



**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

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

#### Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial

**Estudio Geomecánico de la galería principal de transporte en las labores  
mineras de la empresa Landapo S.A concesión “Corvis” código 145, sector  
Vizcaya, cantón Zaruma, Provincia de el Oro.**

Trabajo de Titulación, previo a la  
obtención del título de Ingeniero en  
Geología Ambiental y Ordenamiento  
Territorial.

**AUTOR:**

Cristian Leonardo Rivera Bao

**DIRECTOR:**

Ing. Jimmy Stalin Paladines PhD.

Loja-Ecuador

2024

## Certificación

Loja, 29 de octubre del 2024

Ing. Stalin Paladines PhD.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Estudio Geomecánico de la galería principal de transporte en las labores mineras de la empresa Landapo S.A concesión “Corvis” código 145, sector Vizcaya, cantón Zaruma, Provincia de el Oro**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, de autoría del estudiante **Cristian Leonardo Rivera Bao** con cédula de identidad N° 1104509441, 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. Jimmy Stalin Paladines PhD.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **Autoría**

Yo, **Cristian Leonardo Rivera Bao**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o 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:** 11045099441

**Fecha:** 29 de octubre del 2024

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

**Celular:** 0990157513

**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, **Cristian Leonardo Rivera Bao**, declaro ser el autor del Trabajo de Titulación denominado: **Estudio Geomecánico de la galería principal de transporte en las labores mineras de la empresa Landapo S.A concesión “Corvis” código 145, sector Vizcaya, cantón Zaruma, Provincia de el Oro**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar los contenidos 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 del plagio o copia de Trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los veintinueve días del mes de octubre del dos mil veinticuatro, en la ciudad de Loja.



**Firma:**

**Autor:** Cristian Leonardo Rivera Bao

**Cédula de identidad:** 1104509441

**Fecha:** 29 de octubre del 2024

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

**Teléfono:** 0990157513

**DATOS COMPLEMENTARIOS: Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Jimmy Stalin Paladines PhD

## **Dedicatoria**

Este trabajo va dedicado principalmente a Dios, y a la vida y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional.

A mi madre Olga Bao por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su apoyo incondicional sin importar las adversidades de la vida.

A mi padre Ángel Rivera (†), aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, siento que está conmigo siempre.

A mi abuela Melva Sánchez (†) que siempre confío en mí.

***Cristian Leonardo Rivera Bao***

## **Agradecimiento**

Mi agradecimiento principalmente a Dios por todas sus bendiciones por brindarme salud, fortaleza y capacidad.

A la Universidad Nacional de Loja, por abrirme las puertas para mi formación académica.

Al Ing. Stalin Paladines, que me ha guiado en el desarrollo de mi proyecto, brindándome su asesoramiento y consejos para la realización del mismo.

Al Ing. Iván Puglla, y de la misma manera al Ing. Iván Oscullo que me permitieron llevar a cabo la ejecución de mi trabajo de titulación en la mina Vizcaya concesión “Corvis” código 145 brindándome todas las facilidades necesarias para el desarrollo del proyecto.

***Cristian Leonardo Rivera Bao***

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas: .....	x
Índice de figuras:.....	xii
Índice de gráficos: .....	xiii
Índice de anexos:.....	xiv
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1. Minería.....	6
4.2. Topografía. ....	6
4.3. Macizo rocoso.....	6
4.4. Geología Estructural. ....	6
4.4.1. Estructura Primaria .....	7
4.4.2. Estructura Secundaria .....	7
4.5. Discontinuidades .....	7
4.6. Diaclasas .....	7
4.7. Fallas.....	7
4.8. Propiedades mecánicas de las discontinuidades .....	8
4.9. Caracterización del macizo rocoso .....	9
4.10. Clasificación geomecánica .....	9
4.11. Clasificación de Bieniawski (1973, 1976, 1989).....	9
4.12. Clasificación de Barton (1974).....	10

4.13.	Clasificación GSI (Geological Strength Index).....	11
4.14.	Sostenimiento .....	11
4.14.1.	Pernos de Anclaje de Rocas. ....	11
4.14.2.	Mallas.....	12
4.14.3.	Sistema de hormigón proyectado con malla y perno. ....	12
4.14.4.	Entibado de madera.....	12
<b>5.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>13</b>
5.1.	Área de estudio .....	13
5.2.	Acceso .....	14
5.3.	Clima .....	15
5.4.	Geomorfología y Relieve.....	15
5.5.	Hidrología.....	18
5.6.	Geología Regional .....	20
5.7.	Geología Estructural.....	22
5.8.	Mineralización .....	22
5.9.	Datos Generales .....	22
5.10.	Materiales .....	23
5.11.	Procedimiento.....	23
5.12.	Primer objetivo .....	24
5.13.	Segundo objetivo .....	30
5.14.	Tercer objetivo.....	41
<b>6.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>43</b>
6.1.	Resultados para el primer objetivo “Caracterizar la geología de la zona de estudio superficial e interior mina a escala 1:1000” .....	43
6.1.1.	Topografía.....	43
6.1.2.	Geología.....	50
6.1.3.	Geología superficial .....	50
6.1.4.	Geología Subterránea.....	56
6.2.	Resultados para el segundo objetivo. “Determinar la calidad del macizo rocoso de la galería principal de transporte con base a la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR), Q de Barton y GSI” .....	67
6.2.1.	Compresión simple .....	67

6.2.2. Calidad de macizo rocoso .....	68
6.3. Resultados para el tercer objetivo “Proponer posibles medidas de sostenimiento en la galería principal de transporte” .....	74
6.3.1. Sostenimiento según RMR.....	74
6.3.2. Sostenimiento según Q de Barton .....	76
6.3.3. Sostenimientos propuestos por el autor. ....	79
6.3.4. Concreto armado .....	79
6.3.5. Bulonado .....	80
6.3.6. Entibado de madera por cuadros. ....	83
6.3.7. Análisis económico .....	88
6.3.8. Cronograma de actividades .....	92
<b>7. Discusión .....</b>	<b>95</b>
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>97</b>
<b>9. Recomendaciones .....</b>	<b>98</b>
<b>10. Bibliografía .....</b>	<b>99</b>
<b>11. Anexos .....</b>	<b>102</b>

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Coordenadas del polígono .....	13
<b>Tabla 2.</b> Resumen del clima anual de Zaruma .....	15
<b>Tabla 3.</b> Datos generales de la zona de estudio .....	22
<b>Tabla 4.</b> Materiales .....	23
<b>Tabla 5.</b> Ubicación de las calicatas .....	26
<b>Tabla 6.</b> Ficha de descripción de calicatas .....	27
<b>Tabla 7.</b> Ubicación de las muestras más representativas para su análisis en laboratorio.....	28
<b>Tabla 8.</b> Ficha para descripción de muestras de roca .....	28
<b>Tabla 9.</b> Ubicación de muestras .....	30
<b>Tabla 10.</b> Ubicación de las muestras para compresión simple.....	31
<b>Tabla 11.</b> Calidad de la roca.....	32
<b>Tabla 12</b> Ficha de caracterización geomecánica. ....	34
<b>Tabla 13.</b> Clasificación para el RMR de Bieniawski .....	37
<b>Tabla 14.</b> Clasificación RMR de Bieniawski .....	37
<b>Tabla 15.</b> Corrección para el RMR de Bieniawski.....	38
<b>Tabla 16.</b> Calidad del macizo rocoso según el GSI.....	38
<b>Tabla 17.</b> Índice de esfuerzo geológico para rocas unidas .....	39
<b>Tabla 18.</b> Clasificación geomecánica de Barton .....	40
<b>Tabla 19.</b> Clasificación según el índice de calidad del macizo rocoso Q .....	40
<b>Tabla 20.</b> Infraestructuras superficiales.....	44
<b>Tabla 21.</b> Datos de ubicación de muestras tomadas en campo .....	56
<b>Tabla 22.</b> Propiedades índices de la roca .....	65
<b>Tabla 23.</b> Coordenadas de ubicación de las rocas tomadas para compresión simple .....	67
<b>Tabla 24.</b> Ensayo de compresión simple .....	67
<b>Tabla 25.</b> Ubicación de las estaciones geomecánicas .....	68
<b>Tabla 26.</b> Resultados tramo N°1 .....	69
<b>Tabla 27.</b> Resultados tramo N°2.....	70
<b>Tabla 28.</b> Resultados Tramo N°3.....	70
<b>Tabla 29.</b> Resultados Tramo N°4.....	70
<b>Tabla 30.</b> Resultados Tramo N°5.....	71
<b>Tabla 31.</b> Resultados Tramo N°6.....	71
<b>Tabla 32.</b> Resultados Tramo N°7.....	71
<b>Tabla 33.</b> Resumen de la clasificación geomecánica de la Galería.....	72

<b>Tabla 34.</b> Sostenimiento Tramo 1 (RMR).....	75
<b>Tabla 35.</b> Sostenimiento Tramo 2 (RMR).....	75
<b>Tabla 36.</b> Sostenimiento Tramo 3 (RMR).....	75
<b>Tabla 37.</b> Sostenimiento Tramo 4 (RMR).....	76
<b>Tabla 38.</b> Sostenimiento Tramo 5 (RMR).....	76
<b>Tabla 39.</b> Sostenimiento Tramo 6 (RMR).....	76
<b>Tabla 40.</b> Sostenimiento Tramo 7 (RMR).....	76
<b>Tabla 41.</b> Sostenimiento Tramo 1 (Q de Barton) .....	76
<b>Tabla 42.</b> Sostenimiento Tramo 2 (Q de Barton) .....	77
<b>Tabla 43.</b> Sostenimiento Tramo 3 (Q de Barton) .....	77
<b>Tabla 44.</b> Sostenimiento Tramo 4 (Q de Barton) .....	77
<b>Tabla 45.</b> Sostenimiento Tramo 5 (Q de Barton) .....	77
<b>Tabla 46.</b> Sostenimiento Tramo 6 (Q de Barton) .....	77
<b>Tabla 47.</b> Sostenimiento Tramo 7 (Q de Barton) .....	77
<b>Tabla 48.</b> Parámetros técnicos del taladro YN27C1 .....	81
<b>Tabla 49.</b> Bomba de inyección de boquilla neumática para minería 2zbq-9/3 .....	82
<b>Tabla 50.</b> Equipos para entibado de madera.....	84
<b>Tabla 51.</b> Análisis económico para el Tramo N°1 .....	88
<b>Tabla 52.</b> Análisis económico para el Tramo N°2 .....	88
<b>Tabla 53.</b> Análisis económico para el Tramo N°3 .....	89
<b>Tabla 54.</b> Análisis económico para el Tramo N°4 .....	89
<b>Tabla 55.</b> Análisis económico para el Tramo N°5 .....	89
<b>Tabla 56.</b> Análisis económico para el Tramo N°6 .....	90
<b>Tabla 57.</b> Análisis económico para el Tramo N°7 .....	90
<b>Tabla 58.</b> Costos de equipos.....	91
<b>Tabla 59.</b> Consumo de combustible .....	91
<b>Tabla 60.</b> Costos de lechada .....	91
<b>Tabla 61.</b> Mano de obra.....	92
<b>Tabla 62.</b> Valor total para sostenimientos .....	92
<b>Tabla 63.</b> Cronograma de trabajo .....	93

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Ubicación de la zona de estudio .....	13
<b>Figura 2.</b> Acceso a la zona de estudio. ....	14
<b>Figura 3.</b> Vertiente heterogénea .....	16
<b>Figura 4.</b> Geomorfología del área de estudio .....	17
<b>Figura 5.</b> Hidrología del área de estudio .....	19
<b>Figura 6.</b> Mapa Geológico Regional .....	21
<b>Figura 7</b> Flujograma de metodología. ....	24
<b>Figura 8.</b> Levantamiento topográfico superficial .....	25
<b>Figura 9.</b> Levantamiento topográfico subterráneo .....	25
<b>Figura 10.</b> Dimensiones de la calicata.....	26
<b>Figura 11.</b> Excavación de calicatas .....	27
<b>Figura 12.</b> Análisis de laboratorio .....	29
<b>Figura 13.</b> Muestras para ensayo de compresión simple.....	31
<b>Figura 14.</b> Regleta de madera.....	31
<b>Figura 15.</b> Toma de mediciones en campo (RQD) .....	32
<b>Figura 16.</b> Diagrama para determinar JRC y los perfiles de rugosidad. ....	33
<b>Figura 17.</b> Toma de datos en campo (Rumbo y Buzamiento).....	35
<b>Figura 18.</b> Infraestructura superficial .....	43
<b>Figura 19.</b> Topografía superficial del área de estudio.....	45
<b>Figura 20.</b> Corte topográfico .....	46
<b>Figura 21.</b> Corte topográfico B-B' .....	47
<b>Figura 22.</b> Infraestructuras subterráneas .....	48
<b>Figura 23.</b> Topografía subterránea del área de estudio .....	49
<b>Figura 24.</b> Mapa de ubicación de calicatas .....	50
<b>Figura 25.</b> Calicata N°1 .....	50
<b>Figura 26.</b> Calicata N°2 .....	51
<b>Figura 27.</b> Calicata N°3 .....	51
<b>Figura 28.</b> Calicata N°4 .....	52
<b>Figura 29.</b> Correlación estratigráfica.....	53
<b>Figura 30.</b> Geología Superficial .....	54
<b>Figura 31.</b> Corte Geológico.....	55
<b>Figura 32.</b> Muestras de mano .....	57
<b>Figura 33.</b> Muestra tomada a los 10 metros de la bocamina (M1).....	58

<b>Figura 34.</b> Muestra tomada a los 50 metros de la bocamina (M5).....	58
<b>Figura 35.</b> Muestra tomada a los 100 metros de la bocamina (M10).....	59
<b>Figura 36.</b> Muestra tomada a los 140 metros (M14).....	59
<b>Figura 37.</b> Falla normal .....	60
<b>Figura 38.</b> Muestra de la veta tomada a los 170 metros de la bocamina (M41) .....	60
<b>Figura 39.</b> Muestra tomada a los 210 metros de la bocamina (M21).....	61
<b>Figura 40.</b> Muestra tomada a los 260 metros de la bocamina (M26).....	61
<b>Figura 41.</b> Muestra tomada a los 270 metros de la bocamina (M27).....	62
<b>Figura 42.</b> Falla normal .....	62
<b>Figura 43.</b> Muestra tomada a los 300 metros de la bocamina (M30).....	63
<b>Figura 44.</b> Muestra tomada a los 350 metros de la bocamina (M35).....	63
<b>Figura 45.</b> Muestra tomada a los 400 metros de la bocamina (M40).....	64
<b>Figura 46.</b> Geología Subterránea del área de estudio.....	66
<b>Figura 47.</b> Ensayo de compresión simple .....	68
<b>Figura 48.</b> Geomecánica de la zona de estudio .....	73
<b>Figura 49.</b> Vista 3D frontal de la galería principal de transporte.....	78
<b>Figura 50.</b> Vista 3D trasera de la galería principal de transporte.....	78
<b>Figura 51.</b> Concreto armado.....	80
<b>Figura 52.</b> Perno helicoidal autoperforante .....	80
<b>Figura 53.</b> Malla electrosoldada .....	81
<b>Figura 54.</b> Centro de zona de trabajo .....	85
<b>Figura 55.</b> Preparación de hendiduras .....	85
<b>Figura 56.</b> Elementos estructurales .....	85
<b>Figura 57.</b> Colocar elementos principales y ajuste de cordeles .....	86
<b>Figura 58.</b> Bloqueo y enrejado de elementos .....	86
<b>Figura 59.</b> Sostenimiento de madera.....	86
<b>Figura 60.</b> Sostenimiento de la galería .....	87

### Índice de gráficos:

<b>Gráfico 1.</b> Gráfico A.....	35
<b>Gráfico 2.</b> Gráfico B.....	36
<b>Gráfico 3.</b> Gráfico C.....	36

## **Índice de anexos:**

<b>Anexo 1.</b> Fichas de Calicatas. ....	102
<b>Anexo 2.</b> Descripción macroscópica de muestras de roca .....	104
<b>Anexo 3.</b> Datos de campo para determinar calidad de roca.....	125
<b>Anexo 4.</b> Cálculo de RMR.....	127
<b>Anexo 5.</b> Cálculos de índice de Q de Barton .....	134
<b>Anexo 6.</b> Mapa de ubicación.....	135
<b>Anexo 7.</b> Mapa de geomorfología.....	135
<b>Anexo 8.</b> Mapa de hidrología.....	135
<b>Anexo 9.</b> Mapa de geología regional .....	135
<b>Anexo 10.</b> Mapa de topografía superficial.....	135
<b>Anexo 11.</b> Mapa de topografía subterránea .....	135
<b>Anexo 12.</b> Mapa de ubicación de calicatas .....	135
<b>Anexo 13.</b> Mapa geológico superficial .....	135
<b>Anexo 14.</b> Mapa geológico subterráneo .....	135
<b>Anexo 15.</b> Mapa de geomecánica .....	135
<b>Anexo 16.</b> Mapa de sostenimiento.....	135
<b>Anexo 17.</b> Certificación de traducción del resumen .....	136

## **1. Título**

Estudio Geomecánico de la galería principal de transporte en las labores mineras de la empresa Landapo S.A concesión “Corvis” código 145, sector Vizcaya, cantón Zaruma, Provincia de el Oro.

## 2. Resumen

En el presente estudio de la galería principal de transporte en las labores mineras de la empresa Landapo S.A concesión “Corvis” código 145, se determinó la topografía, geología tanto superficial como subterránea, así como las características geomecánicas. El trabajo tiene como objetivo primordial el desarrollo del estudio geomecánico de la galería principal de transporte; para conseguir este propósito se plantean tres enfoques: La caracterización geológica superficial e interior mina, la determinación de la calidad del macizo rocoso con base a la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR), Q de Barton y GSI. Para posteriormente, proponer posibles medidas de sostenimiento para garantizar la seguridad de las operaciones mineras en esta galería.

El área de estudio está conformada por 5 hectáreas superficiales, con una galería de transporte de 400 metros. El proceso metodológico se inicia con un análisis y descripción geológica, para luego realizar la caracterización geomecánica detallada de la galería y tomar las muestras para los análisis de laboratorio.

De esta manera se pretende dar cumplimiento a los artículos 6, 41, 43 y 134 del “Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el ámbito minero” los cuales se enfocan en “garantizar condiciones seguras y saludables en todos los espacios de trabajo”, además especifica los procedimientos operativos referentes a temas geomecánicos.

Al desarrollar dicho estudio se determinan las características de la roca y se comprenden los esfuerzos que actúan sobre el macizo rocoso que conforma la galería, permitiendo conocer sus propiedades mecánicas y su calidad, al contar con estos parámetros se podrá gestionar los problemas de estabilidad, estableciendo posibles medidas de sostenimiento en las zonas más propensas de la galería, para de esta manera evitar o reducir los accidentes por caída de rocas y a su vez optimizar y planificar de mejor manera las labores mineras futuras, resultando ser una herramienta esencial para el proyecto minero.

*Palabras claves: Geología, geomecánica, sostenimiento, labores mineras, galería principal de transporte.*

## **Abstract**

In this study of the main transport gallery in the mining workings of the company Landapo S.A. concession “Corvis” code 145, the topography, surface and subway geology, as well as the geomechanical characteristics were determined. The main objective of the work is the development of the geomechanical study of the main transport gallery; to achieve this purpose, three approaches are proposed: the superficial and underground geological characterization, the determination of the quality of the rock massif based on the geomechanical classification of Bieniawski (RMR), Q of Barton and GSI. Subsequently, to propose possible support measures to ensure the safety of mining operations in this gallery.

The study area is made up of 5 surface hectares, with a 400 meter haulage gallery. The methodological process begins with a geological analysis and description, followed by a detailed geomechanical characterization of the gallery and sampling for laboratory analysis.

In this way we intend to comply with articles 6, 41, 43 and 134 of the “Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el ámbito minero” which focus on “guaranteeing safe and healthy conditions in all work spaces”, as well as specifying the operating procedures related to geomechanical issues.

By developing this study, the characteristics of the rock are determined and the stresses that act on the rock mass that makes up the gallery are understood, allowing to know its mechanical properties and its quality, having these parameters will be able to manage stability problems, establishing possible support measures in the most prone areas of the gallery, thus avoiding or reducing accidents due to rock falls and in turn optimize and better plan future mining workings, proving to be an essential tool for the mining project.

*Key words: Geology, geomechanics, support, mine workings, main haulage drift.*

### 3. Introducción

La minería subterránea comprende una serie de labores encaminadas a extraer materias primas depositadas en el subsuelo y transportarlas hasta la superficie. El acceso a los recursos se los efectúa por medio de galerías y pozos que se encuentran conectados con la superficie, la construcción del conjunto de galerías crea cavidades, causa tensiones y movimientos en la roca adyacente. (Barreto & Sáenz, 2018).

Esto constituye una de las actividades más riesgosas en relación con las operaciones y seguridad del personal, ya que la alteración del macizo rocoso, la geología, factores exógenos y endógenos en relación con sus esfuerzos, suman un problema grave de inestabilidad en una excavación o en un frente de explotación, estudios estadísticos muestran que el 23% de los accidentes ocurridos en minería subterránea son fatales, es por eso que en los trabajos subterráneos es imperante y necesario garantizar la estabilidad de las excavaciones (Barreto & Sáenz, 2018).

Ecuador un país ubicado estratégicamente, privilegiado por su geología, cuenta con gran variedad de proyectos enfocados en la extracción de minerales metálicos como oro, la provincia de El Oro perteneciente a la Zona 7, es reconocida por la gran presencia de cuerpos mineralizados, aquí se ubica el cantón Zaruma donde se desarrolla actividades de minería artesanal y de pequeña escala, como es el caso de la mina Vizcaya, la misma que consta de 3 niveles, con una galería principal de más de 400 m de longitud, conectada a dos galerías secundarias mediante pozos.

Del interior de la mina se extrae alrededor de 90 toneladas diarias de material mineralizado, el cual es transportado por la galería principal mediante moto-volquetes (1.6 ton) hasta la superficie, el desarrollo de las labores mineras ha provocado inestabilidad del macizo rocoso, ocasionando problemas como fracturamiento, desprendimiento de roca en las paredes y hastiales de la galería, siendo necesario el estudio geomecánico de la galería principal de transporte. Por lo tanto, al desarrollar dicho estudio se determinó las características de la roca y se pudo entender los esfuerzos que actúan sobre el macizo rocoso que conforma la galería, permitiendo conocer sus propiedades mecánicas y su calidad, al contar con estos parámetros fue posible proponer posibles medidas de sostenimiento en la galería principal, para de esta manera evitar o reducir los accidentes por caída de rocas y a su vez optimizar y planificar de mejor manera las labores mineras futuras.

En este contexto, los objetivos son los siguientes:

- **Objetivo general:**

Desarrollar el estudio geomecánico de la galería principal de transporte en las labores mineras de la empresa Landapo S.A concesión “Corvis” código 145, ubicada en el sector Vizcaya, cantón Zaruma, provincia De El Oro.

- **Objetivos específicos:**

- ✓ Caracterizar la geología de la zona de estudio superficial e interior mina a escala 1:1000.
- ✓ Determinar la calidad del macizo rocoso de la galería principal de transporte con base a la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR), Q de Barton y GSI.
- ✓ Proponer posibles medidas de sostenimiento en la galería principal.

## **4. Marco teórico**

### **4.1. Minería.**

Se define minería como la obtención de minerales u otros minerales, esta actividad ha permitido al ser humano la extracción subterránea o cielo abierto. La mina está conformada por el conjunto de excavaciones e instalaciones, subterráneas y superficiales, dedicadas a la extracción de minerales y rocas, y el minero es la persona que labora en ella (Sánchez, 2021).

“Hay diferentes tipos de actividad minera, atendiendo a la variedad de recursos naturales del planeta, así como de los distintos entornos geográficos en los que suelen disponerse” (Sánchez, 2021).

### **4.2. Topografía.**

“Comúnmente, la topografía se determina como una ciencia aplicada, delegada de determinar la posición relativa de punto sobre la Tierra y la representación en un plano de una parte de la superficie terrestre” (Rincón et ál, 2018, p. 2).

Generalmente, se define como la disciplina que engloba todos los métodos para reunir información de partes físicas de la tierra, tales como el relieve, los litorales, los cauces de corrientes hídricas entre otros, usando métodos clásicos de medición en terreno la fotogrametría y los sensores remotos (Rincón et ál, 2018, p. 2).

### **4.3. Macizo rocoso.**

El macizo rocoso es la forma en la que se presentan las rocas en el medio natural, definiéndose por la roca y la estructura, que a su vez contendrá planos de estratificación, fallas, juntas, pliegues y otros caracteres estructurales. Los macizos rocosos son por tanto discontinuos y pueden presentar propiedades heterogéneas y/o anisótropas (Oyanguren & Monge, 2004). Según (Ferrer & Gonzales, 2007) lo definen al Macizo rocoso como el conjunto de roca intacta y discontinuidades.

### **4.4. Geología Estructural.**

“La geología estructural es parte de la geología y engloba todo lo relacionado con las formas de yacencia, los procesos mecánicos, los movimientos y las deformaciones de las rocas en la corteza terrestre” (García, 1985, p. 1).

La Geología Estructural trata de la forma, distribución y estructura interna de las rocas, haciendo especial énfasis en los procesos que intervienen en su deformación tanto a pequeña como a mediana escala, mientras que la Tectónica trata de la arquitectura global de la Tierra, sobre todo de su parte superior. De alguna manera se puede decir que la Geología Estructural

trata de la descripción de las rocas y los procesos que tienen lugar en la corteza terrestre mientras que la Tectónica se ocupa de los procesos que ocurren en toda la litosfera (García, 1985, p. 1).

Las estructuras geológicas presentan características geométricas diferenciales y otros rasgos característicos de los que sobresalen: la forma, el tamaño, sus límites, sus relaciones, su orientación, el tipo de material, su distribución geográfica, etc. Las estructuras geológicas de acuerdo con su origen, y características se dividen en primarias y secundarias (Torres, 2015).

#### ***4.4.1. Estructura Primaria***

Estas se originan simultáneamente a la formación de las rocas como resultado de su depósito o su emplazamiento. Son peculiaridades singenéticas de las rocas por lo que las características que las diferencian están presentes antes de la deformación, estas estructuras primarias pueden formarse en rocas sedimentarias y en rocas ígneas (Torres, 2015).

#### ***4.4.2. Estructura Secundaria***

Posteriormente a su litificación las rocas adquieren estructuras, como respuesta a un estado de esfuerzo y por cambios en la temperatura, estos cambios son irreversibles y se expresan como deformación o metamorfismo. Las estructuras secundarias se pueden formar tanto en rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas (Torres, 2015).

### **4.5. Discontinuidades**

Maldonado (2018) las define como planos de debilidad que controlan, el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, debido a que, condicionan el mecanismo de deformación y rotura ante los esfuerzos. Es por ello que, las discontinuidades que acontecen en los macizos rocosos son planos de debilidad que pueden ser de origen mecánico o tectónico, sedimentario, enfriamiento de rocas y metamórfico, las discontinuidades independizan los bloques de matriz rocosa.

#### **4.6. Diaclasas**

“Las diaclasas son planos de fractura a favor del cual no se produce desplazamiento de los bloques que quedan a ambos lados de esta” (Geoxnet, 2019).

#### **4.7. Fallas**

Una falla es una fractura o zona de fracturas a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento relativo de los bloques paralelos a la fractura (Bates y Jackson, 1980).

Falla normal: Este tipo de fallas se generan por tensión horizontal, donde las fuerzas inducidas en la roca son perpendiculares al acimut de la falla (línea de ruptura superficial), y el movimiento es predominantemente vertical respecto al plano de falla, el cual típicamente tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal. El bloque que se encuentra por encima del

plano de la falla se denomina techo, y se desliza hacia abajo; mientras que el bloque que se encuentra por debajo del plano de la falla se denomina piso, y asciende (Bates y Jackson, 1980).

Falla inversa: Este tipo de fallas se genera por compresión horizontal, en el cual el movimiento es preferentemente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal. El bloque de techo se encuentra sobre el bloque de piso. Cuando las fallas inversas presentan un buzamiento (inclinación) inferior a 45°, éstas también toman el nombre de cabalgamiento (Bates y Jackson, 1980).

Falla de desgarre o de desplazamiento de rumbo: Estas fallas se desarrollan a lo largo de planos verticales y el movimiento de los bloques es horizontal, son típicas de límites transformantes de placas tectónicas. También conocidas como fallas transversales (Bates y Jackson, 1980).

#### **4.8. Propiedades mecánicas de las discontinuidades**

Los macizos rocosos naturalmente presentan un alto número de discontinuidades. Por ello si se quiere conocer y describir adecuadamente el comportamiento mecánico de los macizos rocosos resulta necesario analizar las propiedades mecánicas que las caracterizan y que influyen su comportamiento (Ramírez, 2004).

- Orientación, es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por su rumbo y buzamiento. Cuando un grupo de discontinuidades se presentan con similar orientación o en otras palabras son aproximadamente paralelas, se dice que éstas forman un “sistema” o una “familia” de discontinuidades. Es importante ver la actitud de los bloques y fracturas para efectos de estabilidad (Escobar, 2017).
- Espaciado, es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Éste determina el tamaño de los bloques de roca intacta. Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes (Ramírez, 2004).
- Persistencia. Es la longitud de la traza de una discontinuidad en un afloramiento (se trabaja estadísticamente y con criterios probabilísticos como el espaciamiento). Y mientras mayor persistencia exista será menos estable (Escobar, 2017).
- Rugosidad. es la aspereza o irregularidad de la superficie en la discontinuidad. Cuanto menor rugosidad posea una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y será más competente con mayor rugosidad (Ramírez, 2004).
- Resistencia de las paredes de la discontinuidad. Generalmente es la resistencia a la compresión confinada, debido a que ayuda a determinar la alteración de las paredes de la

discontinuidad. La resistencia aumenta con la presencia de dientes de roca en la discontinuidad (Escobar, 2017).

- Abertura. Es la distancia perpendicular entre las paredes de las distancias de las diaclasas cuando estas no contienen ningún tipo de relleno (sólo agua o aire). Hay diaclasas cerradas.
- Relleno. Apunta al material que se encuentra entre las paredes de la discontinuidad, por lo general son más blando que el macizo rocoso. Un parámetro en el material de relleno es su grado de cementación (Escobar, 2017).
- Flujo. Se refiere al agua presente en la discontinuidad que se encuentra libre o en movimiento. Se describe según su caudal y se debe considerar si el agua brota o no con presión (Escobar, 2017).

#### **4.9. Caracterización del macizo rocoso**

Para conocer la masa rocosa, hay necesidad de observar en el techo y las paredes de las labores mineras, las diferentes propiedades de las discontinuidades, para lo cual se debe primero lavar el techo y las paredes.

A partir de estas observaciones se podrán sacar conclusiones sobre las condiciones geomecánicas de la masa rocosa (Ramírez, 2004).

Para caracterizar un macizo rocoso donde se pretende insertar una excavación, se requiere conocer los parámetros básicos de la roca y de las discontinuidades, así como la estructura del macizo que incluye aspectos como el número de familias de discontinuidades existentes, el espaciado medio de los planos de discontinuidad, las características geomecánicas básicas de las discontinuidades, asimismo, será necesario medir o estimar el estado tensional in-situ y en su caso las alteraciones producidas en el macizo por otras excavaciones (Oyanguren & Monge, 2004).

#### **4.10. Clasificación geomecánica**

Actualmente las clasificaciones más usadas son:

- La de Bieniawski (RMR),
- La de Barton, (Q)
- La de Hoek-Brown (GSI).

#### **4.11. Clasificación de Bieniawski (1973, 1976, 1989)**

Esta clasificación tuvo sus inicios a partir de la experiencia en obras realizadas en África del Sur. Su aplicación casi no tiene limitaciones, excepto en rocas expansivas y fluyentes donde no es muy aceptable su uso (Oyanguren & Monge, 2004).

Este criterio de clasificación cuenta con los siguientes parámetros:

Resistencia a la compresión simple de la roca intacta, que puede ser determinada con golpes de picota o con otros procedimientos como los ensayos de laboratorio (Oyanguren & Monge, 2004).

El RQD (Rock Quality Designation) se determina usando los testigos de las perforaciones diamantinas. El RQD es el porcentaje de partes de testigos extraídos con una longitud mayor a 10 cm del taladro. El índice RQD puede obtenerse en afloramientos a partir de correlaciones empíricas si no existen testigos de perforación: (Oyanguren & Monge, 2004).

$$RQD = 115 - 3.3JV, \text{ si } JV > 4.5$$

$$RQD = 100; \text{ si } JV \leq 4.5$$

El espaciado de las juntas hace refiere a las discontinuidades estructurales: fallas, diaclasas, planos de estratificación, etc., y su espaciado o distancia entre los planos de discontinuidad. La resistencia del macizo rocoso se va reduciendo al aumentar el número de juntas (Oyanguren & Monge, 2004).

Naturaleza de las juntas. Para narrar el estado de las juntas se utilizan los siguientes parámetros (Oyanguren & Monge, 2004):

- Apertura entre los labios de la discontinuidad.
- Continuidad (dimensiones) de la junta según rumbo y buzamiento.
- Rugosidad de los labios.
- Resistencia de la roca en los labios de la discontinuidad.
- Relleno de la junta.

#### **4.12. Clasificación de Barton (1974).**

De acuerdo a Barton (1976) en la clasificación se catalogan los macizos rocosos según el denominado índice de calidad Q, basado en los 6 parámetros siguientes:

- **RQD** “Rock Quality Designation”.
- **Jn**: Número de familias juntas.
- **Jr**: Rugosidad de las juntas.
- **Ja**: Meteorización de las juntas.
- **Jw**: Coeficiente reductor que tiene en cuenta la presencia de agua.
- **SRF**: “Stress Reduction Factor”, factor dependiente principalmente de las tensiones existentes en el macizo rocoso.

El valor de los parámetros Jr y Ja depende también del relleno y del tamaño de las juntas. Mediante los parámetros indicados, se la describe en la siguiente formula:

$$Q = RQD Jn * Jr Ja * Jw SRF$$

En la cual cada cociente tiene su representación propia como es:

- $RQD/J_n$  = representa el tamaño de los bloques.
- $J_r/J_a$  = permite estimar la resistencia al corte entre bloques
- $J_w/SRF$  = indica el estado tensiones en el macizo rocoso.

#### **4.13. Clasificación GSI (Geological Strength Index).**

El GSI se basa en la observación del macizo rocoso y, es esencialmente cualitativa, además, considera dos parámetros: la condición de la estructura de la masa rocosa y la condición superficial de la misma (Ramírez, 2004).

La estructura de la masa rocosa toma en cuenta el grado de fracturamiento o la cantidad de fracturas (discontinuidades) por metro lineal, sus categorías consideradas se definen así (Ramírez, 2004):

- Masiva o Levemente Fracturada (LF)
- Moderadamente Fracturada (F)
- Muy Fracturada (MF)
- Intensamente Fracturada (IF)
- Triturada o brechada (T)

La condición superficial de la masa rocosa implica a la resistencia de la roca intacta y a las propiedades de las discontinuidades: resistencia, apertura, rugosidad, relleno y la meteorización o alteración. Sus categorías consideradas se definen así (Ramírez, 2004):

- Masa rocosa Muy Buena (MB)
- Masa rocosa Buena (B)
- Masa rocosa Regular ®
- Masa rocosa Mala (M)
- Masa rocosa Muy Mala (MM)

#### **4.14. Sostenimiento**

El sostenimiento en galerías debe permitir controlar y mantener la estabilidad de las excavaciones para la seguridad del personal a lo largo de la vida útil de dichas labores. La deformación de la estructura sostenida debe ser compatible con el tiempo, servicios y eficiente económicamente (Fonseca et., 2022).

##### **4.14.1. Pernos de Anclaje de Rocas.**

“El uso de pernos de anclaje permite al macizo rocoso sea autosoportarse, ya que, al ser parte del entorno, refuerzan la resistencia de la roca. Para la colocación de pernos de anclaje se debe revisar y clasificar los tipos de fracturas existentes en las labores” (SONAMI, 2016).

#### ***4.14.2. Mallas.***

“El sistema de pernos se debe utilizar con mallas metálicas en las galerías para prevenir accidentes por caídas de fracciones de rocas que puedan afectar al personal o a los equipos” (SONAMI, 2016).

#### ***4.14.3. Sistema de hormigón proyectado con malla y perno.***

“Cuando sea importante, para certificar la permanencia de labores subterráneas, se debe adicionar hormigón proyectado al sistema, pernos-malla” (SONAMI, 2016).

#### ***4.14.4. Entibado de madera***

Actualmente, la entibación de madera en galerías, es una alternativa económica; pese a su antigüedad y la competencia con una diversidad de elementos y materiales. La ventaja que tiene la madera sobre el concreto, es su bajo peso específico y costos, que constituye un parámetro fundamental para trabajar en minas (Toledo et., 1998).

## 5. Metodología

La presente investigación se fundamentó principalmente en el método científico el cual es planificado, desarrollado y operado tanto en el ámbito teórico como en el práctico, se buscó contabilizar, analizar y relacionar cada una de las variables geológicas y geomecánicas que se encuentren en la galería, se contó con una modalidad básica documental-bibliográfica y de campo.

### 5.1. Área de estudio

El área de estudio comprende la galería principal de transporte y su recorrido en superficie de 5 hectáreas mineras contiguas, la cual se encuentra en la concesión minera denominada Corvis, código 145, ubicada en el sector Vizcaya, cantón Zaruma, provincia de El Oro.

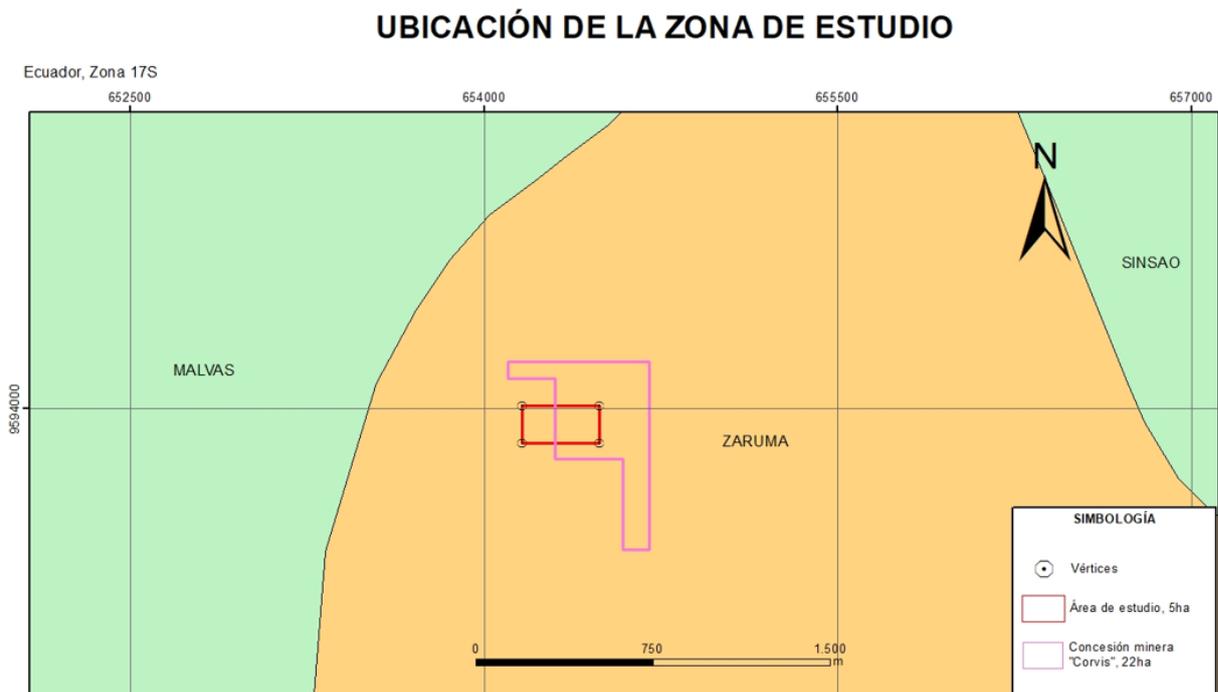
**Tabla 1.**

*Coordenadas del polígono*

Coordenadas del polígono del área de estudio UTM / PSAD/56		
PUNTO	X	Y
1	654163	9594014
2	654488	9594014
3	654488	9593854
4	654163	9593854

**Figura 1.**

*Ubicación de la zona de estudio*





### 5.3. Clima

De acuerdo al PDOT (2018) el cantón Zaruma se ubica en una zona con tres tipos de clima, cada uno con características y sus superficies que se menciona a continuación:

- Ecuatorial Mesotérmico Seco.
- Ecuatorial Mesotermico Semi-Húmedo.
- Ecuatorial de Alta Montaña.

(PDOT, 2018)

#### Tabla 2.

*Resumen del clima anual de Zaruma*

Temperatura máxima	Entre 18°C y 22°C
Temperatura nocturna	Entre 11°C y 13°C
Mes más cálido	22°C en octubre
Mes más frío	18°C en julio
Días secos	70 días
Días con lluvia	295 días
Lluvia promedio	1582 mm
Número de horas de sol	3324 horas

**Nota.** (PDOT, 2018)

### 5.4. Geomorfología y Relieve

La zona de estudio se encuentra en el cantón Zaruma el cual cuenta con una superficie total de 655 km<sup>2</sup>, presenta alturas sobre el nivel del mar que varían desde 600 m hasta un máximo de 3.800 m, localizado en las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes, formada por zonas altas cortadas abruptamente por valles profundos y encañonados (MAGAP, 2016).

De acuerdo SIG Tierras (2017), la zona de estudio se encuentra conformada por una geoforma, que se describe a continuación:

- *Vertiente heterogénea:* Ladera de perfil mixto o irregular, escasamente disectada

### **Figura 3.**

*Vertiente heterogénea*

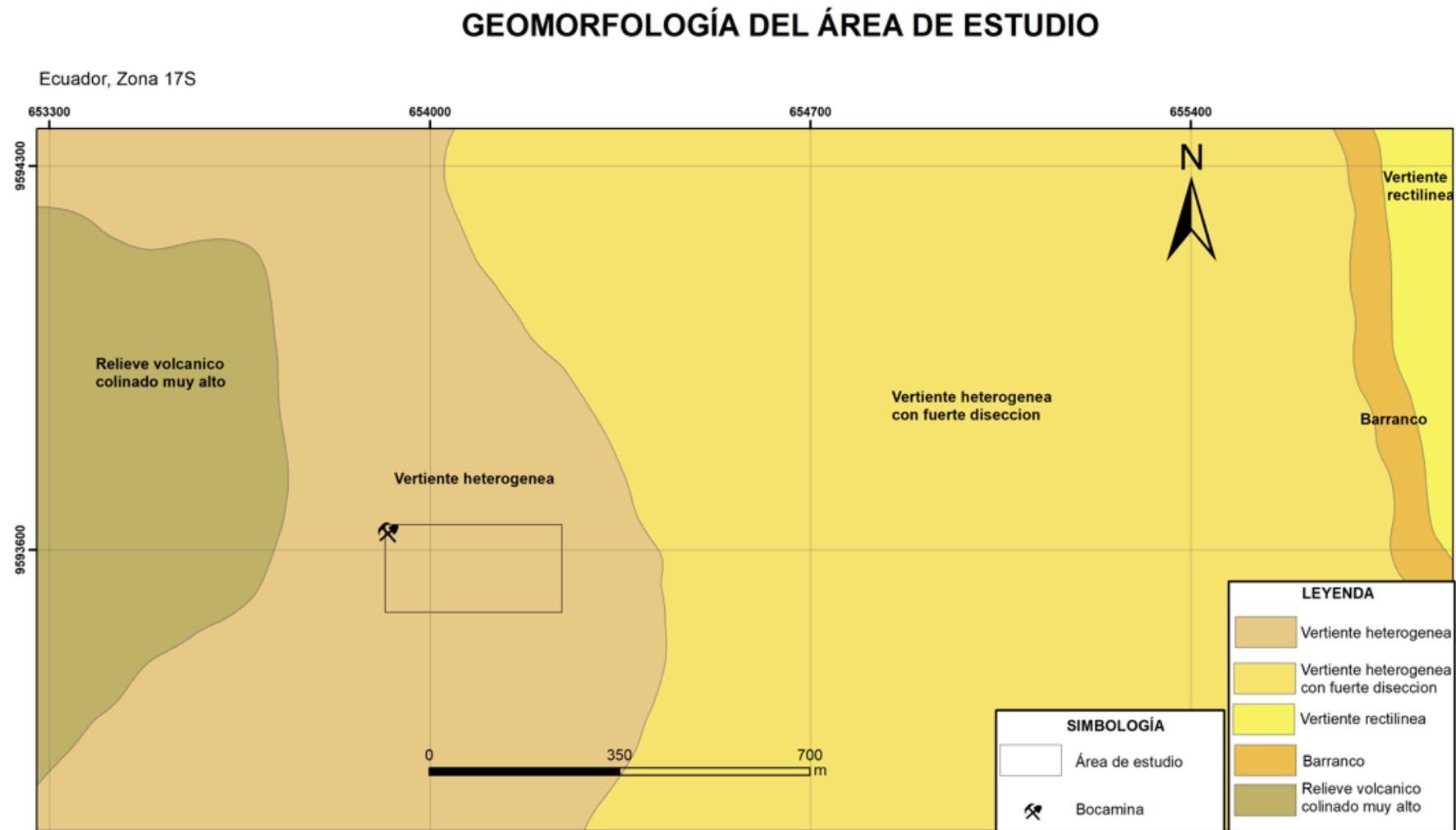


**Nota.** (PDOT, 2018)

Presenta laderas de perfil mixto o irregular, escasamente disectada. Presentan pendientes de medias a fuertes hasta fuertes (de 25 a 70%), desniveles relativos mayores a 100 metros y longitudes de vertiente de largas a muy largas. (SIGTIERRAS, 2017)

**Figura 4.**

*Geomorfología del área de estudio*



**Nota.** SIG Tierras (2017)

## **5.5. Hidrología**

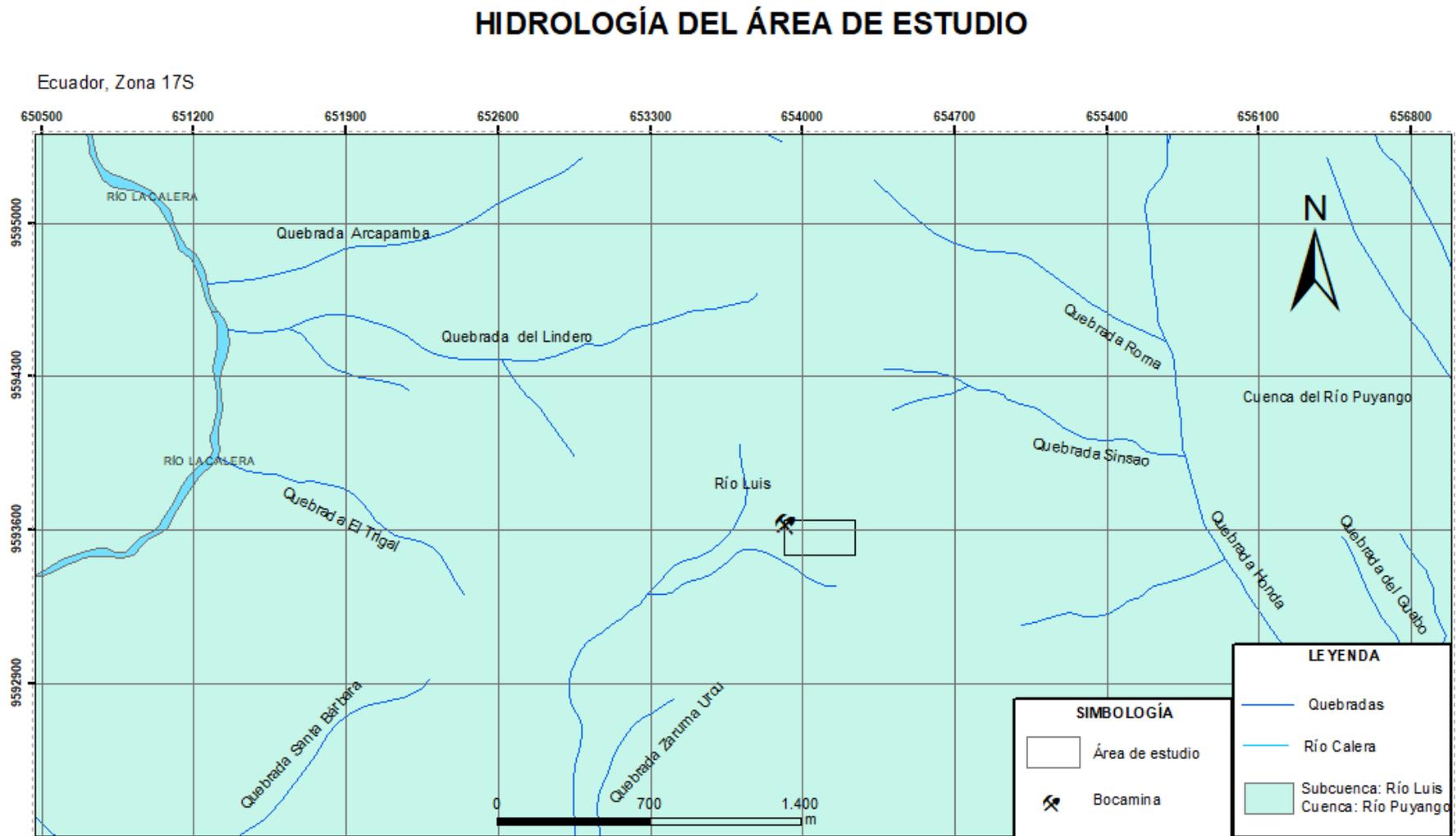
El cantón Zaruma está conformado por dos Unidades Hidrográficas (U.H. 1392, U.H. 1394), y 7 subcuencas distribuidas a lo largo del territorio: ríos Uchucay, Ganacay, Chillayacu y drenajes menores que pertenecen a la cuenca del río Jubones y las subcuencas de los ríos Calera, Amarillo y Luis que pertenecen a la cuenca del río Puyango.

La cuenca del río Puyango está conformado por terrenos montañosos que registra altitudes desde los 3.500 m.s.n.m., y sus cuatro afluentes principales: el río Calera, el río Amarillo, el río Luis y el río Ambocas que dan origen y forman el río Pindo.

La zona de estudio (Ver Figura 5) se ubica dentro de la subcuenca del Río Luis y la cuenca del Río Puyango, donde se encuentra el Río Calera y varias quebradas sin nombre que se aproximan al área de estudio.

**Figura 5.**

*Hidrología del área de estudio*



**Nota.** (MAATE, 2016)

## 5.6. Geología Regional

La zona de estudio se encuentra ubicada dentro del distrito minero Zaruma-Portovelo, la misma que es producto de la actividad hidrotermal que se produjo hace millones de años, dando lugar a grandes estructuras geológicas donde se pueden encontrar múltiples yacimientos auríferos en forma de vetas. A nivel regional el área se encuentra ubicada al sur-oriental del país, en una zona de transición entre los Andes nórdicos y los Andes centrales.

Según Vikentyev, I. (2005) las vetas mineralizadas de tipo epitermal pertenecientes al distrito Zaruma-Portovelo se encuentran asociadas al magmatismo de arco continental del Mioceno Temprano, este distrito presenta un bloque tectónico, de 7 km de ancho, con límites de fallas con tendencia NO. El bloque está compuesto de andesitas y tobas relacionadas con las series: Muluncay, Portovelo y Faique.

Unidad Portovelo se halla sobreyaciendo a las rocas del Complejo Metamórfico El Oro en contacto fallado con la falla Piñas-Portovelo, se encuentra aflorando entre los poblados de Zaruma, Arcapamba, Malvas y Huertas. La edad de la unidad Portovelo oscila entre los 28,4 a 21,5 M.a. (Dunkley y Gaibor, 1997 en Bonilla, 2009), está relacionada a una actividad magmática plutónica y volcánico efusivo calco alcalino terciaria representada por la presencia de mantos de lavas basalto-andesíticas con texturas afaníticas y porfiríticas, tobas dacíticas y andesíticas y tobas ash flow con intercalaciones sedimentarias. (Pratt et al, 1997 en Bonilla, 2009). De E a W, esta unidad está comprendida por 3 series: Muluncay, Portovelo y Faique (Billingsley, 1926 en Bonilla, 2009).

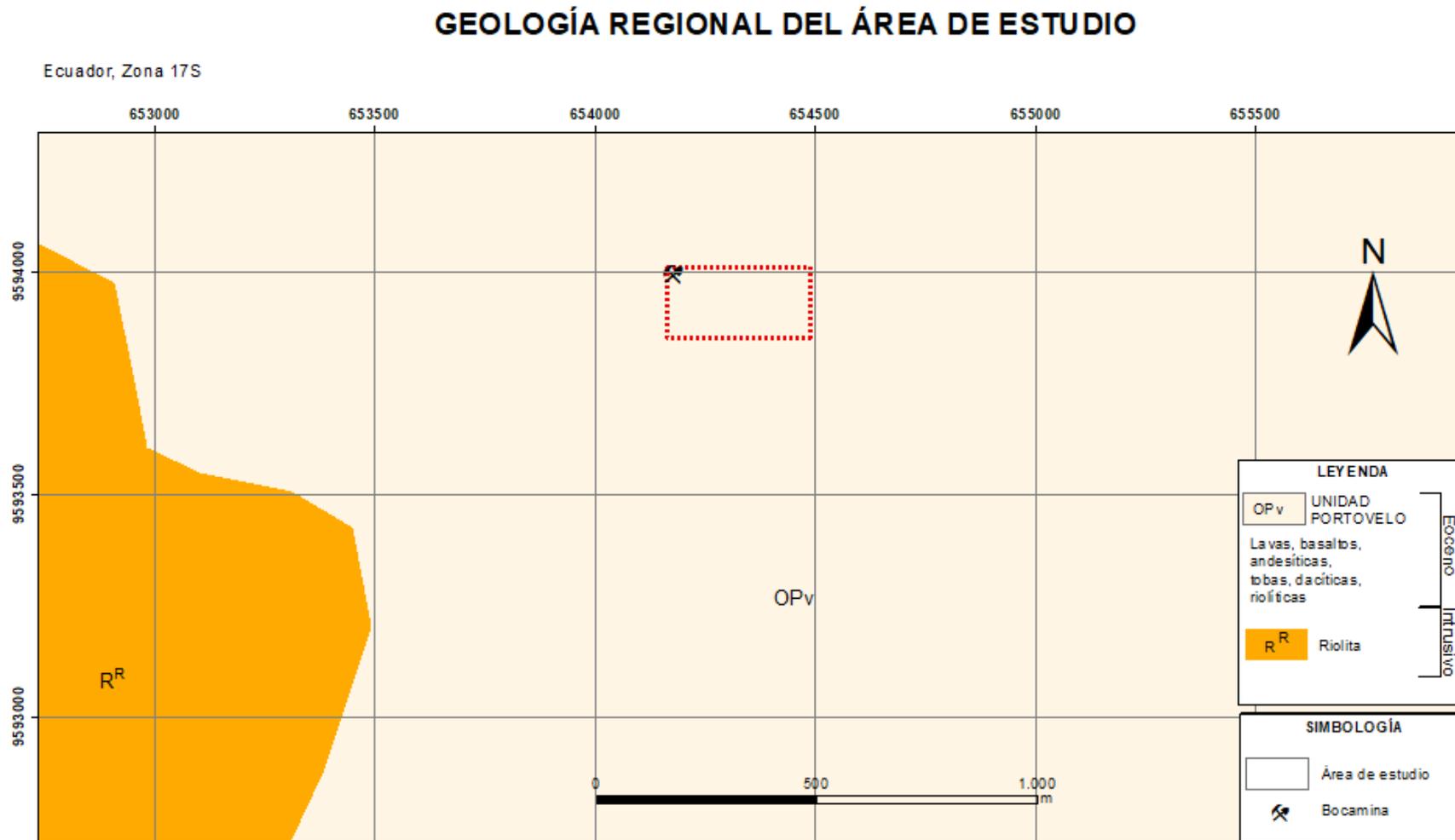
La serie Muluncay está conformado principalmente por piroclastos, consta de tobas, lavas de composición andesítica, brechas volcánicas e ignimbritas y es considerada como la base de la serie Portovelo.

La serie Portovelo está constituida por lavas andesíticas, basalto andesíticas y todas de composición intermedias, las cuales han sido arrojadas al sur occidente e introducidas por una serie compleja de magmas (andesitas Portovelo).

La Serie Faique sobreyace a la serie Portovelo, está localizada al oeste de la secuencia volcánica, su composición es similar a la serie Muluncay; se diferencia por poseer cuerpos intrusivos subvolcánicos dioríticos, granodioríticos y riolíticos aflorantes entre Zaruma y Portovelo.

**Figura 6.**

*Mapa Geológico Regional*



**Nota.** (Hoja Geológica de Zaruma, 2017)

### 5.7. Geología Estructural.

El distrito minero Portovelo- Zaruma se encuentra dividido por grandes bloques estructurales separados por fallas que se encuentran en dirección Noroeste – Sureste, donde se destaca la Falla Puentes Buza Palestina y Falla Piñas Portovelo que son fallas de segundo orden (Van Thournout, 1996).

Las Fallas de tercer orden tienen extensión de 10 km hasta 20 km entre ellas están las fallas Cerro Azul y Salvias- Guanazán; fallas Gañarín, La Tigra, Chilla y Chinchilla; fallas Atahualpa y El Ari-Salvias las cuales cortan litologías de la Unidad Portovelo; falla Puentes Buza Palestina y la falla Paccha (Van Thournout, 1996)

En el sistema de fracturas a lo largo del cual se alojó la mineralización fue intervenido por movimientos sintectónicos y epitéctonicos (Van Thournout, 1996).

### 5.8. Mineralización

El área minera Portovelo – Zaruma es un yacimiento polimetálico, filoneano o vetiforme de origen hidrotermal, formado por el relleno de fracturas. (Van Thournout, 1996)

Las vetas por lo general buzaban hacia el este en promedio el buzamiento de las vetas es de 60° sin embargo existen vetas prácticamente verticales o con buzamientos de menor ángulo, con potencias variables desde pocos centímetros hasta metros (Van Thournout, 1996).

### 5.9. Datos Generales

**Tabla 3.**

*Datos generales de la zona de estudio*

<b>Labores de la empresa LANDAPO S.A</b>	
<b>Mina</b>	Vizcaya
<b>Concesión</b>	Corvis
<b>Código</b>	145
<b>Jefe de mina</b>	Ing. Iván Oscullo
<b>Régimen</b>	Pequeña minería
<b>Fase</b>	Exploración - Explotación
<b>Mineral</b>	Metálico
<b>Método Explotación</b>	Subterráneo
<b>Provincia</b>	El Oro
<b>Cantón</b>	Zaruma
<b>Parroquia</b>	Vizcaya
<b>Superficie de la concesión</b>	22.26 ha

## 5.10. Materiales

Entre los materiales y equipos necesarios para el desarrollo del trabajo de investigación tenemos:

**Tabla 4.**

*Materiales*

<b>Instrumentos de campo</b>	
• Casco	• Libreta de campo
• Chaleco	• Lápiz, marcador permanente
• Libreta de campo	• Fundas transparentes (Ziploc)
• Botas de caucho	• Peineta
• Mapa geológico preliminar	• Ácido Clorhídrico
• Tablero plástico	<b>Equipos de gabinete</b>
• Martillo geológico	• Computadora
• Tablero plástico	<b>Geoprocesamiento</b>
• Martillo geológico	• Microsoft Office.
• Cámara fotográfica	• Software AutoCAD 2018.
• Fichas de campo	• Software ArcGIS 10.4.1
• Cinta métrica.	• Undwedge
• Brújula	
• GPS	

## 5.11. Procedimiento

Previo a la fase de campo se realizó la recopilación bibliográfica primaria y secundaria preexistente de la zona de estudio. Información geológica (mapas o documentos confiables), información topográfica (mapas, archivos shapefiles) tomados del Geoportal IGM.

- *Fase de campo.*

La investigación de campo se basó en la recopilación de datos cuali-cuantitativos de fuentes primarias, se procedió al reconocimiento de la zona estudio, mediciones, ensayo uniaxial, calcatas, descripción de las estructuras presentes en la galería del proyecto minero, recolección de muestras superficial e interior mina, todo esto para satisfacer los propósitos específicos planteados para cada uno de los objetivos donde se busca obtener el índice de calidad del macizo rocoso.

- *Fase de laboratorio.*

En esta fase las muestras recolectadas fueron llevadas al laboratorio para aplicarle los respectivos ensayos pertinentes bajo norma.

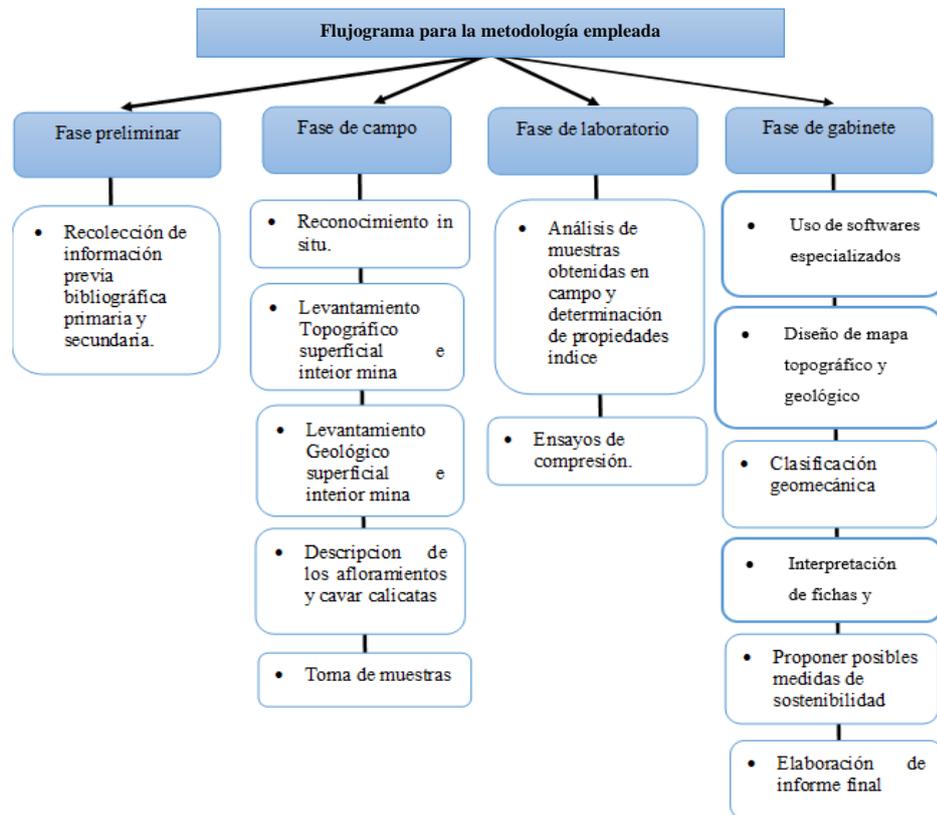
- *Fase de escritorio.*

En esta fase se realizó un análisis de los datos de campo y laboratorio, se los procesó con el uso de los Softwares específicos. Se diseñó los mapas temáticos como son el mapa topográfico

y geológico, junto con esto se realizó la clasificación geomecánica para obtener propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso, y se propuso las posibles medidas estabilizadoras.

**Figura 7**

*Flujograma de metodología.*



### 5.12. Primer objetivo

“Caracterizar la geología de la zona de estudio superficial e interior mina a escala 1:1000.”

- Información base:
- ✓ Carta topográfica de Zaruma-20231115T161238Z-001

#### **Levantamiento topográfico:**

Para el trabajo de campo se procedió a realizar visitas técnicas a la zona de estudio, el levantamiento topográfico superficial detallado se ejecutó mediante estación total (Trimble c5) y se optó por el método de “poligonal cerrada” el cual consistió en realizar un polígono que contiene la zona de estudio a levantar, dicha zona abarca el recorrido de la galería principal de transporte en superficie de 5 ha, donde los puntos control se encuentran en las coordenadas PSAD/56 644170.65 - 9594012.07 y 654184.01 – 9593997.40

Se procedió a tomar los puntos necesarios para una mayor precisión de las curvas de nivel y tener una información más detallada de la superficie de la zona de estudio, además se procedió a tomar los puntos de las infraestructuras existentes en el área.

**Figura 8.**

*Levantamiento topográfico superficial*



Para la topografía subterránea así mismo se usó estación total (Trimble c5) con el método de radiaciones donde se asignan las coordenadas previamente cargadas a la estación, se orienta el instrumento acimutalmente y se mide la altura del aparato y del reflector, registrándose estos datos en la memoria del instrumento, donde los puntos de control se encuentran en las coordenadas PSAD/56 644170.65 - 9594012.07 y 654184.01 – 9593997.40, el levantamiento se realizó recorriendo los 400m de galería principal de transporte tomando los puntos necesarios para su trazado.

**Figura 9.**

*Levantamiento topográfico subterráneo*



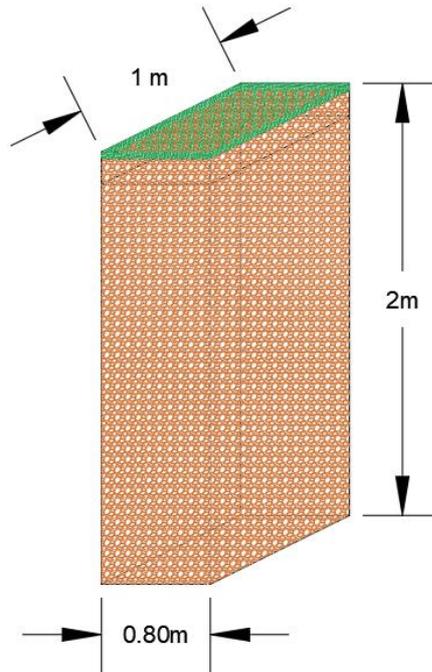
**Levantamiento de la geología local:**

✓ **Geología superficial:**

Para la geología superficial debido a que no existen afloramientos en la zona de estudio, se procedió a realizar 4 calicatas en puntos específicos, con las siguientes dimensiones:

**Figura 10.**

*Dimensiones de la calicata*



Las calicatas se realizaron en la siguiente ubicación:

**Tabla 5.**

*Ubicación de las calicatas*

<b>UBICACIÓN CALICATAS</b>			
<b>UTM/PSAD/56</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>1</b>	654273	9594003	1363
<b>2</b>	654430	9593995	1431
<b>3</b>	654440	9593888	1425
<b>4</b>	654239	9593885	1361

Las calicatas se efectuaron de manera manual como se observa en las siguientes imágenes:

**Figura 11.**

*Excavación de calicatas*



**Tabla 6.**

*Ficha de descripción de calicatas*

 <b>CALICATAS</b>		
Código	Coordenadas PSAD/56	
Dimensiones		
Profundidad		
Tipo de cobertura		
Color		
Tipo de material		
Observaciones		

✓ **Geología interior mina**

En esta etapa se realizó la descripción litológica total de los 400 metros de galería principal, donde se precisaron puntos de muestreo cada 10 metros dando un total de 40 muestras, en donde se tomaron las 10 muestras más representativas para su posterior análisis en laboratorio, para la extracción de dichas muestras se aplicó la norma UNE-EN 13755 teniendo en cuenta el color, textura, estructura y granulometría, además se determinó sus características índices como son: Contenido de humedad, porosidad eficaz, peso específico aparente, peso específico real, porosidad, porosidad cerrada, coeficiente de absorción, compacidad módulo de saturación.

**Tabla 7.***Ubicación de las muestras más representativas para su análisis en laboratorio*

<b>CODIGO</b>	<b>UBICACIÓN DE LA MUESTRA(m)</b>
M1	0050
M2	0070
M3	0090
M4	0120
M5	0160
M6	0200
M7	0260
M8	0290
M9	0340
M10	0390

**Tabla 8.***Ficha para descripción de muestras de roca*

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>	
Código	Ubicación
Tipo de roca	
Color	
Textura	
Estructura	
Granulometría	
Observaciones	

**Figura 12.**

*Análisis de laboratorio*



Una vez obtenido los datos levantados en campo, tanto superficial como subterráneo del área de estudio, se procedió a elaborar los mapas:

El mapa topográfico superficial procesado en AutoCAD, se lo convierte en formato dwg, para trabajarlo en el software ArcGIS, se colocan colores y tramados, posteriormente, se

elaboran los elementos del mapa (leyenda, escalas, cajetín, ubicación). Se realiza el mismo proceso con el topográfico subterráneo.

Para el mapa geológico superficial y subterránea sobre la base del mapa topográfico respectivamente, se emplaza la información obtenida de las calicatas, y se determina la geología, se ubican los colores y tramados y finalmente se colocan los elementos del mapa.

Cabe mencionar que los mapas topográficos y geológicos se trabajan a escala 1:1000 con Datum UTM/PSAD 56/17S.

Para garantizar una correcta representación de tramados, colores y símbolos en el mapa geológico, se utilizó los estándares establecidos por el Instituto de Investigación Geológico Energético en 2019.

### 5.13. Segundo objetivo

“Determinar la calidad del macizo rocoso de la galería principal de transporte con base a la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR), Q de Barton y GSI.”

Se procedió a dividir los 400 m de galería en 7 tramos los cuales se encuentran en el siguiente metraje:

**Tabla 9.**

*Ubicación de muestras*

Numero de tramo	Ubicación (m)
1	00 a 030
2	030 a 0080
3	080 a 0130
4	0130 a 0220
5	0220 a 0300
6	0300 a 0340
7	0340 a 0400

✓ **Resistencia a la compresión simple.**

Para este ensayo se aplicó la norma (UNE EN 1926:2007 Método de ensayo para piedra natural. Determinación de la resistencia a la compresión uniaxial).

Elementos considerados en este ensayo:

- ✓ **Dispositivo de carga:** Se utilizó una máquina con la capacidad de aplicar y medir la carga axial, de modo que se dé la ruptura de la muestra.
- ✓ **Elementos de contacto:** Serán dos placas de acero y con forma de disco.
- ✓ **Características consideradas en las muestras a ensayar (muestra cilíndrica):**
  - Relación altura/diámetro de 2.5.
  - Diámetro, superior a 10 veces el tamaño del mayor grano (no inferior a 50 mm)

- La elaboración de las probetas se hizo mediante perforación, corte y torneado.
- La superficie de las probetas es lisa y sus bases paralelas y planas
- Humedad, se debe tratar de conservar las condiciones de humedad “in situ”.

Para este ensayo se tomaron un total de 3 muestras a las cuales se les extrajo una probeta la misma fue ensayada en el laboratorio de mecánica de rocas de la Universidad Nacional de Loja.

**Tabla 10.**

*Ubicación de las muestras para compresión simple*

Muestra	Ubicación (m)
M-01	0102
M-02	0245
M-03	0370

**Figura 13.**

*Muestras para ensayo de compresión simple*



✓ **(RQD) Método de la regleta:**

Este método se realizó en campo, y proporciona una evaluación de la solidez de la roca este método es relativamente fácil y consiste en colocar y medir con una regla de 2.0 metros de longitud en varias direcciones, se busca aplicar estas mediciones en macizos de roca con la menor alteración posible, es importante no considerar las fracturas frescas creadas con las voladuras o por las concentraciones de esfuerzos. (Suárez, s.f.)

**Figura 14.**

*Regleta de madera*



**Figura 15.**

*Toma de mediciones en campo (RQD)*



Una vez obtenidas las medidas se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{\sum \text{Discontinuidades}}{200} * 100$$

Con el resultado se clasificó el macizo desde muy bueno a muy malo como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 11.**

*Calidad de la roca*

<b>Calidad del macizo rocoso</b>	
<b>Muy buena</b>	90-100
<b>Buena</b>	75-90
<b>Regular</b>	50-75
<b>Mala</b>	25-50
<b>Muy Mala</b>	0-25

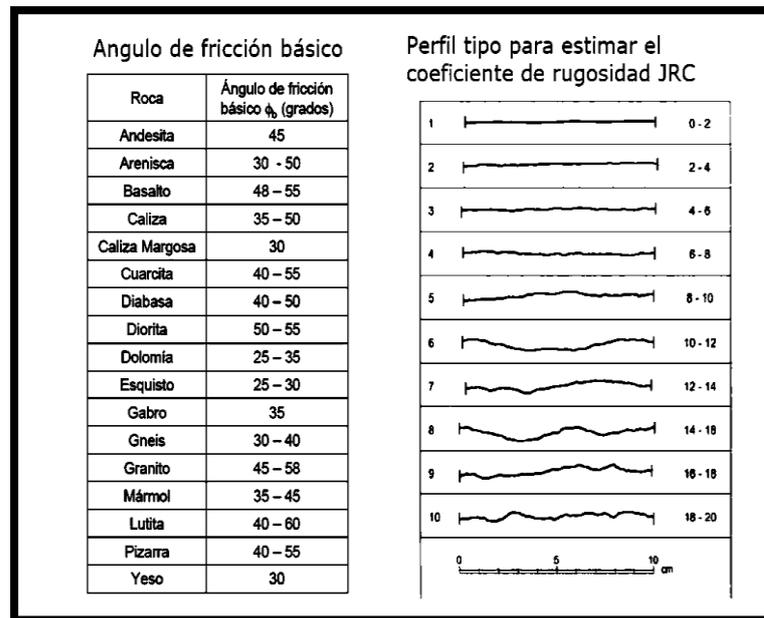
**Nota.** (Suárez, s.f.)

✓ **JRC:**

Este método se ejecutó en campo para hacer referencia a la ondulación de las superficies de discontinuidad como son las irregularidades o rugosidades presentes en la galería, obteniendo un valor numérico que va de 0 a 20 empleando la siguiente tabla.

**Figura 16.**

*Diagrama para determinar JRC y los perfiles de rugosidad.*



**Nota.** (Vallejo, 2002)

- **RMR.**

Para la valoración geomecánica de la galería principal de transporte, se tomó áreas de  $1\text{m}^2$  en zonas representativas, lo cual sirvió para caracterizar las condiciones geomecánicas como discontinuidades, presencia de agua, separación, relleno, espaciado y condiciones de las juntas. Para la caracterización geomecánica en campo se utilizó la siguiente ficha técnica:



**Figura 17.**

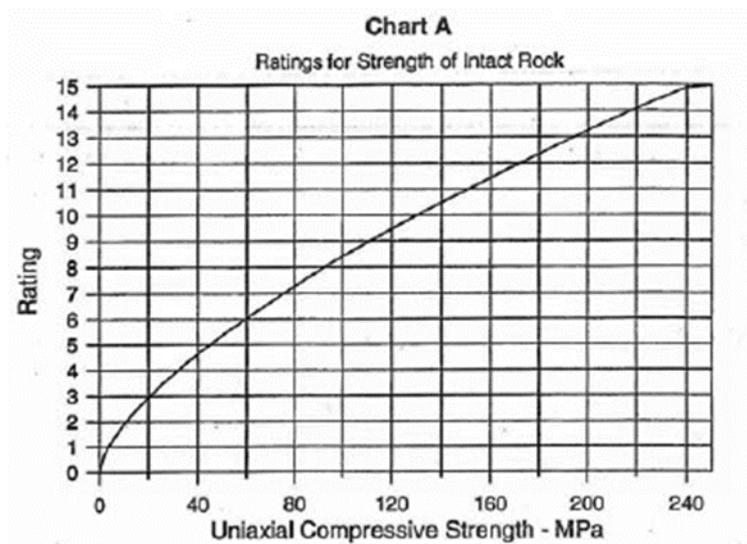
*Toma de datos en campo (Rumbo y Buzamiento)*



Con los resultados obtenidos en campo se calculó el índice RMR, la tabla y gráficas que se utilizaron se presentan a continuación:

**Gráfico 1.**

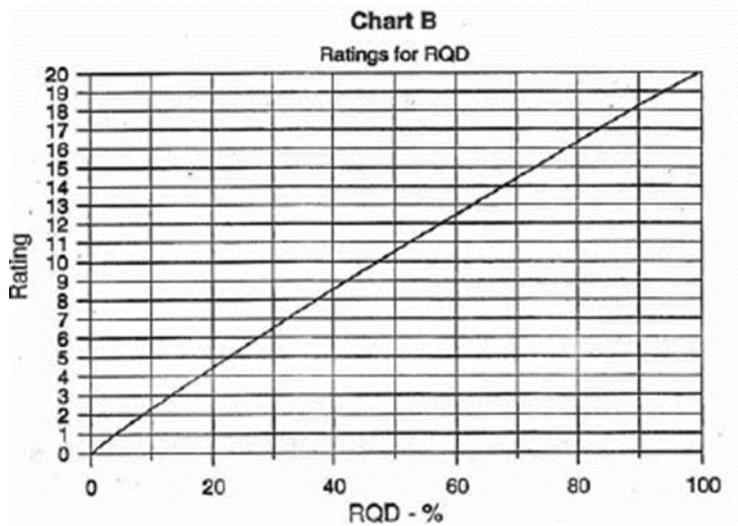
*Gráfico A*



**Nota.** (Celada et al., 2014)

**Gráfico 2.**

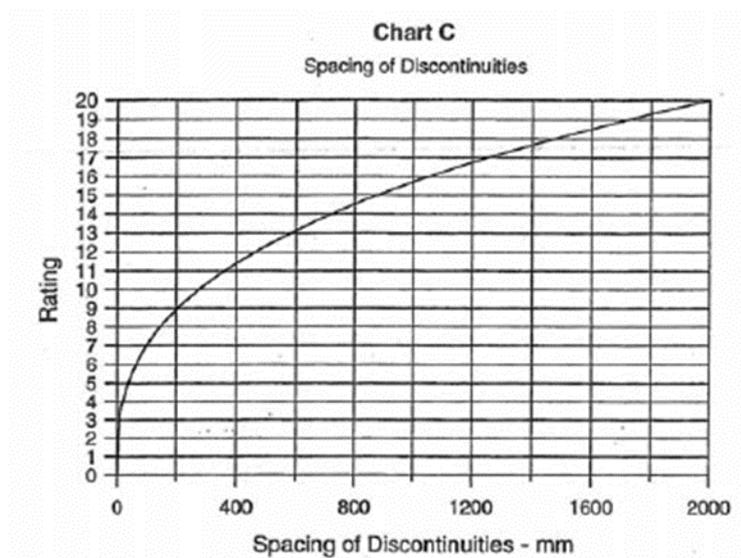
*Gráfico B*



**Nota.** (Celada et al., 2014)

**Gráfico 3.**

*Gráfico C*



**Nota.** (Celada et al., 2014)

**Tabla 13.***Clasificación para el RMR de Bieniawski*

<b>Discontinuities Condition</b>					
Continuity	<1 m		1-3 m	3-10 m	> 10 m
	5		4	2	0
Roughness	Very rough		Rough	Smooth	Slickensided
	5		3	1	0
Gouge infiling	Hard			Soft	
	< 5 mm		> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
	5		2	2	0
Weathering	Unweathered		Moderately	Highly	Descomposed
	5		3	1	0
<b>Presence of water</b>					
Ground state	Dry	Slightly wet	wet	Dripping	Water flow
Assessment	15	10	7	4	0
<b>Alterability</b>					
<b>Alterability Id2 (%)</b>					
>85	60-85		30-60		<30
10	8		4		0

**Nota.** (Celada et al., 2014)

Con la información de la tabla se empleó la siguiente fórmula:

$$RMR = 1+2+3+4+5.$$

- 1= Resistencia de la roca intacta.
- 2= Número de discontinuidades.
- 3= Condición de discontinuidades.
- 4= Presencia de agua.
- 5= Alterabilidad.

De acuerdo a la puntuación obtenida mediante la tabla, se asigna una clase y una categoría de calidad de acuerdo a los datos obtenidos:

**Tabla 14.***Clasificación RMR de Bieniawski*

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20

**Nota.** (Celada et al., 2014)

Se realizó las correcciones por orientación de las discontinuidades, para determinar así el RMR corregido en la siguiente tabla:

**Tabla 15.**

*Corrección para el RMR de Bieniawski*

PERPENDICULAR AL EJE DEL TÚNEL				Paralela al eje del túnel		Independientemente del buzamiento 0°-20°
Conducción con inclinación		Conducción contra inclinación		Buzamiento	Buzamiento	
Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	
45-60	20-45	45-90	20-45	45-90	20-45	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Medio
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

**Nota.** (Celada et al., 2014)

- **GSI**

El valor del índice GSI se calculó a través de la estimación directa de la clasificación de Bieniawski, haciendo referencia a la estructura y composición de las rocas, evaluando el tamaño y la disposición, además de las características de las discontinuidades.

Se considero las relaciones con el RMR de zonas representativas en la galería, donde se aplica que si el Si  $RMR > 23$  se puede usar la fórmula que se plantea a continuación y la tabla 17, mientras que, si  $RMR < 23$  entonces se usara la tabla 19.

$$GSI = RMR - 5$$

(Álvarez, 2020)

**Tabla 16.**

*Calidad del macizo rocoso según el GSI.*

CALIDAD	
<b>Macizos de calidad Muy Mala</b>	$(0 \leq GSI \leq 20)$
<b>Macizos de calidad Mala</b>	$(20 < GSI \leq 40)$
<b>Macizos de calidad Regular</b>	$(40 < GSI \leq 60)$
<b>Macizos de calidad Buena</b>	$(60 < GSI \leq 80)$
<b>Macizos de calidad Muy Buena</b>	$(80 < GSI \leq 100)$

**Nota.** (Álvarez, 2020)

Los parámetros que tomaran en cuenta para esta clasificación será el estado de fracturamiento y la calidad de las discontinuidades:



calculado para el RMR, se tomó en cuenta los datos obtenidos en el campo como son: número de juntas, índice de rugosidad de las juntas, índice de alteración, factor de reducción por presencia de agua y el factor de reducción de esfuerzos, en la siguiente tabla se detalla su descripción y su valor con las que se realizara la clasificación de Barton:

**Tabla 18.**

*Clasificación geomecánica de Barton*

<b>CLASIFICACIÓN GEOMECAÁNICA DE BARTON (ÍNDICE Q)</b>	
Código:	
<b>Parámetro</b>	<b>Valoración</b>
RQD	
Número de familias de juntas (Jn)	
Índice de rugosidad de las Juntas (Jr)	
Factor de alteración de las Juntas (Ja)	
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)	
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)	
$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$	
Valor del Índice Q	

**Nota.** (Vallejo, 2002)

**Tabla 19.**

*Clasificación según el índice de calidad del macizo rocoso Q*

Tipo de macizo rocoso	Valor de Q
Excepcionalmente malo	10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-2</sup>
Extremadamente malo	10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>-1</sup>
Muy malo	10 <sup>-1</sup> a 1
Malo	1 - 4
Medio	4 - 10
Bueno	10 - 40
Muy bueno	40 - 100
Extremadamente bueno	100 - 400
Excepcionalmente bueno	400 - 1000

**Nota.** (Vallejo, 2002)

Con los datos provenientes de las anteriores metodologías podremos determinar y analizar la calidad de la roca que conforma la galería principal de transporte.

#### **5.14. Tercer objetivo**

“Proponer posibles medidas de sostenimiento en la galería principal de transporte”

El sostenimiento en las obras subterráneas debe permitir controlar y mantener la estabilidad de las excavaciones para la seguridad del personal a lo largo de la vida útil de las labores es por eso que una vez obtenida la clasificación geomecánica Q de Barton y Bieniawski de la galería principal, se podrá sectorizar la galería dándole prioridad a las zonas más inestables, donde se seleccionará las medidas de sostenimiento más apropiados con la finalidad de evitar o reducir los accidentes por caída de rocas.

#### **Sostenimiento por Q de Barton**

Para determinar la longitud y espaciamiento de los bulones se empleó las siguientes ecuaciones:

- Longitud

$$L = 2 + \frac{0.15 B}{ESR}$$

B: Vano

ESR: Categoría de excavación

(Hoek, 2006)

- Espaciamiento

$$\text{Maximum span (unsupported)} = 2 ESR Q^{0.4}$$

ESR: Categoría de excavación

Q: Valor obtenido de Q de Barton

(Hoek, 2006)

#### **Sostenimiento por RMR**

Primeramente, se realizó un ajuste de RMR para minería como lo indica la siguiente ecuación:

$$RMR \text{ AJUSTADO} = RMR \times \frac{Ab \times As \times S}{0.5}$$

Ajuste por Voladuras (Ab): 0.8 a - 1.0

Ajuste por Esfuerzos In-Situ o Cambios de Esfuerzos (AS): 0.6 a -1.2

Estructuras Mayores o Fracturas (S): 0.7 a -1.0

(Gavilanes y Andrade, 2004)

Posteriormente, se aplicarán las siguientes ecuaciones para determinar el sostenimiento según RMR:

- Longitud de bulones

$$Lb = (Span * 3.6)^{\frac{52}{RMR+25}} - 2.5$$

Span= Ancho de la excavación.

(Lowson y Bieniawski, 2013)

- Espaciado entre bulones

$$Sb = 0.5 \text{ m} + 2.5 \text{ m} \frac{RMR-20}{65} ; \text{ Si } 20 < RMR \leq 85$$

$$Sb = 0.25 \text{ m} + \frac{(RMR-10)^{1.5}}{140} \text{ m} ; \text{ Si } 10 < RMR \leq 20$$

$$Sb = 0.25 \text{ m} ; \text{ Si } RMR \leq 10$$

(Lowson y Bieniawski, 2013)

## 6. Resultados

### 6.1. Resultados para el primer objetivo “Caracterizar la geología de la zona de estudio superficial e interior mina a escala 1:1000”

#### 6.1.1. Topografía

- **Topografía superficial**

La zona de estudio conformada por 5 (ha) mineras contiguas pertenecientes a la concesión Corvis código 145, compuesta por una topografía irregular con cotas que van desde la más baja ubicada al Nor-oeste con 1325 m.s.n.m, y la más alta ubicada al Nor-este con 1460 m.s.n.m del área de estudio.

Dentro del conjunto de infraestructuras presentes en el polígono de trabajo encontramos, a la izquierda de la boca mina la caja de breaker del transformador eléctrico, además se observa una estructura de dos pisos, donde funcionan una bodega y la oficina administrativa, continuando en esa dirección se encuentra el área destinada al almacenamiento de combustible y área de compresores. Hacia el lado derecho de la boca de la mina, está ubicado el taller mecánico, seguido del área de cocina y comedor. En la zona suroeste del polígono se encuentra el área de habitaciones y baños destinados al personal de la mina.

#### **Figura 18.**

#### *Infraestructura superficial*



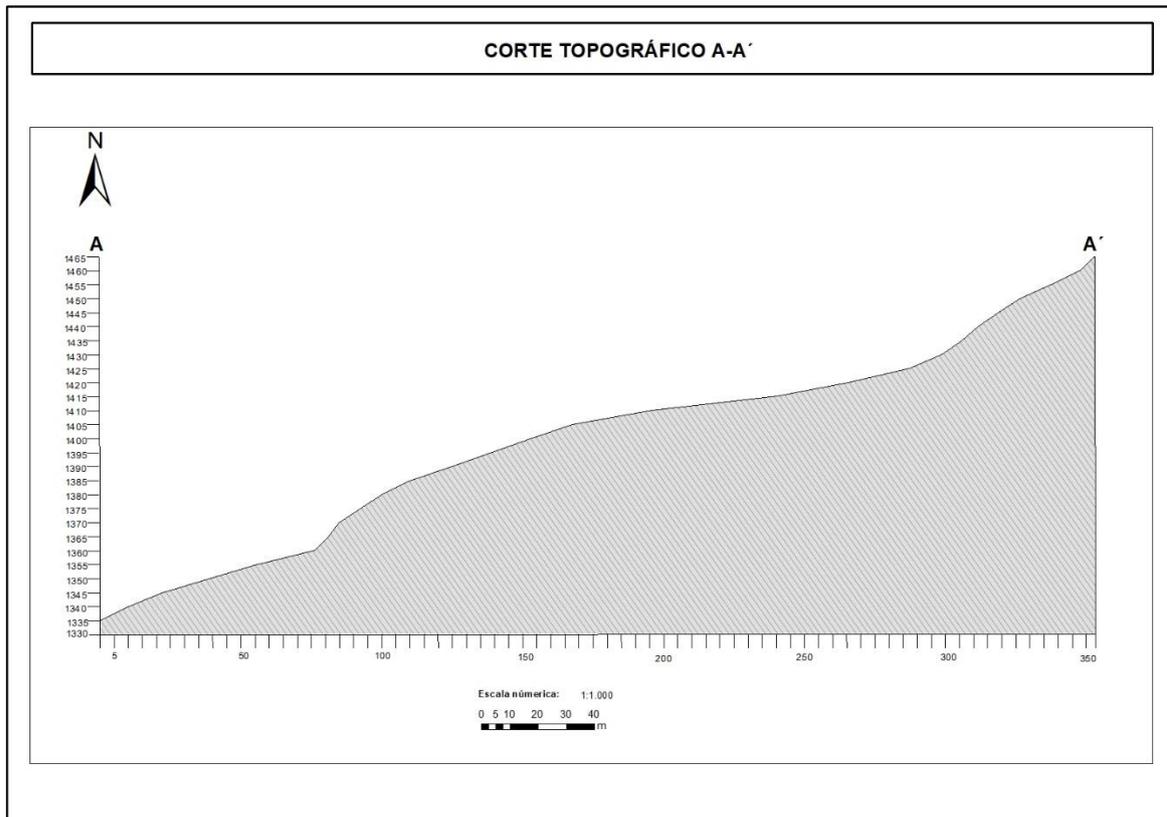
**Tabla 20.***Infraestructuras superficiales*

<b>Infraestructura</b>	<b>Dimensión (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Descripción</b>
<b>Cuarto de breaker del transformador</b>	7.88	Aquí se encuentran los interruptores para controlar y distribuir la energía.
<b>Oficinas y cuarto de máquinas (2 pisos)</b>	45.58	En el piso inferior se encuentra una bodega y en el piso superior funciona la oficina administrativa.
<b>Área de combustibles</b>	22.40	Se almacena combustible para generadores y motovolquetes
<b>Área de compresores</b>	29.49	Se cuenta generador eléctrico a base de diésel, con un compresor eléctrico de aire
<b>Mecánica</b>	12.48	Aquí se encuentran equipos para mantenimiento de maquinaria, como son soldadoras y mecánica básica.
<b>Cocina</b>	17.85	Aquí se preparan alimentos para personal de la mina
<b>Comedor</b>	35.17	Espacio para la alimentación
<b>Habitaciones 1</b>	64.05	Espacio diseñado para alojamiento del personal de mina
<b>Habitaciones 2</b>	90.18	Espacio diseñado para alojamiento del personal de mina
<b>Vía 1</b>	356.88m	Vía acceso
<b>Vía 2</b>	525m	Vía acceso



**Figura 20.**

*Corte topográfico*

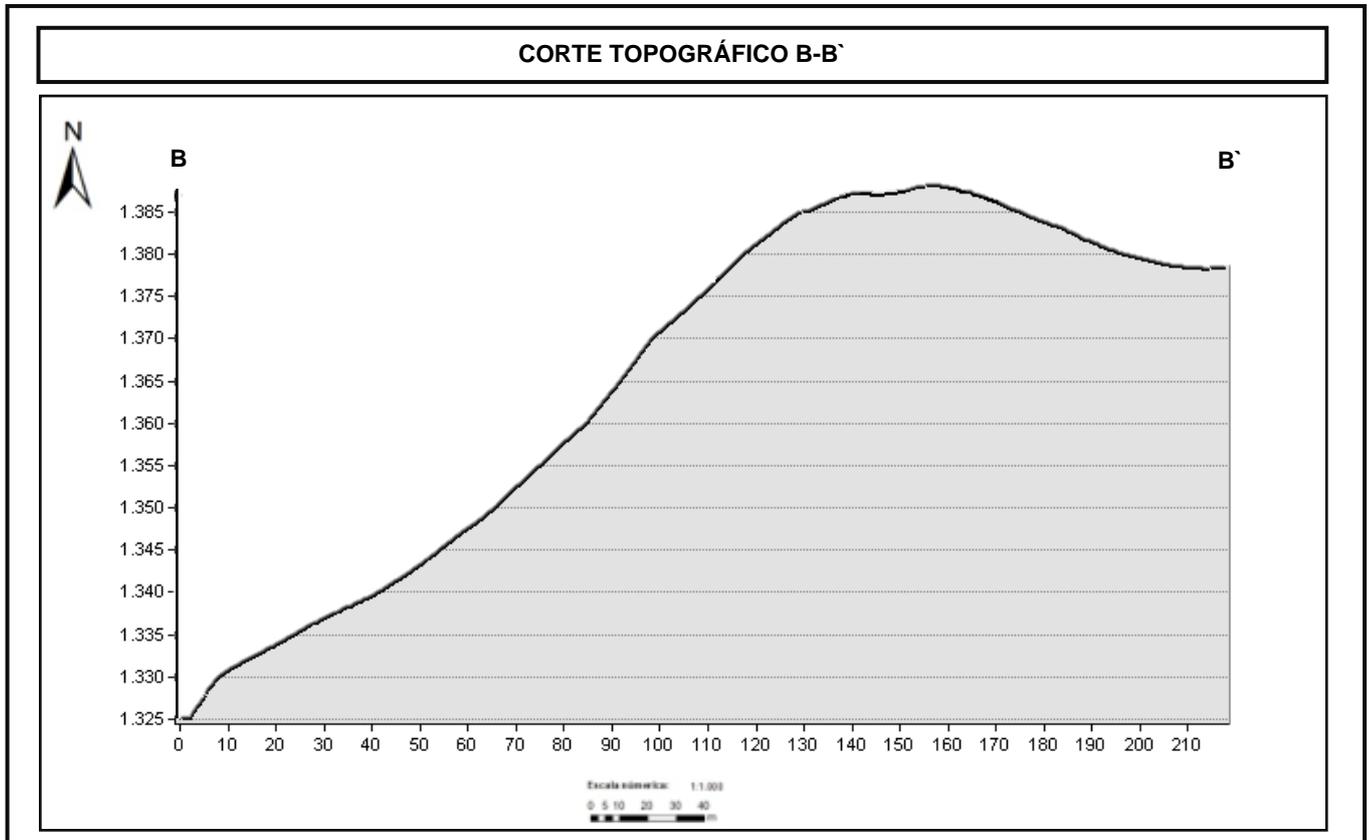


Se realizó un perfil topográfico A - A', en donde su orientación se extiende desde el sur-oeste (SW) al nor-este (NE), abarcando una longitud total de 362 metros.

Se puede identificar una zona de pendiente en donde se puede apreciar ciclos ascendentes que va desde una altitud de 1340 m.s.n.m, que después de los primeros 60 metros esta incrementa de manera gradual hasta alcanzar los 1420 m.s.n.m y por último un segundo incremento que va hasta los 1460 m.s.n.m.

**Figura 21.**

*Corte topográfico B-B´*



Se realizó un perfil topográfico B – B´, en donde su orientación va desde el noroeste (NW) al sur-este (SE), abarcando una longitud de 221 metros.

En la zona donde se encuentra la bocamina se puede apreciar una altura de aproximadamente 1334 m.s.n.m., mientras que hacia el sur-este va ascendiendo a alturas de 1385 m.s.n.m.

- **Topografía subterránea.**

Con ayuda de la estación total y por el método de radiaciones se procedió a tomar los puntos necesarios en los hastiales y estructuras de la galería principal de transporte.

En la galería se pudo apreciar: 2 entibados de madera en las abscisas de 0 a 0+0030 y 0+0130 a 0+0135 y un tercer entibado mixto de madera y hierro que se extiende del 0+0283 a 0+0287; un polvorín en la abscisa 0+0118; 3 galerías secundarias ubicadas en las abscisas 0+0162, 0+0190, y 0+0288; un pozo en la abscisa 0+0166; 4 tolvas en las abscisas 0+0173, 0+0205, 0+0259 y 0+0396, y finalmente un rebaje en la abscisa 0+0386.

**Figura 22.**

*Infraestructuras subterráneas*

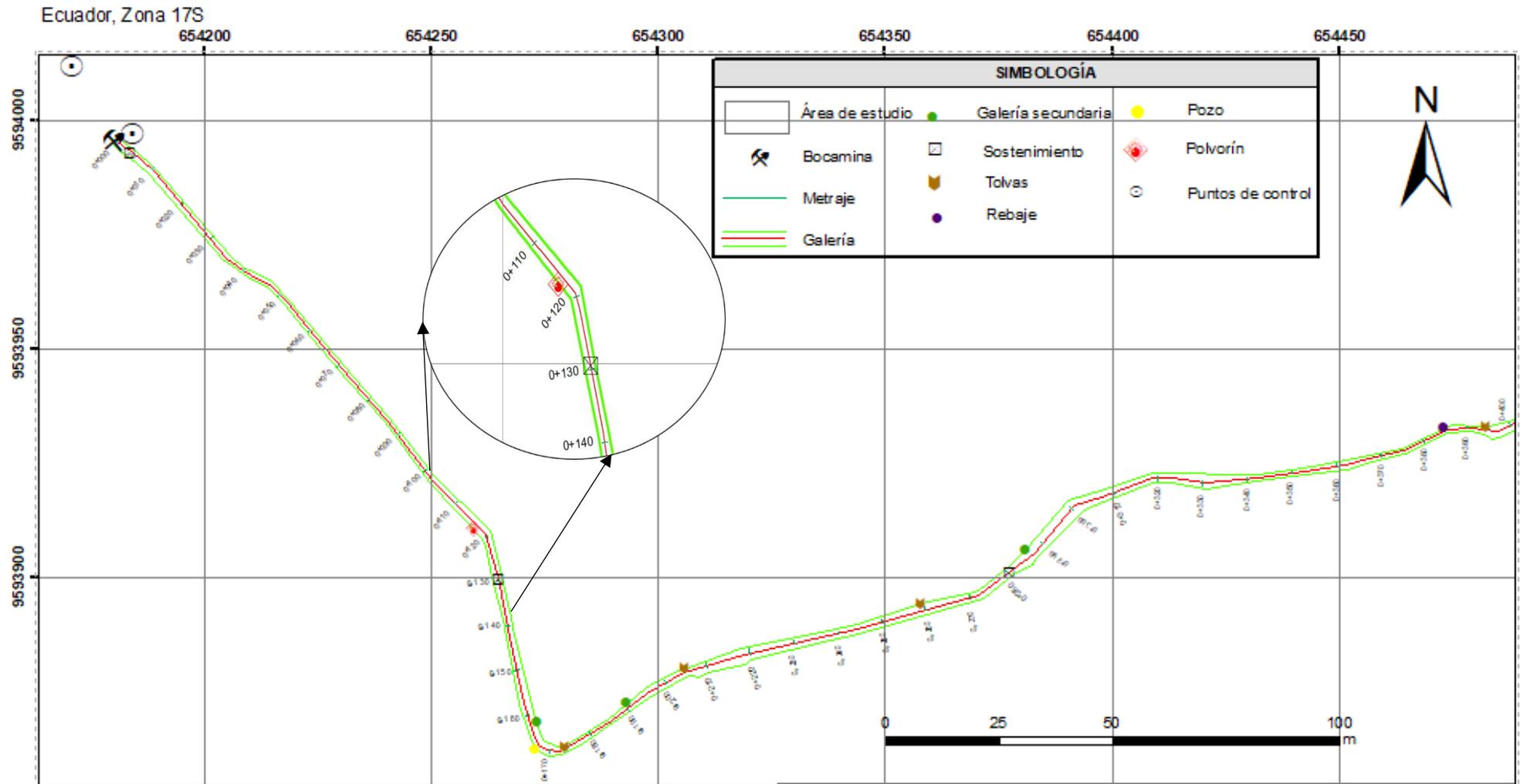


**Nota.** a. Polvorín, b. Tolva, c. Sostenimiento, d. Rebaje.

Figura 23.

Topografía subterránea del área de estudio

## TOPOGRAFÍA SUBTERRÁNEA DEL ÁREA DE ESTUDIO



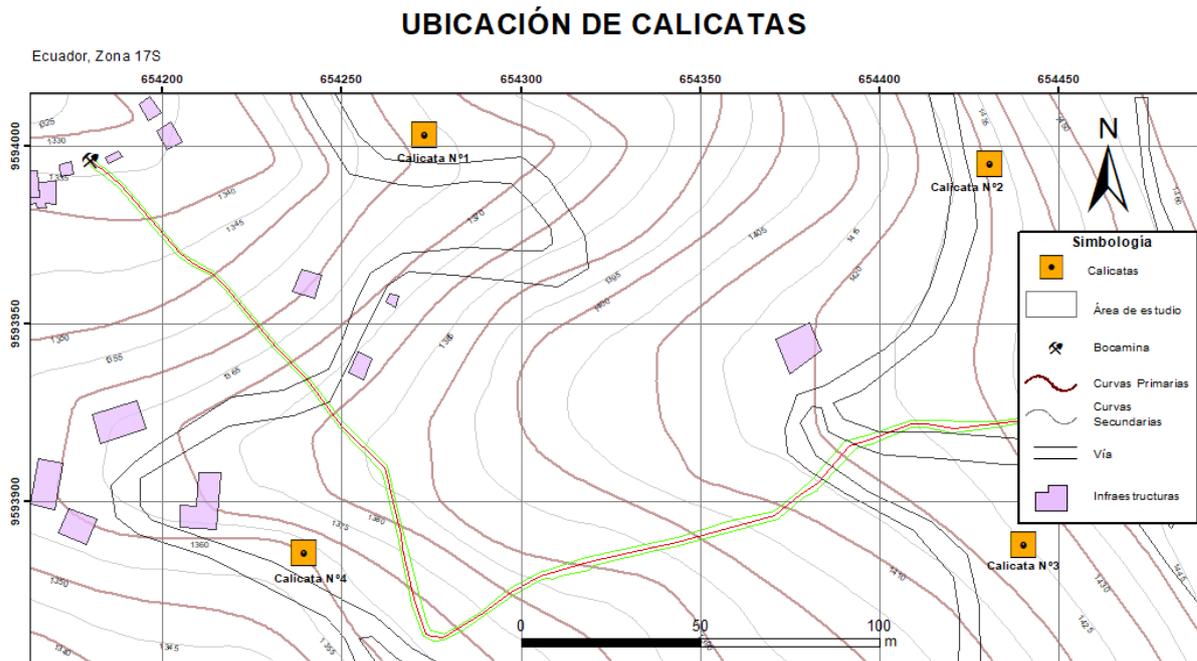
### 6.1.2. Geología

### 6.1.3. Geología superficial

Las calicatas se excavaron de manera manual en puntos específicos, su ubicación se puede apreciar en la siguiente figura.

**Figura 24.**

*Mapa de ubicación de calicatas*



### ✓ Calicata 1

**Figura 25.**

*Calicata N°1*



Al estudiar la calicata número 1, se puede observar un suelo con tonalidades pardo-rojizas, presencia de material arcilloso, una composición granular fina que es derivada de la descomposición de la andesita, lo cual otorga al suelo la denominación de

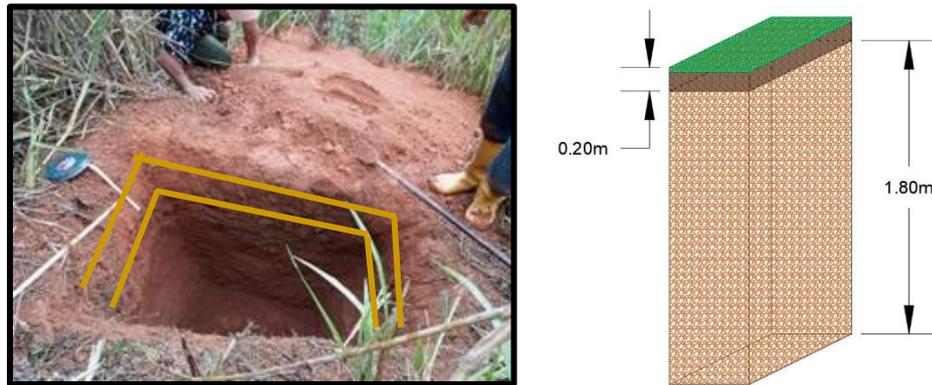
"saprolito andesítico" Además, se pudo identificar cobertura vegetal seguida de una capa de 20 cm de suelo orgánico

Se pudo observar la presencia de una coloración rosada o salmonada a 1 m de profundidad con 15 cm de potencia en la calicata lo que se asume se debe a la presencia de feldespatos potásicos en la andesita.

✓ **Calicata 2.**

**Figura 26.**

*Calicata N°2*

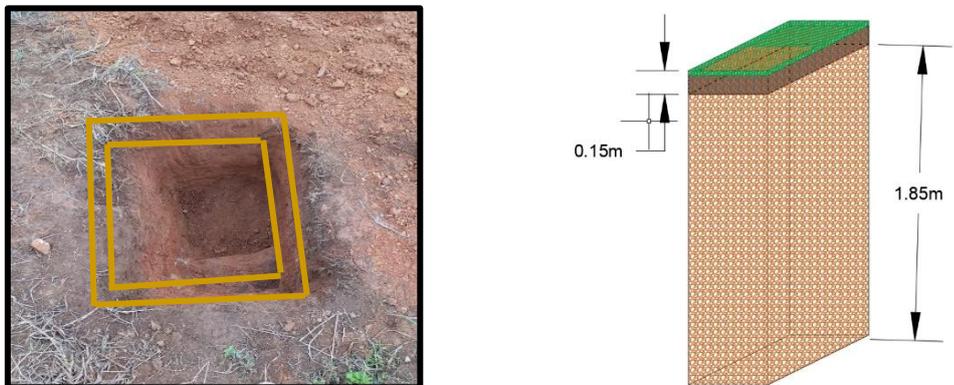


La calicata número 2 muestra un suelo con tonalidades pardo-rojizas, principalmente compuestos de material arcilloso, composición granular fina la cual es derivada de la descomposición de la andesita, por ello se puede clasificar como "saprolito andesítico", además, se pudo identificar cobertura vegetal seguida de una capa superficial de suelo orgánico de 20 cm de espesor.

✓ **Calicata 3.**

**Figura 27.**

*Calicata N°3*



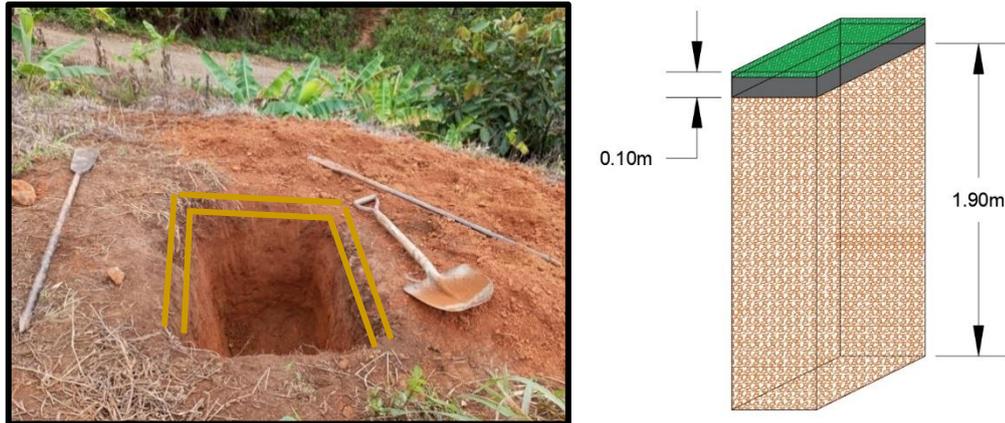
Al analizar la calicata número 3, se puede observar un proceso de meteorización de la andesita similar a los casos anteriores, con tonalidades pardo-oscuro, existe la

presencia de material arcilloso, por lo que se lo puede denominar "saprolito andesítico". También, se pudo identificar una cobertura vegetal seguida de una capa de 15 cm de suelo orgánico.

#### ✓ Calicata 4

**Figura 28.**

*Calicata N°4*



Al analizar la calicata número 4, se puede observar un proceso de meteorización de la andesita con similitud a los anteriores casos, con tonalidades pardo-rojizo, existe la presencia de material arcilloso, con composición granular fina lo cual hace que se lo denomine al suelo como "saprolito andesítico". Además, se pudo identificar una cobertura vegetal seguido de 10 cm de suelo orgánico.

Al analizar las 4 calicatas en el área de estudio, se pudo determinar que la litología en los 4 casos es similar predominando el saprolito andesítico. Debido a la coloración del material se puede asumir la presencia óxidos de hierro y baja concentración de sílice en el suelo.

La presencia de óxido de hierro indica procesos de oxidación comúnmente asociados con la meteorización de minerales ferromagnesianos presentes en la andesita. La composición arcillosa indica la alteración mineralógica de la roca madre, influyendo en las propiedades químicas y físicas del suelo.

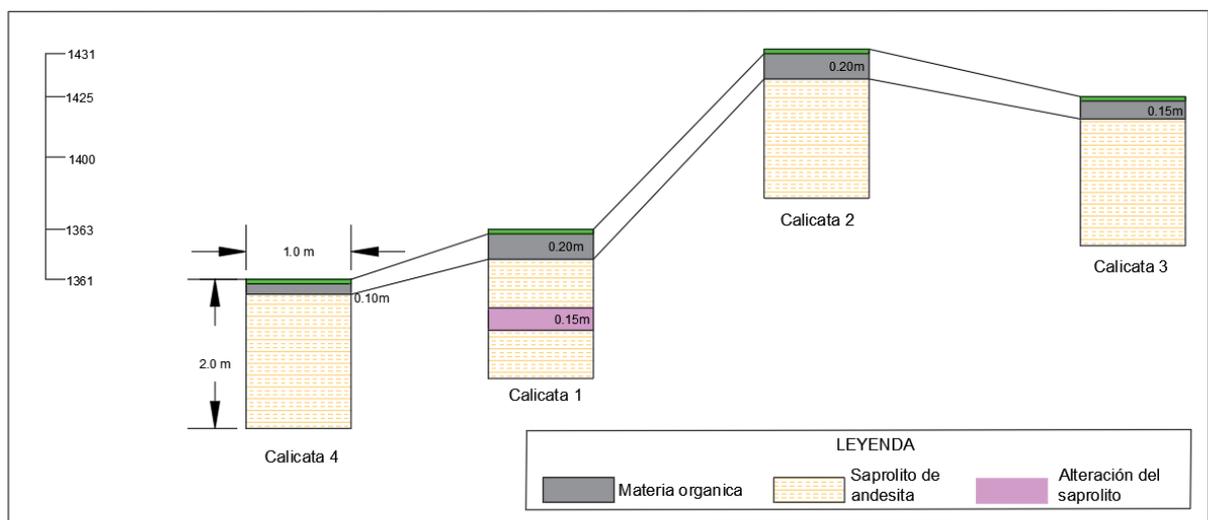
Una variación importante que se da en la calicata N°1 es la presencia de una alteración de 10 a 15 cm de potencia con tonalidades rosadas o salmonadas que posiblemente se debe a la presencia de feldespato potásico, esto sucede debido a que, en la zona donde se encuentra esta alteración, existe poca concentración de humedad lo que permite que el feldespato potásico se mantenga. También puede estar relacionada con la heterogeneidad de la roca madre, ya que, ciertas zonas de la andesita pudieron tener más

concentración del feldespato potásico, lo que genera la alteración localizada; el hecho de que solo la calicata 1 presente esta condición indica que, las otras calicatas tenían menos concentración de feldespato o condiciones menos favorables para su transformación.

En la figura 29 se muestra la correlación estratigráfica de las calicatas, se puede visualizar la cobertura vegetal seguido de una capa de materia orgánica, que va de 10 cm a 20 cm, luego una capa de saprolito de andesita que varía entre los 10 a 15 m, y se asume que la última capa de roca andesita es indefinida.

**Figura 29.**

*Correlación estratigráfica*

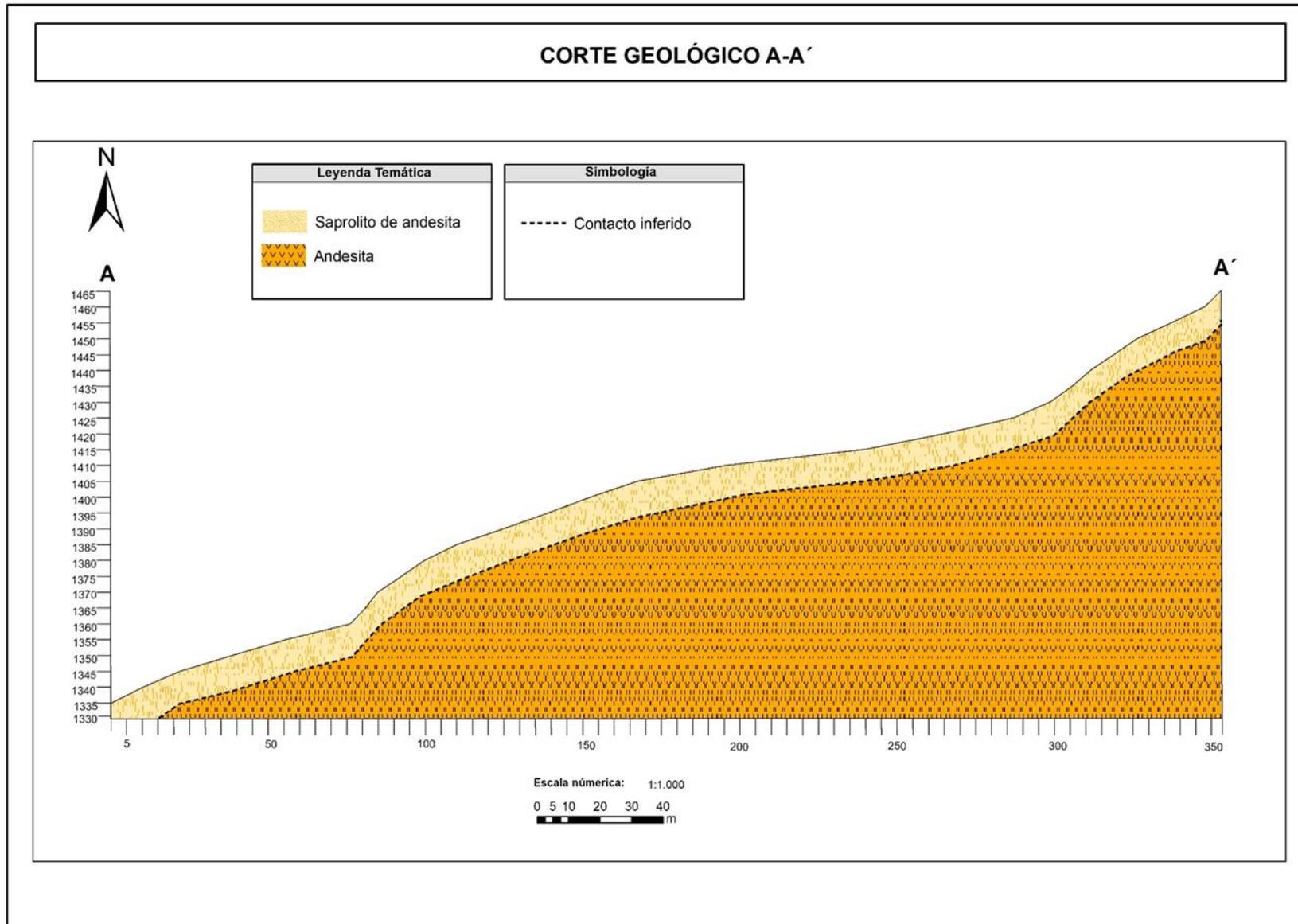


A continuación, se muestra la geología superficial del área de estudio:



Figura 31.

Corte Geológico



La litología superficial en el área de estudio está compuesta principalmente de saprolito andesítico.

En la figura 31, se puede visualizar el corte geológico del área de estudio, en donde, se aprecia que, desde la superficie hasta los 11 metros de profundidad hay saprolito de andesita, teniendo, así como basamento roca andesita

#### **6.1.4. Geología Subterránea**

Para realizar la descripción litológica de la galería principal de transporte se tomaron un total de 40 muestras de mano para su caracterización macroscópica (Ver anexo 2).

**Tabla 21.**

*Datos de ubicación de muestras tomadas en campo*

<b>Distancia</b>	<b>x</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Distancia</b>	<b>x</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
1	654180,342	9593995,6	1340,06	210	654310,509	9593880,86	1347,21
10	654187,989	9593989,46	1340,41	220	654320,069	9593883,58	1347,26
20	654194,573	9593981,85	1340,82	230	654329,863	9593885,63	1347,3
30	654201,094	9593974,19	1340,6	240	654339,553	9593887,9	1347,8
40	654208,162	9593967,21	1340,93	250	654349,306	9593890,33	1347,85
50	654216,372	9593961,8	1341,1	260	654358,86	9593893,12	1347,88
60	654222,902	9593954,16	1341,48	270	654368,526	9593895,67	1347,64
70	654229,365	9593946,53	1341,68	280	654376,889	9593901,02	1347,6
80	654235,967	9593939,09	1341,75	290	654384,447	9593907,36	1347,64
90	654242,507	9593931,54	1341,81	300	654391,119	9593914,91	1347,77
100	654248,46	9593923,5	1341,95	310	654400,539	9593918,77	1347,92
110	654255,166	9593916,14	1342,13	320	654409,964	9593921,93	1347,99
120	654262,146	9593908,99	1342,27	330	654419,806	9593920,79	1347,8
130	654264,567	9593899,25	1342,39	340	654429,662	9593921,57	1347,94
140	654266,807	9593889,53	1342,62	350	654439,709	9593923,03	1348
150	654268,741	9593879,7	1343	360	654449,608	9593924,46	1348,22
160	654271,126	9593869,98	143,29	370	654459,438	9593926,63	1349
170	654275,909	9593862,11	1343,43	380	654468,723	9593929,94	1348,69
180	654284,809	9593865,77	1343,48	390	654478,186	9593932,68	1348,75
190	654293,05	9593871,43	1346,04	400	654487,792	9593933,28	1348,98
200	654301,302	9593876,91	1346,29				

**Figura 32.**

*Muestras de mano*



En los primeros 30 m de la galería principal, se extrajeron las muestras M1, M2 en los metros 10m y 20m respectivamente, comparten una textura afanítica, caracterizada por granos finos. La alta meteorización observada en estas muestras se manifiesta en tonalidades rojizas distintivas, sugiriendo la posible oxidación de minerales ricos en hierro. Esto podría estar relacionado con la persistente presencia de humedad en la galería, siendo un factor clave en la meteorización observada, sin embargo, la muestra M3 ubicada en el 30m de la galería presenta un menor grado de meteorización en comparación con las otras dos y una textura porfiritica, La variabilidad del grado de meteorización entre las muestras nos da una perspectiva importante para comprender la composición del subsuelo en los primeros 30 metros de la galería.

**Figura 33.**

*Muestra tomada a los 10 metros de la bocamina (M1)*



Las muestras M4, M5, M6, M7, M8 y M9 extraídas de los metros 40 a 90 respectivamente. En contraste con las muestras anteriores, exhiben tonalidades más grises claras y una textura porfirítica, indicando la presencia de granos más grandes. La observación de contenido de pirita y carbonatos en estas muestras implica una posible influencia de procesos hidrotermales en el área, ya que la pirita es comúnmente asociada con ambientes ricos en minerales metálicos.

**Figura 34.**

*Muestra tomada a los 50 metros de la bocamina (M5)*



Las muestras M10, M11 y M12, tomadas en una secuencia continua del metro 100 al metro 120, revelan notables similitudes en sus características. Presentan una coloración gris clara y una textura afanítica, indicando grano fino en la matriz de la roca. Existe la presencia de calcopirita, y en algunos casos piroxenos. Sin embargo, es importante notar la coloración rosada evidente en el hastial derecho, atribuida al feldespatos potásico presente en la andesita.

**Figura 35.**

*Muestra tomada a los 100 metros de la bocamina (M10)*



Las muestras M13, M14, M15 y M16 ubicadas en los metros 130, 140, 150, 160 de galería, presentan tonalidades grisáceas más oscuras y tamaños de grano medio, textura porfírica, alteración media, presenta calcopirita, feldespatos y piroxenos.

**Figura 36.**

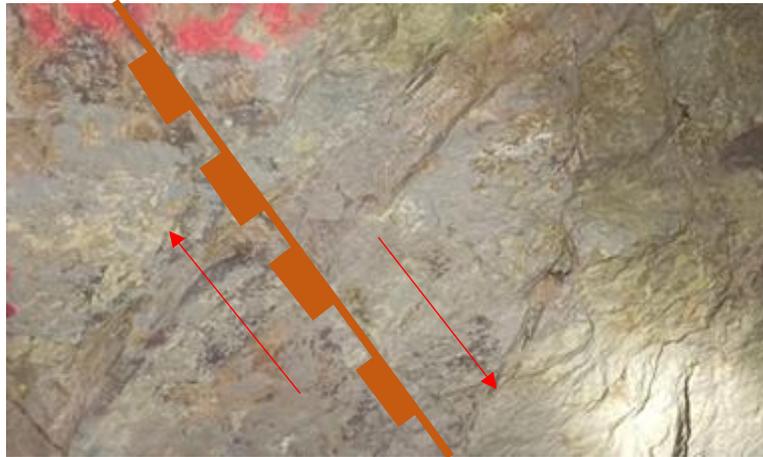
*Muestra tomada a los 140 metros (M14)*



Además en el metro 130 se pudo constatar la presencia de una falla normal, con buzamiento de  $51^\circ$  y rumbo de S  $75^\circ$  E, debido a esto la zona es propensa a desprendimiento de rocas constantes.

**Figura 37.**

*Falla normal*



A continuación, se recolectaron las muestras, M17, M18, M19 Y M20 tomadas en los metros 170 al 200, las cuales presentaron una textura afanítica, color gris claro, alteración media, presencia de calcopirita, además se obtuvo la muestra 41 en el metro 170 de la galería perteneciente a la veta mineralizada con dirección N 36° W y buzamiento 34° en la cual se pudo apreciar cuarzo, cobre, pirita, calcopirita y hematita.

**Figura 38.**

*Muestra de la veta tomada a los 170 metros de la bocamina (M41)*



Por consiguiente, se obtuvieron las muestras M21, M22, M23, M24 Y M25, recolectadas en los metros 210 al 250, todas con una textura porfirítica, color gris oscuro a excepción de M22 (220m) que es gris claro, presentan una alteración media y mayor dureza que en los casos anteriores, además existe presencia de calcopirita, cuarzo y piroxenos.

**Figura 39.**

*Muestra tomada a los 210 metros de la bocamina (M21)*



La muestra M26 que se ubica en el metro 260, presenta características similares a las anteriores, con la diferencia que esta presenta una vetilla de cuarzo con una potencia de 0.8 cm.

**Figura 40.**

*Muestra tomada a los 260 metros de la bocamina (M26)*



Las siguientes muestras extraídas de los 270m hasta el 290m son M27, M28, M29 y M30 respectivamente, presentan textura porfirítica, con tonalidades más oscuras y verdosas que en los casos anteriores, existe la presencia de piroxenos y sulfuros de pirita.

**Figura 41.**

*Muestra tomada a los 270 metros de la bocamina (M27)*



En el metro 285 se visualizó una falla de tipo normal, con buzamiento de 35° y de rumbo S 84° E0, zona propensa a caída de rocas.

**Figura 42.**

*Falla normal*



Siguiendo con el recorrido de la galería se obtuvo las muestras, M31, M32 Y M33 a partir del metro 300 hasta el metro 330 respectivamente. La coloración gris oscura y la textura porfirítica indican la presencia de fenocristales en una matriz más fina. Más allá, a partir del metro 310, se observa claramente un stockwork de cuarzo, indicativo de una red de vetas mineralizadas interconectadas, así como la presencia de drusas.

**Figura 43.**

*Muestra tomada a los 300 metros de la bocamina (M30)*



Las siguientes muestras M34, M35 y M36 que se encuentran en los metros 340, 350 y 360, presentan alta meteorización con tonalidades amarillas debido a la acción persistente del agua, textura afanítica y vetillas de cuarzo.

**Figura 44.**

*Muestra tomada a los 350 metros de la bocamina (M35)*



Y finalmente se obtuvo las muestras M37, M38, M39 y M40 que fueron tomadas en los metros 370 al 400, las cuales presentan un color gris oscuro con textura porfirítica, vetillas de cuarzo y sulfuros de pirita.

**Figura 45.**

*Muestra tomada a los 400 metros de la bocamina (M40)*



- **Propiedades índices**

Para el análisis de las propiedades índice de las rocas que conforman la galería principal de transporte, se escogió 10 muestras representativas de las 40 recolectadas, cuyos ensayos se procedió a realizarlos en el laboratorio de la Universidad Nacional de Loja, los resultados obtenidos se detallan en la tabla 22.

El resultado de la densidad de las 10 muestras analizadas se encuentra en un rango de 2.81 gr/cm<sup>3</sup> y 2.26 gr/cm<sup>3</sup>, dando un promedio 2.65 gr/cm<sup>3</sup>.

La porosidad se encuentra en un rango que va desde 8.17 a 24.71 dando un promedio de 15.05 %.

A continuación, se muestra la tabla 22 que contiene los resultados de todas las muestras ensayadas y además el mapa geológico subterráneo de la zona de estudio, en la Figura 46 en donde se identificó que, en el área de estudio, en los primeros metros existe saprolito andesítico, seguido de intercalaciones de roca andesita que va desde porfirítico y afanítico, además se representaron las fallas y la veta presentes en la galería.

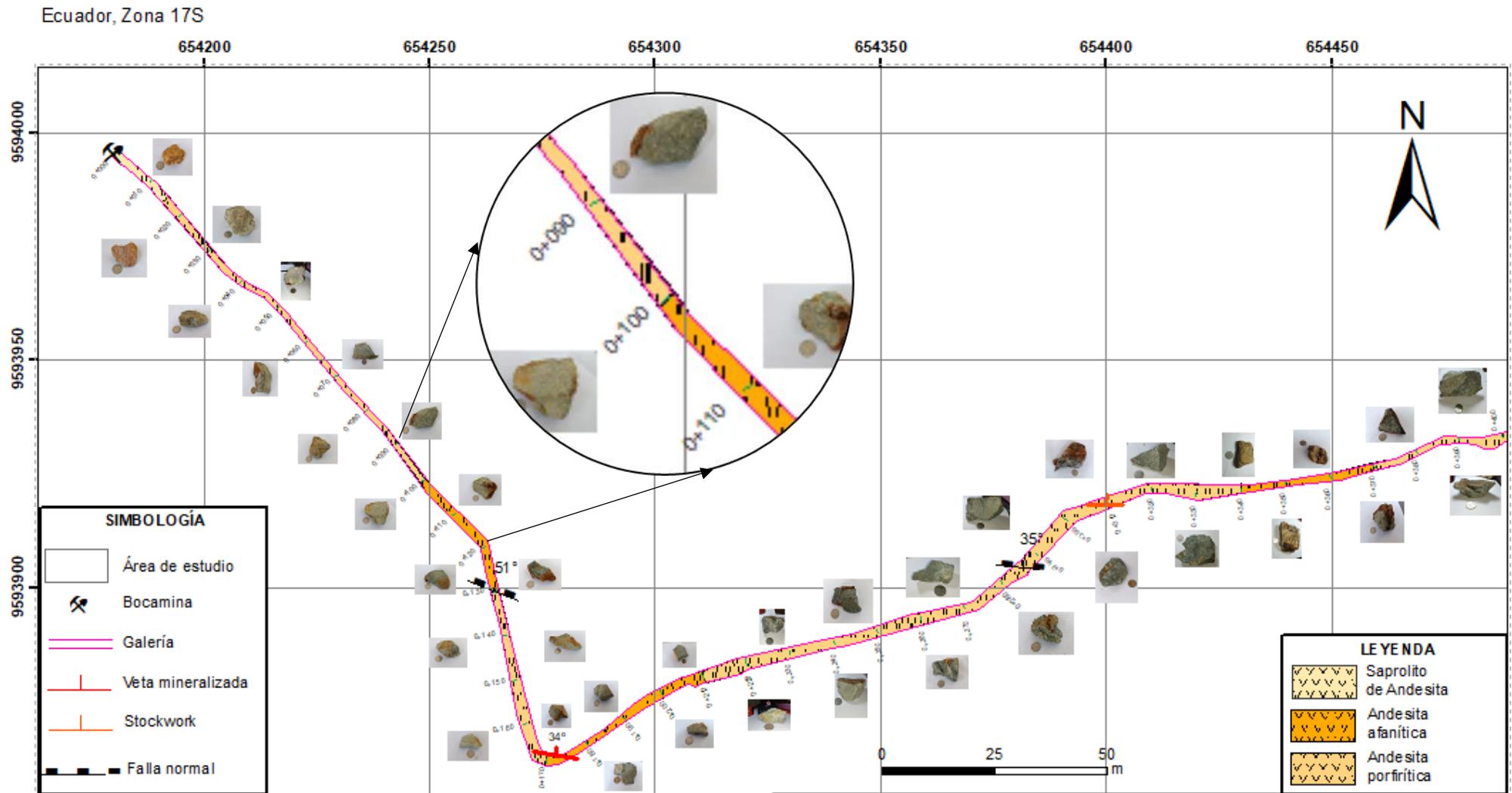
**Tabla 22.***Propiedades índices de la roca*

Propiedades índices	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 10	PROMEDIO
Peso natural	306,28	324,52	334,71	395,41	340,38	287,19	415,37	139,53	118,30	210,15	
Peso saturado	310,06	328,47	339,78	398,76	348,59	297,07	418,58	140,31	119,05	216,83	
Peso sumergido	186,50	180,50	200,90	228,54	185,22	180,60	260,33	78,14	72,66	106,20	
Peso seco	297,46	298,44	318,83	374,18	335,20	283,90	408,20	136,74	114,91	189,87	
Peso picnómetro + agua	147,88	147,88	147,88	147,37	147,37	147,37	147,52	147,52	147,52	147,52	
Peso picnómetro + agua + muestra	166,75	166,24	166,80	165,82	165,95	166,48	166,84	166,55	166,61	164,36	
Peso muestra	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	
Densidad del agua	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
<b>Resultados</b>											
Densidad	2,69	2,57	2,70	2,59	2,62	2,75	2,81	2,73	2,75	2,28	2,65
Peso específico aparente	2,40	2,01	2,29	2,20	2,05	2,43	2,58	2,20	2,47	1,71	2,23
Peso específico real	2,69	2,57	2,70	2,59	2,62	2,75	2,81	2,73	2,75	2,28	2,65
Humedad	2,97	8,74	4,98	5,67	1,55	1,16	1,76	2,04	2,95	10,68	4,25
Porosidad	10,68	21,74	15,21	15,37	21,90	11,52	8,17	19,57	9,92	24,71	15,88
Porosidad eficaz	10,20	20,29	15,08	14,44	8,20	11,31	6,56	5,74	8,92	24,37	12,51
Porosidad cerrada	0,49	1,45	0,13	0,93	13,70	0,21	1,61	13,83	0,99	0,34	3,37
Coefficiente de absorción	4,24	10,06	6,57	6,57	3,99	4,64	2,54	2,61	3,60	14,20	5,90
Compacidad	89,32	78,26	84,79	84,63	78,10	88,48	91,83	80,43	90,08	75,29	84,12
Módulo de saturación	95,44	93,33	99,17	93,96	37,43	98,18	80,27	29,34	89,98	98,61	81,57

Figura 46.

Geología Subterránea del área de estudio

## GEOLOGÍA SUBTERRÁNEA DEL ÁREA DE ESTUDIO



**6.2.Resultados para el segundo objetivo. “Determinar la calidad del macizo rocoso de la galería principal de transporte con base a la clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR), Q de Barton y GSI”.**

**6.2.1. Compresión simple**

Las muestras para la compresión simple se ubican en las siguientes coordenadas:

**Tabla 23.**

*Coordenadas de ubicación de las rocas tomadas para compresión simple*

Muestra	Ubicación (m)		
	x	y	z
M-01	654249,1338	9593922,564	1341.96
M-02	654344,7445	9593888,776	1347.82
M-03	654459,6978	9593926,359	1349

Una vez ensayas las 3 probetas en el laboratorio de mecánica de rocas de la universidad Nacional de Loja, se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 24.**

*Ensayo de compresión simple*

Cod. Muestra	Altura (cm)	Diámetro(cm)	Esfuerzo (MPa)
M-01	11,44	5,12	88,17
M-02	11,23	5,54	64,12
M-03	11,91	5,03	78,89

**Figura 47.**

*Ensayo de compresión simple*



### 6.2.2. Calidad de macizo rocoso

Para la caracterización del macizo rocoso que conforma la galería principal de transporte de procedió a dividir dicha galería en 6 tramos en donde se aplicó las metodologías de Bieniawski (RMR), GSI (índice de calidad del macizo rocoso), y clasificación Q de Barton.

**Tabla 25.**

*Ubicación de las estaciones geomecánicas*

Estaciones geomecánicas				
Ubicación (m)				
N.º de estación	Metraje	x	y	z
1	0010 m	654187,85	9593989,20	1335,5
2	0025 m	654197,38	9593978,70	1340,2
3	0035 m	654204,34	9593970,51	1340,7
4	0067 m	654227,25	9593950,19	1341,62
5	0085 m	654239,57	9593935,14	1341,78
6	0120 m	654262,12	9593909,35	1342,27
7	0138 m	654266,20	9593892,20	1342,62
8	0185 m	654288,86	9593868,46	1344,92
9	0222 m	654323,42	9593884,17	1347,3
10	0273 m	654371,77	9593896,75	1347,6
11	0302 m	654393,52	9593916,39	1347,77
12	0334 m	654423,88	9593921,28	1347,8
13	0375 m	654464,40	9593927,86	1348,8
14	0400 m	654488,19	9593933,21	1348,98

Los cálculos realizados para cada una de las metodologías anteriormente mencionadas se observan en el Anexo 3, el resumen y análisis de los resultados de cada uno de los 7 tramos se los detalla a continuación:

Para el Tramo N°1 (000-030 m, estación 1 y 2) debido a que la zona es caótica y carece de discontinuidades y estructuras definidas, al ser conformado por un material arcilloso, se optó por aplicar el método del GSI (Tabla 17), que permite determinar su clasificación, y posteriormente aplicar una fórmula, como se muestra a continuación:

Valor obtenido en GSI: 15

$$GSI = RMR - 5$$

$$RMR = GSI + 5$$

$$RMR = 15 - 5$$

$$RMR = 10$$

**Clasificación:** Muy Mala

Para determinar el Q de Barton se empleó la siguiente fórmula tomando los datos del RMR:

$$Q = e^{\frac{RMR-44}{9}}$$

$$Q = 0.039$$

**Clasificación:** Excepcionalmente malo

**Tabla 26.**

*Resultados tramo N°1*

<b>TRAMO 1 (00-030 m, estación 1 y 2)</b>	
<b>RMR Básico</b>	10
<b>Q de Barton</b>	0.039
<b>GSI</b>	15

El tramo 1 según Bieniawski con un valor de 10 corresponde a un macizo rocoso de Clase V – Muy Mala, según Q de Barton con un valor de 0.039 tenemos una calidad del macizo excepcionalmente malo y un GSI de 15 el cual nos indica un tipo de macizo muy malo.

**Tabla 27.**

*Resultados tramo N°2*

<b>TRAMO 2 (030-080 m, estación 3 y 4)</b>	
RQD %	76.81
RMR Básico	57.3
<b>RMR Corregido</b>	57.3
<b>Q de Barton</b>	3.38
<b>GSI</b>	54.57

El tramo 2 según Bieniawski con un valor de 57.3 corresponde a un macizo rocoso de Clase III – Media, según Q de Barton con un valor de 3.38 tenemos una calidad del macizo malo y un GSI de 54.57 el cual nos indica un tipo de macizo regular.

**Tabla 28.**

*Resultados Tramo N°3*

<b>TRAMO 3 (080-130 m, estación 5 y 6)</b>	
RQD %	51.04
RMR Básico	49.6
<b>RMR Corregido</b>	44.6
<b>Q de Barton</b>	5.08
<b>GSI</b>	44.9

El tramo 3 según Bieniawski con un valor de 49.6 corresponde a un macizo rocoso de Clase III – Media, según Q de Barton con un valor de 5.08 tenemos una calidad del macizo media y un GSI de 44.9 el cual nos indica un tipo de macizo regular.

**Tabla 29.**

*Resultados Tramo N°4*

<b>TRAMO 4 (130-220 m, estación 7 y 8)</b>	
RQD %	24.64
RMR Básico	43.2
<b>RMR Corregido</b>	43.2
<b>Q de Barton</b>	4.92
<b>GSI</b>	49.7

El tramo 4 según Bieniawski con un valor de 43.2 corresponde a un macizo rocoso de Clase III – Media, según Q de Barton con un valor de 4.92 tenemos una calidad del macizo medio y un GSI de 49.7 el cual nos indica un tipo de macizo regular.

**Tabla 30.**

*Resultados Tramo N°5*

<b>TRAMO 5 (220-300 m, estación 9 y 10)</b>	
RQD %	24.14
RMR Básico	46.25
<b>RMR Corregido</b>	46.25
<b>Q de Barton</b>	2.39
<b>GSI</b>	50.9

El tramo 5 según Bieniawski con un valor de 46.25 corresponde a un macizo rocoso de Clase III – Media, según Q de Barton con un valor de 2.39 tenemos una calidad del macizo mala y un GSI de 50.9 el cual nos indica un tipo de macizo regular.

**Tabla 31.**

*Resultados Tramo N°6*

<b>TRAMO 6 (300-340 m, estación 11 y 12)</b>	
RQD %	59.66
RMR Básico	64
<b>RMR Corregido</b>	64
<b>Q de Barton</b>	5.90
<b>GSI</b>	58

El tramo 6 según Bieniawski con un valor de 64 corresponde a un macizo rocoso de Clase II – Buena, según Q de Barton con un valor de 5.90 tenemos una calidad del macizo media y un GSI de 58 el cual nos indica un tipo de macizo regular.

**Tabla 32.**

*Resultados Tramo N°7*

<b>TRAMO 7 (340-400 m, estación 13 y 14)</b>	
RQD %	24.64
RMR Básico	55.7
<b>RMR Corregido</b>	53.7
<b>Q de Barton</b>	4.84
<b>GSI</b>	61

Y por último el tramo 7 según Bieniawski con un valor de 55.7 corresponde a un macizo rocoso de Clase III – Media, según Q de Barton con un valor de 4.84 tenemos una calidad del macizo media y un GSI de 61 el cual nos indica un tipo de macizo bueno.

**Tabla 33.***Resumen de la clasificación geomecánica de la Galería*

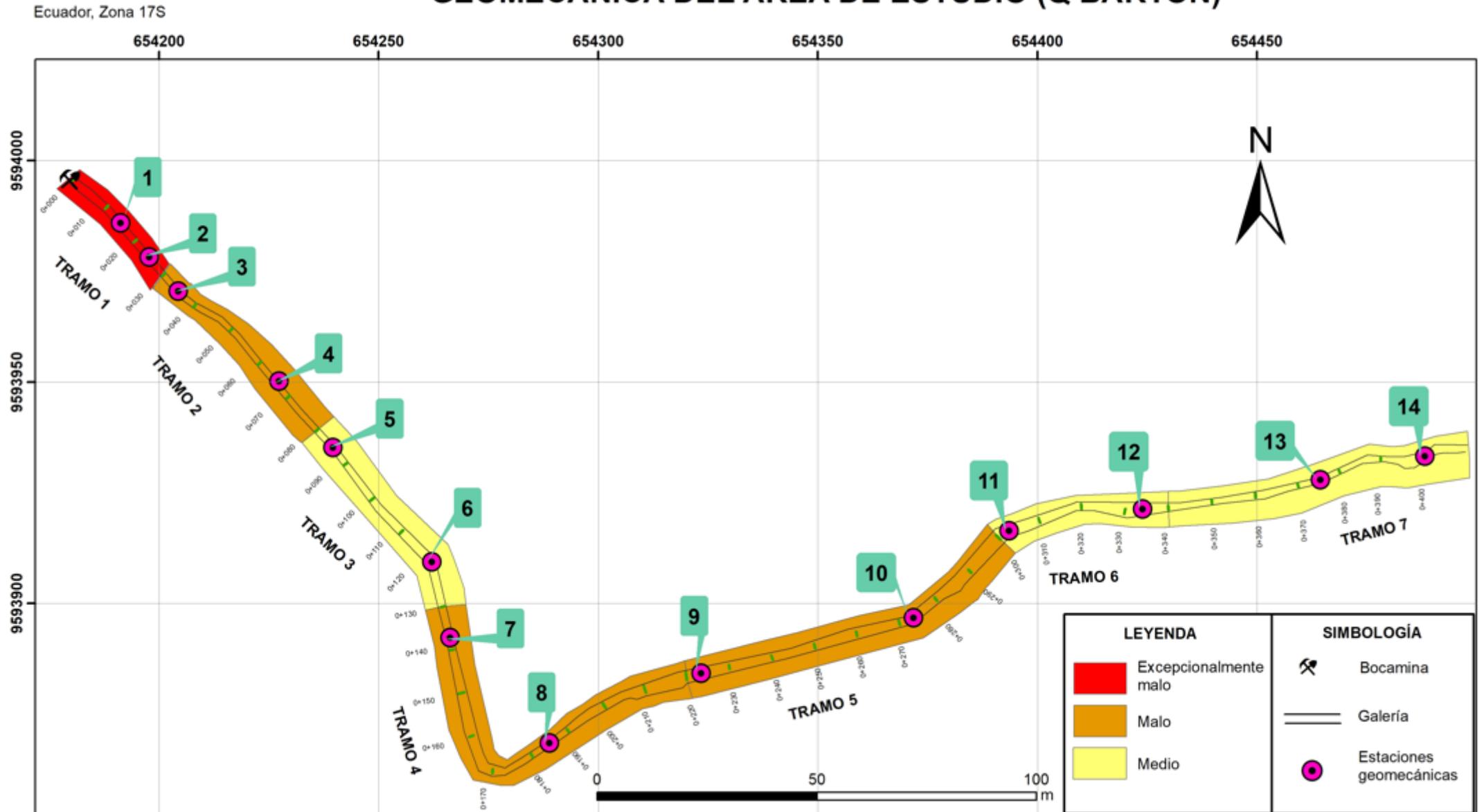
TRAMO	ESTACIONES	BIENIAWSKI RMR (Básico)		GSI		ÍNDICE Q DE BARTON	
		Valor	Descripción	Valor	Descripción	Valor	Descripción
1	1 - 2	10	Clase V – Muy Malo	15	Muy Malo	0.039	Excepcionalmente malo
2	3 – 4	57.3	Clase III - Media	54.57	Regular	1.69	Malo
3	5 – 6	49.6	Clase III - Media	44.9	Regular	5.08	Medio
4	7 – 8	43.2	Clase III - Media	49.7	Regular	1.64	Malo
5	9 – 10	46.25	Clase III- Media	50.9	Regular	0.79	Malo
6	11 – 12	64	Clase II - Buena	58	Regular	5.90	Medio
7	13 - 14	55.7	Clase III- Media	61	Bueno	4.84	Medio

Como se puede observar los 7 tramos según las tres clasificaciones se encuentran en un rango de muy malo a bueno, predominando el medio.

Figura 48.

Geomecánica de la zona de estudio

## GEOMECÁNICA DEL ÁREA DE ESTUDIO (Q BARTON)



### 6.3. Resultados para el tercer objetivo “Proponer posibles medidas de sostenimiento en la galería principal de transporte”

Una vez, obtenidos los valores de RMR de Bienaswsky y el Q de Barton se pudo sectorizar la galería principal de transporte, haciendo posible proponer medidas de sostenimiento según la calidad del macizo rocoso que conforma la galería principal de transporte.

#### 6.3.1. Sostenimiento según RMR

Ajuste de RMR para minería:

$$RMR \text{ AJUSTADO} = RMR \times \frac{Ab \times As \times S}{0.5}$$

- Tramo 1

$$RMR \text{ AJUSTADO} = 10 \times \frac{1 \times 1.2 \times 1}{0.5}$$

$$RMR \text{ AJUSTADO} = 24$$

Clase IV - Mala

- Tramo 2

$$RMR \text{ AJUSTADO} = 57.3 \times \frac{0.9 \times 0.8 \times 0.9}{0.5}$$

$$RMR \text{ AJUSTADO} = 74.26$$

Clase II - Buena

- Tramo 3

$$RMR \text{ AJUSTADO} = 49.6 \times \frac{0.8 \times 0.7 \times 0.8}{0.5}$$

$$RMR \text{ AJUSTADO} = 44.4$$

Clase III - Media

- Tramo 4

$$RMR \text{ AJUSTADO} = 43.2 \times \frac{0.8 \times 0.7 \times 0.8}{0.5}$$

$$RMR \text{ AJUSTADO} = 38.70$$

Clase IV - Mala

- Tramo 5

$$RMR \text{ AJUSTADO} = 46.25 \times \frac{0.8 \times 0.7 \times 0.8}{0.5}$$

$$RMR \text{ AJUSTADO} = 41.44$$

Clase III - Media

- Tramo 6

$$RMR \text{ AJUSTADO} = 64 \times \frac{0.8 \times 0.7 \times 0.9}{0.5}$$

$$RMR \text{ AJUSTADO} = 64.51$$

Clase II - Buena

- Tramo 7

$$RMR \text{ AJUSTADO} = 55.7 \times \frac{0.8 \times 0.7 \times 1}{0.5}$$

$$RMR \text{ AJUSTADO} = 62$$

Clase II - Buena

Según Bieniawski los posibles sostenimientos de la galería principal de transporte son:

**Tabla 34.**

*Sostenimiento Tramo 1 (RMR)*

<b>Tramo 1</b>	
<b>Valor</b>	24
<b>Calidad del macizo</b>	Clase IV – Mala
<b>Tipo de sostenimiento</b>	Longitud de bulones: 6.0 m. Espaciamiento de bulones: 0.63 m.

**Tabla 35.**

*Sostenimiento Tramo 2 (RMR)*

<b>Tramo 2</b>	
<b>Valor</b>	74.26
<b>Calidad del macizo</b>	Clase II - Buena
<b>Tipo de sostenimiento</b>	Longitud de bulones: 1.80 m. Espaciamiento de bulones: 2.60 m.

**Tabla 36.**

*Sostenimiento Tramo 3 (RMR)*

<b>Tramo 3</b>	
<b>Valor</b>	44.4
<b>Calidad del macizo</b>	Clase III - Media
<b>Tipo de sostenimiento</b>	Longitud de bulones: 3.24 m. Espaciamiento de bulones: 1.44 m.

**Tabla 37.***Sostenimiento Tramo 4 (RMR)*

<b>Tramo 4</b>	
<b>Valor</b>	38.70
<b>Calidad del macizo</b>	Clase IV - Mala
<b>Tipo de sostenimiento</b>	Longitud de bulones: 3.75 m. Espaciamiento de bulones: 1.22 m.

**Tabla 38.***Sostenimiento Tramo 5 (RMR)*

<b>Tramo 5</b>	
<b>Valor</b>	41.44
<b>Calidad del macizo</b>	Clase III - Media
<b>Tipo de sostenimiento</b>	Longitud de bulones: 3.49 m. Espaciamiento de bulones: 1.32 m.

**Tabla 39.***Sostenimiento Tramo 6 (RMR)*

<b>Tramo 6</b>	
<b>Valor</b>	64.51
<b>Calidad del macizo</b>	Clase II - Buena
<b>Tipo de sostenimiento</b>	Longitud de bulones: 2.13 m. Espaciamiento de bulones: 2.22 m.

**Tabla 40.***Sostenimiento Tramo 7 (RMR)*

<b>Tramo 7</b>	
<b>Valor</b>	62
<b>Calidad del macizo</b>	Clase II - Buena
<b>Tipo de sostenimiento</b>	Longitud de bulones: 2.23 m. Espaciamiento de bulones: 2.11 m.

**6.3.2. Sostenimiento según *Q* de Barton**

Según Barton los posibles sostenimientos de la galería principal de transporte son:

**Tabla 41.***Sostenimiento Tramo 1 (*Q* de Barton)*

<b>Tramo 1</b>	
<b>Valor</b>	0.039
<b>Calidad del macizo</b>	Excepcionalmente Malo
<b>Tipo de sostenimiento</b>	Longitud de bulones: 2.20 m Espaciamiento de bulones: 0.87 m.

**Tabla 42.***Sostenimiento Tramo 2 (Q de Barton)*

<b>Tramo 2</b>	
<b>Valor</b>	1.69
<b>Calidad del macizo</b>	Malo
<b>Tipo de sostenimiento</b>	Longitud de bulones: 2.20 m. Espaciamento de bulones: 3.95 m.

**Tabla 43.***Sostenimiento Tramo 3 (Q de Barton)*

<b>Tramo 3</b>	
<b>Valor</b>	5.08
<b>Calidad del macizo</b>	Medio
<b>Tipo de sostenimiento</b>	Longitud de bulones: 2.20 m. Espaciamento de bulones: 6.13 m.

**Tabla 44.***Sostenimiento Tramo 4 (Q de Barton)*

<b>Tramo 4</b>	
<b>Valor</b>	1.64
<b>Calidad del macizo</b>	Malo
<b>Tipo de sostenimiento</b>	Longitud de bulones: 2.20 m. Espaciamento de bulones: 3.90 m.

**Tabla 45.***Sostenimiento Tramo 5 (Q de Barton)*

<b>Tramo 5</b>	
<b>Valor</b>	0.79
<b>Calidad del macizo</b>	Malo
<b>Tipo de sostenimiento</b>	Longitud de bulones: 2.20 m. Espaciamento de bulones: 2.91 m.

**Tabla 46.***Sostenimiento Tramo 6 (Q de Barton)*

<b>Tramo 6</b>	
<b>Valor</b>	5.90
<b>Calidad del macizo</b>	Medio
<b>Tipo de sostenimiento</b>	Longitud de bulones: 2.20 m. Espaciamento de bulones: 6.50 m.

**Tabla 47.***Sostenimiento Tramo 7 (Q de Barton)*

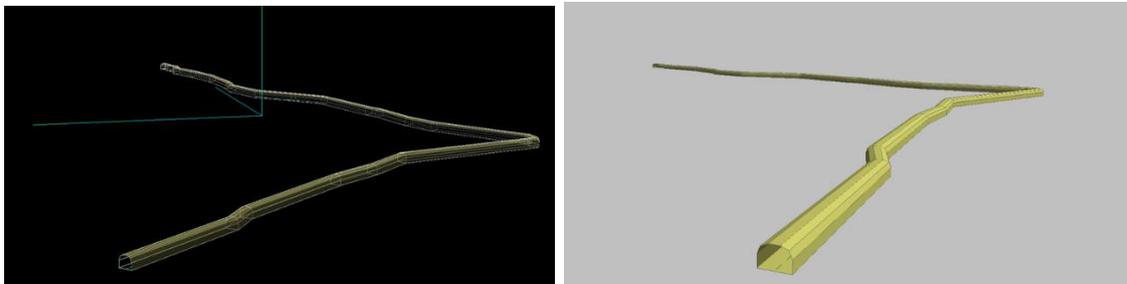
Tramo 7	
Valor	4.84
Calidad del macizo	Medio
Tipo de sostenimiento	Longitud de bulones: 2.20 m. Espaciamiento de bulones: 6 m.

- **Representación tridimensional de la galería**

El modelamiento de la galería se lo efectuó en primera instancia con la exportación de datos del software AutoCAD a el software RecMin el mismo que permitió un modelamiento implícito es decir de forma rápida y autónoma a partir de los puntos topográficos tomados en la galería.

**Figura 49.**

*Vista 3D frontal de la galería principal de transporte*



**Figura 50.**

*Vista 3D trasera de la galería principal de transporte*



### **6.3.3. Sostenimientos propuestos por el autor.**

### **6.3.4. Concreto armado**

Debido a que en los primeros metros de la bocamina existe mayor riesgo de colapso debido a cargas significativas del terreno se recomienda la construcción de un arco estructural de concreto armado en forma de herradura, el cual se extenderá en los 10 metros iniciales, el cual se extiende por todo el perímetro de la bocamina en donde los hastiales y techo deberán tener un espesor mínimo de 25 cm.

El concreto utilizado debe tener características como una resistencia a la compresión de 30 MPa, el mismo deberá tener una relación agua/cemento de 0.40-0.45, además se debe añadir a la mezcla aditivos como acelerantes de fraguado: Para mejorar la resistencia inicial, especialmente en zonas donde haya presencia de agua y fibras sintéticas o de acero para mejorar la resistencia a tracción y prevenir fisuras.

El concreto deberá contar refuerzo de acero el mismo es esencial para garantizar que el concreto armado pueda soportar las cargas, en paredes y techo se deberá colocar barras longitudinales de 12 mm de diámetro colocadas cada 15 cm.

La estructura deberá contar con drenaje que es crucial para prevenir la acumulación de agua, se debe construir un canal alrededor de la entrada de la bocamina para desviar el agua superficial.

### **Proceso Constructivo**

- **Limpieza de techo y hastiales**

Antes de instalar el sostenimiento, limpiar la superficie de la roca para remover material suelto y verificar la estabilidad de la zona hasta alcanzar las medidas requeridas.

- **Colocación del acero de refuerzo**

Instalar el refuerzo de acero (mallas y barras).

- **Vaciado del concreto armado:**

El vaciado del concreto debe realizarse en capas sucesivas de 10-15 cm, asegurando un buen nivel de compactación.

- **Instalación del drenaje**

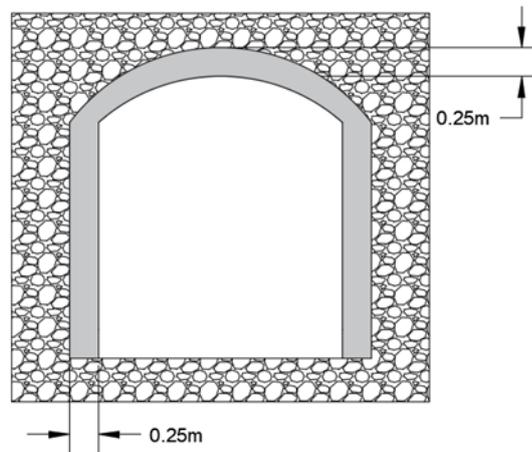
Colocar los tubos de drenaje en las posiciones planificadas. Asegurar que estén inclinados adecuadamente para evitar la acumulación de agua.

- **Construcción del arco estructural**

Construir el arco de entrada utilizando concreto armado, reforzado con acero corrugado. El arco debe instalarse tan pronto como se haya estabilizado la boca del túnel.

**Figura 51.**

*Concreto armado.*



### 6.3.5. *Bulonado*

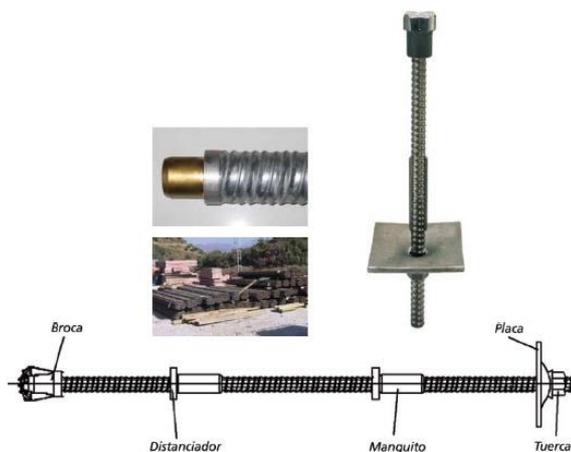
#### 6.3.5.1. **Materiales y equipos del sostenimiento de bulones**

- **Bulones**

Se recomienda el uso de un sistema de anclaje auto perforador que puede a su vez ser la barra de perforación. El componente principal de este tipo de anclaje es un tubo especial con una rosca continua, con un orificio central, los manguitos se fabrican a partir de tubos de acero especial con una resistencia a la tensión superior a la del perno. Las dimensiones recomendadas para este sistema son una longitud de 1.50 m y un diámetro de 20 mm.

**Figura 52.**

*Perno helicoidal autoperforante*



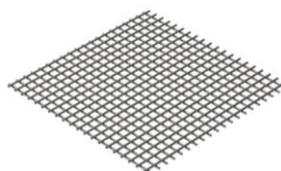
**Nota.** (Dalper, 2023)

- **Malla.**

Se recomienda una malla electrosoldada de acero ( 150x150 mm) con diámetro de 6mm, la cual deberá ser anclada a la galería con los bulones anteriormente descritos, la malla se mide y se corta en secciones que se ajustan a la forma y tamaño de la galería, las presiones ejercidas sobre la membrana harán que esta se deforme con una cierta curvatura y generará una tensión de tracción en la membrana que producirá una presión continua estabilizadora sobre el techo o paredes de la galería, en donde además se aplicara un cableado para la transmisión de cargas.

**Figura 53.**

*Malla electrosoldada*



**Nota.** (DEACERO, 2023)

- **Lechada de cemento**

La lechada de cemento debe tener una relación, en peso, entre el cemento y el agua de uno a dos (1/2) respectivamente.

Esta solución se inyectará en el orificio central del bulón hasta la boca de perforación.

- **Taladro de roca de combustión interna portátil YN27C1**

**Tabla 48.**

*Parámetros técnicos del taladro YN27C1*

<b>Parámetros técnicos</b>	
Peso: 27 kg	
Motor de gasolina (2 Strokes) refrigerado por aire de un solo cilindro	
Desplazamiento del motor: 185 cm <sup>3</sup>	
Velocidad de carga del motor $\geq 2450$ r/min	
Velocidad de ralentí del husillo: $\geq 200$ r/min	
Tamaño del vástago del taladro Cola de la varilla del taladro: hexagonal 22x108mm	
Profundidad de perforación: $\geq 6$ m	
Velocidad de perforación: $\geq 250$ mm/min	
Índice de consumo de combustible (determinado al perforar cinco agujeros): $\leq 0.12$ L/M	
Relación de mezcla de gasolina y aceite lubricante: 9:1	
Volumen del tanque de combustible: $\geq 1,14$ L	
Energía de impacto: $\geq 20$ J	

**Tabla 49.**

*Bomba de inyección de boquilla neumática para minería 2zbq-9/3*

<b>Parámetros técnicos</b>	
Peso: 60kg	
Tipo: bomba de hormigón	
Productividad: 120 m <sup>2</sup> /h.	
Diám. Interior de los tubos de entrada y salida: 32mm	
La salida nominal: 9L/min.	

- **Juego de raches**

Múltiples tamaños de disco: Incluye conectores de 1/4, 3/8 y 1/2 pulgadas.	
--	---

### 6.3.5.2. Ejecución del sostenimiento de bulonado.

- **Perforación y anclaje de bulones**

En este caso al usar pernos auto perforantes la perforación y anclaje se realiza en una sola etapa ejecutada directamente sobre el macizo rocoso, se recomienda orientar las perforaciones perpendicularmente al sistema principal de discontinuidades, en cualquier caso, se recomienda que el ángulo de bulón con la superficie a perforar sea mayor de 60°, el bulonado sistemático se realizará cada 2 m, el extremo del bulón debe quedar con un mínimo 5cm en superficie para la colocación de la placa y tuerca, se debe procurar que la placa de apoyo se sitúe en una zona sana.

- **Relleno del bulón**

En esta etapa se procederá a rellenar el orificio central del bulón con la lechada de cemento, con ayuda de una manguera y una bomba de inyección. Esta operación es de gran importancia en todos los bulones y tiene por objeto mantener la efectividad del bulón: impide la corrosión de la barra, evita la pérdida de tensión por deslizamiento del anclaje.

La lechada deberá utilizarse inmediatamente después de efectuada la mezcla de cemento y agua, una vez relleno se colocará un tapón, haciendo que se introduzca lo mayor posible en el interior del bulón y seguidamente, se instalará la placa y la tuerca.

#### **6.3.6. Entibado de madera por cuadros.**

Se sugiere emplear este método que implica la construcción de un paralelepípedo recto de madera, donde los elementos verticales asumen las cargas verticales, los horizontales resisten la presión de los hastiales y los elementos de unión restantes refuerzan la estructura.

##### **6.3.6.1. Materiales y equipos del sostenimiento de madera**

- *Postes*: Actúan como elementos de sostenimiento, trabajando en compresión como columnas. La sección del poste es cuadrada, con una hendidura en uno de sus extremos para prevenir desplazamientos. (Dimensiones: 15 cm de espesor por 15 cm de ancho y 1.75 m de longitud).
- *Sombrero*: Funciona como viga, se ubica en la parte superior del cuadro. Debe tener una hendidura para acoplarse al poste. (Dimensiones: 15 cm de espesor por 15 cm de ancho y 2 m de longitud).
- *Encribado*: Tablones de madera colocados sobre los sombreros. (Dimensiones: 6 cm de espesor por 20 cm de ancho, longitud necesaria).
- *Enrejado*: Se colocan los tablones entre los postes. (Dimensiones: 6 cm de espesor por 20 cm de ancho, longitud necesaria).
- *Bolt Dropper - Tornillos De Rosca Para Madera Con Perno Hexa*: Con una longitud de 10 cm y 20 cm.

**Tabla 50.**

*Equipos para entibado de madera*

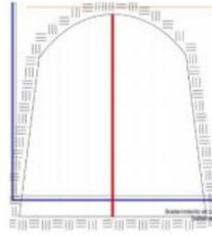
<b>Taladro percutor atornillador inalámbrico Stanley</b>	
<p>Con función reversa. Frecuencia es de 60Hz. Velocidad máxima de rotación: 1500rpm. Tiempo de carga de la batería: 45m. Posee control de torque. Tiene luz led. Incluye: 2 baterías</p>	
<b>Sierra para Madera</b>	
<p>Diseñado para cortar madera.</p>	
<b>Martillo</b>	
<p>Con mango De Fibra De Vidrio</p>	

### **6.3.6.2. Ejecución del sostenimiento de madera**

En primer lugar, se comienza marcando el centro de la zona de trabajo. Para esto, se identifica los puntos de dirección clave, asegurando de que estén alineados con la parte superior de la labor, lo cual permite ubicar con precisión el centro de la zona de trabajo.

**Figura 54.**

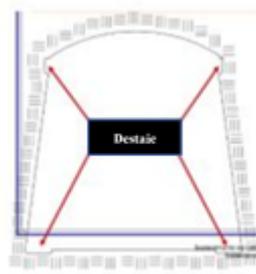
*Centro de zona de trabajo*



Luego, se preparan las hendiduras. Considerando la ubicación de los elementos y las características del terreno, se procede a picar las hendiduras a la longitud adecuadas, lo que sirve como anclajes para los elementos de la estructura.

**Figura 55.**

*Preparación de hendiduras*



Una vez listas las hendiduras, se corta los elementos estructurales conforme a las distancias obtenidas durante el marcado de los mismos, lo cual va a garantizar que los elementos se ajusten correctamente a la configuración del terreno.

**Figura 56.**

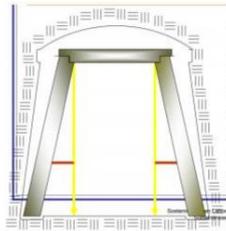
*Elementos estructurales*



Se nivela el marco de trabajo colocando los elementos principales, como postes y sombreros. Se procede a medir las distancias asegurando una nivelación precisa.

**Figura 57.**

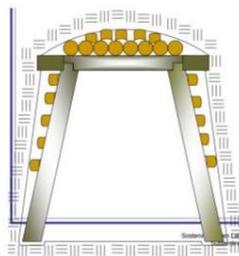
*Colocar elementos principales y ajuste de cordeles*



Por último, se procede a colocar los tablonos para el enrejado lateral y superior.

**Figura 58.**

*Bloqueo y enrejado de elementos*



Los marcos de entibación tendrán una separación sistemática de 1 m. Se recomienda el uso de madera de eucalipto, ya que, es la más utilizada en minería subterránea en la zona del proyecto debido a su disponibilidad. El eucalipto destaca por su homogeneidad, dureza, peso y resistencia, adaptándose a las condiciones del entorno minero. El diseño del sistema de sostenimiento se presenta a continuación, elaborado mediante el software AutoCAD.

**Figura 59.**

*Sostenimiento de madera*

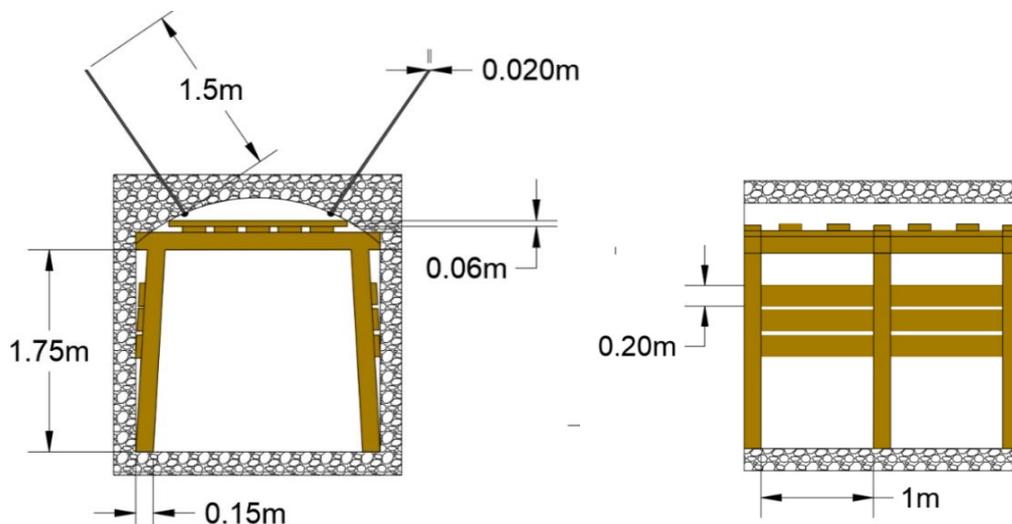
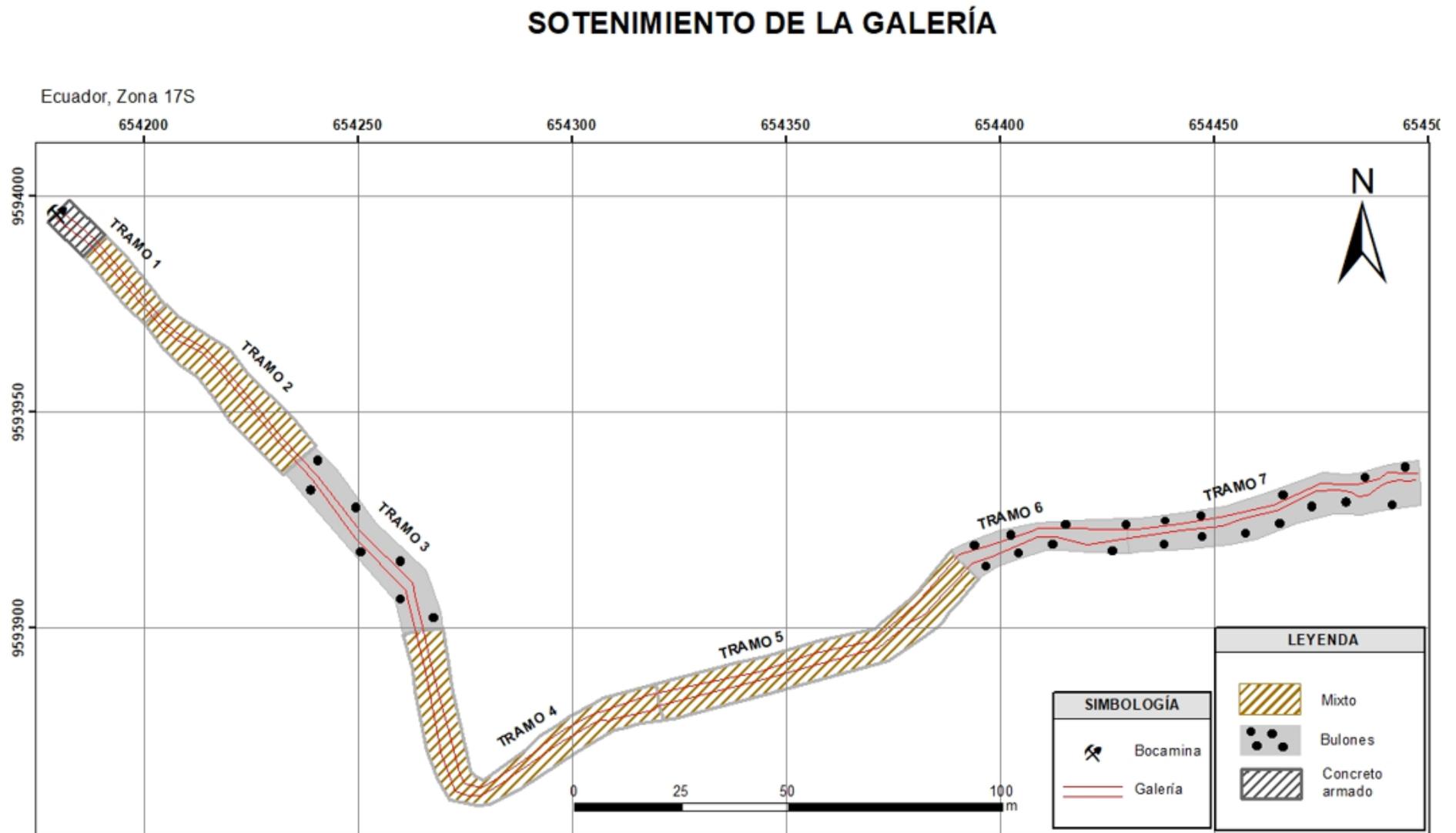


Figura 60.

Sostenimiento de la galería



### 6.3.7. Análisis económico

Para llevar a cabo los sostenimientos se realiza un análisis económico por metro de avance, de los materiales necesarios los cuales se detallan a continuación:

➤ *Sostenimiento mixto (bulonado + madera)*

**Tabla 51.**

*Análisis económico para el Tramo N°1*

<b>TRAMO N°1</b>				
<b>Materiales para sostenimiento</b>	<b>Total de unidades</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Valor por tramo (10 m)</b>	
Cemento	97.5	8\$	780	
Malla	1	30\$	30	
Arena	195	1.25\$	243.75	
Alquiler de maquinaria	1	500\$	500\$	
<b>TOTAL</b>			1553.75	
<b>Materiales para sostenimiento</b>	<b>Total de unidades</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Unidades por 2 metros de avance</b>	<b>Valor por tramo (20 m)</b>
Pernos Helicoidales	20	7\$	2	140
Bits de perforación	20	1.25\$	2	25
Placas para pernos de anclaje	20	1.5\$	2	30
Malla electrosoldada	1.8	19\$ (rollo 25 m)	1 m	34.2
Cable de acero	40 m	0.40\$/m	2 m	16
Tuercas para pernos	20	0.90\$	2	18
<b>Materiales para sostenimiento</b>	<b>Total de unidades</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Unidades por 1 metro de avance</b>	<b>Valor por tramo (30 m)</b>
Madera (Parante)	60	8\$	3	480
Madera (tablón 1.15 m)	280	2\$	14	560
Pernos para madera	700	0.05\$	35	35
<b>TOTAL</b>				1338.2

**Tabla 52.**

*Análisis económico para el Tramo N°2*

<b>TRAMO N°2</b>				
<b>Materiales para sostenimiento</b>	<b>Total de unidades</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Unidades por 2 metros de avance</b>	<b>Valor por tramo (50 m)</b>
Pernos Helicoidales	50	7\$	2	350
Bits de perforación	50	1.25\$	2	62,5
Placas para pernos de anclaje	50	1.5\$	2	75
Malla electrosoldada	2	19\$ (rollo 25 m)	1 m	38
Cable de acero	100 m	0.40\$/m	2 m	40
Tuercas para pernos	50	0.90\$	2	45

<b>Materiales para sostenimiento</b>	<b>Total de unidades</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Unidades por 1 metro de avance</b>	<b>Valor por tramo (50 m)</b>
Madera (Parante)	150	8\$	3	1200
Madera (tablón 1.15 m)	700	2\$	14	1400
Pernos para madera	1750	0.05\$	35	87.5
<b>TOTAL</b>				3298

**Tabla 53.**

*Análisis económico para el Tramo N°3*

<b>TRAMO N°3</b>				
<b>Materiales para sostenimiento</b>	<b>Total de unidades</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Unidades por 1 metro de avance</b>	<b>Valor por tramo (50 m)</b>
Pernos Helicoidales	50	7\$	2	350
Bits de perforación	50	1.25\$	2	62.5
Placas para pernos de anclaje	50	1.5\$	2	75
Malla electrosoldada	2	19\$ (rollo 25m)	1 m	38
Cable de acero	100 m	0.40\$/m	2 m	40
Tuercas para pernos	50	0.90\$	2	45
<b>TOTAL</b>				610.5

**Tabla 54.**

*Análisis económico para el Tramo N°4*

<b>TRAMO N°4</b>				
<b>Materiales para sostenimiento</b>	<b>Total de unidades</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Unidades por 1 metro de avance</b>	<b>Valor por tramo (90 m)</b>
Pernos Helicoidales	90	7\$	2	630
Bits de perforación	90	1.25\$	2	112.5
Placas para pernos de anclaje	90	1.5\$	2	135
Malla electrosoldada	3.6	19\$ (rollo 25m)	1 m	68,4
Cable de acero	180 m	0.40\$/m	2 m	72
Tuercas para pernos	90	0.90\$	2	81
<b>Materiales para sostenimiento</b>	<b>Total de unidades</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Unidades por 1 metro de avance</b>	<b>Valor por tramo (80 m)</b>
Madera (Parante)	290	8\$	3	2320
Madera (tablón 1.15 m)	1260	2\$	14	2520
Pernos para madera	2250	0.05\$	35	112.5
<b>TOTAL</b>				1098.9

**Tabla 55.**

*Análisis económico para el Tramo N°5*

<b>TRAMO N°5</b>				
<b>Materiales para sostenimiento</b>	<b>Total por unidad</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Unidades por 1 metro de avance</b>	<b>Valor por tramo (80 m)</b>
Pernos Helicoidales	80	7\$	2	560
Bits de perforación	80	1.25\$	2	100
Placas para pernos de anclaje	80	1.5\$	2	120
Malla electrosoldada	3.2	19\$ (rollo 25m)	1 m	60,8
Cable de acero	160 m	0.40\$/m	2 m	64
Tuercas para pernos	80	0.90\$	2	72
<b>Materiales para sostenimiento</b>	<b>Total de unidades</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Unidades por 1 metro de avance</b>	<b>Valor por tramo (80 m)</b>
Madera (Parante)	240	8\$	3	1920
Madera (tablón 1.15 m)	1120	2\$	14	2240
Pernos para madera	2800	0.05\$	35	140
<b>TOTAL</b>				<b>5276.8</b>

**Tabla 56.**

*Análisis económico para el Tramo N°6*

<b>TRAMO N°6</b>				
<b>Materiales para sostenimiento</b>	<b>Total de unidades</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Unidades por 1 metro de avance</b>	<b>Valor por tramo (40 m)</b>
Pernos Helicoidales	40	7\$	2	280
Bits de perforación	40	1.25\$	2	50
Placas para pernos de anclaje	40	1.5\$	2	60
Malla electrosoldada	1.6	19\$ (rollo 25m)	1 m	30.40
Cable de acero	80 m	0.40\$/m	2 m	32
Tuercas para pernos	40	0.90\$	2	36
<b>TOTAL</b>				<b>488.4</b>

**Tabla 57.**

*Análisis económico para el Tramo N°7*

<b>TRAMO N°7</b>				
<b>Materiales para sostenimiento</b>	<b>Total de unidades</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Unidades por 1 metro de avance</b>	<b>Valor por tramo (60 m)</b>
Pernos Helicoidales	60	7\$	2	420
Bits de perforación	60	1.25\$	2	75
Placas para pernos de anclaje	60	1.5\$	2	90
Malla electrosoldada	2.4	19\$ (rollo 25m)	1 m	45.6
Cable de acero	120 m	0.40\$/m	2 m	48
Tuercas para pernos	60	0.90\$	2	54
<b>TOTAL</b>				<b>732.6</b>

➤ **Costos de los equipos**

**Tabla 58.**

*Costos de equipos*

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>
Taladro YN27C1	1	800 \$
Bomba de inyección 2zbq-9/3	1	1000 \$
Juego de raches	1	30 \$
Taladro Stanley	1	250 \$
Sierra	2	20 \$
Martillo	2	18 \$
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>2118 \$</b>

**Tabla 59.**

*Consumo de combustible*

<b>Material</b>	<b>N.º de perforaciones</b>	<b>Metros de perforación</b>	<b>Galones de combustible</b>	<b>Valor</b>
Combustible	400	600	19	2.46 \$
<b>Total</b>				<b>46.74 \$</b>

➤ **Costos de lechada**

**Tabla 60.**

*Costos de lechada*

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor</b>
Cemento	8 sacos	8 \$
<b>Total</b>		<b>64 \$</b>

➤ **Valor de mano de obra**

**Tabla 61.**

*Mano de obra*

<b>Mano de obra</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio por día (USD)</b>	<b>Tiempo de trabajo</b>	<b>Valor por tiempo de trabajo</b>
Maestro para concreto	2	30	7 días	420
Maestro enmaderador	1	30	17 días	510
Ayudante	1	25	17 días	425
Operador de taladro	1	30	56 días	1680
Obrero	1	25	56 días	1400
<b>Total</b>	4	110		4435

➤ **Costo total de sostenimiento para la galería**

**Tabla 62.**

*Valor total para sostenimientos*

<b>VALOR TOTAL DE SOSTENIMIENTOS</b>	
<b>N° de tramos</b>	<b>Valor (USD)</b>
Tramo N°1	2891.95
Tramo N°2	3298
Tramo N°3	610.5
Tramo N°4	1098.9
Tramo N°5	5276.8
Tramo N°6	488.4
Tramo N°7	732.6
<b>Total</b>	14427.15
<b>Valor de combustible</b>	46.74
<b>Valor de los equipos</b>	2118
<b>Valor de lechada</b>	64
<b>Valor de mano de obra</b>	4435
<b>Total</b>	21090.89 \$

Con base en los resultados obtenidos mediante el análisis geomecánico, se han formulado medidas específicas de sostenimiento para 7 tramos en donde 3 tramos con calidad media serán bulonado. Además, en los primeros 10 metros del tramo 1 se utilizará concreto armado, y en los tramos 1 (20 metros restantes), 2, 4 y 5 clasificados como de calidad excepcionalmente mala y mala, se propone la implementación de un sostenimiento mixto, utilizando tanto bulones como elementos de madera.

**6.3.8. Cronograma de actividades**

A continuación, se establece el cronograma de trabajo para la ejecución del sostenimiento previamente planteado.





## 7. Discusión

En el presente estudio geomecánico centrado en la galería principal de transporte en las labores mineras de la empresa Landapo S.A en la concesión "Corvis" (código 145), ubicada en el sector Vizcaya, se buscó analizar las condiciones geomecánicas con el fin de dar propuestas de sostenimiento.

La litología se identificó mediante la toma de muestras de mano cada 10 metros, obteniendo un total de 41 muestras, las cuales se analizaron en laboratorio, determinando así, que, la geología de la galería principal de transporte está constituida por roca andesita con texturas afanítica y porfirítica. Lo que concuerda con lo que determina Bonilla (2009) en que el área de estudio regionalmente contiene tres miembros geológicos: miembro Portovelo, miembro El Faique y miembro Muluncay, todos pertenecientes al grupo Saraguro del Terciario. Estos miembros están compuestos principalmente por lavas andesíticas y andesitas basálticas. Además, coincide con los resultados del estudio geológico de Coello (2023), quien utilizó una metodología similar y analizó la geología de la mina "Montesdeoca" de la concesión minera Miranda Minermir S.A., una concesión adyacente a la concesión Corvis, determinando la presencia de andesita porfirítica y afanítica en su área de estudio.

El rumbo de las fallas identificadas en la zona de estudio va en sentido SE y el de la veta NW. Lo que permite interpretar que la veta posiblemente pertenece a un mismo sistema, comprobando lo expuesto por (Kalinaj, 2004) que las fallas en echelón delimitan el enjambre de vetas que presenta direcciones NW-SE y NE-SW con buzamiento hacia el este, de dirección NW-SE creando espacios dilatantes y favoreciendo la mineralización (PRODEMINCA, 2000).

En las zonas de mineralización de la zona de estudio se pudo observar la presencia de minerales como, calcopirita, cuarzo, clorita, hematitas, cloritas y piritas, en donde la roca de caja es andesita con alteraciones propilíticas lo cual concuerda con lo citado por el autor Van Thournout (1996).

Para la caracterización geomecánica se dividió la galería en 7 tramos aplicando en cada uno de ellos las metodologías de Bieniaswki, Barton y GSI.

Los tramos analizados mediante RMR presentan una calidad de roca que van de II Buena a V Muy Mala; estos resultados son semejantes a los obtenidos por Coello (2023) en su análisis de calidad del macizo rocoso por el método (RMR) determinando calidades que van de III media a IV mala. Al igual que con la investigación de Ordoñez (2016)

realizada en la mina “A la Carretera” de la concesión contigua Miranda Minermir S.A., donde la clasificación (RMR) que obtiene es de clase II, es decir buena

En los sostenimientos propuestos por Bieniawski y Barton se diferencian planteamientos en el diseño de sostenimiento basado en la clasificación geomecánica, debido a que, Bieniawski sugiere bulones más largos y un espaciamiento más reducido en los tramos de menor calidad geomecánica, por otro lado, Barton opta por sugerir una longitud de los bulones (2.20 m para todos los tramos), con un espaciamiento variable que aumenta significativamente en tramos de mejor calidad geomecánica.

Si bien los sostenimientos propuestos por los autores Bieniawski y Barton están fundamentados, se optó por proponer un sostenimiento similar que se adapta mejor a las características de la galería, se propone en los primeros 10 metros un sostenimiento de concreto armado, para los tramos excepcionalmente malo y malo un sostenimiento mixto de bulones y madera, y para los de calidad media bulonado.

## 8. Conclusiones

- La zona de estudio superficial se encuentra conformada por 5 (ha) mineras contiguas pertenecientes a la concesión Corvis, dicha zona está compuesta por una topografía irregular con cotas que van desde 1325 a 1460 m.s.n.m. en donde la cota más baja se encuentra al Nor-oeste y la cota mayor al Nor-este del área de estudio, mientras que la topografía subterránea presenta cotas que van desde 1340,06 a 1349 m.s.n.m.
- La geología en la zona de estudio se caracteriza por un complejo ígneo compuesto por rocas volcánicas de composición andesítica, las cuales presentan texturas tanto porfíricas como afaníticas, presentando estructuras masivas con una variación de color que va desde tonalidades grises claras a oscuras, amarillos-rojizas y verdosas, con una densidad promedio de  $2,65 \text{ gr/cm}^3$  y una porosidad promedio de 15.88 %. además, se observan signos de alteraciones propilíticas en estas formaciones rocosas. En superficie, existe la presencia de andesita meteorizada, dando lugar a un saprolito andesítico, el mismo que, presenta tonalidades rojizas y se extiende hasta una profundidad que varía de 10 m. Además, se identificaron 2 fallas con dirección SE, una veta con dirección NW, y un stockwork en el metro 310.
- En la clasificación geomecánica de los 7 tramos de la galería principal de transporte, se obtuvo lo siguiente: según el sistema RMR, el tramo 1 se clasifica como Clase V – Muy Mala, los tramos 2, 3, 4, 5 y 7 como Clase III – Media, y el tramo 6 como Clase II – Buena. De acuerdo con el índice GSI, el tramo 1 corresponde a una clase Muy Mala, los tramos 2, 3, 4, 5 y 6 a una clase Regular, y el tramo 7 a una clase Buena. Finalmente, según el sistema Q de Barton, el tramo 1 se clasifica como Excepcionalmente Malo, los tramos 2, 4 y 5 como de calidad Mala, y los tramos 3, 6 y 7 como de calidad Media.
- El sostenimiento de la galería se propone en función de las condiciones de la galería y al factor económico, en los primeros 10 m de bocamina se puede optar por la construcción de un sostenimiento de concreto armado, para los tramos más propensos a caída de roca un sostenimiento mixto el cual se compone por un bulonado sistemático con separaciones de 2 m con pernos helicoidales autoperforantes de 1.5 m de longitud con una malla electrosoldada de acero (150 x150 mm) y diámetro de 6mm y arco de madera cada 1m, y para los tramos menos conflictivos solo bulonado.

## **9. Recomendaciones**

- Se recomienda recolectar información detallada, para la obtención de datos más precisos en geología y geomecánica.
- Es importante mantener actualizada la base topográfica superficial e interior mina, de acuerdo a los avances de explotación que se realizan en la galería.
- Mantener control y monitoreo con las zonas donde exista mayor presencia de agua, ya que, tiene impacto directo en el macizo rocoso afectando su calidad.
- Realizar controles geomecánicos de manera regular para entender el comportamiento del macizo rocoso a partir de esto generar información actualizada para tomar acciones preventivas y precautelar la seguridad minera.

## 10. Bibliografía

- Ailón M. (2016, 11 de diciembre). Historia de las normas mineras en Ecuador. PBP.  
<https://www.pbplaw.com/es/historia-de-las-normas-mineras-en-ecuador/>
- Ariosa J. y Díaz R. (2001). Modelos de Yacimientos Minerales: Tipologías y Aplicaciones.  
Revista Minería y Geología. 17(2). 3-14.
- Almeida, M. (2019). Estudio de caso sobre la gobernanza del sector minero en el Ecuador. CEPAL. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44876/1/1900582\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44876/1/1900582_es.pdf)
- Banco Central del Ecuador BCE. (s.f.). Sector minero. Cartilla informativa. BCE.  
<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla00.pdf>
- Barreto, F. & Sáenz, D. (2018). DISEÑO GEOMECÁNICO DE LA LABOR SUBTERRÁNEA POZOS RICOS APLICANDO EL MÉTODO GRÁFICO DE ESTABILIDAD DE MATHEWS, HUALGAYOC – PERÚ 2018. [Tesis para optar el título profesional de: Ingeniero de Minas]. Universidad Privada del Norte. Repositorio Institucional de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13693/Barreto%20Barrantes%20Franklin%20Joel%20-%20S%20a1enz%20Ar%20a9valo%20Dany%20Omar.PDF?sequence=1&isAllowed=y>
- Barton, N. (1976). Recent experience with the Q System in tunnel support design. En Bonilla, W. (2009): *Metalogenia del distrito minero Zaruma – Portovelo, República del Ecuador*, tesis presentada para optar al título de Doctor en Ciencias Geológicas de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- Celada, B., Tardáguila, I., Rodríguez, A., Varona, P., y Bieniawski, Z. (2014). Actualización y mejora del RMR. *Ingeopres*, (234), 18-22.
- Coello, S. (2023). *Estudio geológico-geotécnico de la galería principal de la mina Montesdeoca perteneciente a la Corporación Minera Miranda Minermir S.A., Áreas de concesión minera Mimopi COD. 264 y Miranda COD. 481*. [Tesis para Ingeniería]. Universidad Nacional de Loja. Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables
- Bieniawski, Z. T. (Ed.), Proceedings of the Symposium on Exploration for Rock Engineering (pp. 107-115). Johannesburg: A. A. Balkema.
- Dalper. (2023). Accesorios para perforación.

- <https://www.interempresas.net/Mineria/FeriaVirtual/Producto-Bulones-de-fibra-de-vidrio-Weldgrip-Fibregrif-FT-500-102054.html>
- DEACERO. (2023). Malla minera. <https://www.deacero.com/malla-minera>
- Estupiñan R., Romero P., García M., Garsés D. y Valverde P. (2021). La minería en Ecuador. Pasado, presente y futuro. Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL. <https://library.co/document/y8gv69k5-la-miner%C3%ADa-en-ecuador-pasado-presente-y-futuro.html>
- Fonseca, R., Raïmat, C., Prieto, J., Brändle, R., Von G., Fischer, G., y Mark, S. (2022). *Diseño racional del sostenimiento en galerías subterráneas basado en la clasificación geomecánica Q*. [X Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables]. International Centre for Numerical Methods in Engineering
- García G. (1985). Geología Estructural. (1º. Ed). Pueblo y Educación
- Gavilanes, H. y Andrade, B. (2004). Introducción a la Ingeniería de túneles. AIME. Quito
- Geoxnet. (2019, 15 de septiembre). Geología Estructural. Geoxnet. <https://post.geoxnet.com/geologia-estructural/>
- Google Earth (2022)
- Hoek, E. (2006). Practical Rock Engineering. North Vancouver, British Columbia
- Kalinaj, M. (2004). *Zaruma Project, Ecuador, Technical report prepared for Dynasty Metals & Mining Inc.*, 98 p
- Lowson, A. y Bieniawski, Z. (2013). Critical Assessment of RMR based Tunnel Design Practices: a Practical Engineer's Approach. Rapid Excavation & Tunneling Conference
- LUMITOS AG. (2017). Mineralogía. Química.es. <https://www.quimica.es/enciclopedia/Mineralog%C3%ADa.html>
- Ordoñez, C. (2016). *Estudio Geológico Estructural De La Galería Principal De Acceso Y Transporte, Denominada "Mina A La Carretera" Del Área Minera "Miranda Alto" Código 481 Del Cantón Zaruma Provincia Del El Oro-Ecuador*. [Tesis para Ingeniería]. Universidad Nacional de Loja. Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables
- Oyanguren, P. R., & Monge, L. A. (2004). Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Naciones Unidas. (s.f.). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas un.org. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>
- PRODEMİNCA, P. d. (2000). Evaluación de distritos mineros del Ecuador. Quito:

ilustrada.

Sánchez G.J. (2021). Minería. economipedia.

<https://economipedia.com/definiciones/mineria.html#referencia>

Rincón M., Vargas W. y González C. (2018). Topografía Conceptos y Aplicaciones. Ecoe.

Sagaseta. C., Sánchez. J. y Cañizal. J. (2001). A general analytical solution for the required anchor force in rock slopes with toppling failure. *Revista Internacional de Mecánica de Rocas y Ciencias Mineras*, 38(3), 421-435.

Sociedad Geológica de Londres, Federación Europea de Geólogos e Ilustre Colegio

Oficial de Geólogos. (2015, marzo). Geología para la Sociedad. ICOG.  
[http://www.icog.es/TyT/files/geo\\_sociedad.pdf](http://www.icog.es/TyT/files/geo_sociedad.pdf)

SONAMI. (2016). FORTIFICACIÓN Y ACUÑADURA. GUÍA DE OPERACIÓN PARA LA PEQUEÑA MINERÍA. SOCIEDAD MINERA DE CHILE.  
<https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/7.fortificacion-acunadura.pdf>

Toledo, F., De la Cruz, E., y Ortiz, O. (1998). Entibación en Mina con madera reforzada.

*Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM, 1(2), 1-8*

Torres E. (2015, 02 de mayo). Estructuras geológicas. Slideshare.

<https://es.slideshare.net/eduardo26snap/estructuras-geologicas-47677357>

Torres J. (2022). Explotación del Oro en Placeres, Vetas y Rocas. *Arqueología Mexicana*.

<https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/explotacion-del-oro-en-placeres-vetas-y-rocas>

Vallejo. G. et. al. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson

Van Thournout. (1996), Allochthonous terranes in northern Ecuador. *Tectonophysics* 205, 205 – 222.

Zavala. J. (2014). DISEÑO DE EXCAVACIÓN DE LA GALERÍA PRINCIPAL DE ACCESO A LA MINA REINA DEL CISNE., DISTRITO MINERO PORTOVELO - ZARUMA, CANTÓN ZARUMA, PROVINCIA DE EL ORO. [Tesis para optar el título profesional de: Ingeniero de Minas]. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.

## 11. Anexos

### Anexo 1.

#### Fichas de Calicatas.

 <b>CALICATAS</b>	
<b>Código</b> 01	<b>Coordenadas</b> PSAD/56 654273-9594003
<b>Dimensiones</b> 52*75cm	
<b>Profundidad</b> 2m	
<b>Tipo de cobertura</b> Herbácea	
<b>Color</b> Rojizo	
<b>Tipo de material</b> Sábulo andesítico	
<b>Observaciones</b> Presencia de una coloración rosada o salmonada a 1 metro de profundidad	
	

 <b>CALICATAS</b>	
<b>Código</b> 02	<b>Coordenadas</b> PSAD/56 654430-9593995
<b>Dimensiones</b> 50*72 cm	
<b>Profundidad</b> 2 m	
<b>Tipo de cobertura</b> Herbácea	
<b>Color</b> Rojizo	
<b>Tipo de material</b> Sábulo andesítico	
<b>Observaciones</b> Abundante cobertura herbácea	
	

 <b>CALICATAS</b>		
<b>Código</b> 03	<b>Coordenadas</b> PSAD/56 654440-9593888	
<b>Dimensiones</b> 50*62cm		
<b>Profundidad</b> 2m		
<b>Tipo de cobertura</b> Herbácea		
<b>Color</b> Pardo- oscuro		
<b>Tipo de material</b>		
<b>Observaciones</b> Presenta un tono más oscuro que las demás calicatas		

 <b>CALICATAS</b>		
<b>Código</b> 04	<b>Coordenadas</b> PSAD/56 654239-9593885	
<b>Dimensiones</b> 52*65cm		
<b>Profundidad</b> 1.80m		
<b>Tipo de cobertura</b> Herbácea		
<b>Color</b> Rojizo		
<b>Tipo de material</b> Sábulo andesítico		
<b>Observaciones</b> Escaza cobertura herbácea		

**Anexo 2.**

*Descripción macroscópica de muestras de roca*

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>	
<b>Código</b> M1	<b>Ubicación</b> 0+010
<b>Tipo de roca</b> Ígnea-volcánica	
<b>Color</b> Rojizo-amarillo	
<b>Textura</b> Afanítica	
<b>Granulometría</b> Grano fino	
<b>Estructura</b> Masiva	
<b>Nombre de roca</b> Andesita	
<b>Observaciones</b> Roca alterada por presencia de óxido de Hierro	



 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>	
<b>Código</b> M2	<b>Ubicación</b> 0+020
<b>Tipo de roca</b> Ígnea - volcánica	
<b>Color</b> Rojizo-amarillo	
<b>Textura</b> Afanítica	
<b>Estructura</b> Masiva	
<b>Granulometría</b> Grano fino	
<b>Nombre de roca</b> Andesita	
<b>Observaciones</b> Presenta tonalidades rosadas o salmonadas por la existencia de feldespato potásico.	



DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA	
	
<b>Código</b> M3	<b>Ubicación</b> 0+030
<b>Tipo de roca</b> Ígnea - volcánica	
<b>Color</b> Gris claro	
<b>Textura</b> Porfírica	
<b>Estructura</b> Masiva	
<b>Granulometría</b> Grano fino	
<b>Nombre de la roca</b> Andesita	
<b>Observaciones</b> Contenido de cuarzo y piritita. Presenta Alteración y oxidación.	
	

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA	
	
<b>Código</b> M4	<b>Ubicación</b> 0+040
<b>Tipo de roca</b> Ígnea - volcánica	
<b>Color</b> Gris-claro	
<b>Textura</b> Porfírica	
<b>Estructura</b> Masiva	
<b>Granulometría</b> Grano fino a medio	
<b>Nombre de la roca</b> Andesita	
<b>Observaciones</b> Presenta alteración y oxidación	
	

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>	
Código M5	Ubicación. 0+050
Tipo de roca Ígnea - volcánica	
Color Gris claro	
Textura Porfirítica	
Estructura Masiva	
Granulometría Grano fino a medio	
Nombre de la roca Andesita	
Observaciones Contiene Pirita Presenta oxidación	



 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>	
Código M6	Ubicación 0+060
Tipo de roca Ígnea – volcánico	
Color Gris claro	
Textura Porfirítica	
Estructura Masiva	
Granulometría Grano fino a medio	
Nombre de la roca Andesita	
Observaciones Presenta oxidación	



 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
Código M7	Ubicación 0+070	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris claro		
Textura Porfiritica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Contiene calcopirita Presenta oxidación		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
Código M8	Ubicación 0+080	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris		
Textura Porfiritica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca. Andesita		
Observaciones Presenta alteración y oxidación		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
Código M9	Ubicación 0+090	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris claro		
Textura Porfírica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Contiene calcopirita Presenta alteración y oxidación		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
Código M10	Ubicación 0+0100	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris claro		
Textura Afanítica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Presenta alteración y oxidación		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M11	<b>Ubicación</b> 0+0110	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris claro		
Textura Afanítica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Contiene calcopirita Presenta alteración y oxidación		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M12	<b>Ubicación</b> 0+0120	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris claro		
Textura Afanítica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Contiene calcopirita Presenta alteración y oxidación		

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA	
	
<b>Código</b> M13	<b>Ubicación</b> 0+0130
Tipo de roca Ígnea - volcánica	
Color Gris claro	
Textura Porfiritica	
Estructura Masiva	
Granulometría Grano fino	
Nombre de la roca Andesita	
Observaciones Presenta alteración y oxidación	



DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE MUESTRAS DE ROCA	
	
<b>Código</b> M14	<b>Ubicación</b> 0+0140
Tipo de roca Ígnea - volcánica	
Color Gris claro	
Textura Porfiritica	
Estructura Masiva	
Granulometría Grano fino a medio	
Nombre de la roca Andesita	
Observaciones Presenta alteración y oxidación	



DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA	
	
<b>Código</b> M15	<b>Ubicación</b> 0+0150
Tipo de roca Ígnea - volcánica	
Color Gris claro	
Textura Porfiritica	
Estructura Masiva	
Granulometría Grano fino	
Nombre de la roca Andesita	
Observaciones Contiene calcopirita Presenta alteración y oxidación	
	

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA	
	
<b>Código</b> M16	<b>Ubicación</b> 0+0160
Tipo de roca Ígnea - volcánica	
Color Gris claro	
Textura Porfiritica	
Estructura Masiva	
Granulometría Grano fino	
Nombre de la roca Andesita	
Observaciones Contiene calcopirita Presenta alteración y oxidación	
	

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M17	<b>Ubicación</b> 0+0170	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris claro		
Textura Afanítica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Presenta alteración y oxidación		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M18	<b>Ubicación</b> 0+0180	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris claro		
Textura Afanítica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Contiene calcopirita Presenta alteración y oxidación		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M19	<b>Ubicación</b> 0+0190	
<b>Tipo de roca</b> Ígnea - volcánica		
<b>Color</b> Gris claro		
<b>Textura</b> Afanítica		
<b>Estructura</b> Masiva		
<b>Granulometría</b> Grano fino		
<b>Nombre de la roca</b> Andesita		
<b>Observaciones</b> Contiene calcopirita Presenta alteración y oxidación		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M20	<b>Ubicación</b> 0+0200	
<b>Tipo de roca</b> Ígnea - volcánica		
<b>Color</b> Gris claro		
<b>Textura</b> Afanítica		
<b>Estructura</b> Masiva		
<b>Granulometría</b> Grano fino		
<b>Nombre de la roca</b> Andesita		
<b>Observaciones</b> Contiene calcopirita Presenta alteración y oxidación		

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA	
	
<b>Código</b> M21	<b>Ubicación</b> 0+0210
<b>Tipo de roca</b> Ígnea - volcánica	
<b>Color</b> Gris oscuro	
<b>Textura</b> Porfiritica	
<b>Estructura</b> Masiva	
<b>Granulometría</b> Grano fino	
<b>Nombre de la roca</b> Andesita	
<b>Observaciones</b> Contiene calcopirita Presenta alteración y oxidación	
	

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA	
	
<b>Código</b> M22	<b>Ubicación</b> 0+0220
<b>Tipo de roca</b> Ígnea - volcánica	
<b>Color</b> Gris claro	
<b>Textura</b> porfiritica	
<b>Estructura</b> Masiva	
<b>Granulometría</b> Grano fino	
<b>Nombre de la roca</b> Andesita	
<b>Observaciones</b> Contiene calcopirita Presenta alteración y oxidación	
	

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M23	<b>Ubicación</b> 0+0230	
<b>Tipo de roca</b> Ígnea - volcánica		
<b>Color</b> Gris oscuro		
<b>Textura</b> Porfiritica		
<b>Estructura</b> Masiva		
<b>Granulometría</b> Grano fino a medio		
<b>Nombre de la roca</b> Andesita		
<b>Observaciones</b> Presenta alteración y oxidación		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M24	<b>Ubicación</b> 0+0240	
<b>Tipo de roca</b> Ígnea - volcánica		
<b>Color</b> Gris oscuro		
<b>Textura</b> Porfiritica		
<b>Estructura</b> Masiva		
<b>Granulometría</b> Grano fino a medio		
<b>Nombre de la roca</b> Andesita		
<b>Observaciones</b> Contiene vetillas de cuarzo Presenta alteración y oxidación		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
Código M25	Ubicación 0+0250	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris oscuro		
Textura Porfírica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Contiene vetillas de cuarzo Presenta alteración y oxidación		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
Código M26	Ubicación 0+0260	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris claro		
Textura Porfírica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino a medio		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Contiene calcopirita y veta de cuarzo con potencia de 0.8cm Presenta oxidación		

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA	
 <b>Código</b> M27	<b>Ubicación</b> 0+0270
Tipo de roca Ígnea - volcánica	
Color Gris oscuro	
Textura porfiritica	
Estructura Masiva	
Granulometría Grano fino	
Nombre de la roca Andesita	
Observaciones Contiene piroxenos Presencia de carbonatos	



DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA	
 <b>Código</b> M28	<b>Ubicación</b> 0+0280
Tipo de roca Ígnea - volcánica	
Color Gris oscuro	
Textura Porfiritica	
Estructura Masiva	
Granulometría Grano fino	
Nombre de la roca Andesita	
Observaciones Contiene calcopirita	



 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
Código M29	Ubicación 0+0290	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris oscuro		
Textura Porfirítico		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Contiene pirita		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
Código M30	Ubicación 0+0300	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris oscuro		
Textura Porfirítica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Contiene vetillas de cuarzo		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M31	<b>Ubicación</b> 0+0310	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris oscuro		
Textura Porfiritica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Contiene vetillas de cuarzo y presencia de drusas Presenta oxidación		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M32	<b>Ubicación</b> 0+0320	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris oscuro		
Textura Porfiritica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Contiene vetillas de cuarzo y pirita		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M33	<b>Ubicación</b> 0+0330	
<b>Tipo de roca</b> Ígnea - volcánica		
<b>Color</b> Gris oscuro		
<b>Textura</b> Porfírica		
<b>Estructura</b> Masiva		
<b>Granulometría</b> Grano fino		
<b>Nombre de la roca</b> Andesita		
<b>Observaciones</b> Contiene pirita y cuarzo		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M34	<b>Ubicación</b> 0+0340	
<b>Tipo de roca</b> Ígnea - volcánica		
<b>Color</b> Amarilla-rojiza		
<b>Textura</b> Afanítica		
<b>Estructura</b> Masiva		
<b>Granulometría</b> Grano fino		
<b>Nombre de la roca</b> Andesita		
<b>Observaciones</b> Presenta meteorización por presencia de agua		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M35	<b>Ubicación</b> 0+0350	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Café - amillenta		
Textura Afanítica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Presenta vetas de cuarzo Altamente meteorizada		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M36	<b>Ubicación</b> 0+0360	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Café – amarilla		
Textura afanítica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Presencia de alteración Contiene vetas de cuarzo con Potencia 1cm		

DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA	
	
<b>Código</b> M37	<b>Ubicación</b> 0+0370
Tipo de roca Ígnea - volcánica	
Color Gris oscuro	
Textura Porfiritica	
Estructura Masiva	
Granulometría Grano fino	
Nombre de la roca Andesita	
Observaciones Contiene carbonatos Presenta oxidación	



DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA	
	
<b>Código</b> M38	<b>Ubicación</b> 0+0380
Tipo de roca Ígnea - volcánica	
Color Gris oscuro	
Textura Porfiritica	
Estructura Masiva	
Granulometría Grano fino a medio	
Nombre de la roca Andesita	
Observaciones Contiene carbonatos Presenta oxidación	



 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M39	<b>Ubicación</b> 0+0390	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris oscuro		
Textura Porfiritica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Contiene carbonatos Presenta oxidación		

 <b>DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA</b>		
<b>Código</b> M40	<b>Ubicación</b> 0+0400	
Tipo de roca Ígnea - volcánica		
Color Gris oscuro		
Textura Porfiritica		
Estructura Masiva		
Granulometría Grano fino a medio		
Nombre de la roca Andesita		
Observaciones Presenta vetillas de cuarzo Contiene calcopirita		



## DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA DE MUESTRAS DE ROCA

<b>Código</b> M41	<b>Ubicación</b> 0+0170
Tipo de roca Veta mineralizada	
Color Gris claro	
Textura Porfírica	
Estructura Masiva	
Granulometría Grano fino a medio	
Nombre de la roca Veta	
Observaciones Presenta cuarzo, cobre, pirita, hematita, calcopirita	



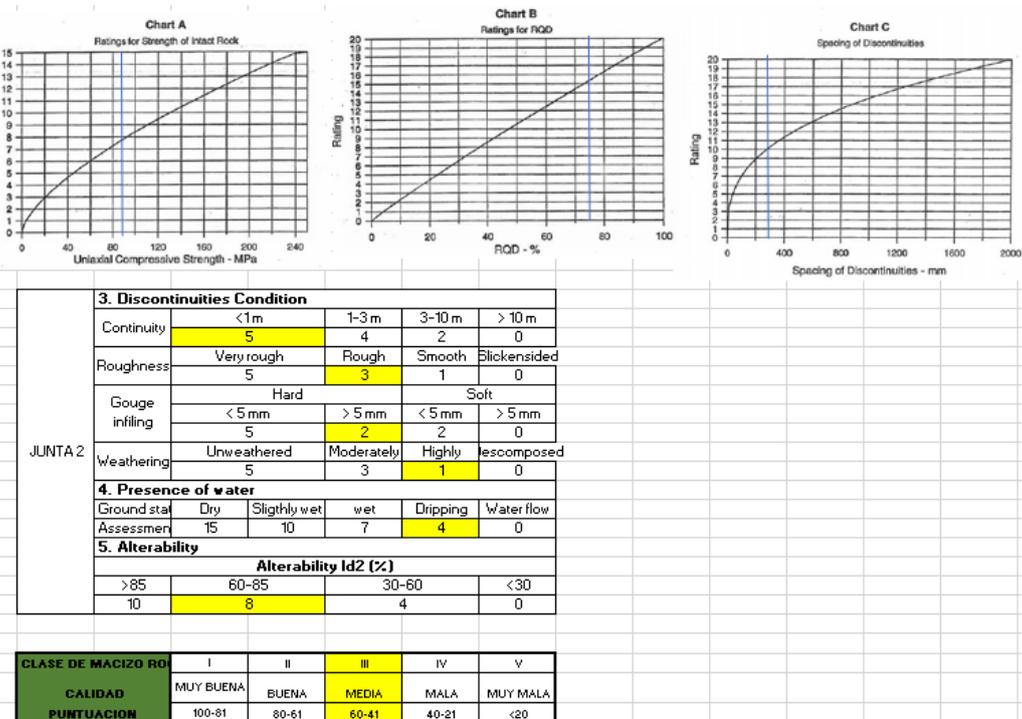
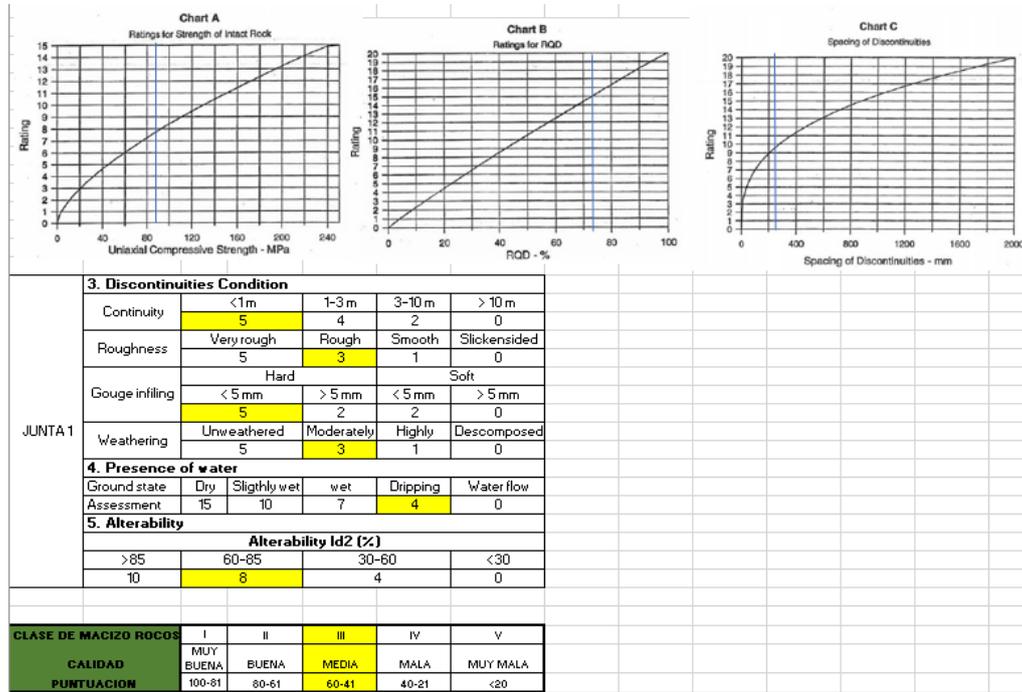


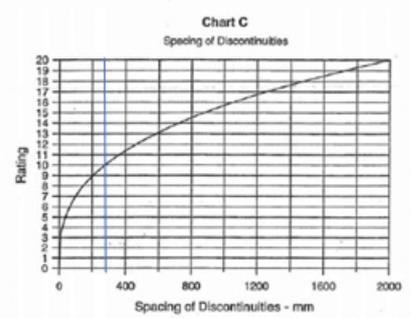
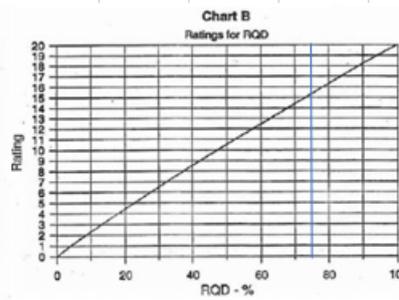
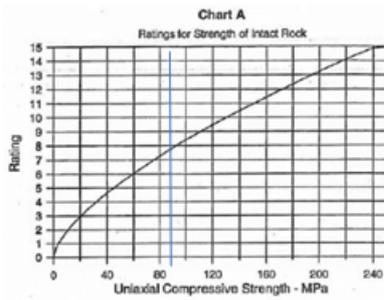


# Anexo 4.

## Cálculo de RMR

- Tramo N°2



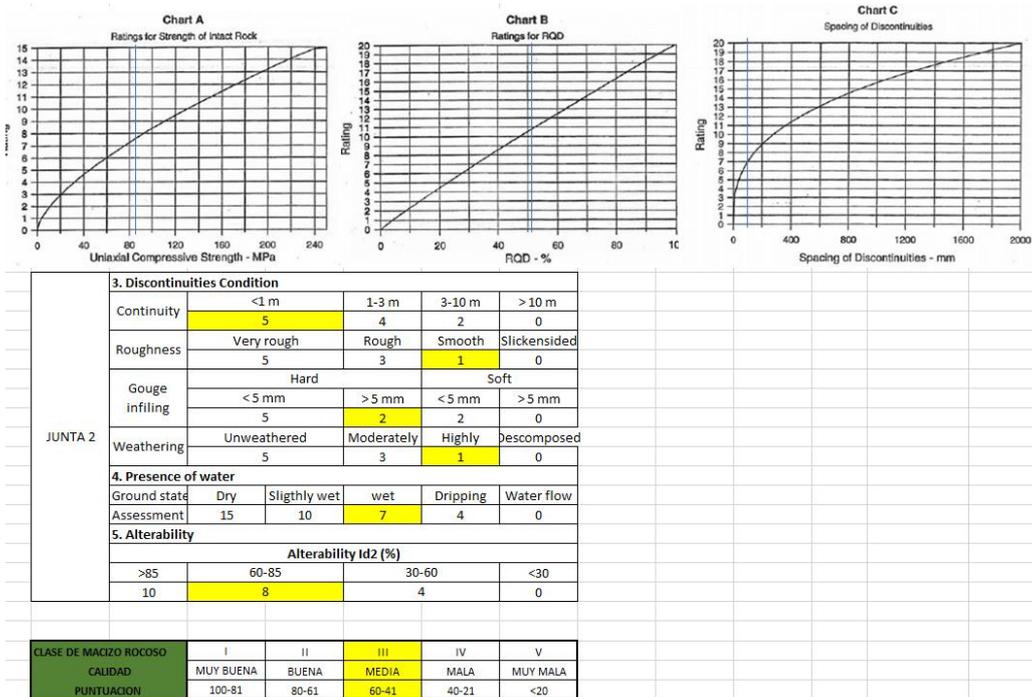
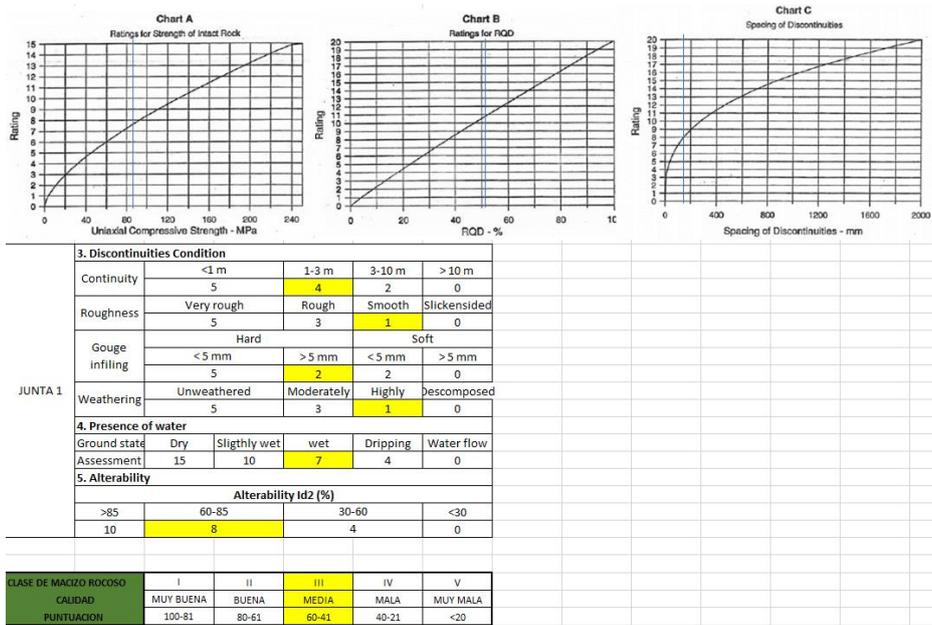


JUNTA 3	<b>3. Discontinuities Condition</b>				
	Continuity	<1m	1-3 m	3-10 m	> 10 m
		5	4	2	0
	Roughness	Very rough	Rough	Smooth	Blacksided
		5	3	1	0
	Gouge infiling	Hard		Soft	
		< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
		5	2	2	0
	Weathering	Unweathered	Moderately	Highly	Decomposed
		5	3	1	0
<b>4. Presence of water</b>					
Ground stat	Dry	Slightly wet	wet	Dripping	Water flow
Assessment	15	10	7	4	0
<b>5. Alterability</b>					
<b>Alterability Id2 (%)</b>					
	>85	60-85	30-60	<30	
	10	8	4	0	

CLASE DE MACIZO RO CALIDAD PUNTAUACION	I	II	III	IV	V
	MUY BUENA	BUENA	MEDIA	MALA	MUY MALA
	100-81	80-61	60-41	40-21	<20

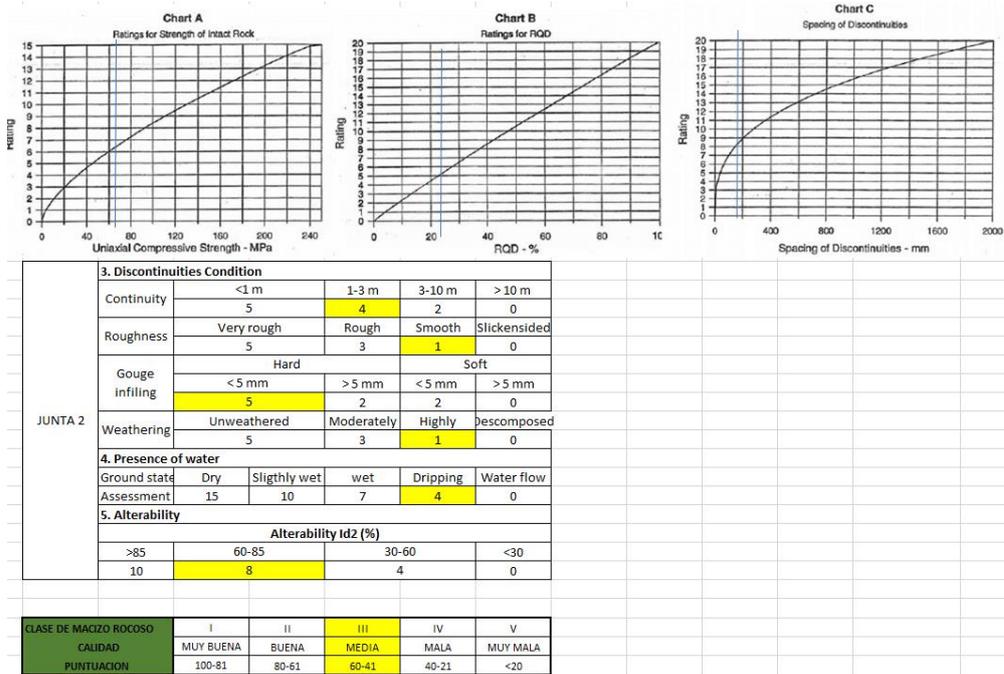
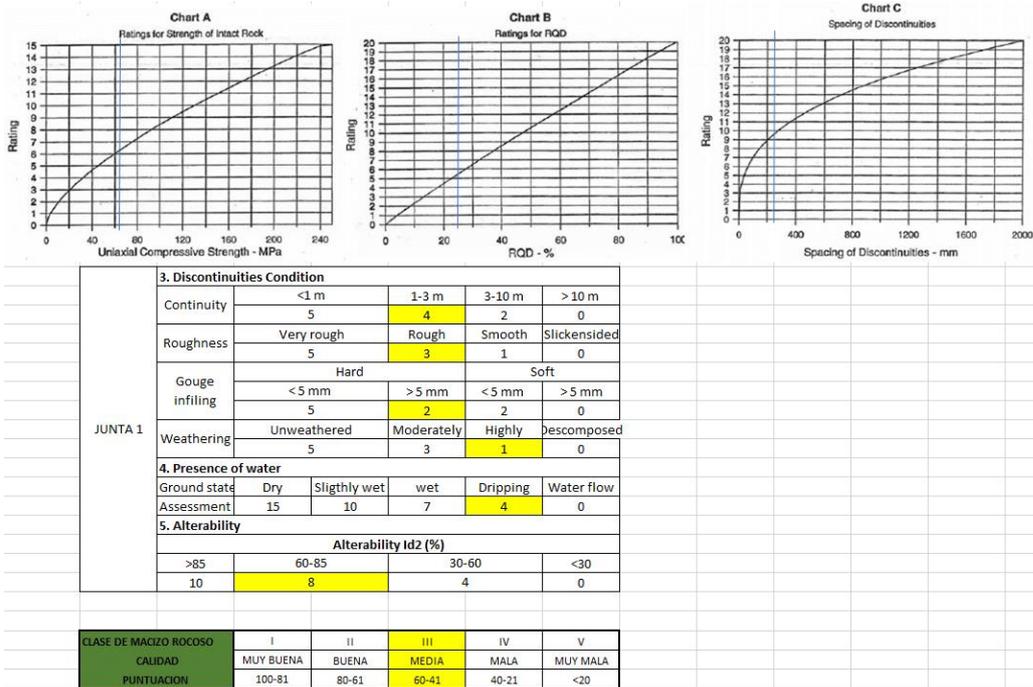
PERPENDICULAR AL EJE DEL TÚNEL				Paralela al eje del túnel		Independientemente del buzamiento 0°-20°
Buzamiento	Conducción con inclinación	Conducción contra inclinación	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	
45-60	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	
	20-45	45-90	20-45	45-90	20-45	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Medio
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

• Tramo N°3



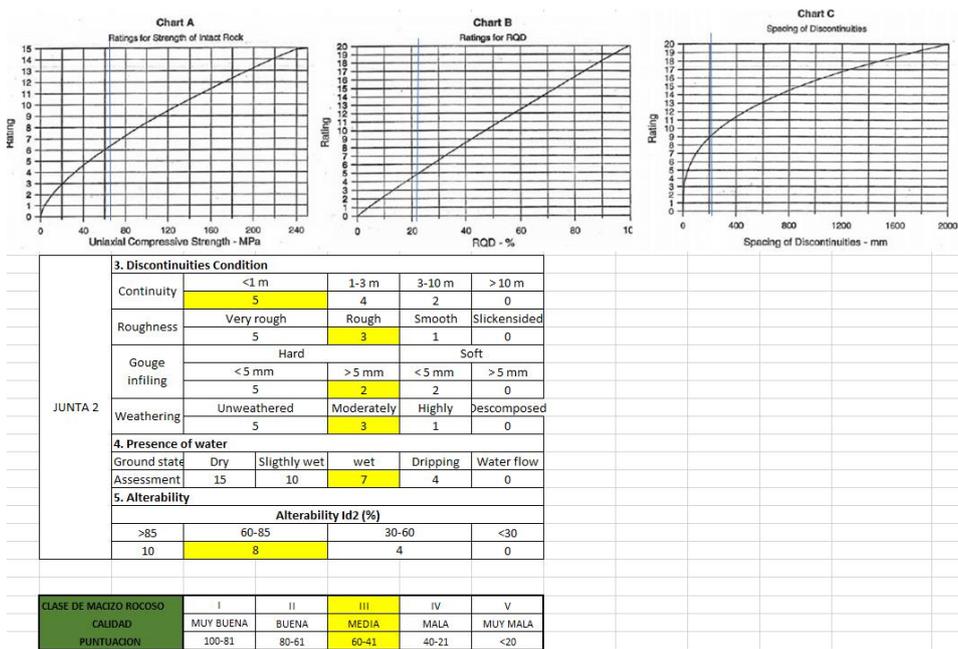
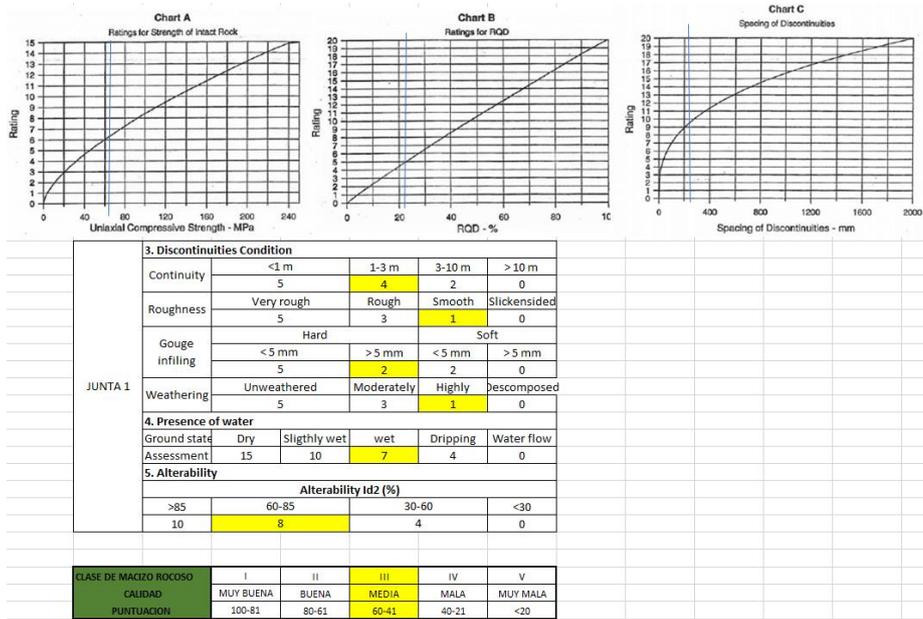
PERPENDICULAR AL EJE DEL TÚNEL				paralela al eje del túnel		Independientemente del buzamiento 0°-20°
Conducción con inclinación		Conducción contra inclinación		Buzamiento	Buzamiento	
Buzamiento 45-60	Buzamiento 20-45	Buzamiento 45-90	Buzamiento 20-45	Buzamiento 45-90	Buzamiento 20-45	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Medio
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

• Tramo N°4



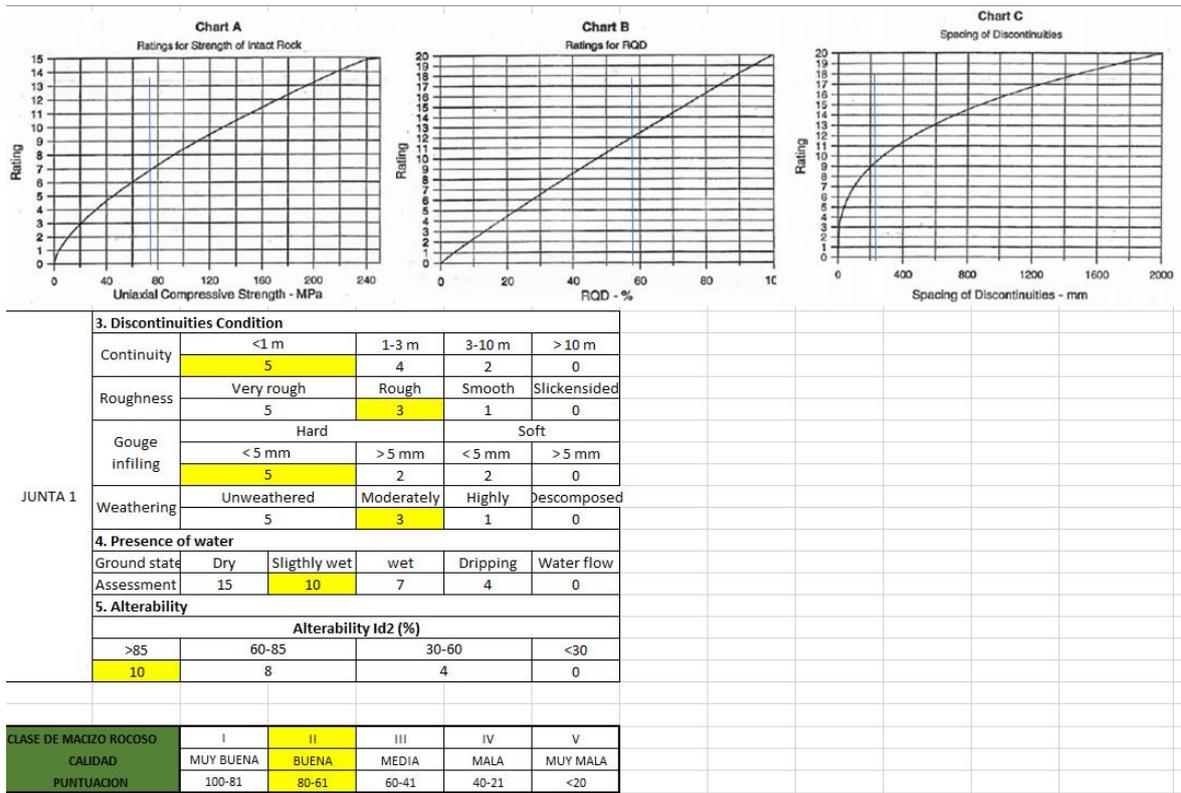
PERPENDICULAR AL EJE DEL TÚNEL				paralela al eje del túnel		Independientemente del buzamiento 0º-20º
Conducción con inclinación		Conducción contra inclinación		Buzamiento	Buzamiento	
Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	
45-60	20-45	45-90	20-45	45-90	20-45	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Medio
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

• Tramo N°5



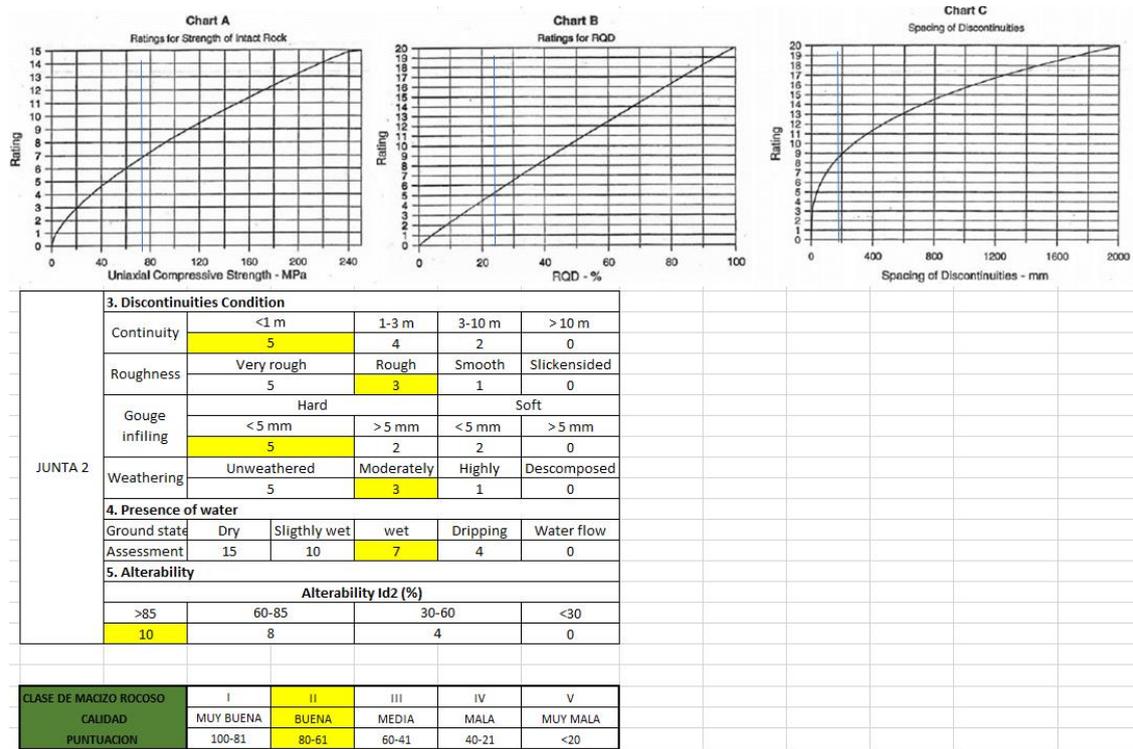
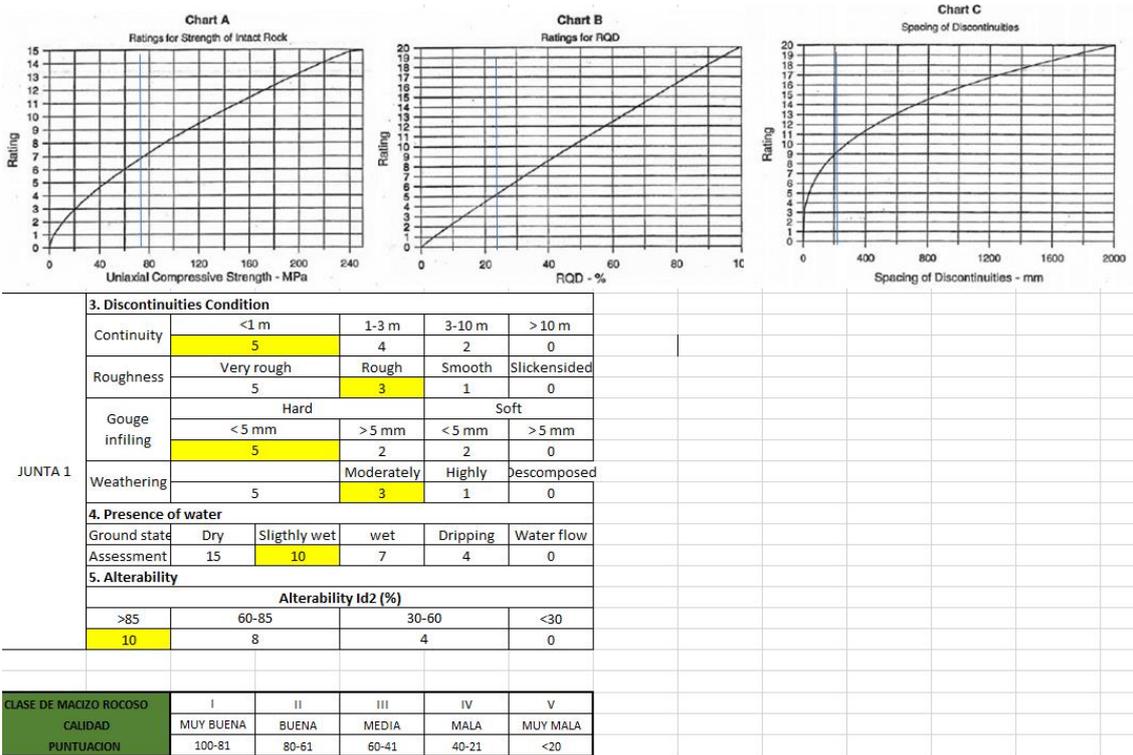
PERPENDICULAR AL EJE DEL TÚNEL				paralela al eje del túnel		Independientemente del buzamiento 0°-20°
Conducción con inclinación		Conducción contra inclinación		Buzamiento	Buzamiento	
Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	
45-60	20-45	45-90	20-45	45-90	20-45	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

• Tramo N°6



PERPENDICULAR AL EJE DEL TÚNEL				paralela al eje del túnel		Independientemente del buzamiento 0°-20°
Conducción con inclinación	Conducción contra inclinación			Buzamiento	Buzamiento	
Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	
45-60	20-45	45-90	20-45	45-90	20-45	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Medio
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

• Tramo N°7



PERPENDICULAR AL EJE DEL TÚNEL				paralela al eje del túnel		Independientemente del buzamiento 0º-20º
Conducción con inclinación		Conducción contra inclinación		Buzamiento	Buzamiento	
Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	Buzamiento	
45-60	20-45	45-90	20-45	45-90	20-45	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Medio
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

## Anexo 5.

### Cálculos de índice de *Q* de Barton

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BARTON (ÍNDICE Q)	
Código	T2
Parámetro	Valoración
RQD	76,81
Número de familias de juntas (Jn)	9
índice de rugosidad de las juntas (Jr)	3
Factor de alteración de las juntas (Ja)	2
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)	0,66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)	5
Valor del índice Q	1,68982

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BARTON (ÍNDICE Q)	
Código	T3
Parámetro	Valoración
RQD	51,4
Número de familias de juntas (Jn)	4
índice de rugosidad de las juntas (Jr)	3
Factor de alteración de las juntas (Ja)	2
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)	0,66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)	2,5
Valor del índice Q	5,0886

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BARTON (ÍNDICE Q)	
Código	T4
Parámetro	Valoración
RQD	24,64
Número de familias de juntas (Jn)	4
índice de rugosidad de las juntas (Jr)	4
Factor de alteración de las juntas (Ja)	2
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)	1
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)	7,5
Valor del índice Q	1,6426667

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BARTON (ÍNDICE Q)	
Código	T5
Parámetro	Valoración
RQD	24,14
Número de familias de juntas (Jn)	4
índice de rugosidad de las juntas (Jr)	3
Factor de alteración de las juntas (Ja)	2
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)	0,66
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)	7,5
Valor del índice Q	0,79662

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BARTON (ÍNDICE Q)	
Código	T6
Parámetro	Valoración
RQD	59,66
Número de familias de juntas (Jn)	2
índice de rugosidad de las juntas (Jr)	3
Factor de alteración de las juntas (Ja)	2
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)	0,33
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)	2,5
Valor del índice Q	5,90634

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BARTON (ÍNDICE Q)	
Código	T7
Parámetro	Valoración
RQD	27,21
Número de familias de juntas (Jn)	9
índice de rugosidad de las juntas (Jr)	4
Factor de alteración de las juntas (Ja)	1
Factor de reducción por presencia de agua (Jw)	1
Factor de reducción por esfuerzos (SRF)	2,5
Valor del índice Q	4,84

Tipo de macizo rocoso	Valor de <i>Q</i>
Excepcionalmente malo	$10^{-3}$ a $10^{-2}$
Extremadamente malo	$10^{-2}$ a $10^{-1}$
Muy malo	$10^{-1}$ a 1
Malo	1 - 4
Medio	4 - 10
Bueno	10 - 40
Muy bueno	40 - 100
Extremadamente bueno	100 - 400
Excepcionalmente bueno	400 - 1000

Sostenimiento Q	
1 0-30	Malo
2 30-80	Malo
3 80-130	Medio
4 130-220	Malo
5 220-300	Malo
6 300-340	Medio
7 340-400	Medio

**Anexo 6.** Mapa de ubicación

**Anexo 7.** Mapa de geomorfología

**Anexo 8.** Mapa de hidrología

**Anexo 9.** Mapa de geología regional

**Anexo 10.** Mapa de topografía superficial

**Anexo 11.** Mapa de topografía subterránea

**Anexo 12.** Mapa de ubicación de calicatas

**Anexo 13.** Mapa geológico superficial

**Anexo 14.** Mapa geológico subterráneo

**Anexo 15.** Mapa de geomecánica

**Anexo 16.** Mapa de sostenimiento

**(Ubicados en el CD-R Nro. 1)**

**Anexo 17.**

*Certificación de traducción del resumen*

Cuenca, 17 de octubre del 2024

Yo, Julissa Maribel Iñiguez Añazco, con documento de identidad Nro. 0750531527, Licenciada en Pedagogía del Idioma Inglés con N° de registro 1007-2022-2463742

**CERTIFICO:**

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés correspondiente a un resumen de Trabajo de Titulación, el cual se realizó en base a los documentos originales entregados por su autor, el Sr. **Cristian Leonardo Rivera Bao**, con cédula de identidad Nro. **1104509441**, con el tema denominado "*Estudio Geomecánico de la galería principal de transporte en las labores mineras de la empresa Landapo S.A concesión "Corvis" código 145, sector Vizcaya, cantón Zaruma, Provincia de el Oro.*", traducción que servirá para fines personales y académicos de uso del cliente.

Lo certifico en honor a la verdad y a su vez autorizo al interesado a hacer uso del presente para los fines que considere pertinentes.



Julissa Maribel Iñiguez Añazco

C.I: 0750531527