas.
	<b>Unidad Ayapamba</b> Tobas de líticos, tobas de ceniza, tobas de cristales, lavas andesíticas.
	<b>Unidad Calera</b> Brechas andesíticas.
Quaternario	
Oligo-Mioceno	
<b>Rocas Volcánicas</b>	
	RR

Simbología	
	Contacto inferido
	Falla inferida

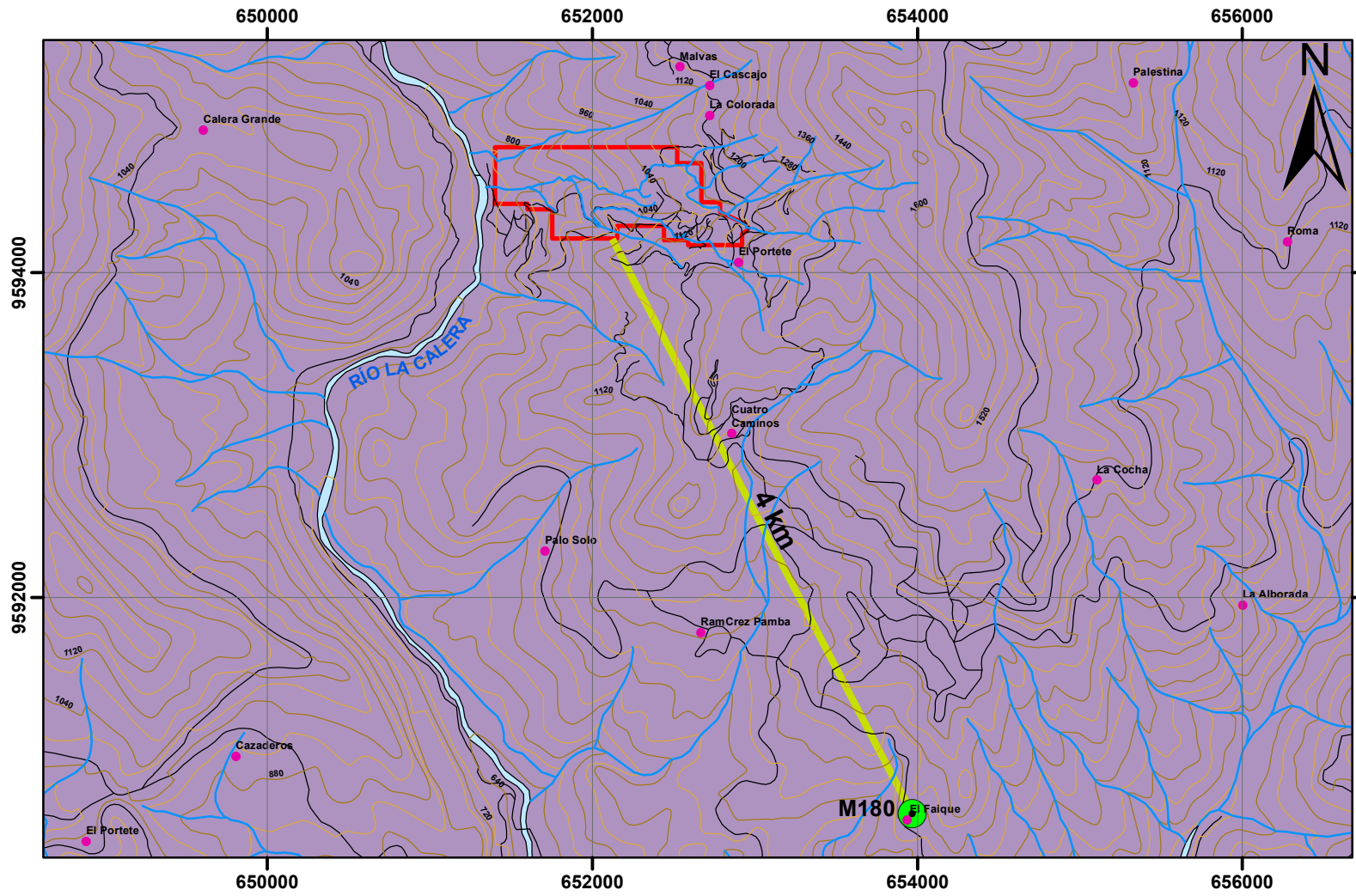
Signos Convencionales	
	Vías
	Ríos secundarios
	Ríos primarios
	Curvas de nivel primarias
	Curvas de nivel secundarias
	Poblados



 <b>DISEÑO DE LA RELAVERA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "ALTO VIZCAYA" CÓDIGO 390356 CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO</b>		
Contiene: <b>Mapa Geológico Regional</b>		
Elaborado por: Ing. Doménica Mendieta		
Escala de trabajo: 1:100.000	Fecha edición: Febrero, 2025	Mapa No: <b>2</b>
Fuente: Cartografía Básica: Instituto Nacional de Investigación Geológica Minero Metalúrgica. (2017). Hojas Geológicas de Santa Rosa y Zaruma. Escala 1:100,000		

# DISEÑO DE LA RELAVERA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "ALTO VIZCAYA" CÓDIGO 390356 CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO

ECUADOR ESCALA 1:40,000



Leyenda Temática	
	Planta de Beneficio Alto Vizcaya, 66,98 hectáreas
<b>Estaciones Metereológicas</b>	
	M180, Estación Convencional Ordinaria, Zaruma
<b>Isoyetas</b>	
	Precipitación Mínima: 1154,98 mm/año Precipitación Máxima: 1468,88 mm/año

Signos Convencionales	
	Vías
	Quebradas
	Ríos dobles
	Curvas de nivel primarias
	Curvas de nivel secundarias
	Poblados

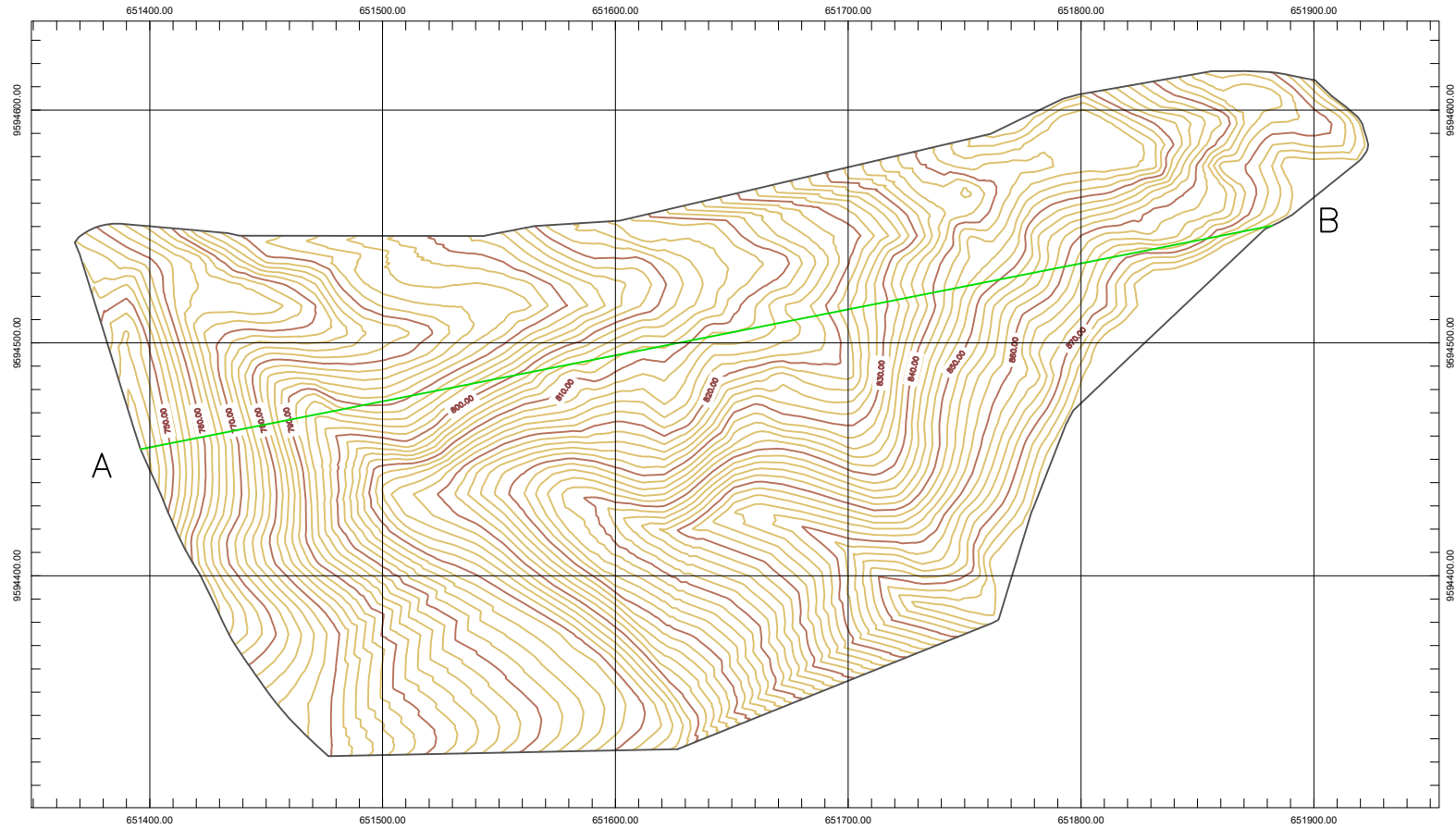


**Escala numérica: 1:40,000**

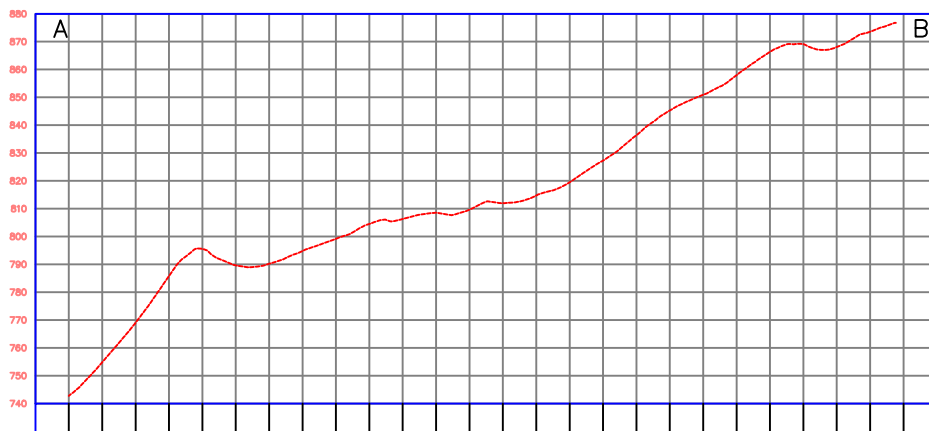
Proyección: Universal Transversal de Mercator UTM  
Datum Horizontal: Sistema Geodésico Mundial WGS 84  
Zona: 17 Sur

<p>DISEÑO DE LA RELAVERA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "ALTO VIZCAYA" CÓDIGO 390356 CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO</p>		
<p>Contiene: ISOYETAS Y ESTACIONES METEREOLÓGICAS</p>		
<p>Elaborado por: Ing. Doménica Mendieta</p>		
<p>Escala de trabajo: 1:50,000</p>	<p>Fecha edición: Febrero, 2025</p>	<p>Mapa No: <b>3</b></p>
<p>Fuente: Cartografía Básica: Instituto Geográfico Militar. (2013). Hojas Topográficas de Paccha y Zaruma. Escala 1:50,000</p>		

# DISEÑO DE LA RELAVERA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "ALTO VIZCAYA" CÓDIGO 390356 CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO



PERFIL TOPOGRÁFICO



Esc V: 1:600



DISEÑO DE LA RELAVERA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "ALTO VIZCAYA" CÓDIGO 390356 CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO

Contiene: Topografía de la relavera

Elaborado por: Ing. Doménica Mendieta

Escala de trabajo: 1:5000

Fecha de edición: Febrero, 2025

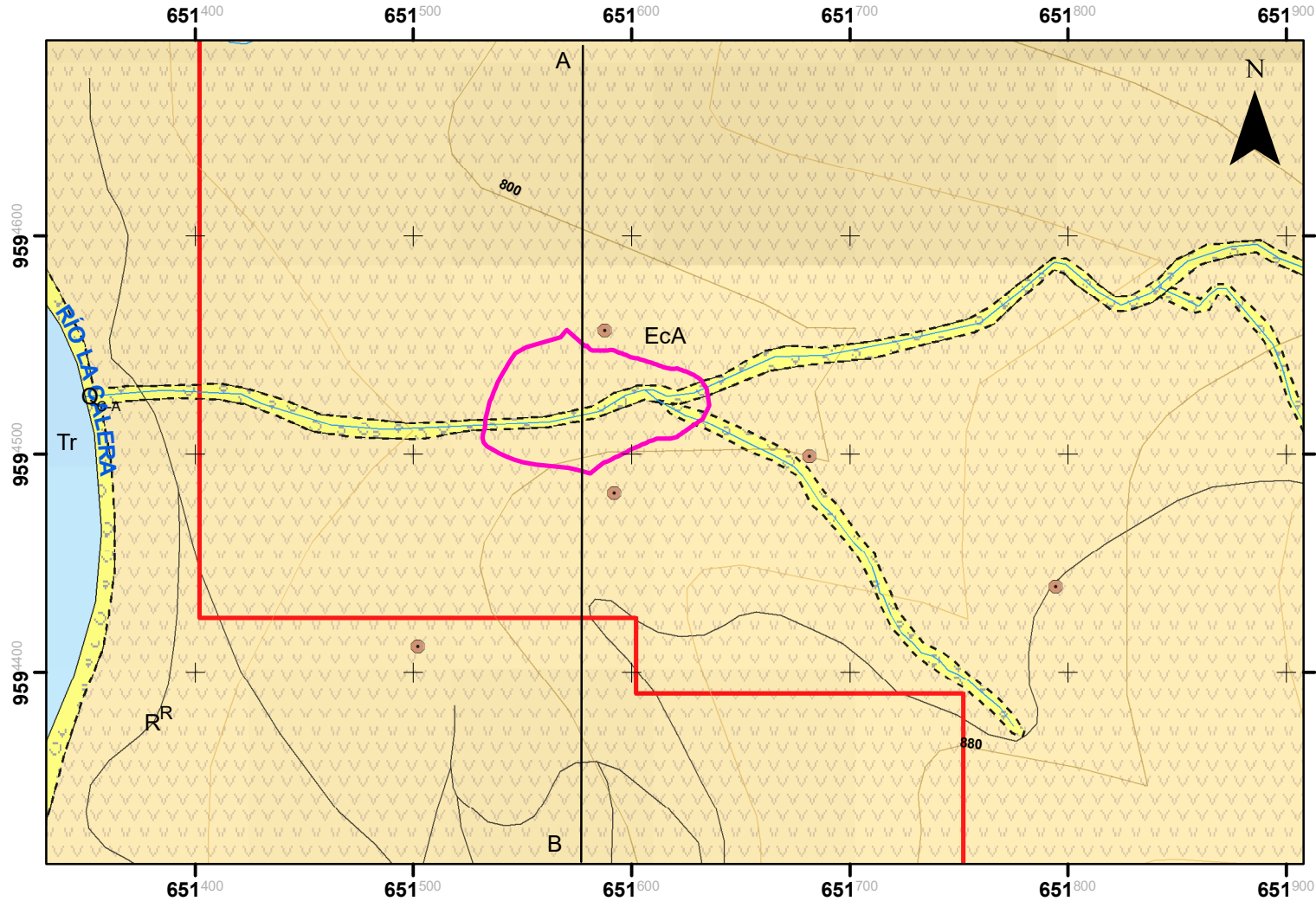
Mapa No:

4

Fuente: Información levantada por la Autora

# DISEÑO DE LA RELAVERA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "ALTO VIZCAYA" CÓDIGO 390356 CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO

ECUADOR ESCALA 1:3,000



## Leyenda Temática

- Planta de Beneficio Alto Vizcaya, 66,98 hectáreas
- Polígono de relavera

### Geología local

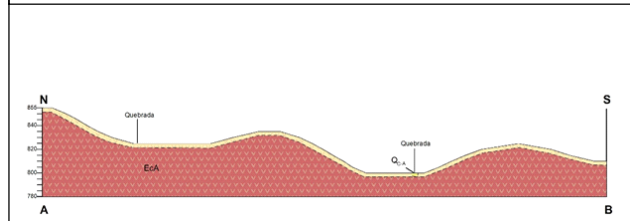
- |  |                      |                 |
|--|----------------------|-----------------|
| <span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Q <sub>C-A</sub> | Coluvio-Aluvial      | } Cuaternario   |
| <span style="background-color: #f4b084; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> EcA             | Andesita meteorizada | } Oligo-Mioceno |

### Rocas Volcánicas

- |  |                |
|--|----------------|
| <span style="background-color: orange; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> R <sup>R</sup> | Riolita        |
| <span style="background-color: #c0392b; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Tr            | Toba Riolítica |

## Leyenda corte geológico

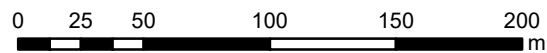
- |  |                      |
|--|----------------------|
| <span style="background-color: yellow; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> Q <sub>C-A</sub> | Coluvio-Aluvial      |
| <span style="background-color: #f4b084; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> EcA             | Andesita meteorizada |
| <span style="background-color: #c0392b; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 15px; height: 10px; margin-right: 5px;"></span> EcA             | Basamento            |



## Signos Convencionales

- Vías
- Ríos secundarios
- Ríos primarios
- Curvas de nivel primarias
- Curvas de nivel secundarias
- Poblados

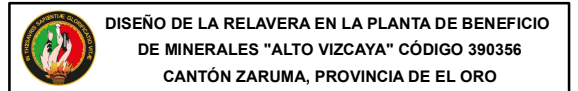
Escala numérica: 1:3,000



Proyección: Universal Transversal de Mercator UTM  
Datum Horizontal: Sistema Geodésico Mundial WGS 84  
Zona: 17 Sur

## Simbología geológica

- Contacto inferido
- Afloramientos



DISEÑO DE LA RELAVERA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "ALTO VIZCAYA" CÓDIGO 390356 CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO

Contiene: **GEOLOGÍA LOCAL**

Elaborado por:  
Ing. Doménica Mendieta

Escala de trabajo: 1:50,000

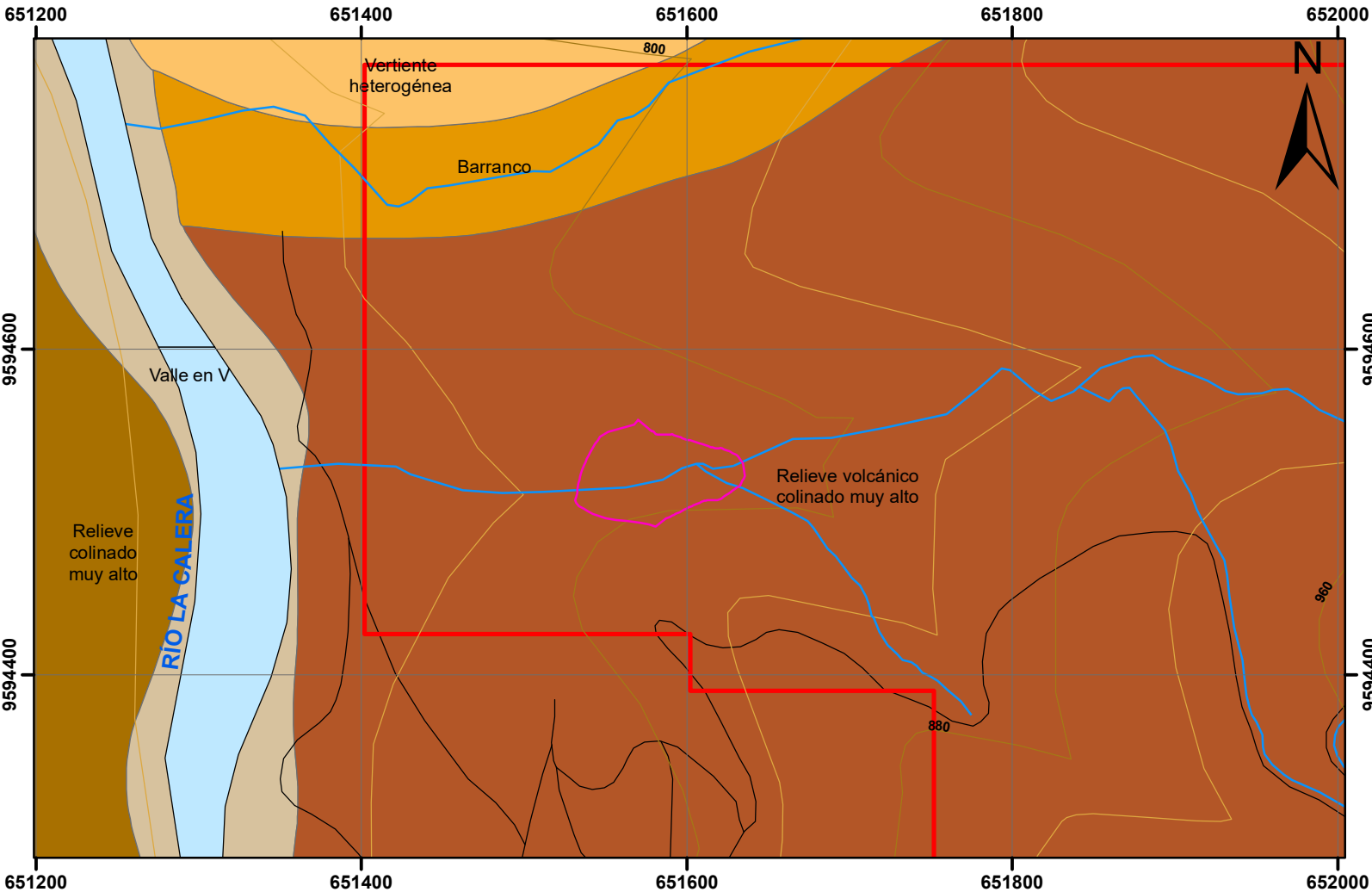
Fecha edición:  
Febrero, 2025

Mapa No: **5**

Fuente:  
Cartografía Básica:  
Instituto Geográfico Militar. (2013). Hojas Topográficas de Paccha y Zaruma. Escala 1:50,000

# DISEÑO DE LA RELAVERA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "ALTO VIZCAYA" CÓDIGO 390356 CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO

ECUADOR ESCALA 1:4,000



Leyenda Temática	
	Planta de Beneficio Alto Vizcaya, 66,98 hectáreas
	Polígono de relavera
Grupos, Subgrupo y Clave	
	FLUVIAL, Barranco, B2
	FLUVIAL, Valle en V, E1
	LADERAS, Vertiente heterogénea, Lh1
	OTRAS, Superficie intervenida, O5
	TECTÓNICO- VOLCÁNICO, Relieve colinado muy alto, Rt6
	VOLCÁNICO, Relieve volcánico colinado muy alto, Rv11

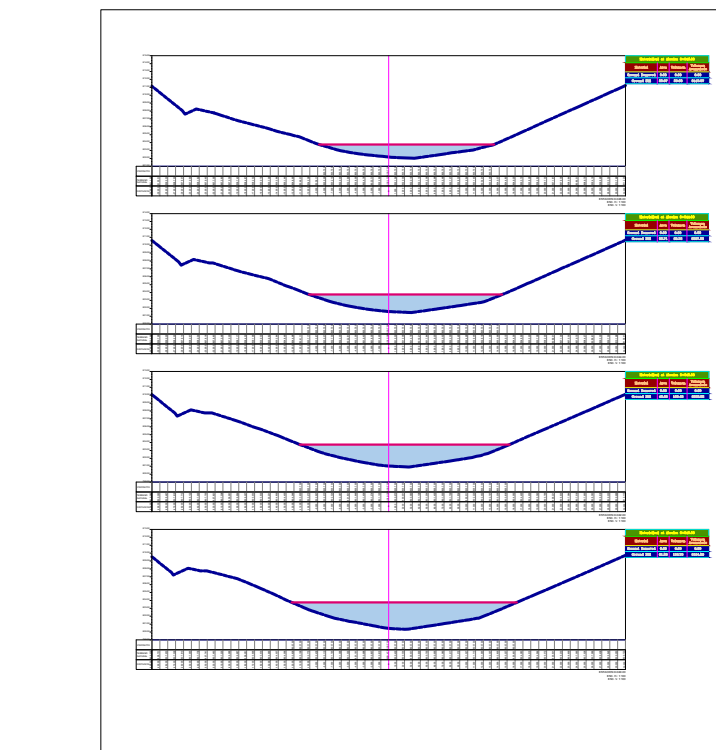
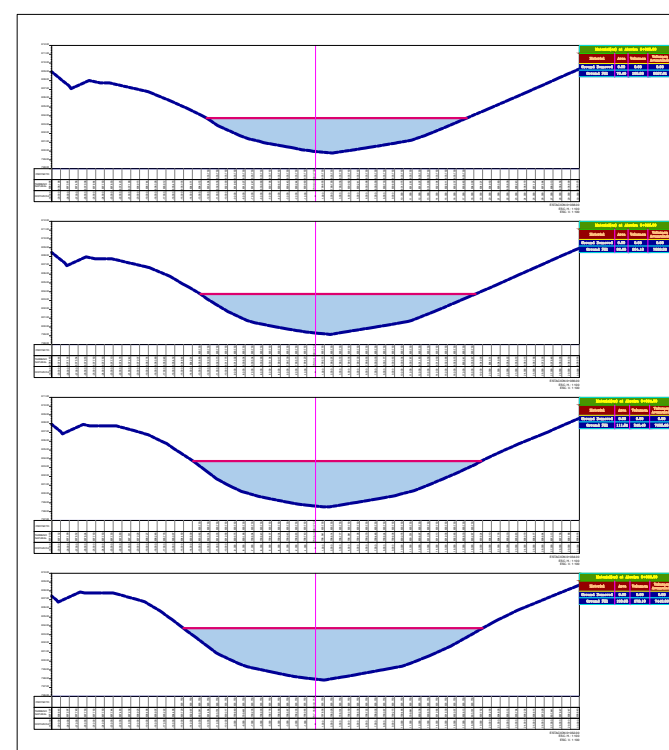
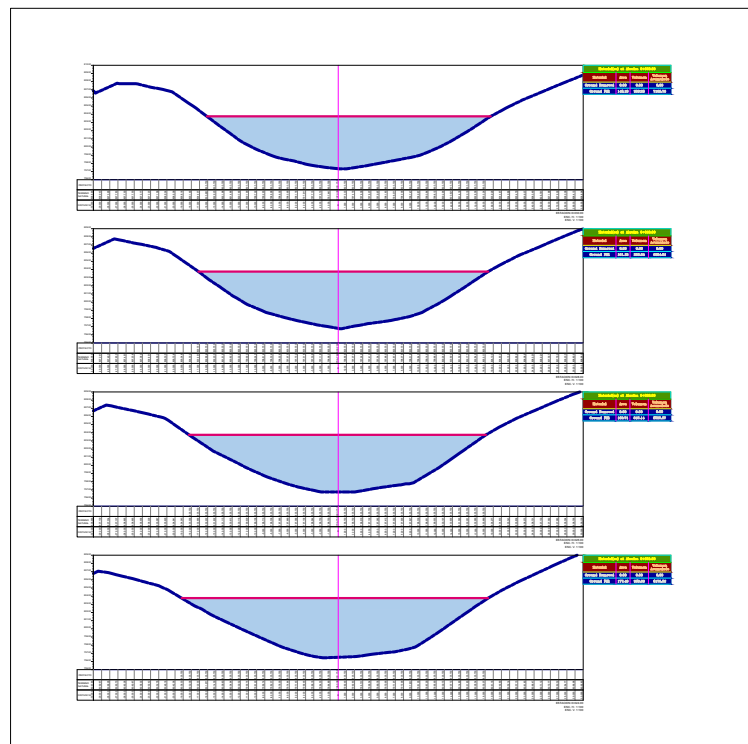
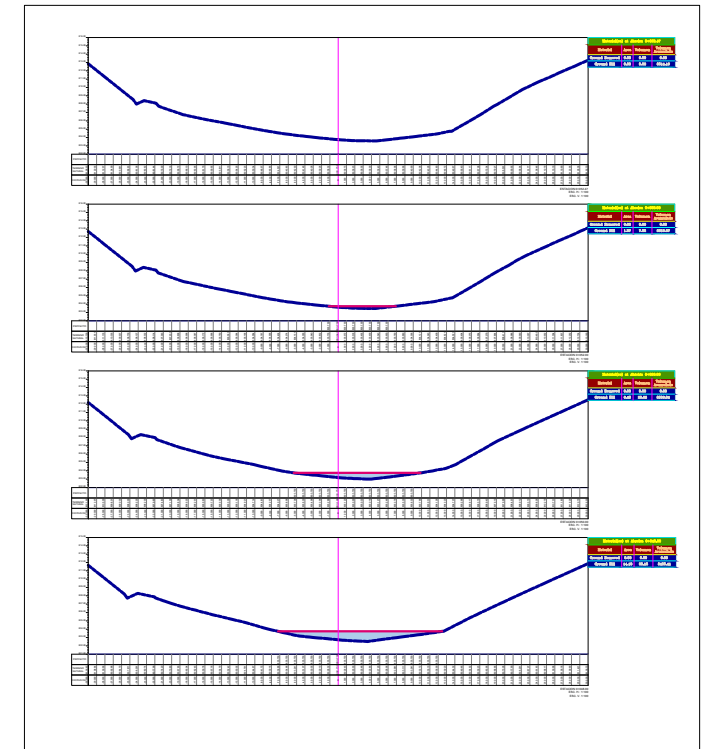
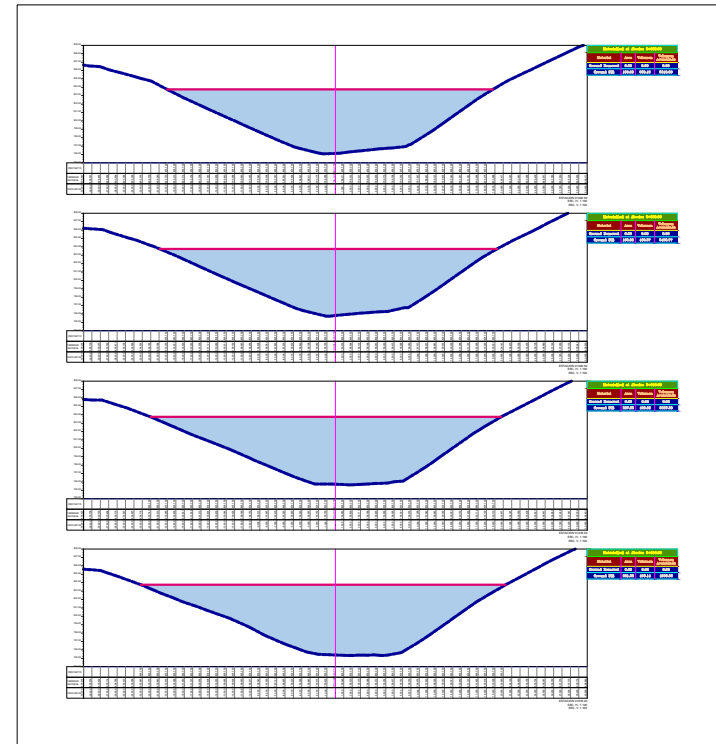
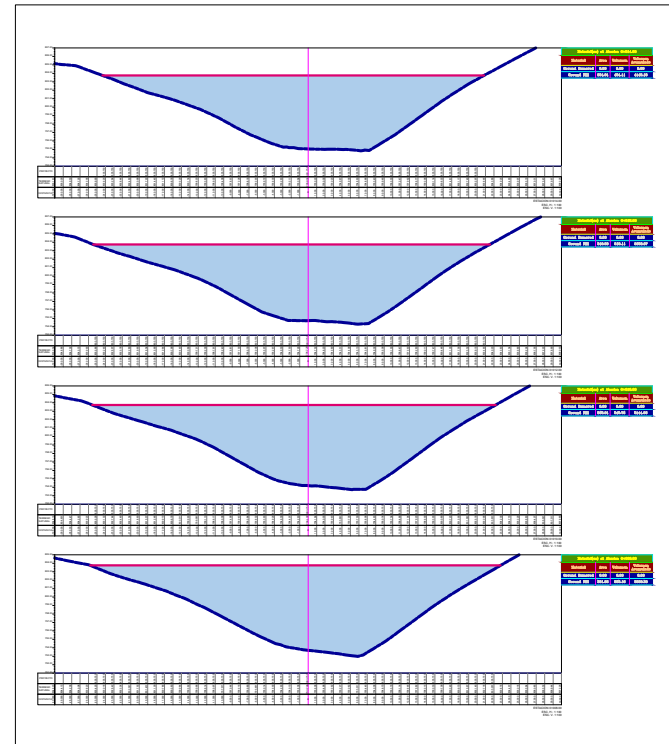
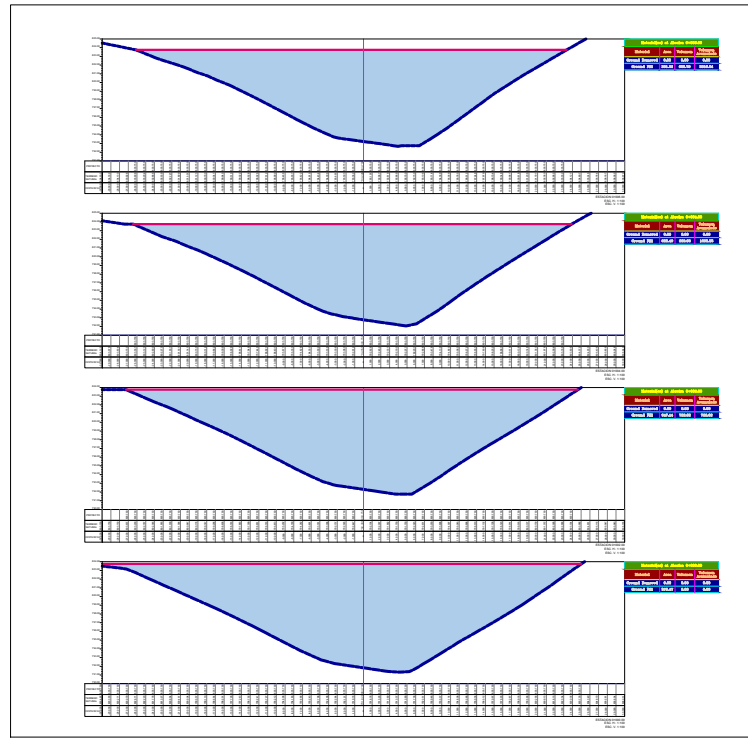
Signos Convencionales	
	Vías
	Ríos secundarios
	Ríos primarios
	Curvas de nivel primarias
	Curvas de nivel secundarias
	Poblados

Escala numérica: 1:4,000

Proyección: Universal Transversal de Mercator UTM  
Datum Horizontal: Sistema Geodésico Mundial WGS 84  
Zona: 17 Sur

<p>DISEÑO DE LA RELAVERA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "ALTO VIZCAYA" CÓDIGO 390356 CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO</p>		
Contiene:		MAPA GEOMORFOLÓGICO
Elaborado por: Ing. Doménica Mendieta		
Escala de trabajo: 1:50,000	Fecha edición: Febrero, 2025	Mapa No: <b>6</b>
Fuente: Cartografía Básica: Instituto Geográfico Militar. (2013). Hojas Topográficas de Paccha y Zaruma. Escala 1:50,000		

# SECCIÓN TRANSVERSAL DEL VASO DE RELAVERA



DISEÑO DE LA RELAVERA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "ALTO VIZCAYA" CÓDIGO 390356 CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO

Contiene: Perfiles transversales del vaso de relaves

Elaborado por: Ing. Doménica Mendieta

Escala de trabajo: 1:5000

Fecha de edición: Febrero, 2025

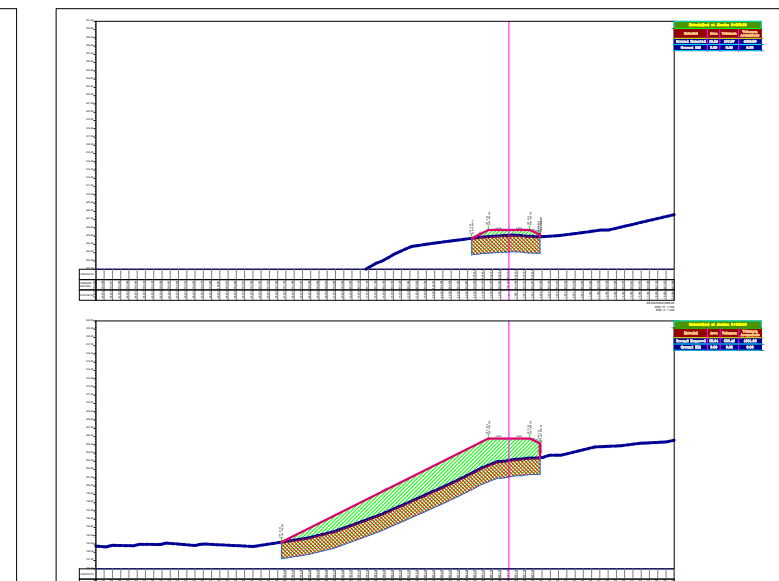
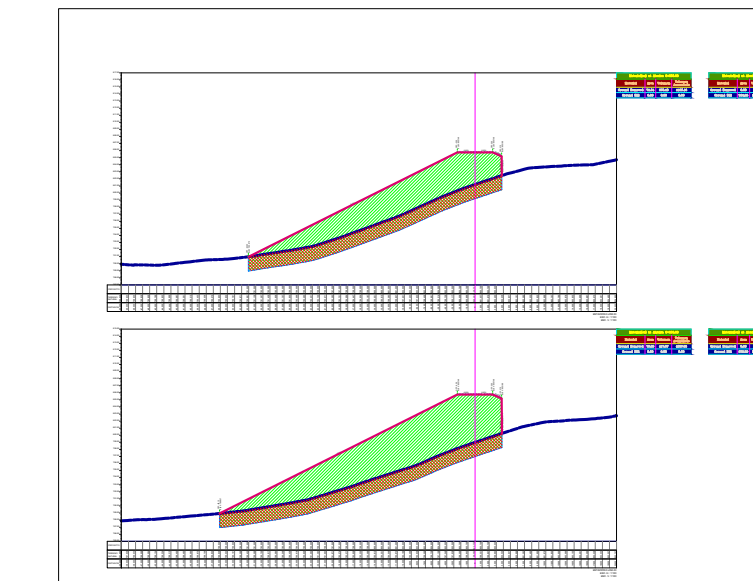
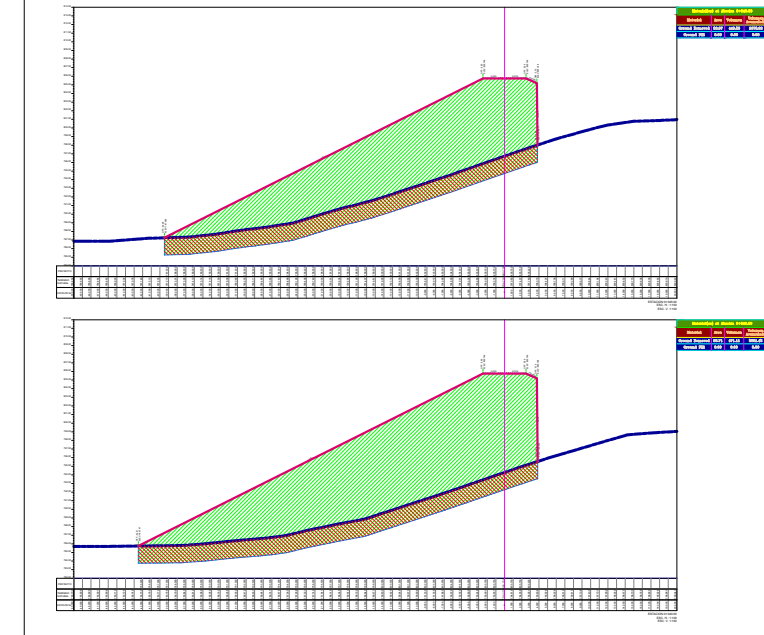
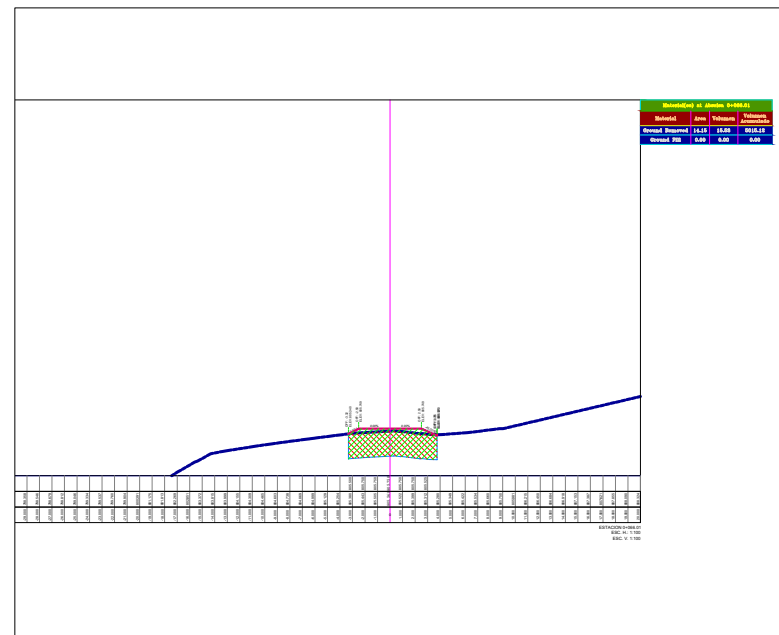
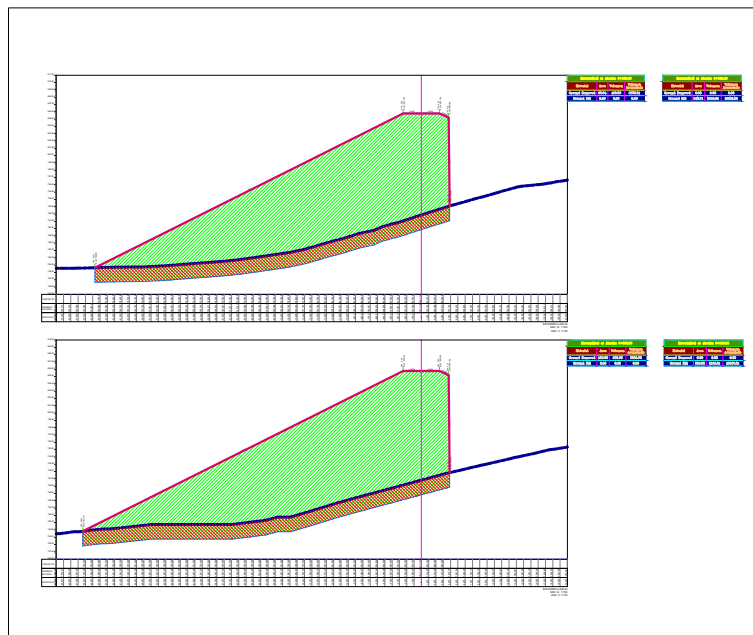
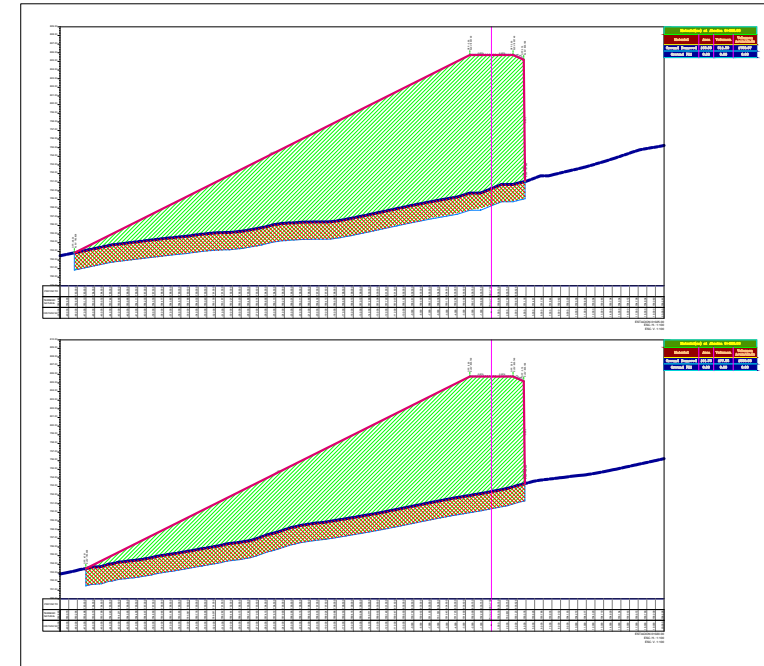
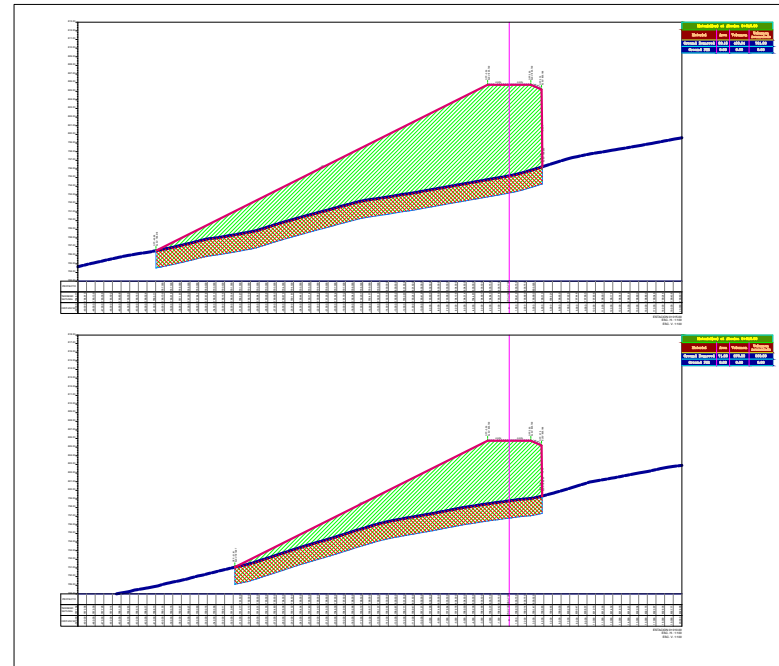
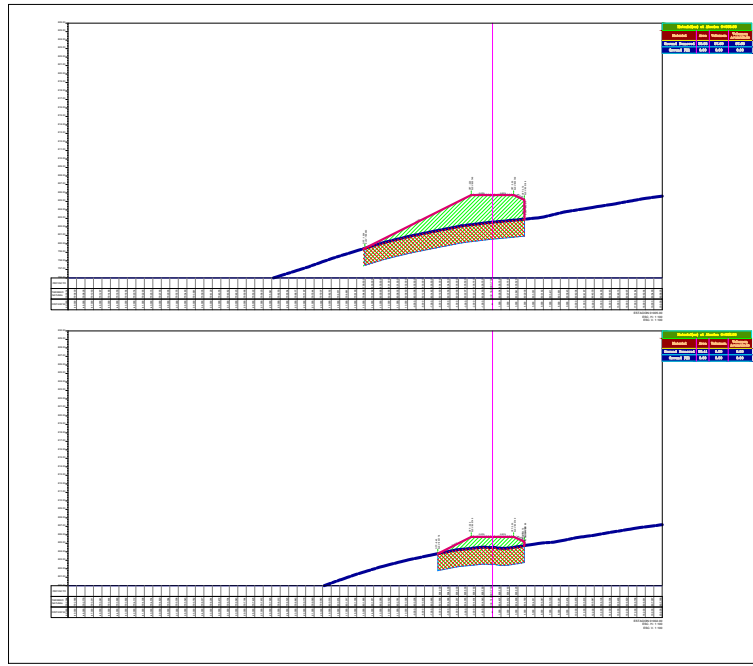
Mapa No:


Escala gráfica: 1:300

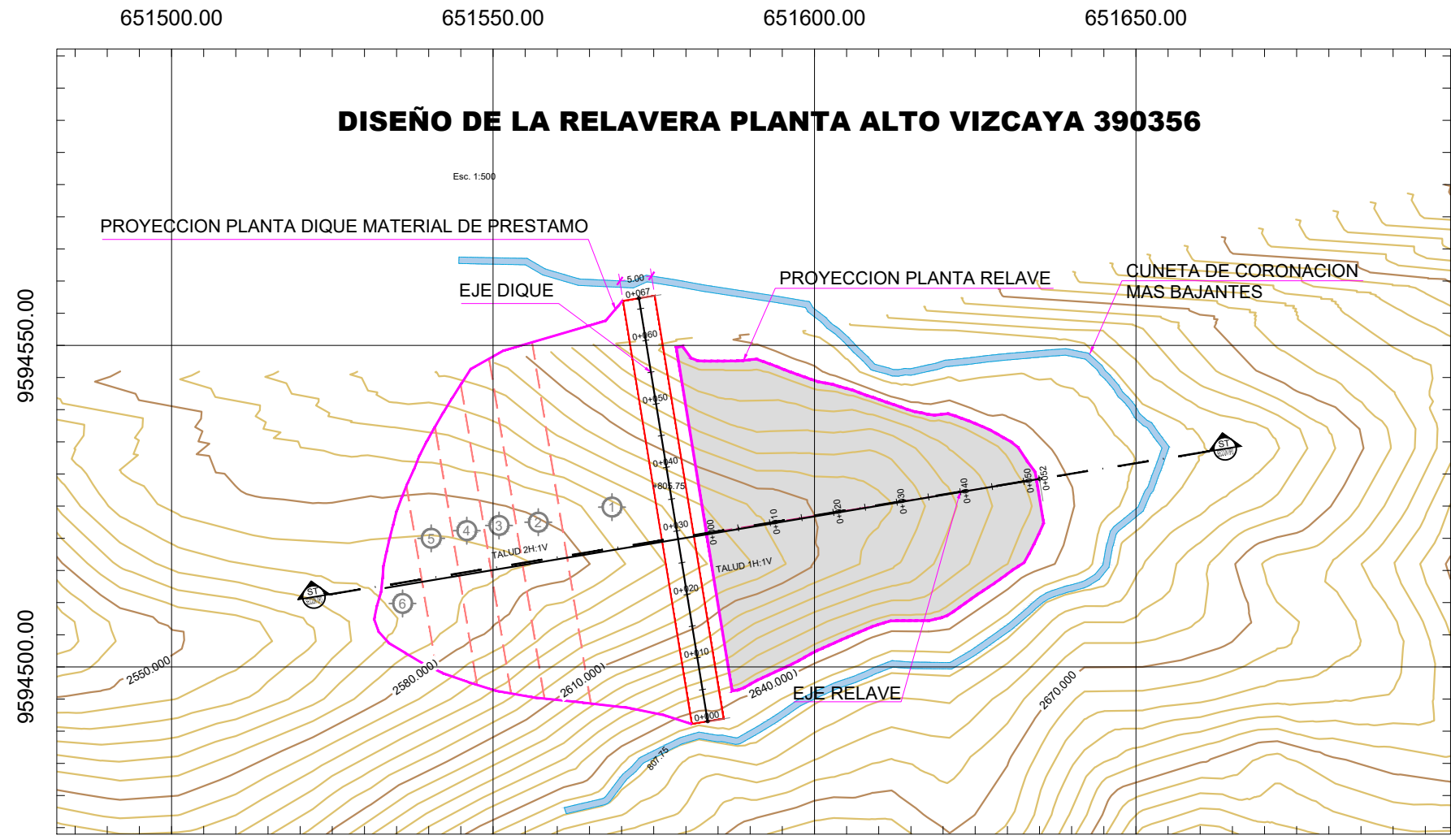
7

Fuente: Información levantada por la Autora

# SECCIÓN TRANSVERSAL DEL DIQUE DE RELAVERA



 <b>DISEÑO DE LA RELAVERA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "ALTO VIZCAYA" CÓDIGO 390356 CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO</b>		
<b>Contiene:</b> Perfiles transversales de la presa de relaves		
<b>Elaborado por:</b> Ing. Doménica Mendieta		
<b>Escala de trabajo:</b> 1:5000	<b>Fecha de edición:</b> Febrero, 2025	<b>Mapa No:</b> 8
<b>Fuente:</b> Información levantada por la Autora		



#### VOLUMENES CORTE PARA CIMENTACION DIQUE

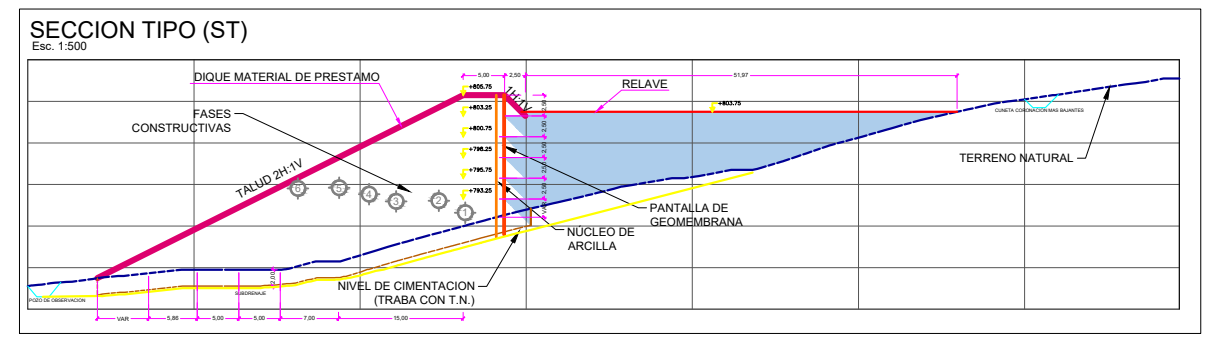
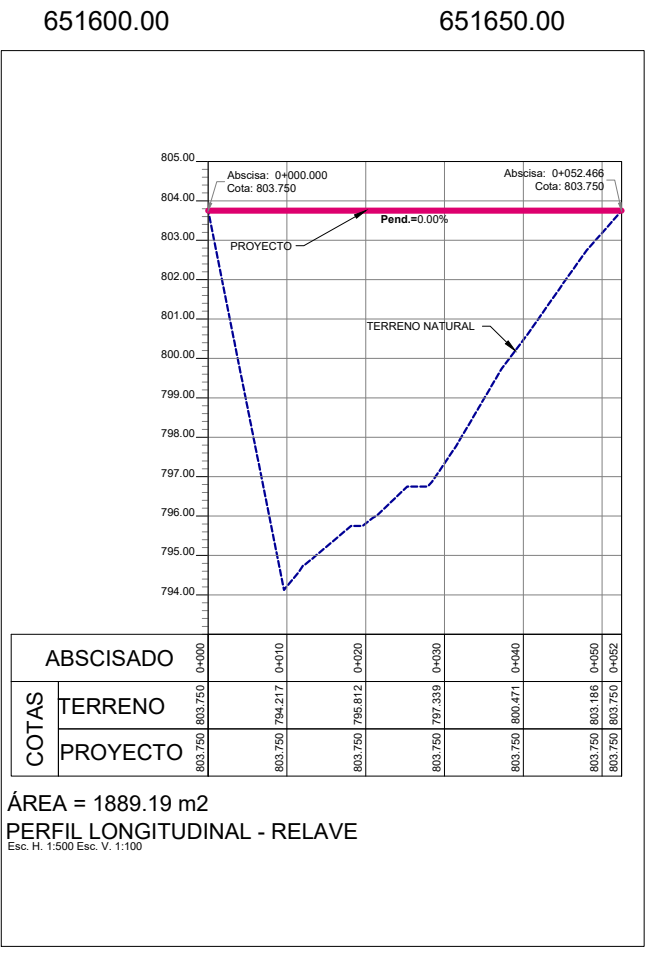
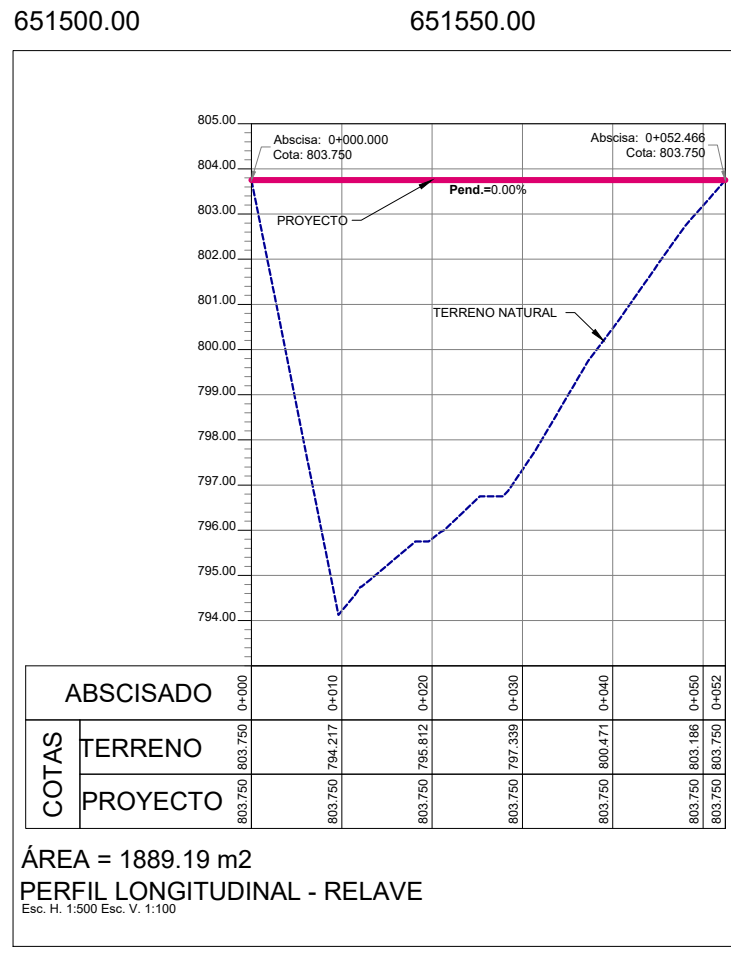
Abscisa	Area de Relleno	Area de Corte	Volumen de Relleno	Volumen de Corte	Volumen Ac. de Relleno	Volumen Ac. de Corte
0+002.00	0.00	20.41	0.00	0.00	0.00	0.00
0+005.00	0.00	38.05	0.00	87.69	0.00	87.69
0+010.00	0.00	71.23	0.00	273.20	0.00	360.89
0+015.00	0.00	89.15	0.00	400.94	0.00	761.83
0+020.00	0.00	101.75	0.00	477.25	0.00	1239.08
0+025.00	0.00	103.00	0.00	511.89	0.00	1750.97
0+030.00	0.00	100.50	0.00	508.76	0.00	2259.72
0+035.00	0.00	95.74	0.00	490.59	0.00	2750.31
0+040.00	0.00	92.71	0.00	471.11	0.00	3221.42
0+045.00	0.00	86.97	0.00	449.20	0.00	3670.62
0+050.00	0.00	79.85	0.00	417.07	0.00	4087.68
0+055.00	0.00	71.54	0.00	378.48	0.00	4466.16
0+060.00	0.00	62.64	0.00	335.46	0.00	4801.62
0+065.00	0.00	16.54	0.00	197.97	0.00	4999.59
0+066.01	0.00	14.15	0.00	15.53	0.00	5015.12


#### VOLUMENES MATERIAL DE PRESTAMO DIQUE

Abscisa	Area de Relleno	Area de Corte	Volumen de Relleno	Volumen de Corte	Volumen Ac. de Relleno	Volumen Ac. de Corte
0+002.00	30.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+005.00	77.15	0.00	161.19	0.00	161.19	0.00
0+010.00	208.66	0.00	714.54	0.00	875.73	0.00
0+015.00	357.63	0.00	1415.73	0.00	2291.45	0.00
0+020.00	493.56	0.00	2127.98	0.00	4419.44	0.00
0+025.00	579.02	0.00	2681.46	0.00	7100.90	0.00
0+030.00	583.50	0.00	2906.31	0.00	10007.21	0.00
0+035.00	543.71	0.00	2818.04	0.00	12825.25	0.00
0+040.00	462.03	0.00	2514.36	0.00	15339.61	0.00
0+045.00	362.86	0.00	2062.24	0.00	17401.85	0.00
0+050.00	279.39	0.00	1605.63	0.00	19007.49	0.00
0+055.00	204.25	0.00	1209.10	0.00	20216.58	0.00
0+060.00	137.36	0.00	854.02	0.00	21070.60	0.00
0+065.00	21.49	0.00	397.13	0.00	21467.73	0.00
0+066.01	15.81	0.00	18.87	0.00	21486.60	0.00

#### VOLUMENES RELAVE

Abscisa	Area de Relleno	Area de Corte	Volumen de Relleno	Volumen de Corte	Volumen Ac. de Relleno	Volumen Ac. de Corte
0+000.00	375.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+002.00	347.14	0.00	722.62	0.00	722.62	0.00
0+004.00	322.49	0.00	669.63	0.00	1392.25	0.00
0+006.00	301.31	0.00	623.79	0.00	2016.04	0.00
0+008.00	281.85	0.00	583.16	0.00	2599.20	0.00
0+010.00	263.91	0.00	545.76	0.00	3144.96	0.00
0+012.00	249.20	0.00	513.11	0.00	3658.07	0.00
0+014.00	234.91	0.00	484.11	0.00	4142.18	0.00
0+016.00	221.23	0.00	456.14	0.00	4598.32	0.00
0+018.00	207.65	0.00	428.88	0.00	5027.20	0.00
0+020.00	195.92	0.00	403.57	0.00	5430.77	0.00
0+022.00	186.20	0.00	382.12	0.00	5812.89	0.00
0+024.00	177.43	0.00	363.63	0.00	6176.52	0.00
0+026.00	169.71	0.00	347.14	0.00	6523.67	0.00
0+028.00	161.13	0.00	330.84	0.00	6854.51	0.00
0+030.00	148.13	0.00	309.25	0.00	7163.76	0.00
0+032.00	130.98	0.00	279.10	0.00	7442.86	0.00
0+034.00	111.51	0.00	242.48	0.00	7685.35	0.00
0+036.00	92.68	0.00	204.18	0.00	7889.53	0.00
0+038.00	75.40	0.00	168.08	0.00	8057.61	0.00
0+040.00	61.38	0.00	136.78	0.00	8194.39	0.00
0+042.00	48.05	0.00	109.43	0.00	8303.82	0.00
0+044.00	35.71	0.00	83.76	0.00	8387.58	0.00
0+046.00	23.97	0.00	59.68	0.00	8447.27	0.00
0+048.00	14.18	0.00	38.15	0.00	8485.41	0.00
0+050.00	6.45	0.00	20.63	0.00	8506.04	0.00
0+052.00	1.37	0.00	7.83	0.00	8513.87	0.00
0+052.47	0.00	0.00	0.32	0.00	8514.19	0.00





### DISEÑO DE LA RELAVERA EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE MINERALES "ALTO VIZCAYA" CÓDIGO 390356 CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO

**Contiene:** Diseño de la relavera

**Elaborado por:** Ing. Doménica Mendieta

<b>Escala de trabajo:</b> 1:5000	<b>Fecha de edición:</b> Febrero, 2025	<b>Mapa No:</b> 9
----------------------------------	--	-------------------

**Fuente:** Información levantada por la Autora



Anexo 10. Ficha de actividades

FICHA DE ACTIVIDADES PLANTA DE BENEFICIO ALTO VIZCAYA			
Concesión:	Galva 1	Código:	300462
Planta:	Alto Vizcaya	Código:	390356
Coordenadas:	Datum	X:	Y: Z:
Titular:	Sociedad Civil Lomera Galvanes		
Capacidad de procedimiento/día	800 tn/día. Capacidad instalada.		
Observaciones:	Elaborado por: Ing. Doménica Mendieta. Fecha: 27/04/2024.		
Area de stock			
Coordenadas	X: 652855	Y: 9911207	Z: 1183
Capacidad:	9000tn	Destino:	Concho de gruesos
Dimensiones:			
Trituración			
Trituración primaria:	Tiempo:		
Coordenadas:	X: Trituración tra.	Y:	Z:
Diámetro de ingreso:	25cm medusa de 20cm	Diámetro de salida:	
Maquinaria:	una trituradora trituradora de conos trituradora cónica	trituración B12 Modelo/serie:	Handbucos 500 x 750 mm. 606 tn/día
Potencia:		Capacidad:	606 x 150, 606 tn
Cantidad de equipos:	20 unidades	CE:	
Dimensiones:			
Mantenimiento:	Mantenimiento hidráulico, mecánico, eléctrico		
Observaciones	trituradora de chileño; hay 2. 3 Handbucos y una cónica.		
Trituración secundaria:	Tiempo:		
Coordenadas:	X:	Y:	Z:
Diámetro de ingreso:	12" cónica	Diámetro de salida:	75-80% m-3/4"
Maquinaria:		Modelo/serie:	
Potencia:		Capacidad:	
Cantidad de equipos:		CE:	
Dimensiones:			
Mantenimiento:			
Observaciones:			
Clasificación			
Sistema de clasificación:	Para Remolenda. una zaranda. 9 Zarandas una primaria y secundaria. 20mta, al molino B12.		
Equipo			
Equipo	Dimensiones	Capacidad	Modelo serie
Tolva B12			□
Zaranda		de acero lo B12	□
Silos			□
Tolva B12 (H8x12)			□
Mantenimiento:			
Observaciones:			

Molienda					
<b>Tipo de Molienda:</b>					
<b>Coordenadas:</b>		X:	Y:	Z:	
<b>Diámetro de ingreso:</b>		m <sup>2</sup> = 1.2		<b>Diámetro de salida:</b>	φ = 70" / 0 mall - 200.
<b>Tipos de molinos</b> φ = 7x10 60 - 65" / 0 m - 200.					
<b>Molino</b>	<b>Potencia</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Modelo/serie</b>
M. Chileno		15 tn	4		
M. de bolas			□		
M. Chileno		25 tn	□		
<b>CE:</b> 20.					
<b>Consumo de bolas de acero</b>		41 ton.		<b>Consumo de barras de acero</b>	
<b>Consumo de agua:</b>		50 l / s de lo que - 120 m <sup>3</sup> en el 6x10 - 2400 m <sup>3</sup> 7x10.			
<b>Equipos complementarios</b>					
<b>Equipos</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Potencia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Modelo/serie</b>	
Hidrociclón	180 ton.		10		
<b>Mantenimiento:</b>					
<b>Observaciones:</b> a implementar el molino de bolas más.					
Concentración					
<b>Tipo de concentración:</b> Centrifugo					
<b>Coordenadas:</b>		X:	Y:	Z:	
<b>Concentradores:</b>		1. Juxón; 2 Falcon		<b>Modelo/serie:</b>	Falcon; Juxón
<b>Potencia:</b>		Falcon - 3.7 kw		<b>Capacidad:</b>	10 - 15 ton / h.
<b>Cantidad:</b>				<b>Dimensiones:</b>	
<b>Consumo de agua:</b>					
<b>Hidrociclones:</b>		1.		<b>Modelo serie:</b>	
<b>Potencia:</b>				<b>Capacidad:</b>	
<b>Dimensiones:</b>				<b>Cantidad:</b>	1
<b>Consumo de agua:</b>					
<b>Mantenimiento:</b>					
<b>Observaciones:</b> Falcon Model. SB350. Relave del Falcon a. 7 x 10.					
Cianuración					
<b>Tipo de cianuración:</b> Intensiva y convencional. 10 lixividores B carboneros.					
<b>Tanques de cianuración:</b>		10		<b>Modelo/serie</b>	
<b>Capacidad:</b>		35 m <sup>3</sup>		<b>Cantidad:</b> 4	
<b>Dimensiones:</b>		4.20 x 3.50		<b>Dosificación de CN-</b> 1 2.2 ton. m <sup>3</sup>	
<b>Observaciones:</b> 1 cuba donde se mezcla con el Carbon. Hay 2 tonques de Carbon. el agua se recinava					
Area de desorción, fundición y refinación:					
<b>Maquinaria</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Modelo/serie</b>		
Tornos	2	1 ton a 100 kg			
Tornos vij.	2	1 ton a 100 kg			
Hamaca Gisel	2	2 m <sup>2</sup> / h.			
<b>Observaciones:</b> desorción de Au.					
Disposición de relaves					
<b>Descripción del proceso</b>					
- 1 tanque de Espesamiento de Relaves; El Agua se recinava.					
- 2 tanque azules de dosificación de Flouante para relaves					
- Tuberia q' sale del tanque espesador hacia la relave No 1					
<b>Tipo de disposición:</b>					
<b>Area de disposición de relaves:</b>		<b>Cantidad/día</b>			
<b>Coordenadas de las relaveras</b>					
<b>Relavera</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>		
<b>Dimensiones de las relaveras</b>					

# Anexo 11. Calidad de agua



## INFORME DE ENSAYOS

N° 98821-2



9882112122023000000 Ilima



SOCIEDAD CIVIL MINERA GOLDMINS  
 Representante Legal: PESANTEZ AGUIRRE YORDY ALBERTO  
 Dirección: Malvas / S/N, Tel. 0981130390  
 Atención : Ing. Stalin Iván Puglla

Guayaquil, 2024-01-16

### DATOS DE LA MUESTRA

<b>Punto e Identificación de la Muestra:</b>	MA-13 QUEBRADA S/N QUE BAJA DE GOLDMINS Y ROLANDO BLACIO
<b>Fecha/Hora Lugar de Toma de Muestra:</b>	2023/12/12 / 16:20 / SITIO PORTETE, PARROQUIA MALVAS, CANTÓN ZARUMA
<b>Fecha/Hora Recepción Muestras:</b>	2023/12/12 / 18:53
<b>Matriz de la muestra:</b>	Agua Natural
<b>Responsable de Toma de Muestra / Tipo de Muestra:</b>	GRUPO QUIMICO MARCOS C. LTDA

LPM de acuerdo a la Norma ANEXO 1 LIBRO VI TULSMA AM 097A (2015-11) TABLA 2 CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACION DE LA VIDA ACUATICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS - AGUA DULCE

### DATOS DE MUESTREO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U k=2	C.C.	MÉTODO ANALÍTICO	FECHA/ANALISTA
Potencial de Hidrógeno, in situ	8,02	Unidades de pH	0,30	6,5 - 9	PEE-GQM-FQ-41	2023/12/11 LB
Oxígeno Disuelto in situ, % Saturación	68,50	%	6,66	> 80	PEE-GQM-FQ-65	2023/12/11 LB

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U k=2	C.C.	MÉTODO ANALÍTICO	FECHA/ANALISTA
<b>METALES</b>						
Arsénico	0,5894	mg/l	0,1218	0,05	PEE-GQM-FQ-33	2023/12/21 ER
Berilio (3)	<0,00180	mg/l	---	0,1	PEE-GQM-FQ-33	2023/12/20 ER
Boro (3)	<0,01080	mg/l	---	0,75	PEE-GQM-FQ-33	2023/12/20 ER
Zinc	2,1185	mg/l	0,2025	0,03	PEE-GQM-FQ-33	2023/12/21 ER
Cobalto	0,0523	mg/l	0,0062	0,2	PEE-GQM-FQ-33	2023/12/20 ER
Cromo (3)	<0,0021	mg/l	---	0,032	PEE-GQM-FQ-33	2023/12/20 ER
Hierro	14,6054	mg/l	2,6772	0,3	PEE-GQM-FQ-33	2023/12/21 ER
Manganeso	2,055837	mg/l	0,324000	0,1	PEE-GQM-FQ-33	2023/12/21 ER
Mercurio (3)	<0,00210	mg/l	---	0,0002	PEE-GQM-FQ-33	2023/12/20 ER
Plata (3)	0,1565	mg/l	---	0,01	PEE-GQM-FQ-33	2023/12/19 ER
Bario	0,0647	mg/l	0,0077	1,0	PEE-GQM-FQ-33	2023/12/20 ER
Níquel	0,0414	mg/l	0,0046	0,025	PEE-GQM-FQ-33	2023/12/20 ER
Aluminio	9,6026	mg/l	1,3924	0,1	PEE-GQM-FQ-33	2023/12/21 ER
Selenio (4)	No detectado	mg/l	---	0,001	PEE/IPSOMARY/38	2023/12/28 S22
Cadmio (4)	No detectado	mg/l	---	0,001	PEE/IPSOMARY/38	2023/12/28 S22
Cobre (4)	28,9575	mg/l	---	0,005	PEE/IPSOMARY/38	2023/12/28 S22
Plomo (4)	4,4273	mg/l	---	0,001	PEE/IPSOMARY/38	2023/12/28 S22

### AGREGADOS ORGANICOS

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U k=2	C.C.	MÉTODO ANALÍTICO	FECHA/ANALISTA
Aceites y Grasas (3)	<1,29	mg/l	---	0,3	PEE-GQM-FQ-03	2023/12/27 AQ
Hidrocarburos Totales de Petróleo (3)	<0,45	mg/l	---	0,5	PEE-GQM-FQ-07	2023/12/29 AQ
Demanda Química de Oxígeno	29,80	mgO2/l	6,37	40	PEE-GQM-FQ-16	2023/12/13 DF
Demanda Bioquímica de Oxígeno	11,37	mgO2/l	2,76	20	PEE-GQM-FQ-05	2023/12/13 DF
Tensoactivos-Detergentes (3)	0,16	mg/l	---	0,5	PEE-GQM-FQ-21	2023/12/22 SP

### AGREGADOS/COMPONENTES FISICOS

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U k=2	C.C.	MÉTODO ANALÍTICO	FECHA/ANALISTA
Sólidos Suspendedos Totales	151,00	mg/l	35,17	Max incremento de	PEE-GQM-FQ-06	2023/12/22 ER

### INORGANICOS NO METALES

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	U k=2	C.C.	MÉTODO ANALÍTICO	FECHA/ANALISTA
Nitritos	0,624	mg/l	0,125	0,2	PEE-GQM-FQ-14	2023/12/13 AR
Nitratos	78,39	mg/l	13,33	13	PEE-GQM-FQ-10	2023/12/13 AR
Cianuros (3)	11,748	mg/l	---	0,01	PEE-GQM-FQ-15	2023/12/19 AR

S22 = Resultado proporcionado por IPSOMARY S.A. con código de acreditación SAE LEN 10-012

### SIMBOLOGÍA:

----- No. Aplica	E.P.A. Environmental Protection Agency	V.M.R. Valor Máximo Referencial
<LD Menor al Limite Detectable	P.E.E. Procedimiento específico de ensayo de GQM	C.C. Criterios de Calidad
N.E. No efectuado	S.M. Standard Methods	V.M. Valor Máximo
U k=2 Incertidumbre Nivel de Confianza 95,45%	L.M.P. Limite Máximo Permissible	V.M.P. Valor Máximo Permissible

### NOMENCLATURA:

- (1) Parámetro NO INCLUIDO en el alcance de acreditación ISO 17025 por el SAE.
- (2) Parámetro subcontratado NO ACREDITADO, competencia evaluada por GQM

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 km. 11 1/2 vía a Daule  
 Cell: 0998-286653; 0998-567382  
 www.grupoquimicomarcos.com  
 Guayaquil - Ecuador



## INFORME DE ENSAYOS

N° 98821-2



9882112122023000000 Ilima



- (3) Parámetro acreditado cuyo resultado está FUERA DEL ALCANCE de acreditación.  
(4) Parámetro subcontratado ACREDITADO; ver alcance en [www.acreditacion.gob.ec](http://www.acreditacion.gob.ec)

**IMPORTANTE:**

Los resultados de este informe de ensayo sólo son aplicables a las muestras analizadas; PROHIBIDA su reproducción total o parcial sin autorización escrita de GQM.

**DESCARGO DE RESPONSABILIDAD:**

La información del lugar de toma, punto e identificación de la muestra es proporcionada por el cliente a GQM previo a su monitoreo o recepción.  
Si la muestra es entregada por el cliente, sus resultados aplican a la muestra tal como se recibió.

Parque Industrial California 2 Bloque D-41 km. 11 1/2 vía a Daule  
Cell: 0998-286653; 0998-567382  
[www.grupoquimicomarcos.com](http://www.grupoquimicomarcos.com)  
Guayaquil - Ecuador

MC7.801-04

Página 2 de 3

**Anexo 1.** Certificado de traducción del resumen

Loja, 24 de febrero 2025

CELSO XAVIER ATAIRHUANA SANDOVAL, de nacionalidad ecuatoriana, con cédula de identidad N°, poseedor del **Nivel Avanzado C1-INGLÉS**, certificado **SETEC No. MDT-OC657418**.

Por medio del presente tengo a bien **CERTIFICAR**

Que he realizado la traducción al idioma inglés de el resumen derivado del Trabajo de Titulación denominado **“Diseño de la relavera en la planta de beneficio de Minerales “Alto Vizcaya” Código 390356, cantón Zaruma, provincia de El Oro”**, de autoría de la Ing. DOMENICA SALOME MENDIETA CUEVA, con cédula de identidad N° 1104739345, graduado de la carrera de Ingeniería en Minas y egresado de la maestría en Minas Mención en Mineralurgia y Metalurgia Extractiva de la Universidad Nacional de Loja.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad

Atentamente:

**Firma:**



Firmado electrónicamente por:  
**CELSO XAVIER  
ATAIRHUANA SANDOVAL**

**Nombre:** Celso Xavier Atarihuana Sandoval

**Cédula de identidad:** 1103527832