



**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

**Caracterización geológica-geotécnica de la vía Capiro-  
Conchicola ubicada en la parroquia Capiro, cantón Piñas,  
provincia de El Oro**

**Trabajo de Titulación previo  
a la obtención del Título de  
Ingeniero en Geología  
Ambiental y Ordenamiento  
Territorial**

**AUTOR:**

Alex Adrian Loaiza Chamba

**DIRECTOR:**

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo. Mgs

Loja – Ecuador

2023



## Certificación

Loja, 06 de septiembre del 2023

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR  
MODALIDAD PRESENCIAL**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA - GEOTÉCNICA DE LA VÍA CAPIRO – CONCHICOLA UBICADA EN LA PARROQUIA CAPIRO, CANTÓN PIÑAS, PROVINCIA DE EL ORO**; previo a la obtención del título de **Ingeniero En Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, de la autoría del estudiante **Alex Adrián Loiza Chamba** con cédula de identidad Nro. **0705911139**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc



Universidad  
Nacional  
de Loja

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

## Autoría

Yo, **Alex Adrian Loaiza Chamba**, declaro ser la autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos 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:**

**Cedula:** 0705911139

**Fecha:** 30 de noviembre de 2023

**Correo electrónico:** aaloizac@gmial.com

**Celular:** 0989827332



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

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

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

Yo, **Alex Adrian Loaiza Chamba**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Caracterización Geológica-Geotécnica de la vía Capiro-Conchicola ubicada en la parroquia Capiro, cantón Piñas, provincia de El Oro**, como requisito para optar 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 al mundo 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 del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los treinta días del mes de noviembre del dos mil veintitrés, en la ciudad de Loja.

**Firma:**

**Cedula:** 0705911139

**Fecha:** 30 de noviembre de 2023

**Dirección:** Loja (La Argelia)

**Correo electrónico:** [aaloizac@gmail.com](mailto:aaloizac@gmail.com)

**Celular:** 0989827332

**Datos complementarios:**

**Director del trabajo de titulación:** Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mgs



## Dedicatoria

A mis amados abuelitos Rosa y Pedro y a mi querida madre, quienes han sido la fuente inagotable de amor, apoyo y sabiduría a lo largo de mi vida. A mi hermano pequeño, Matias cuya inocencia y alegría han iluminado mis días, inspirándome a seguir adelante.

A todos aquellos que formaron parte de este significativo viaje educativo, a los profesores que compartieron su conocimiento, a los compañeros que hicieron este camino más llevadero y a quienes, de alguna manera u otra, contribuyeron a mi crecimiento académico.

Este logro no solo es mío, sino de todos ustedes, quienes han dejado una huella imborrable en mi corazón. Gracias por su constante aliento y apoyo incondicional. Este trabajo está dedicado a cada uno de ustedes, con profundo agradecimiento y cariño.

*Alex Adrian Loaiza Chamba*



## **Agradecimiento**

Este arduo y desafiante trayecto del desarrollo de mi tesis me lleva a expresar mi profundo agradecimiento en primer lugar a Dios, quien ha sido mi guía a lo largo de toda mi vida, permitiéndome alcanzar este logro más.

Quiero extender mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental: familiares y amigos que han brindado su cariño, apoyo incondicional y compartido momentos inolvidables que siempre permanecerán en mi corazón. Durante mi tiempo en la universidad, tuve el privilegio de conocer a individuos valiosos que me enseñaron el verdadero significado de la amistad.

Mi reconocimiento especial va para la Universidad Nacional de Loja, al Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, así como a la Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial. Agradezco a la planta docente y al personal administrativo por contribuir a mi formación como estudiante universitaria y permitirme alcanzar mis metas como profesional.

Quiero expresar mi gratitud de manera particular al Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc, quien desempeñó el papel de director de tesis. Su orientación, asesoramiento y dedicación han sido fundamentales para lograr los resultados deseados en este trabajo de titulación. También agradezco a mis profesores de la Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, quienes dejaron una huella significativa en cada etapa de mi formación universitaria, ofreciendo valiosos consejos y apoyo constante.

*Alex Adrian Loaiza Chamba*



## Índice de contenido

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenido</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas.....	x
Índice de Figuras .....	xii
Índice de anexos .....	xiv
<b>1. Título</b> .....	<b>15</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>16</b>
Abstract .....	17
<b>3. Introducción</b> .....	<b>18</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>20</b>
4.1. Topografía .....	20
4.1.1. Operaciones topográficas.....	20
4.1.2. Levantamiento topográfico.....	20
4.1.3. Tipo de levantamientos topográficos .....	20
4.2. Geología .....	22
4.2.1. Geología estructural .....	22
4.2.2. Rocas.....	25
4.2.3. Petrografía.....	26
4.2.4. Litología .....	27
4.2.5. Estudios geológicos. ....	27
4.3. Geotecnia.....	28
4.3.1. Caracterización geotécnica .....	28
4.3.2. Propiedades físico mecánicas de los geomateriales.....	30
4.3.3. Granulometría y clasificación del suelo.....	32
4.3.4. Estudio geotécnico preliminar. ....	35



4.3.5.	Estudio geotécnico definitivo.....	35
4.3.6.	Estudios geotécnicos en vías.....	36
4.3.7.	Movimientos en masa.....	37
4.3.8.	Taludes.....	38
<b>5.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>42</b>
5.1.	Materiales.....	42
5.2.	Métodos.....	42
5.3.	Procedimientos.....	43
5.3.1.	Recopilación de información preliminar.....	43
5.3.2.	Fase de campo.....	43
5.3.3.	Fase de laboratorio.....	44
5.3.4.	Fase de oficina.....	44
5.4.	Descripción general del área de estudio.....	44
5.4.1.	Ubicación administrativa.....	44
5.4.2.	Acceso.....	47
5.5.	Descripción física del área de estudio.....	48
5.5.1.	Información climática.....	48
5.5.2.	Hidrografía.....	49
5.5.3.	Vegetación y uso del suelo.....	49
5.5.4.	Pendientes.....	50
5.5.5.	Geomorfología.....	53
5.5.6.	Geología Regional.....	57
5.6.	Metodología del primer objetivo.....	59
5.6.1.	Topografía.....	59
5.6.2.	Geología local.....	64
5.6.1.	Geología estructural.....	76
5.6.2.	Calicatas.....	77
5.6.3.	Resistividad Eléctrica.....	80
5.6.4.	Mapa geológico.....	90
5.7.	Metodología del segundo objetivo.....	91
5.7.1.	Ensayo a la comprensión simple.....	91



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

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

5.7.2. Ensayo de corte directo.....	94
5.7.3. Determinación de las propiedades físico de las rocas.....	96
5.7.4. Caracterización de macizo rocoso. ....	100
5.8. Metodología para el tercer objetivo. ....	105
5.8.1. Trabajo de oficina. ....	106
<b>6. Resultados.....</b>	<b>110</b>
6.1. Resultados del primer objetivo.....	110
6.1.1. Mapa geológico de la vía Capiro – Conchicola. ....	110
6.2. Resultados del segundo objetivo .....	114
6.2.1. Propiedades físico mecánicas de los geomateriales.....	114
6.2.2. Calicatas (método directo).....	117
6.2.3. Clasificación de suelos por ASSHTO y SUCS.....	118
6.2.4. Caracterización del macizo rocoso. ....	120
6.3. Resultados del tercer objetivo. ....	126
6.3.1. Análisis de estabilidad. ....	126
<b>7. Discusión de resultados .....</b>	<b>136</b>
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>139</b>
<b>9. Recomendaciones.....</b>	<b>141</b>
<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>143</b>
<b>11. Anexos.....</b>	<b>146</b>



## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b>	Selección del tamaño de la muestra de prueba .....	33
<b>Tabla 2</b>	Nombres tipos del material .....	34
<b>Tabla 3</b>	Ventajas y desventajas de los ensayos in situ y laboratorio.....	36
<b>Tabla 4</b>	: Clasificación de los deslizamientos (Varnes 1978) .....	37
<b>Tabla 5</b>	Métodos de conformación topográfica del talud. ....	39
<b>Tabla 6</b>	Materiales para el desarrollo del presente proyecto de investigación.....	42
<b>Tabla 7</b>	Coordenadas UTM.....	47
<b>Tabla 8</b>	Cobertura y uso del suelo de la parroquia Capiro.....	50
<b>Tabla 9</b>	Clasificación de las pendientes propuestas por DEMEK .....	51
<b>Tabla 10</b>	Coordenadas de los puntos de control. WGS 84.....	59
<b>Tabla 11</b>	Ubicación Geográfica de los afloramientos .....	65
<b>Tabla 12</b>	Ubicación y dimensiones de las calicatas .....	78
<b>Tabla 13</b>	Ubicación de la recolección de muestras de roca. ....	91
<b>Tabla 14</b>	Ubicación de las muestras para ensayo de corte directo.....	94
<b>Tabla 15</b>	Rango de pendientes en el área de estudio.....	51
<b>Tabla 16</b>	Ubicación geográfica de SEVs .....	81
<b>Tabla 17</b>	Datos de resistividad .....	84
<b>Tabla 18</b>	Perfil estratigráfico del SEV1 .....	85
<b>Tabla 19</b>	Datos de resistividad e interpretación. SEV2 .....	86
<b>Tabla 20</b>	Descripción de las capas correspondientes al SEV 2.....	87
<b>Tabla 21</b>	Datos de resistividad e interpretación. SEV3 .....	88
<b>Tabla 22</b>	Descripción de las capas correspondientes al SEV 3.....	89
<b>Tabla 23</b>	Resultados de los ensayos de compresión simple a muestra de roca.....	114
<b>Tabla 24</b>	Resultados del ensayo de corte directo .....	115
<b>Tabla 25</b>	Propiedades de físicas de las muestras de roca.....	116
<b>Tabla 26</b>	Límites de Attenberg muestra 1 .....	118
<b>Tabla 27</b>	Ubicación de Macizo rocoso para caracterización.....	120
<b>Tabla 28</b>	Calculo del RQD.....	122
<b>Tabla 29</b>	RMR para la Junta1 del macizo rocoso de filita; <b>Error! Marcador no definido.</b>	
<b>Tabla 30</b>	Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR. J1. ....	122
<b>Tabla 31</b>	Resultados de RMR Macizo J2..... <b>Error! Marcador no definido.</b>	
<b>Tabla 32</b>	Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR. J2. ....	123



<b>Tabla 33</b>	Resultados de RMR Macizo J3.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Tabla 34</b>	Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR. J3. ....	123
<b>Tabla 35</b>	<i>Resultados SMR.</i> ....	124
<b>Tabla 36</b>	<i>Resumen de estabilidad.</i> .....	125
<b>Tabla 37</b>	Parámetros geotécnicos del talud 1.....	127
<b>Tabla 38</b>	Parámetros geotécnicos del talud 2.....	130
<b>Tabla 39</b>	Parámetros geotécnicos del talud roca.....	133



## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Pliegues en rocas metamórficas .....	23
<b>Figura 2</b> Domos y cubetas .....	24
<b>Figura 3</b> Representación de una falla geológica .....	24
<b>Figura 4</b> Proceso de caracterización geotécnica. ....	29
<b>Figura 5</b> Ubicación administrativa del área de estudio.....	46
<b>Figura 6</b> Ruta de acceso a la vía Capiro - Conchicola.....	48
<b>Figura 7</b> Mapa de pendientes de la vía Capiro - Conchicola.....	52
<b>Figura 8</b> Mapa geomorfológico de la Vía Capiro Conchicola.....	54
<b>Figura 9</b> Geoforma: Relieve montañoso .....	55
<b>Figura 10</b> Geoforma: Barranco .....	55
<b>Figura 11</b> Geoforma: Relieve colinado muy alto.....	56
<b>Figura 12.</b> Geoforma: Vertiente abrupta con fuerte disección.....	57
<b>Figura 13</b> Geología regional del área de estudio .....	58
<b>Figura 14</b> Ubicación de los puntos de control .....	60
<b>Figura 15</b> Generación y configuración del Plan de vuelo.....	60
<b>Figura 16</b> Mapa topográfico del Área de estudio .....	62
<b>Figura 17</b> Perfil Topográfico AB.....	63
<b>Figura 18</b> Mapa de ubicación de Afloramientos.....	66
<b>Figura 19</b> Afloramiento que se conforma por riolita .....	68
<b>Figura 20</b> Afloramiento compuesto por Esquisto. ....	69
<b>Figura 21</b> Afloramiento de Esquisto meteorizado. ....	69
<b>Figura 22</b> Afloramiento que se conforma por filitas.....	71
<b>Figura 23</b> Pizarras meteorizadas .....	72
<b>Figura 24</b> Afloramiento conformado por pizarras. ....	74
<b>Figura 25</b> Lutita con intercalaciones de arenisca.....	75
<b>Figura 26</b> Muestra de roca Lutita.....	76
<b>Figura 27</b> Dimensiones de las calicatas .....	77
<b>Figura 28</b> Ubicación de las calicatas.....	79
<b>Figura 29</b> Equipos y materiales de laboratorio .....	80
<b>Figura 30</b> Mapa de ubicación de las líneas de SEVs .....	82
<b>Figura 31.</b> a) SEV 1 b) SEV 2 c) SEV 3.....	83
<b>Figura 32</b> Curva de la resistividad aparente del SEV N° 1.....	85
<b>Figura 33</b> Curva de la resistividad aparente del SEV 2 .....	87

<b>Figura 34</b>	Curva de la resistividad aparente del SEV 3 .....	88
<b>Figura 35</b>	Correlación estratigráfica .....	89
<b>Figura 36</b>	Ubicación de taludes para la recolección de muestras del ensayo de compresión simple .....	92
<b>Figura 37</b>	Muestras cubicas de roca.....	93
<b>Figura 38</b>	Apertura de calicata para extracción de cubo de suelo .....	94
<b>Figura 39</b>	Extracción y preparación de la muestra del cubo de muestra. ....	95
<b>Figura 40</b>	A) muestra ubicada en el Equipo. B) muestra luego de ser ensayadas C) muestra de suelo fallada.....	96
<b>Figura 41</b>	Mapa geológico de la vía Capiro – Conchicola .....	110
<b>Figura 42</b>	Corte Geológico AB .....	111
<b>Figura 43</b>	Corte Geológico CD .....	112
<b>Figura 44</b>	<i>Macizo rocoso: Filita</i> .....	121
<b>Figura 45</b>	Estación para la obtención de datos del macizo rocoso. ....	121
<b>Figura 46</b>	Modelado en Software Slide para el Talud 1 .....	126
<b>Figura 47</b>	Modelado en el Software Slide para el Talud 2 .....	130
<b>Figura 48</b>	<i>Figura 45 Modelo según Bishop. Talud 2</i> .....	131
<b>Figura 49</b>	Modelo según Janbu .....	132
<b>Figura 50</b>	Modelo según Spencer. ....	132
<b>Figura 51</b>	Modelado en Rockplane para el talud 3 .....	133



## Índice de anexos

<b>Anexo 1</b> Ficha de campo para la descripción de afloramientos .....	146
<b>Anexo 2</b> Descripción de afloramientos.....	147
<b>Anexo 3</b> Análisis de suelo, Muestra 1. ....	154
<b>Anexo 4</b> Análisis de suelo, Muestra 2 .....	156
<b>Anexo 5</b> Resultados del ensayo de corte directo .....	158
<b>Anexo 6</b> Fichas técnicas para la caracterización del macizo rocoso .....	159
<b>Anexo 7</b> RMR para la junta 1 del macizo rocoso .....	161
<b>Anexo 8</b> RMR para la junta 2 del macizo rocoso .....	162
<b>Anexo 9</b> RMR para la junta 3 del macizo rocoso .....	163
<b>Anexo 10</b> Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	164
<b>Anexo 11</b> Mapa de pendientes.....	164
<b>Anexo 12</b> Mapa de Geomorfología .....	164
<b>Anexo 13</b> Mapa de la Geología Regional.....	164
<b>Anexo 14</b> Mapa de la Topografía .....	164
<b>Anexo 15</b> Mapa de Ubicación de Afloramientos .....	164
<b>Anexo 16</b> Mapa de Ubicación de calicatas.....	164
<b>Anexo 17</b> Mapa de Ubicación de las líneas de SEVs.....	164
<b>Anexo 18</b> Mapa de Ubicación de los taludes para compresión simple .....	164
<b>Anexo 19</b> Mapa de Ubicación de los taludes para el Factor de Seguridad.....	164
<b>Anexo 20</b> Mapa Geológico .....	164
<b>Anexo 21</b> Certificado de la Traducción del resumen .....	165

## **1. Título**

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA DE LA VÍA  
CAPIRO-CONCHICOLA UBICADA EN LA PARROQUIA CAPIRO,  
CANTÓN PIÑAS, PROVINCIA DE EL ORO.

## 2. Resumen

El estudio de investigación se centró en la "vía Capiro – Conchicola," situada en la parroquia Capiro, cantón Piñas de la provincia de El Oro. Esta vía de tercer orden tiene una longitud de 3 kilómetros y se sometió a estudios geológicos y geotécnicos en un área de estudio de 400 metros de ancho, abarcando un total de 130 hectáreas. El trabajo comenzó con un levantamiento topográfico de alta precisión, utilizando tecnología de vehículos aéreos no tripulados a una escala de 1:250. Esto resultó en la generación de curvas de nivel con intervalos de un metro, que variaron desde los 788 metros sobre el nivel del mar en la parte más baja hasta los 1241 metros sobre el nivel del mar en las elevaciones más altas. En cuanto a la geología local, se identificaron principalmente litologías pertenecientes a la Unidad Esquistos de Capiro de la serie Tahuín, que incluyen esquistos, pizarras, filitas y lutitas. Además, se encontraron rocas riolitas de la unidad Tarqui en la zona.

Para la evaluación geotécnica, se aplicaron métodos directos e indirectos. Las calicatas, como parte de los métodos directos, permitieron clasificar los suelos en el tramo de la vía, identificando un suelo que corresponde a una mezcla de limo, grava y arena arcillosa limosa según la clasificación AASTHO, y como una arena limosa con presencia de grava según la clasificación SUCS. Los métodos indirectos incluyeron Sondeos Eléctricos Verticales, con valores de resistividad que variaron entre 71.3  $\Omega\text{m}$  y 1000  $\Omega\text{m}$ , clasificados de acuerdo con la geología de la zona.

La caracterización del macizo rocoso se llevó a cabo mediante tres ensayos de compresión uniaxial, que arrojaron esfuerzos entre 72.70 MPa y 91.45 MPa. Para la caracterización del macizo rocoso, se obtuvo un RQD de 49.98, lo que resultó en una clasificación RMR de Clase IV, que indica una calidad de roca deficiente. El cálculo del GSI arrojó un valor de 33, también indicando una mala calidad de la roca.

Finalmente, se realizó un análisis de estabilidad en tres zonas críticas, evaluando dos taludes de suelo conformado por esquistos y talud de roca conformado por filitas. Para el talud 1, se obtuvo un factor de seguridad de 0.842 en condiciones sin infiltración y 0.728 bajo la presencia de infiltración. El talud 2, también, mostró inestabilidad con un factor de seguridad de 0.64 sin infiltración y 0.621 con infiltración. Por otro lado, el talud compuesto de roca se sometió a un análisis específico utilizando la fórmula orientada a la rotura planar y el software Rockplane con un factor de seguridad de 0.83, lo que también indica una condición de inestabilidad en este talud.

## Abstract

The research study focused on the "Capiro - Conchicola road," located in the Capiro parish, Piñas canton, El Oro province. This third order road has a length of 3 kilometers and was subjected to geological and geotechnical studies in a study area of 400 meters wide, covering a total of 130 hectares.

The work began with a high-precision topographic survey using unmanned aerial vehicle technology at a scale of 1:250. This resulted in the generation of contour lines at one-meter intervals, ranging from 788 meters above sea level at the lowest elevation to 1241 meters above sea level at the highest elevations. Regarding the local geology, lithologies belonging to the Esquistos de Capiro Unit of the Tahuín series were mainly identified, including schists, slates, phyllites and lutites. In addition, rhyolite rocks of the Tarqui unit were found in the area.

For the geotechnical evaluation, direct and indirect methods were applied. The *calicatas*, as part of the direct methods, allowed classifying the soils in the section of the road, identifying a soil that corresponds to a mixture of silt, gravel and silty clayey sand according to the AASTHO classification, and as a silty sand with presence of gravel according to the SUCS classification. Indirect methods included Vertical Electrical Soundings, with resistivity values ranging from 71.3  $\Omega$ .m to 1000  $\Omega$ .m, classified according to the geology of the area.

The characterization of the rock mass was carried out by means of three uniaxial compression tests, which yielded stresses between 72.70 MPa and 91.45 MPa. Using the window method, an RQD of 49.98 was obtained, resulting in an RMR classification of Class IV, indicating poor rock quality. The GSI calculation yielded a value of 33, also indicating poor rock quality.

Finally, a stability analysis was performed in three critical zones, evaluating two slopes and a rock mass. For slope 1, composed of shale, a factor of safety of 0.842 was obtained in conditions without infiltration and 0.728 in the presence of infiltration. Slope 2, also composed of shales, showed instability with a factor of safety of 0.64 without infiltration and 0.621 with infiltration. On the other hand, the slope composed of rock was subjected to a specific analysis using the planar rupture oriented formula and Rockplane 2.029 software, with a factor of safety of 0.83, which also indicates an instability condition in this slope

### 3. Introducción

La carencia sustancial de estudios técnicos especializados en geología y geotecnia durante las etapas cruciales de la construcción de carreteras en nuestra nación, con un enfoque particular en la provincia de El Oro, ha generado complicaciones de larga duración en la infraestructura vial. La ocurrencia recurrente de desprendimientos en los taludes, la notoria falta de uniformidad en la superficie de las carreteras y la degradación prematura de los sistemas de drenaje son directamente atribuibles a la omisión flagrante de la evaluación geológica y geotécnica en las fases esenciales de concepción y ejecución de los proyectos viales.

Este escenario adverso pone de manifiesto la necesidad imperante de incorporar de manera integral la perspectiva geológica y geotécnica en la planificación y realización de obras viales. A través de una meticulosa identificación de las condiciones geológicas locales, como las características del subsuelo y la geodinámica de la región, se pueden anticipar y mitigar eficazmente los riesgos asociados con movimientos de masa, asentamientos diferenciales y problemas de estabilidad. La rectificación de esta carencia técnica se erige como un componente esencial para garantizar la viabilidad y durabilidad de las infraestructuras viales, promoviendo un desarrollo sostenible y una conectividad resiliente en las zonas geográficas afectadas.

La geografía de Ecuador se ve marcada por la presencia de la cordillera de los Andes, lo que resulta en tres regiones naturales distintas y en áreas geográficas inapropiadas para la ocupación humana debido a los rasgos topográficos. Estas zonas se encuentran expuestas a amenazas geológicas como sismos, actividad volcánica, movimientos en masa e inundaciones, lo que supone un riesgo considerable para la población y sus bienes (Tobar, 2021). Dado este contexto, Ecuador se clasifica como un país geológicamente activo, debido a la interacción de procesos geodinámicos internos y externos que engendran una serie de riesgos geológicos, siendo los movimientos en masa uno de los más recurrentes.

En el marco de la provincia de El Oro, su configuración geológica se delimita geográficamente por la deflexión de Huancabamba al norte, que coincide con las fallas del río Jubones y Piñas-Portovelo. Esta deflexión genera un cambio en la dirección de la cordillera de los Andes a medida que cruza la frontera de Perú y Ecuador, adoptando una orientación preferencial de norte a sur (GADPEO, 2015).

El enfoque de estudio recae en la parroquia Capiro, en el cantón Piñas, al sur de la provincia. Específicamente, el área de interés abarca el tramo vial que conecta la cabecera parroquial con Conchicola, incluyendo también sitios como Amarrillos, Guayacán y Tahuarcocha. Durante la temporada de lluvias, esta región es propensa a experimentar movimientos en masa debido a la inestabilidad de los taludes. Esta situación afecta negativamente la principal ruta de comunicación y comercio para la población, la cual en su mayoría depende de actividades agrícolas, ganaderas y avícolas.

En consecuencia, se ha decidido realizar una caracterización geológica y geotécnica exhaustiva de la vía Capiro-Conchicola, que se extiende a lo largo de 3 kilómetros y cubre una superficie de 130 hectáreas. El objetivo de este estudio es comprender las propiedades geológicas y geotécnicas predominantes en la zona de estudio, y la estabilidad para los taludes más críticos que se encuentren en la misma.

Para lograr este cometido se plantean los siguientes objetivos.

### **Objetivos**

#### **Objetivo general**

- Caracterizar geológica y geotécnicamente la vía Capiro – Conchicola, ubicada en la parroquia Capiro, cantón Piñas, provincia de EL Oro.

#### **Objetivos específicos**

- Ejecutar un levantamiento geológico-estructural a detalle de la vía Capiro-Conchicola con una faja de estudio de 400 metros.
- Definir las propiedades físico-mecánicas de los geo-materiales presentes en la zona de estudio.
- Determinar las características geológicas – geotécnicas en base al factor de seguridad de los taludes representativos del área de estudio.

## 4. Marco teórico

### 4.1. Topografía

“La disciplina que abarca 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” (Rincón Mario, 2017), dentro del campo profesional se la considera como una herramienta básica fundamental por sus múltiples aplicaciones tales como en la construcción de obras civiles, apertura de vías, construcción de vías de comunicación, entre otras.

Brinker y Wolf (2007) mencionan que la topografía se ha definido tradicionalmente como la ciencia, el arte y la tecnología de encontrar o determinar las posiciones relativas de puntos arriba, arriba y debajo de la superficie de la Tierra. Sin embargo, en un sentido más general, la topografía se puede considerar como una disciplina que abarca todos los métodos de medición, procesamiento y difusión de información sobre la Tierra y nuestro entorno.

#### 4.1.1. Operaciones topográficas

En los métodos topográficos de medición en terreno no se considera la verdadera forma de la Tierra, solo se utilizan modelos aproximados a la realidad, entre las prescindencias esta se considera plana, la dirección de la plomada entre dos puntos sería paralela y los trabajos se desarrollan en extensiones relativamente pequeñas. Las actividades topográficas se pueden clasificar en: el levantamiento, el replanteo y el control. (Rincón Villalba et al., 2017)

#### 4.1.2. Levantamiento topográfico.

Es el proceso de recolección de datos para ello se usan equipos especializados como: teodolitos, estación total, GPS y últimamente la implementación de los drones; Actualmente “La mayoría de los levantamientos topográficos modernos basados en fotografías son procesados por software que identifica automáticamente y hace coincidir las características en diferentes imágenes para generar una nube de puntos con una infinidad de información” (James et al., 2017)

#### 4.1.3. Tipo de levantamientos topográficos

Dentro de los levantamientos topográficos se encuentran:

- **Levantamiento de terrenos** en general: tiene por objeto marcar linderos o localizarlos, medir y dividir superficies, ubicar terrenos en planos generales ligando con levantamientos anteriores o proyectar obras y construcciones. (Rincón Villalba et al., 2017)



- **Topografía para vías de comunicación:** sirve para estudiar y construir caminos, ferrocarriles, canales, líneas de transmisión, acueductos, etc.(Ricón Villalba et al., 2017)
- **Topografía de minas:** tiene por objeto fijar y controlar la posición de trabajos subterráneos y relacionarlos con las obras superficiales.(Ricón Villalba et al., 2017)
- **Levantamientos catastrales:** normalmente se trata de levantamientos urbanos o rurales, con el propósito de localizar los linderos de las propiedades (agrícolas, mineras, acuicultura, derechos de agua, etc.) y las construcciones que contienen, para conocer sus detalles, su extensión, su valor, los derechos de propiedad y transmisión, con la finalidad principal de que el estado pueda recaudar los impuestos respectivos.(Ricón Villalba et al., 2017)
- **Levantamientos hidrográficos:** levantamientos relacionados con la definición de deslindes de playas de mar, ríos, lagos, embalses y otros cuerpos de agua, así como con la configuración e irregularidades de sus profundidades (batimetría), utilizando instrumental topográfico clásico en la determinación planimetría y sofisticados instrumentos electrónicos para determinar sus profundidades. Las finalidades pueden ir desde la delimitación de sus playas para uso público, pasando por la navegación, hasta el estudio de sedimentos y el dragado de sus fondos.(Ricón Villalba et al., 2017)
- **Levantamientos de ingeniería:** incluye los trabajos topográficos requeridos antes, durante y después del término o cierre de los proyectos de ingeniería. Un plano topográfico resultante de un levantamiento que entregue la configuración del terreno más la incipiente concepción mental de algún proyecto de ingeniería son las materias primas más elementales y suficientes para que un ingeniero comience a plasmar en el plano su proyecto. Posteriormente necesitará materializar cada uno de sus elementos en el terreno (operación de replanteo) y alguna institución de fiscalización tendrá la facultad para verificar si lo materializado efectivamente corresponde a lo proyectado (control topográfico), de ahí la importancia que tiene la topografía para los estudiantes de ingeniería en el desarrollo u orientación de sus potencialidades ingenieriles.(Ricón Villalba et al., 2017)

- **Levantamientos aéreos:** se hacen por medio de la fotografía, generalmente desde aviones y/o drones, y se usan como auxiliares muy valiosos de todas las otras clases de levantamientos. La fotogrametría se dedica especialmente al estudio de estos trabajos. (Ricón Villalba et al., 2017)

## 4.2. Geología

La geología es una ciencia muy amplia y diversa que se encarga del estudio del planeta Tierra. Algunos autores definen esta ciencia como:

“Es la ciencia que persigue la comprensión del planeta Tierra. La ciencia de la Geología se ha dividido tradicionalmente en dos amplias áreas: la física y la histórica” (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Según (Simons, 1970) señala que la Geología se considera a todo aquello que es objeto de estudio de la misma y no es, de una u otra forma, un proceso histórico el cual puede reducirse a un fenómeno físico-químico. O bien dicho, en otros términos: es su componente histórica la que hace de la Geología una ciencia independiente de la Física y la Química.

La geología es la “ciencia que concierne a la tierra y las rocas de la que está constituida, los procesos que las formaron durante el tiempo geológico y el modelado de la superficie en el pasado y en el presente” (Blyth & Freitas, 2003)

### 4.2.1. Geología estructural

La geología estructural es el estudio de la arquitectura de la tierra, en tanto es determinada por movimientos terrestres. Tectónica y geología tectónica son términos sinónimos de geología estructural. (Billings, 1974)

#### 4.2.1.1. Estructuras geológicas.

Los procesos de deformación generan estructuras a muchas escalas diferentes. En un extremo se encuentran los principales sistemas montañosos de la Tierra. En el otro, los esfuerzos muy localizados crean fracturas menores en las rocas. Todos estos fenómenos, desde los pliegues más grandes de los Alpes hasta las fracturas más pequeñas de una lámina de roca, se conocen como estructuras tectónicas. Antes de empezar nuestra discusión de las estructuras tectónicas examinemos el método que utilizan los geólogos para describirlas y cartografiarlas.

Cuando estudia una región, el geólogo identifica y describe las estructuras principales. A menudo, una estructura es tan grande que desde una zona concreta sólo puede verse una pequeña porción. En muchas situaciones, la mayor parte de las capas

está cubierta por vegetación o por sedimentos recientes. Por consiguiente, la reconstrucción debe hacerse utilizando los datos recogidos de un número limitado de afloramientos, que son lugares donde el sustrato de roca aflora en la superficie. Pese a esas dificultades, una serie de técnicas cartográficas permiten a los geólogos reconstruir la orientación y la forma de las estructuras existentes. (Tarbuck & Lutgens, 2005)

#### 4.2.1.2. Pliegues.

Durante la formación de las montañas, las rocas sedimentarias y volcánicas suelen doblarse en una serie de ondulaciones semejantes a ondas denominadas pliegues. En la naturaleza, los pliegues aparecen en una gran variedad de tamaños y configuraciones. Algunos pliegues son amplias flexuras en las cuales unidades rocosas de centenares de metros de grosor se han doblado ligeramente. Otros, son estructuras microscópicas muy apretadas que se encuentran en las rocas metamórficas. Diferencias de tamaño aparte, la mayoría de los pliegues se produce como consecuencia de esfuerzos compresivos que provocan el acortamiento y engrosamiento de la corteza. A veces, los pliegues se encuentran aislados, pero es mucho más frecuente que aparezcan como una serie de ondulaciones.

#### **Figura 1**

*Pliegues en rocas metamórficas*

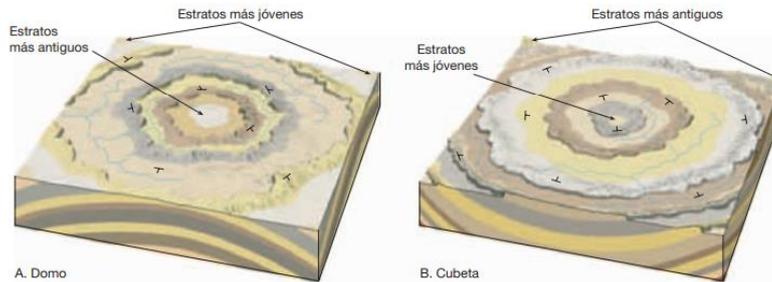


*Nota:* tomado de Geotectónica fácil (2022)

#### 4.2.1.3. Domos y cubetas.

Grandes elevaciones de las rocas del basamento pueden deformar la cubierta de estratos sedimentarios superiores y generar grandes pliegues. Cuando este movimiento ascendente produce una estructura circular o alargada, la estructura se denomina domo. Las estructuras descendentes que tienen una forma similar se denominan cubetas. (Tarbuck & Lutgens, 2005)

**Figura 2**  
*Domos y cubetas*

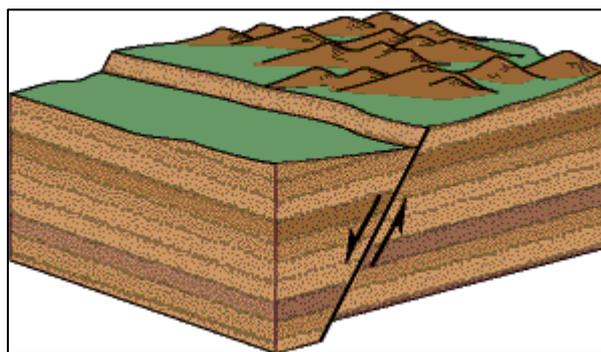


*Nota:* Fuente: (Tarbuck & Lutgens, 2005)

#### 4.2.1.4. Fallas.

Las fallas son fracturas en la corteza a lo largo de las cuales ha tenido lugar un desplazamiento apreciable. A veces, pueden reconocerse pequeñas fallas en los taludes de las carreteras, observándose estratos sedimentarios desplazados unos pocos metros. Las fallas de esta escala normalmente aparecen como pequeñas rupturas aisladas. Por el contrario, las grandes fallas, como la de San Andrés en California, tienen desplazamientos de centenares de kilómetros y consisten en muchas superficies falladas interconectadas. Estas zonas de falla pueden tener una anchura de varios kilómetros y a menudo son más fáciles de identificar a partir de fotografías aéreas que a nivel del suelo. (Tarbuck & Lutgens, 2005)

**Figura 3**  
*Representación de una falla geológica*



*Nota:* tomado de Geoportal (2022)

#### 4.2.1.5. Diaclasas.

Entre las estructuras más comunes se cuentan diaclasas. A diferencia de las fallas, las diaclasas son fracturas a lo largo de las cuales no se ha producido

desplazamiento apreciable. Aunque algunas diaclasas tienen una orientación aleatoria, la mayoría se produce en grupos aproximadamente paralelos.

Ya hemos considerado dos tipos de diaclasas. Antes vimos que las diaclasas columnares se forman cuando las rocas ígneas se enfrían y se desarrollan fracturas de retracción que producen columnas alargadas en forma de pilares. También recordemos que el alejamiento produce un modelo de diaclasas suavemente curvadas que se desarrollan más o menos en paralelo a la superficie de los grandes cuerpos ígneos, como los batolitos. En estos casos, la formación de diaclasas es consecuencia de la expansión gradual que se produce cuando la erosión elimina la carga suprayacente. (Tarbuck & Lutgens, 2005)

#### **4.2.2. Rocas.**

Una roca es un agregado de uno o más minerales sólidos, con propiedades físicas y químicas definidas, que se agrupan de forma natural. Forman la mayor parte de la Tierra y su importancia, en el área geocientífica, radica en que contienen el registro del ambiente geológico del tiempo en el que se formaron. (SGM, 2018)

##### **4.2.2.1. Clasificación de las rocas**

- **Rocas ígneas**

Las rocas ígneas (ignis= fuego), son rocas primarias, formadas cuando la roca fundida (magma), se enfría y se solidifica. Estos materiales conforman un sistema físico – químico que en la mayoría de los casos presenta tres fases en equilibrio: una fase líquida compuesta por silicatos fundidos, una fase sólida de cristales de silicatos en suspensión y una tercera fase gaseosa de compuestos volátiles. (Fraga et al., 2017)

- **Rocas metamórficas**

Existen rocas intermedias entre rocas sedimentarias y rocas metamórficas, llamadas rocas meta-sedimentarias, por ejemplo, la metaarenisca, la meta-lutita, etc. Así mismo existen otras rocas, llamadas de transición entre las rocas ígneas y rocas metamórficas, son las rocas meta-volcánicas, si son de origen efusivo. (Castillo et al., 2021)

- **Rocas sedimentarias**

Las rocas sedimentarias son aquellas que se forma como resultado de la acumulación de los productos de la destrucción física, química y la actividad de los organismos, que sufren las diferentes rocas en la superficie terrestre. Ocupan un volumen del 5% en la corteza terrestre.(Hernández, 1986)

### 4.2.3. Petrografía

La Petrología (del latín *petrus* = roca; y del griego *λόγος* (logos) = estudio) es la ciencia que estudia el origen de las rocas y la Petrografía es la disciplina geológica dedicada a la descripción y clasificación de las rocas. (Castro Dorado, 2015)

La Petrografía es un campo de la petrología que se ocupa de la descripción y clasificación de las rocas mediante la observación microscópica de secciones o láminas delgadas derivadas de las rocas en estudio, en un microscopio petrográfico, clasificándolas según su textura y composición mineralógica. Este tipo de análisis revela una serie de características y/o propiedades evaluables en los cristales y la relación que existen entre ellos, lo que va a ayudar a determinar la composición de la roca centrándose principalmente en la naturaleza y origen de la misma. (Servicio Geológico Mexicano, 2021)

#### 4.2.3.1. Estudio petrográfico

Un estudio petrográfico requiere, en primer lugar, del examen físico de la roca (descripción megascópica) que nos brinde información sobre el aspecto, textura, color, dureza, tamaño de grano o granularidad de la roca. Cuando los constituyentes son tan pequeños que no son apreciados a simple vista se dice que la roca presenta textura afanita o afanítica, y cuando los cristales sí pueden ser apreciables a simple vista o con lupa se le denomina fanerítica. (Servicio Geológico Mexicano, 2021)

Después de las observaciones megascópicas se realiza una descripción microscópica. Una descripción microscópica consiste en determinar la composición mineralógica y los rasgos texturales, con lo que es posible obtener mucha información de donde se originó la roca; también se determina la forma y color de los cristales, tipo u origen de cada mineral (primarios o secundarios), la textura, la relación mutua entre los minerales y/o asociaciones minerales, así como la matriz o cementante en caso que esté presente. Cada tipo de roca tiene características microscópicas específicas muy importantes en una clasificación. Cabe señalar que ambos análisis en conjunto (megascópico y microscópico) brindan los parámetros necesarios para describir y clasificar acertadamente una roca. (Servicio Geológico Mexicano, 2021)

#### **4.2.4. Litología**

La litología es una disciplina que clasificar las rocas a partir del estudio de sus propiedades tanto físicas como químicas. Cuando lo referimos a la litología no referimos al estudio de la composición de la roca que tiene un área definida. Es decir, cogemos un área y estudiamos los diferentes tipos de rocas que existen en dicha área.

#### **4.2.5. Estudios geológicos.**

El conocimiento de la Tierra es esencial para el desarrollo sostenible y la riqueza de los pueblos. Ecuador es un país montañoso caracterizado por una amplia diversidad de entornos geológicos. Sin embargo, la investigación geológica realizada en nuestro país es pequeña y generalmente ha tenido el carácter de reservado, por lo que no ha podido ser conocida con facilidad. (Paladines Paladines & Soto Luzuriaga, 2010)

##### **4.2.5.1. Mapa geológico.**

El mapa geológico es una publicación científica que documenta la expresión superficial de la configuración geológica de una región. La información expresada en el mapa geológico permite la reconstrucción tridimensional de los objetos geológicos. Se trata del único mapa temático de la naturaleza que permite este tipo de análisis, que le convierte en una herramienta predictiva. El diseño de los mapas geológicos se ha mantenido bastante estable desde los primeros ejemplos aparecidos en los inicios del siglo XIX y constituye un ejemplo de normalización y cooperación internacional. (Robador Moreno, 2017)

Mapas geológicos tienen una base topográfica (tal vez simplificada). Como informaciones topográficas importantes se incorporan infraestructura (camino, ferrocarriles), ríos, pueblos y curvas de nivel con cotas. No se traspasan tipo de vegetación, símbolos especiales topográficos. La base topográfica normalmente tiene solamente un color (negro o café).

Todos los mapas geológicos además representan por gran parte un modelo geológico, es decir en algunos sectores la información geológica tiene su base en la interpretación geológica de los autores. Mejor sería la confección de mapas "verdaderas" significa mapas con una alta porcentaje de información real, solo con poca información interpretada.

Cada mapa tiene su objetivo. Mapas geológicos de la región tienen un objetivo distinto como mapas para una empresa minera o mapas para una empresa de agua potable. Además, cada mapa refleja una situación geológica simplificada. La manera de la simplificación pertenece al objetivo y del autor de la carta. Por eso mapas antiguos se ve tal vez bastante diferente como mapas modernos. (Griem, 2020)

### **4.3. Geotecnia**

La geotecnia es la rama de la geología que trata de la aplicación de los principios geológicos en la investigación de los materiales naturales -como las rocas- que constituyen la corteza terrestre implicados en el diseño, la construcción y la explotación de proyectos de ingeniería civil, como autopistas, vías férreas, puentes, presas, oleoductos, acueductos, unidades habitacionales, sitios de confinamiento y edificios en general.

La Geotecnia es la rama de la Ingeniería que se ocupa del estudio de la interacción entre las construcciones y el terreno. Se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes de la Tierra (suelo y rocas por debajo de la superficie), con el objetivo de diseñar las cimentaciones para estructuras tales como edificios, puentes, centrales hidroeléctricas, estabilizar taludes, construir túneles y carreteras, etc. Por tanto, es una disciplina de la Ingeniería Civil en conjunto con la Ingeniería Geológica guardando una relación directa con el terreno.

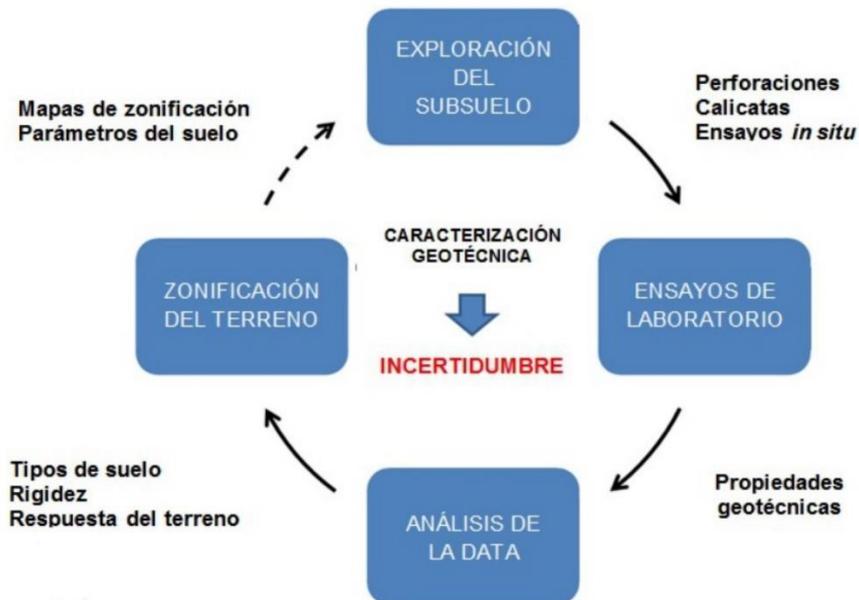
#### ***4.3.1. Caracterización geotécnica***

La caracterización geotécnica es, ante todo, un proceso complejo, porque es el resultado de una serie de actividades desarrolladas en campo, laboratorio y oficina, siguiendo procedimientos y normas rigurosas para su ejecución, que implica la toma de decisiones técnicas en base a las condiciones variables del terreno bajo estudio.

Este proceso de caracterización se inicia en la etapa de exploración del subsuelo, continúa con los ensayos de campo y de laboratorio realizados con el fin de estimar determinadas propiedades del suelo, y culmina con la interpretación de los datos disponibles y la delimitación de sectores del terreno estudiado, considerando las características de resistencia de los estratos detectados, y la respuesta esperada de estos estratos a las cargas externas.

Así, uno de los rasgos fundamentales de la caracterización geotécnica incluye la zonificación del terreno estudiado, con el fin de identificar unidades geológicamente “homogéneas”, que pueden abarcar diferentes edades geológicas.

**Figura 4**  
*Proceso de caracterización geotécnica.*



*Nota:* Fuente: (Boiero, 2022)

Las propiedades del suelo en un sitio pueden mostrar grandes variaciones locales, pero puede que no haya tendencias generales en las variaciones, y las propiedades medias pueden ser esencialmente las mismas en todas las partes del sitio (Taylor, 1948). Este hecho es muy importante, puesto que el análisis de cualquier problema geotécnico requiere la adopción de un modelo de comportamiento del suelo, el cual se basa en parámetros geotécnicos que describen el comportamiento del terreno en cuanto a sus condiciones de carga-deformación. Estos parámetros del suelo no se conocen de antemano, por lo que el ingeniero geotécnico debe medir estos parámetros en condiciones controladas de laboratorio o de campo, o estimarlos a partir de otros datos (Kulhawy & Mayne, 1990)

De esta forma, la caracterización geotécnica se completa asignando parámetros geomecánicas representativos a cada sector delimitado en la zonificación geotécnica, los cuales se utilizarán posteriormente en el diseño geotécnico de cimentaciones, muros, pavimentos y preparación del sitio, y para la evaluación de potenciales problemas relacionados con el terreno que podrían afectar la funcionalidad del proyecto durante su vida útil.(Boiero, 2022)

### 4.3.2. *Propiedades físico mecánicas de los geomateriales*

#### 4.3.2.1. **Propiedades físicas.**

- **Densidad**

La densidad natural o húmeda es la relación entre la masa de una muestra de roca en su estado natural, ósea, con un cierto contenido de humedad, y el volumen que ocupa.

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

Donde:

$\delta$  = densidad natural de la roca/suelo

m= masa

v= volumen

- **Contenido de humedad**

El contenido de humedad es una magnitud que expresa la cantidad de agua en un material sólido y se puede representar en términos de una base de masa seca o de una base de masa humedad. (Enriques Martines & Leonel Lira, 2010)

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Donde:

$\omega$ = humedad expresada en porcentaje (%)

Ww= peso de la muestra humedad

Ws= peso de la muestra seca

- **Peso específico**

Es el peso por volumen de una sustancia. También se conoce como densidad de peso. Recordemos que el valor de la constante de gravedad es 9,8 m/s<sup>2</sup>. Las unidades del peso específico son Newton por metro cúbico, o N/ m<sup>3</sup>. (Enriques Martines & Leonel Lira, 2010)

El peso específico total o aparente ( $\gamma$ ) de una roca es igual al peso total de la roca y el volumen total de la misma:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

El peso específico seco  $\gamma_d$ , es el peso seco de las partículas minerales dividido por el volumen total del elemento.

$$\gamma_d = \frac{Wd}{V} = \frac{G}{1+e} \quad \gamma_w = \frac{1}{1-w}$$

Donde:

Wd= peso seco de la muestra

V= volumen total de la muestra

G= gravedad específica

E = relación de vacíos

$\gamma_w$ = peso específico total

- **Porosidad**

Es una medida de los espacios vacíos en un material, y es una fracción del volumen de huecos en el volumen total y se describe como fracción, variable entre 0.0-1.0, u como un porcentaje entre 0-100%. (Borselli, 2021)

$$\emptyset = \frac{V_v}{V_t}$$

Donde:

$\emptyset$ = porosidad del material

V<sub>v</sub>= volumen de vacíos

V<sub>t</sub>= volumen total

#### 4.3.2.2. Propiedades mecánicas.

- **Resistencia al corte**

La resistencia al corte de una masa de suelo está definida como la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla por los esfuerzos y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de éste.

Un material falla debido a una combinación crítica del esfuerzo normal y esfuerzo cortante, la aproximación del esfuerzo cortante sobre, el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal (Coulomb, 1776). Se escribe como:

$$\tau_f = c + \sigma \tan \emptyset$$

Donde:

c= cohesión

$\emptyset$ = ángulo de fricción interna.

(Pineda-Jaimes et al., 2014)

#### 4.3.3. *Granulometría y clasificación del suelo*

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra.

Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores de material (granulometría).

(CAÑAS, 2022)

- **Método de ensayo estándar para material más fino que la malla n° 200 (75  $\square$  m) en agregado mineral por lavado. (ASTM c 117 – 95.)**

Este método de ensayo presenta dos procedimientos, uno usando sólo agua para la operación de lavado y el otro incluyendo un agente humectante que ayude a separar el material más fino que la malla de 75  $\mu$ m (N° 200). La norma propone que cuando no se especifique por qué método ensayar, el procedimiento que deberá ser utilizado es el que usa solamente agua.

En algunos casos, el material fino está adherido a las partículas grandes, tal como algunos revestimientos de arcillas y de revestimientos en agregados que han sido extraídos de mezclas bituminosas. En estos casos, el material más fino será separado más rápidamente con un agente humectante en el agua.

Este método de ensayo es propuesto debido a que el material más fino que 75  $\square$  m puede ser separado de las partículas gruesas mucho más eficiente y completamente por tamizado húmedo que a través por tamizado en seco. Por tal razón, cuando se necesitan determinaciones precisas de material más fino que la malla de 75  $\square$  m en agregado fino o grueso, este método es usado en la muestra previamente al tamizado en seco (norma ASTM C 136).

El resultado de este método de ensayo es incluido en los cálculos del análisis por tamizado de agregados gruesos y fino (ASTM C 136), y la cantidad total de material más fino que la malla de 75  $\mu$ m por lavado, más la obtenida por tamizado en

seco de la misma muestra, se reportan con los resultados obtenidos con el método de ensayo C 136.

Usualmente, la cantidad de material adicional más fino de 75  $\mu$ m obtenido en el proceso de tamizado en seco, es una cantidad pequeña. Si fuera grande, la eficiencia de la operación de lavado puede ser verificada. Esto puede ser también una indicación de degradación del agregado.

Para el ensayo se deberá escoger una muestra de material en función del tamaño máximo nominal de sus partículas según la siguiente tabla:

**Tabla 1**

*Selección del tamaño de la muestra de prueba*

Máximo tamaño nominal (mm)	Mínimo de masa a utilizar (g)
4,75	300
9,5	1000
19,0	2500
37,5	5000

En el ensayo se lava una muestra de agregado de una manera prescrita, usando agua o agua conteniendo un agente humectante especificado. El agua de lavado decantada conteniendo material disuelto y suspendido, es pasada a través de la malla N.º 200. La pérdida en masa resultante del tratamiento de lavado se calcula como el porcentaje de masa de la muestra original y se reporta como el porcentaje de material más fino que las mallas de 75  $\mu$ m por lavado. (CAÑAS, 2022)

- **Método de ensayo estándar para análisis por malla de agregado grueso y fino (ASTM c 136 – 01.)**

Este método de ensayo es usado para determinar la graduación de materiales propuestos para usarse como agregados o que están siendo usados como agregados. Los resultados son utilizados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de las partículas con los requerimientos aplicables especificados y para proporcionar información necesaria para el control de la producción de productos varios de agregados y de las mezclas que los contienen. La información también puede ser usada en el desarrollo de relaciones concernientes a la porosidad y el empaque. (CAÑAS, 2022)

El ensayo trata básicamente de separar una muestra de agregado seco de masa conocida, a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente menores, con el objeto de determinar los tamaños de las partículas. (CAÑAS, 2022)

#### 4.3.3.1. Sistema de clasificación SUCS

Este estándar clasifica suelos de cualquier localización geográfica en categorías que representan los resultados de los ensayos de laboratorio para determinar la granulometría, límite líquido e índice de plasticidad.

**Tabla 2**

*Nombres tipos del material*

Grupo	Nombres Típicos del material
<b>GW</b>	Grava bien gradada, mezclas gravosas, poco o ningún fino.
<b>GP</b>	Grava mal gradada, mezclas grava – arena, poco o ningún fino.
<b>GM</b>	Grava limosa, mezclas grava, arena, limo.
<b>GC</b>	Grava arcillosa, mezclas grava – arenas arcillosas.
<b>SW</b>	Arena bien gradada.
<b>SP</b>	Arena mal gradada, arenas gravosas, poco o ningún fino.
<b>SM</b>	Arenas limosas, mezclas arena – limo.
<b>SC</b>	Arenas arcillosas, mezclas arena – arcilla.
<b>ML</b>	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas.
<b>CL</b>	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras (pulpa)
<b>OL</b>	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
<b>MH</b>	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos (ambiente marino, naturaleza orgánica silíceo), suelos elásticos.
<b>CH</b>	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.
<b>OH</b>	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.
<b>Pt</b>	Turba (carbón en formación) y otros suelos altamente orgánicos.

*Nota:* En esta tabla se presenta la subclasificación de la clasificación SUCS, en un total de 15 grupos básicos de suelo. Tomado de: (Duque & Escobar, 2016)

#### 4.3.3.2. Sistema de clasificación AASTHO

El sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (Designación ASTM D-3282; método AASHTO M145) es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928. Este sistema pasó por varias revisiones y actualmente es usado para propósitos ingenieriles enfocados más en el campo de las carreteras como la construcción de los terraplenes, subrasantes, subbases y bases de las carreteras. Sin embargo, es necesario recordar que un suelo que es bueno para el uso de subrasantes de carreteras puede ser muy pobre para otros propósitos.

Este sistema de clasificación está basado en los resultados de la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el límite plástico.

La evaluación de los suelos dentro de cada grupo se realiza por medio de un índice de grupo, que es un valor calculado a partir de una ecuación empírica. El comportamiento geotécnico de un suelo varía inversamente con su índice de grupo, es decir que un suelo con índice de grupo igual a cero indica que es material “bueno” para la construcción de carreteras, y un índice de grupo igual a 20 o mayor, indica un material “muy malo” para la construcción de carreteras.

Los suelos clasificados dentro los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares de los cuales 35% o menos de las partículas pasan a través del tamiz N.º 200. Los suelos que tienen más del 35% de partículas que pasan a través del tamiz N.º 200 se clasifican dentro de los grupos de material fino A-4, A-5, A-6 y A-7. Estos suelos son principalmente limo y materiales de tipo arcilla. (VARGAS MESA, 2009)

#### **4.3.4. Estudio geotécnico preliminar.**

El estudio geotécnico preliminar tiene como objetivo definir las condiciones generales del sitio. Sirve como base para diseñar la campaña exploratoria necesaria para el estudio geotécnico definitivo. Esta etapa puede incluir revisión literaria de estudios geológicos o geotécnicos de la zona, así como ciertos ensayos de campo y laboratorio para determinar propiedades del sitio. (Ureta Chalén, 20117)

El estudio debe presentar en forma general el entorno geológico y geomorfológico, características del subsuelo y recomendaciones geotécnicas para la elaboración del proyecto incluyendo la zonificación del área, amenazas de origen geológico, criterios generales de cimentación y obras de adecuación del terreno. La presentación de este tipo de estudio queda a criterio del ingeniero geotécnico en consideración de la magnitud y/o características especiales del proyecto. (NEC & Aulestia Valencia, 2014)

#### **4.3.5. Estudio geotécnico definitivo.**

El estudio geotécnico consiste en una investigación definitiva, con las actividades necesarias, tal es el caso de la exploración de campo que se resume a ensayos realizados *in situ* y en laboratorio y sondeos, que ayuden a determinar las características de un terreno de suelo. A base de estas determinaciones se logra conocer los parámetros necesarios para el diseño de las obras ingenieriles del suelo y al mismo tiempo se pueden establecer recomendaciones para las mismas. (Ureta Chalén, 20117)

El estudio geotécnico definitivo debe incluir lo siguiente:

- Ensayos de campo

- Ensayos de laboratorio

La mejor investigación definitiva se puede presentar en una combinación de ensayos *in situ* y ensayos de laboratorio. De hecho, las desventajas de las pruebas de laboratorio normalmente se compensan con las ventajas de los ensayos *in situ* y viceversa (Tabla 9). Por lo tanto, un buen estudio geotécnico del sitio utiliza una combinación de ensayos *in situ* y los ensayos de laboratorio. (Ureta Chalén, 20117)

**Tabla 3**

*Ventajas y desventajas de los ensayos in situ y laboratorio*

Ensayos de Laboratorio		Ensayos <i>in situ</i>	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Facilidad en análisis teóricos	Ensayos a pequeña escala	Ensayos a gran escala	Dificultad en análisis teóricos
Drenaje puede ser controlado	Pérdidas de tiempo	Relativamente se realiza con mayor rapidez	Drenaje difícil de ser controlado
Obtención más fácil de parámetros	Esfuerzos deben ser simulados	Ensayos realizados bajo esfuerzos reales	Obtención más compleja de parámetros
Posible identificación del suelo	Cierta alteración en muestras	Poca alteración para ciertos ensayos	Raramente posible la identificación del suelo

*Nota:* Fuente: Briaud, J L. (2014)

#### 4.3.6. Estudios geotécnicos en vías

Según García, (2007), en la publicación “estudios geotécnicos para caminos rurales” menciona que “un estudio geotécnico vial debe contener todos los datos e interpretaciones relevantes para el diseño y la fase de construcción”. Para la obtención de estos resultados se realizan “ensayos de campo y de laboratorio adecuados”.

La interrelación en geotécnica se basa en la mecánica de suelos y la mecánica de rocas. La Mecánica de suelos es la ciencia dedicada al estudio y comportamiento del suelo en relación con su aplicación en la Ingeniería Civil, es decir en el desarrollo constructivo. Es entendida como la aplicación de las leyes de la física al comportamiento mecánico de los suelos.

Según González de Vallejo (2002) indica que la Mecánica de rocas es la ciencia que se ocupa de estudiar el comportamiento de las masas de roca bajo la acción de las fuerzas producidas, ya sean por fenómenos natural eso como resultado de excavaciones o construcciones hechas por el hombre. Para lograr este fin se requiere determinar las propiedades mecánicas del macizo rocoso, mediante ensayos de campo o de laboratorio, cuyos resultados cuantitativos son utilizados en fórmulas

matemáticas, en modelos mecánicos a escala o en correlaciones empíricas que permitan evaluar las condiciones pertinentes en un problema específico.

#### 4.3.7. *Movimientos en masa*

Los movimientos en masa son procesos esencialmente gravitatorios, por los cuales una parte de la masa del terreno se desplaza a una cota inferior de la original sin que medie ostensiblemente medio de transporte alguno, siendo tan solo necesario que las fuerzas estabilizadoras sean superadas por las desestabilizadoras. Este tipo de procesos gravitatorios se interrelacionan mutuamente con las precipitaciones altas, de tal forma que frecuentemente las lluvias torrenciales son causantes y/o precursoras de los movimientos en masa, ya que aumentan las fuerzas desestabilizadoras y reducen la resistencia del suelo al deslizamiento.

##### 4.3.7.1. **Clasificación de los movimientos en masa**

Los Movimientos en Masa en Laderas, son procesos de movilización lenta o rápida que involucran suelo, roca o ambos, y donde la fuerza de gravedad actúa en forma constante y más aún cuando un agente erosivo (el agua) arrastra materiales pendientes abajo. Se presentan definiciones para las siguientes clases de movimientos en masa: caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, propagaciones laterales, reptaciones; se describe además cierto tipo de deformaciones gravitacionales profundas.

**Tabla 4 :**

*Clasificación de los deslizamientos (Varnes 1978)*

Tipo	Subtipo
<b>Caídas</b>	Caídas de roca
<b>volcamiento</b>	Volcamiento de roca (bloque) Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso
<b>Deslizamiento de roca o suelo</b>	Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña Deslizamiento rotacional
<b>Propagación Lateral</b>	Propagación lateral lenta Propagación lateral por licuación (rápida)
<b>Flujo</b>	Flujo de detritos Crecida de detritos Flujo de lodo Flujo de tierra Flujo de turba Avalancha de detritos Avalancha de rocas Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (de arena, limo, detritos, roca fracturada)
<b>Reptación</b>	Reptación de suelos Soliflucción, geliflucción (en permafrost)
<b>Deformaciones gravitacionales profundas</b>	

*Nota:* tomado de: Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas (2007)

#### **4.3.8. Taludes**

Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra. No hay duda que el talud constituye una estructura compleja de analizar debido a que en su estudio coinciden los problemas de mecánica de suelos y de mecánica de rocas, sin olvidar el papel básico que la geología aplicada desempeña en la formulación de cualquier criterio aceptable.

##### **4.3.8.1. Estabilidad de los taludes**

Los métodos de estabilización de taludes generalmente, están dirigidos a reducir las fuerzas actuantes, a incrementar las fuerzas resistentes o una combinación de los dos efectos. Es común que existan varios factores que determinen las fuerzas actuantes y resistentes y se requieran varios métodos de estabilización para lograr un efecto combinado. Las fuerzas actuantes pueden reducirse de varias formas:

- Excavando el material de un sector apropiado del talud.
- Construyendo sistemas de drenaje para reducir las presiones hidrostáticas.
- Las fuerzas resistentes pueden incrementarse de varias formas:
  - Drenaje para incrementar la resistencia de los materiales.
  - Eliminación de estratos débiles o zonas potenciales de falla.
  - Estructuras de contención.
  - Refuerzo del suelo.
  - Tratamiento químico.

##### **4.3.8.2. Procedimiento de estabilización**

La estabilización de un talud comprende las siguientes etapas:

- Determinación del sistema o combinación de sistemas de estabilización más apropiados, teniendo en cuenta todas las circunstancias del talud estudiado.
- Diseño en detalle, el sistema que se va a emplear, incluyendo planos y especificaciones.
- Construcción de las obras de estabilización

- Instrumentación y control del comportamiento durante y después de la estabilización

**Tabla****5***Métodos de conformación topográfica del talud.*

Método	Ventajas	Desventajas
Remoción de materiales de la cabeza del talud	Muy efectivo en la estabilización de los deslizamientos rotacionales.	En movimientos muy grandes, las masas que se van a remover tendrían una gran magnitud.
Abatimiento de la pendiente	Efectivo, especialmente en los suelos friccionantes.	No es viable económicamente, en los taludes de gran altura.
Terraceo de la superficie	Además de darle estabilidad al deslizamiento, permite construir obras para controlar la erosión.	Cada terraza debe ser estable independientemente.
Colocación de bermas o contrapesos	Contrarrestan el momento de las fuerzas actuantes y además, actúan como estructura de contención.	Se requiere una cimentación con suficiente capacidad de soporte.

*Nota: tomado de Suarez, (2012)*

**4.3.8.3. Factor de seguridad**

Los análisis de estabilidad de taludes son procedimientos útiles para determinar el factor de seguridad de formaciones naturales (laderas) y estructuras construidas por el hombre (bordos, terraplenes, etc.). Frecuentemente su análisis se realiza por métodos de equilibrio límite que satisfacen los principios de la estática (equilibrio de fuerzas y equilibrio de momentos). La evaluación de la seguridad de los taludes depende en gran medida de la resistencia al corte del suelo. En consecuencia, es necesario definir leyes constitutivas que representen sus condiciones reales. (Promotor y López-Acosta, 2018)

Cuando el suelo se encuentra en condiciones saturadas, los parámetros de resistencia al corte efectivos (cohesión y ángulo de fricción interna) se emplean para describir su comportamiento. Sin embargo, cuando el suelo presenta una zona no saturada, y dado su estado de presión de poro negativa (succión), tanto los parámetros de resistencia al corte como la ley constitutiva para suelos saturados generalmente dejan de ser válidos. Un caso particular son los taludes con inclinaciones pronunciadas y niveles freáticos profundos

que, a pesar de mostrar parámetros de resistencia bajos, logran mantenerse estables. (Promotor y López-Acosta, 2018)

- **Escogencia del factor de seguridad**

La remediación de un deslizamiento o de un talud inestable, generalmente no es una estabilización total y definitiva, sino relativa y en ciertas condiciones, provisional. Ante esta realidad, es importante determinar hasta donde se debe llegar en el proceso de remediación. (Cornforth. D.H, 2005) explica que los factores de seguridad razonables y la magnitud de la estabilización deben determinarse teniendo en cuenta los siguientes factores:

- *El tamaño del deslizamiento.* Teniendo en cuenta que es mucho más difícil modelar en forma precisa un deslizamiento pequeño que uno de gran magnitud, el factor de seguridad para remediación de un deslizamiento pequeño, debe ser superior al de un deslizamiento de gran tamaño. Igualmente, el costo para subir el factor de seguridad en un deslizamiento grande, puede ser muy alto, lo cual, en ocasiones, conduce a conclusiones incorrectas acerca de que los deslizamientos grandes no se pueden estabilizar. Lo que ocurre es que, en un deslizamiento grande, es más difícil subir el factor de seguridad y cualquier aumento en el factor de seguridad tiene un efecto importante en la estabilidad.
- *El tipo de movimiento.* En los movimientos masivos de masas rígidas, las técnicas de estabilización son más efectivas que en los movimientos blandos tipo flujo de lodos, etc. En los movimientos de suelos rígidos se pueden considerar factores de seguridad menores que en movimientos de flujo.
- *La magnitud de los estudios realizados.* Si la información recolectada en los estudios es muy completa y confiable, se pueden permitir factores de seguridad menores que en los casos en los cuales la información es escasa y la incertidumbre es mayor.
- *El potencial de consecuencias.* En los casos en los cuales las consecuencias del deslizamiento involucran un riesgo grande de vidas humanas o propiedades, se requieren factores de seguridad mayores,



por ejemplo, si está involucrado un hospital o una escuela, los factores de seguridad deben ser mayores que en el caso de un campo deportivo.

- *La experiencia del profesional con los suelos del sitio.* Cuando se tiene experiencia previa confiable del comportamiento real de los suelos, se pueden permitir factores de seguridad menores que cuando se desconoce el comportamiento real de los materiales.
- *Posibilidad de ocurrencia de eventos extremos.* Si en el análisis no se tuvieron en cuenta los eventos extremos, se deben incluir factores de seguridad mayores ante la ocurrencia de estos fenómenos. (Suarez, 2012)

## 5. Metodología

### 5.1. Materiales

**Tabla 6**

*Materiales para el desarrollo del presente trabajo de titulación*

<b>Levantamiento geológico</b>
GPS
Brújula Brunton
Martillo geológico
Libreta de campo
Flexómetro
Fundas herméticas
Ácido clorhídrico al 10%
Carta geológica de Zaruma, escala 1:100000
Información topográfica 1:2000
Cámara fotográfica
Marcadores
<b>Materiales de oficina</b>
Falsilla de Wuff
Impresora
Laptop
Microsoft office 2016.
Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Capiro (PDOT) 2021.
Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia El Oro (PDOT) 2021
Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Piñas (PDOT) 2021
Software ArcGIS versión 10.5
Software Global Mapper.
Software Mission Planner.
Software Rocklab
Software slide 2.0
<b>Materiales de laboratorio</b>
Balanza analítica
Bomba de vacíos.
Cazuela de casa grande.
Espátulas
Microscopio petrográfico
Mortero
Picnómetro
Pisetas
Porrón
Prensa para ensayos de compresión simple.
Ranurador
Tamices para suelos

### 5.2. Métodos

El método deductivo, ya que la finalidad de este es el de reflejar una realidad que se estudia por derivación o resultado de los atributos o enunciados contenidos en proposiciones o leyes científicas de carácter general formuladas con anterioridad, en este caso se realizarán análisis para reflejar la situación actual de la zona de estudio, se conocerá el tipo de materiales que componen el área, sus propiedades físico -

mecánicas y por último la estabilidad de los mismos, además se determinará el factor de seguridad en dos taludes más competentes. Siendo así este método el adecuado que se acopla a la presente investigación.

El enfoque que se aplicó es el cuantitativo, porque este busca medir un fenómeno, cuantificar y expresarlo en cifras. Este tipo de información arrojará resultados descriptivos o comparativos, o pueden ser objeto de análisis estadísticos para establecer si existen vínculos significativos entre determinados parámetros estudiados. Además, una de las ventajas de usar este método es por su precisión y exactitud dentro de la investigación. Dentro del presente trabajo se persigue la determinación de parámetros específicos, índices y datos los cuales serán objeto de análisis y comparación.

El tipo de investigación fue de tipo descriptiva, dado que la mayor parte del trabajo será realizado en campo, en donde se realizará la descripción/caracterización de los afloramientos presentes, las diferentes litologías, estructuras geológicas, rocas y taludes. Para ello se implementará el uso de fichas en la recolección y clasificación de la información.

### **5.3.Procedimientos**

#### ***5.3.1. Recopilación de información preliminar***

En esta etapa se realizó la investigación bibliográfica acerca de la zona de estudio, tomando como referencia la carta geológica de Zaruma a escala 1:100.000 CT-NVI-3 hoja 38, que cuenta con información de las principales estructuras geológicas y litologías presentes en el cantón Piñas, provincia de El Oro y la carta topográfica de Zaruma escala 1:50.000 CT-NVI-E2.

#### ***5.3.2. Fase de campo***

En el desarrollo del reconocimiento de la zona de estudio, se llevó a cabo el levantamiento topográfico del área. Además, se procedió a realizar la descripción detallada de los afloramientos geológicos, complementada con la ejecución de Sondeos Eléctricos Verticales (SEVS) para obtener una base geológica integral.

Para la caracterización geotécnica, se implementaron ensayos específicos que involucraron la toma meticulosa de muestras. Los Ensayos de Compresión Simple fueron parte esencial de este proceso, y se utilizaron varios métodos, destacando especialmente el Método de Bieniawski. Este enfoque permitió determinar con precisión las propiedades físico-mecánicas del macizo rocoso.

Asimismo, se empleó el Método de Equilibrio Límite para calcular con rigor el factor de seguridad. Este enfoque integral proporciona una base sólida para comprender la geología y la geotecnia de la zona, crucial para futuras fases del proyecto.

### **5.3.3. Fase de laboratorio**

Durante esta fase, se lleva a cabo la ejecución de ensayos de laboratorio sobre las muestras previamente recolectadas en campo. El objetivo principal es establecer las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso identificado en la zona de estudio. Este proceso de análisis en laboratorio proporciona información detallada, permitiendo la caracterización del material geológico. La determinación de estas propiedades es esencial para comprender a fondo el comportamiento del macizo rocoso y contribuye significativamente a la planificación y diseño de intervenciones futuras en la región.

### **5.3.4. Fase de oficina**

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo utilizando los softwares específicos destinados para procesar la información recopilada tanto en campo como en laboratorio. Este proceso incluyó la creación detallada de un mapa topográfico y geológico, así como el estudio minucioso de los datos para determinar las propiedades físico-mecánicas de los materiales geológicos y el cálculo del factor de seguridad.

En la fase de elaboración del informe final, se procedió a compilar toda la información recabada hasta el momento. El informe final abarca una descripción detallada de la zona de estudio, que incluye tanto la información geológica como geotécnica de las muestras recuperadas en el campo. Se incluyen análisis detallados de los resultados obtenidos, conclusiones derivadas de estos análisis y recomendaciones finales basadas en el estudio ejecutado.

Es importante destacar que los mapas presentados en el Trabajo de titulación tienen un carácter ilustrativo. En caso de requerirse, se pueden proporcionar mapas topográficos, geológicos y cortes geológicos a escala real para una comprensión más detallada de la información cartográfica.

## **5.4. Descripción general del área de estudio**

### **5.4.1. Ubicación administrativa**

El proyecto se llevó a cabo en la parroquia Capiro la misma que está ubicada al Sur del país en las estribaciones de la cordillera occidental de Los Andes, situada en la parte alta de la provincia de El Oro, al Sur del cantón Piñas a una distancia de 15



Km de la cabecera cantonal. La parroquia Capiro tiene una superficie de 150 Km<sup>2</sup> de extensión, con una población total de 1995 habitantes (según el último censo realizado en 2010). La parroquia limita al Norte con el cantón Piñas, Moromoro y San Roque, al Sur con la Provincia de Loja, al Este con San Roque y la Provincia de Loja y al Oeste con el cantón Balsas. (GAD Parroquial de Capiro, 2015, p.6)

**Figura 5**

*Ubicación administrativa del área de estudio*



La zona de investigación está comprendida entre los sitios Capiro y Conchicola, siendo objeto de estudio la vía de tercer orden que comunica a dichos sitios, la cual cuenta con una extensión de 3km lineales, una faja de 200 metros a cada lado de la vía, teniendo así un área de 130 hectáreas. En la siguiente tabla, se detallan las coordenadas geográficas de ubicación (UTM WGS84, Zona 17 Sur):

**Tabla 7**  
*Coordenadas UTM*

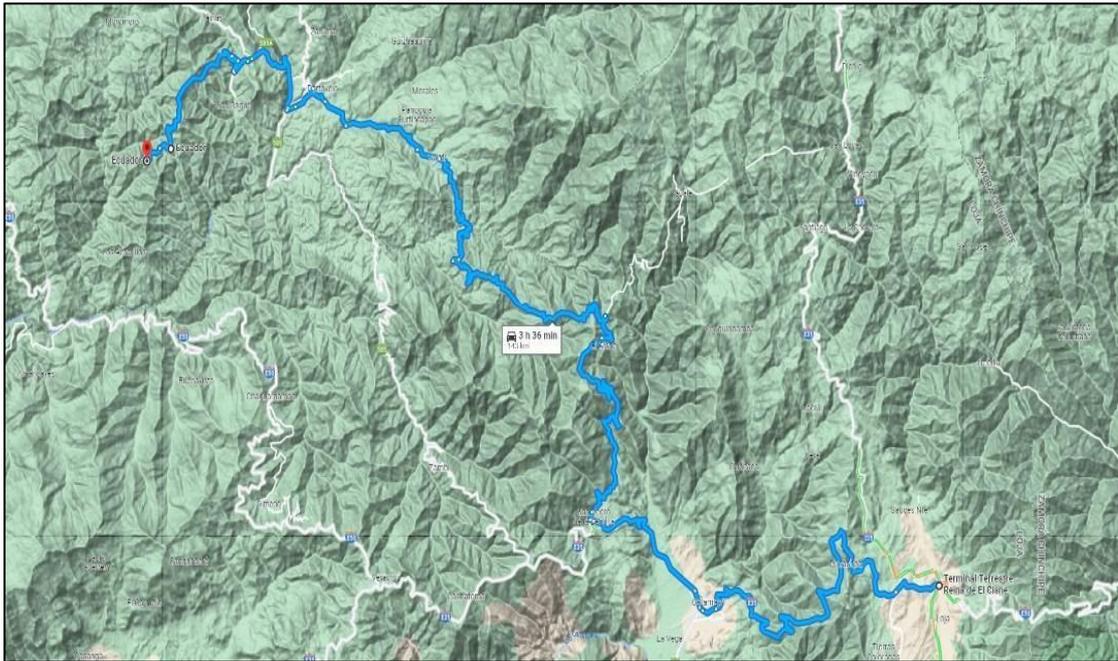
Vía de estudio	Datum WGS84	
	Este	Norte
<b>Coordenada inicial</b>	643168,074	9585661,74
<b>Coordenada final</b>	641207,644	9584814,882

#### **5.4.2. Acceso**

Por vía aérea se puede acceder a la zona de estudio partiendo desde el aeropuerto Mariscal Sucre Ubicado en Quito hasta el Aeropuerto Regional de Santa Rosa en un estimado de 0.34 h (34 minutos) abarcando un aproximado de 400 Km. Desde la ciudad de Santa Rosa nos desplazamos por vía terrestre al cantón Piñas en un estimado de tiempo de 2 horas recorriendo una distancia de 58 Km. Para llegar al punto inicial de la zona de estudio se toma la vía Capiro cubriendo 12 km de recorrido en un estimado de 30 min.

Por vía terrestre se puede acceder a la zona de estudio de la siguiente forma: Mediante vía terrestre, si se toma como referencia la ciudad de Loja la cual se encuentra a una distancia 143 Km puede acceder a la zona a través de la vía de acceso de primer orden mediante la carretera Panamericana, siguiendo la ruta por la E50 donde se llega a San Pedro-El Cisne, vía El Cisne se toma el desvío Ambocas -Salatí - Portovelo, El Oro, cubriendo un recorrido de 128 Km hasta la Ciudad Piñas. Luego Avanzamos por la vía Capiro 12 Km hacia el punto de partida o abscisa 0+000 donde inicia la zona de estudio en El sitio Capiro, en el sector conocido como El León. Avanzamos 3 Km más y llegamos al punto final en el Sitio Conchicola, en el sector conocido como San Antonio. Completando un recorrido de 143Km en un lapso de tiempo estimado de 3h36min.

**Figura 6**  
*Ruta de acceso a la vía Capiro - Conchicola*



**Nota:** Fuente: Google Earth (2023), modificado por el autor

## 5.5. Descripción física del área de estudio

### 5.5.1. Información climática

Según el plan de ordenamiento territorial del cantón Piñas (2015), el clima de la provincia de El Oro es tropical en la mayor parte de su territorio y en este la temperatura promedio alcanza los 28 grados centígrados, aunque es una provincia muy diversa en su clima por tener territorios en distintos niveles de altura y climáticos. Uno de estos territorios es el cantón Piñas, que se encuentra en las estribaciones occidentales del sur del país. El análisis de clima del cantón es muy complejo ya que no existe información precisa sobre el área de estudio, en la provincia existen 8 estaciones meteorológicas y ninguna se encuentra por encima de los 1150 metros de altura.

Según el plan de ordenamiento territorial de la parroquia Capiro (2015) menciona que en el sector predominan 2 zonas bioclimáticas marcadas: el 88,04% unas 12791,34 ha pertenecen a la zona de vida bosque húmedo Montano Bajo (bh-MB), caracterizado por temperaturas medias anuales  $> 12^{\circ} \text{C}$  y precipitaciones promedio anuales de 1000 a 2000 mm, en ella predominan las áreas boscosas o de matorral natural o intervenido; la otra zona de vida es de bosque húmedo Pre-montano (bh-PM), caracterizada por temperaturas medias anuales de 18 a  $24^{\circ} \text{C}$  y

precipitaciones medias anuales de entre 1000 a 1200 mm, donde se ubican áreas boscosas perennifolias, arbustivas naturales y en proceso de regeneración.

### **5.5.2. Hidrografía**

Según el Plan de ordenamiento Territorial de la parroquia Capiro (2015) la parroquia Capiro se ubica en la cuenca hidrográfica del río Puyango está debido a su gran extensión territorial hace que tenga una gran aportación a esta cuenca. La cuenca del río Puyango recibe las aportaciones de las subcuencas Río Moromoro, Drenajes Menores y Río Luis estos a su vez reciben las descargas de diferentes microcuencas.

La mayor cantidad de terreno está compuesto por drenajes menores los mismos que son pequeños y no tienen un nombre para asignarlos; no así cuando el recorrido del agua por una microcuenca es largo toma el nombre de algún sitio en particular la misma que representa el 50,90 % del territorio de la parroquia. (GAD Parroquial de Capiro, 2015, p.20)

### **5.5.3. Vegetación y uso del suelo**

La cubierta vegetal y uso actual del suelo parroquial, está conformado por pastos perennes introducidos, de la familia poaceas destacándose la especie *Setaria sphacelata*, la cual abarca una superficie del 29,39% (4240,59 ha) destinada a la alimentación de ganado vacuno, la adopción de este cultivo forrajero en las parroquias aledañas y el cantón han ocasionado la destrucción de la cubierta vegetal natural y el apareamiento de una ganadería de subsistencia poco desarrollada. (GAD Parroquial de Capiro, 2015, p.42)

El 15,19% unas 2191,55 ha., poseen zonas boscosas húmedas medianamente alteradas, los cultivos que destacan son la asociación cacao-café, y los monocultivos de café y caña de azúcar, abarcando el 15,64% unas 2257,46 ha, de los cuales el 10,50% pertenecen a la asociación cacao-café; así mismo existe un conjunto de misceláneos de ciclo corto y cultivos de subsistencia temporales o permanentes que ocupan 1103,08 ha., las áreas agrícolas muy pequeñas menores a una hectárea en las que se cultivan cereales como el maíz abarcan el 0,43%, frutales semi perennes diversos como: cítricos, mangos, etc., ocupan el 4,39% y en el restante 2, 82% se concentran misceláneos indiferenciados. (GAD Parroquial de Capiro, 2015, p.42)

**Tabla 8**  
*Cobertura y uso del suelo de la parroquia Capiro*

<b>Uso/cobertura</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Bosque húmedo medianamente alterado	2191,55	15,19
Bosque húmedo poco alterado	50,93	0,35
Cacao – café	1514,54	10,5
Café	603,9	4,18
Caña de azúcar artesanal	139,02	0,96
Matorral húmedo medianamente alterado	1157,88	8,02
Matorral húmedo poco alterado	99,51	0,69
Misceláneo de ciclo corto	61,42	0,43
Misceláneo de frutales	634,19	4,39
Misceláneo indiferenciado	407,47	2,82
Pasto cultivado	4240,59	29,39
Vegetación herbácea húmeda medianamente alterada	1668,31	11,56
Vegetación herbácea húmeda muy alterada	625,97	4,34
Vegetación herbácea húmeda poco alterada	622,72	4,32
Vegetación herbácea seca poco alterada	412,95	2,86
<b>Área total</b>	<b>14430,95</b>	<b>100</b>

*Nota:* GAD Parroquial de Capiro (2015)

El uso de suelo hace mención a la ocupación de una superficie determinada en función de su capacidad agrológica y por tanto de su potencial de desarrollo, por ello, representa un elemento fundamental para el desarrollo territorial y de las personas que lo ocupan, ya que es a partir de él, que se conforma una estructura sólida, definiéndose su funcionalidad. En el Ecuador, este término se refiere a la categoría de utilización de tierra en el sector rural del país; encontrándose las posibilidades de: cultivos permanentes, cultivos transitorios y barbecho, descanso, pastos cultivados, pastos naturales, montes y bosques, páramos y otros usos. (GAD Parroquial de Capiro, 2015, p.42)

Los diversos usos que sobre el suelo de Capiro se genera, de la información recogida del Plan de Riego y Drenaje, se observa que el 29% corresponde a pastos cultivados; seguido por la categoría vegetación herbácea con el 23%; el bosque húmedo ocupa el tercer lugar con el 15% y posterior se coloca la categoría café-cacao con el 11%, lo antes citado muestra claramente que la actividad remarcada en la zona es la ganadería. (GAD Parroquial de Capiro, 2015, p.42)

#### **5.5.4. Pendientes**

Para la construcción del mapa de pendientes de la zona de estudio, se utilizó el software ArcGIS versión 10.5, el polígono y las curvas de nivel del área de estudio, creando así modelos de elevación digital que posteriormente se clasificaron según la clasificación propuesta por Demek (1972), que se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 9**

*Clasificación de las pendientes propuestas por DEMEK*

RANGO °	GRADIENTE	DESCRIPCIÓN
0-5	3.5 – 8.7	Ligeramente Inclinado
5-15	8.7 – 26.8	Fuertemente inclinado
15-35	26.8 – 70	Muy inclinado
35-55	70 – 143	Empinado
55-90	>143	Vertical

**Nota:** fuente Demek (1972), modificado por el autor.

#### 5.5.4.1. Mapa de pendientes

En base a los resultados previos se elaboró un mapa de pendientes para identificar los distintos tipos de gradiente en las diversas formas del relieve, quedando clasificado en 5 grupos descritos a continuación:

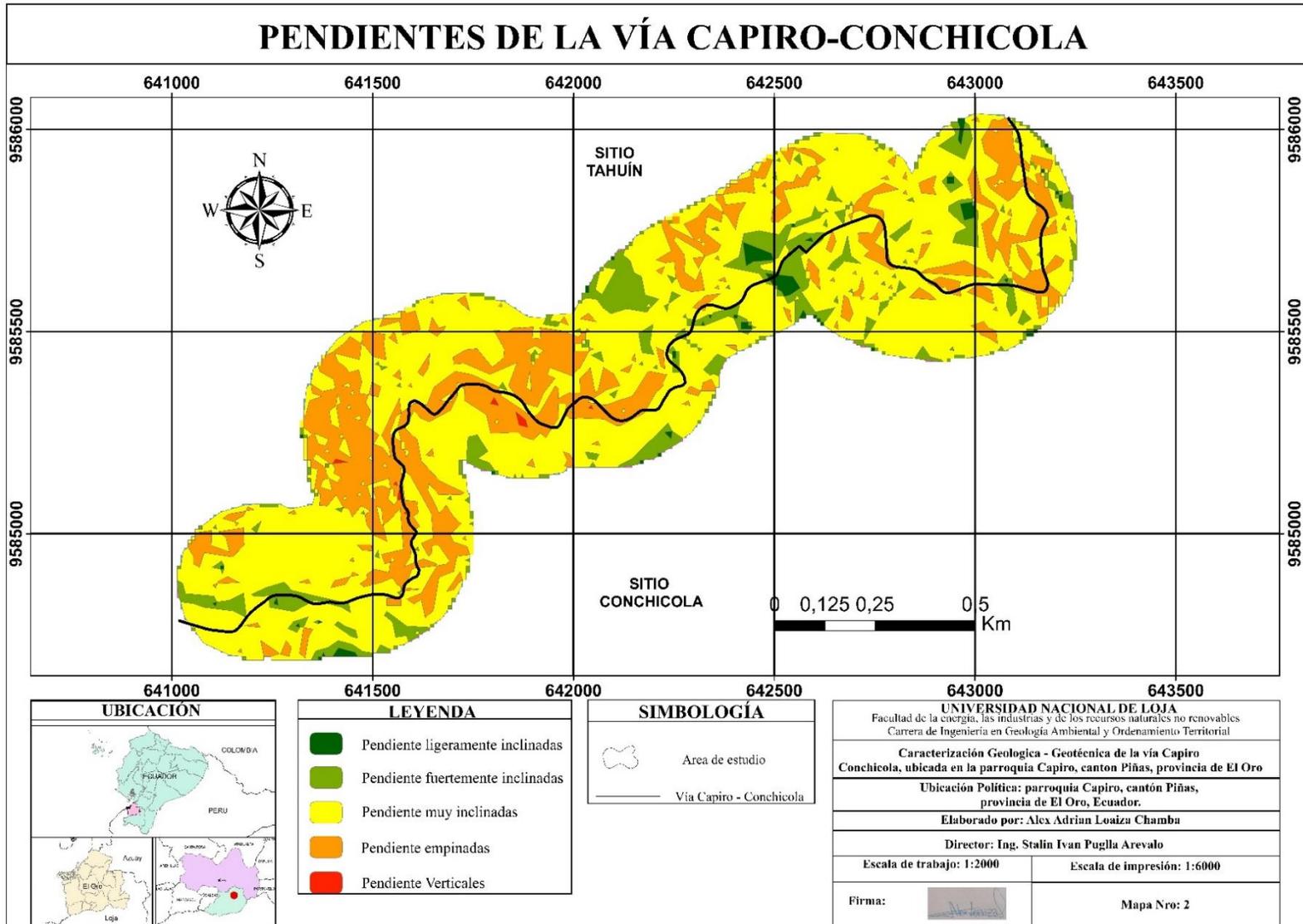
**Tabla 10**

*Rango de pendientes en el área de estudio*

	NOMBRE	RANGO	ÁREA (Km)	PORCENTAJE (%)
	Pendiente ligeramente inclinadas	0°-5°	0,011652	1,000414
	Pendiente fuertemente inclinadas	5°-15°	0,10991	9,436382
	Pendiente muy inclinadas	15°-35°	0,75519	64,837075
	Pendientes empinadas	35°-55°	0,286676	24,612634
	Pendientes verticales	>55°	0,001322	0,113535

**Nota:** fuente Demek (1972). Elaborado por el autor (2022)

**Figura 7**  
*Mapa de pendientes de la vía Capiro - Conchicola*



En la zona de estudio predominan la clase de pendientes muy inclinadas abarcando un área de 0,75 km (75Ha) con un porcentaje del 64,84%; el porcentaje que le sigue con un 24,61% corresponde a pendientes empinadas con un área de 0,28Km (18Ha) ubicándose en su gran mayoría en la parte central de la zona de estudio; con un 9,43% se puede observar a pendientes fuertemente inclinadas con un área de 0,10 Km (10Ha); después tenemos a la clase de pendientes ligeramente inclinadas con una área de 0.01 Km (1Ha) lo que representa un 1 % y finalmente se encuentran las pendientes verticales con una porcentaje del 0,11 % lo que significa que tiene un área de 0,001 Km (0,1 Ha) las cuales se distribuyen en la parte alta central de la zona de estudio.

#### ***5.5.5. Geomorfología.***

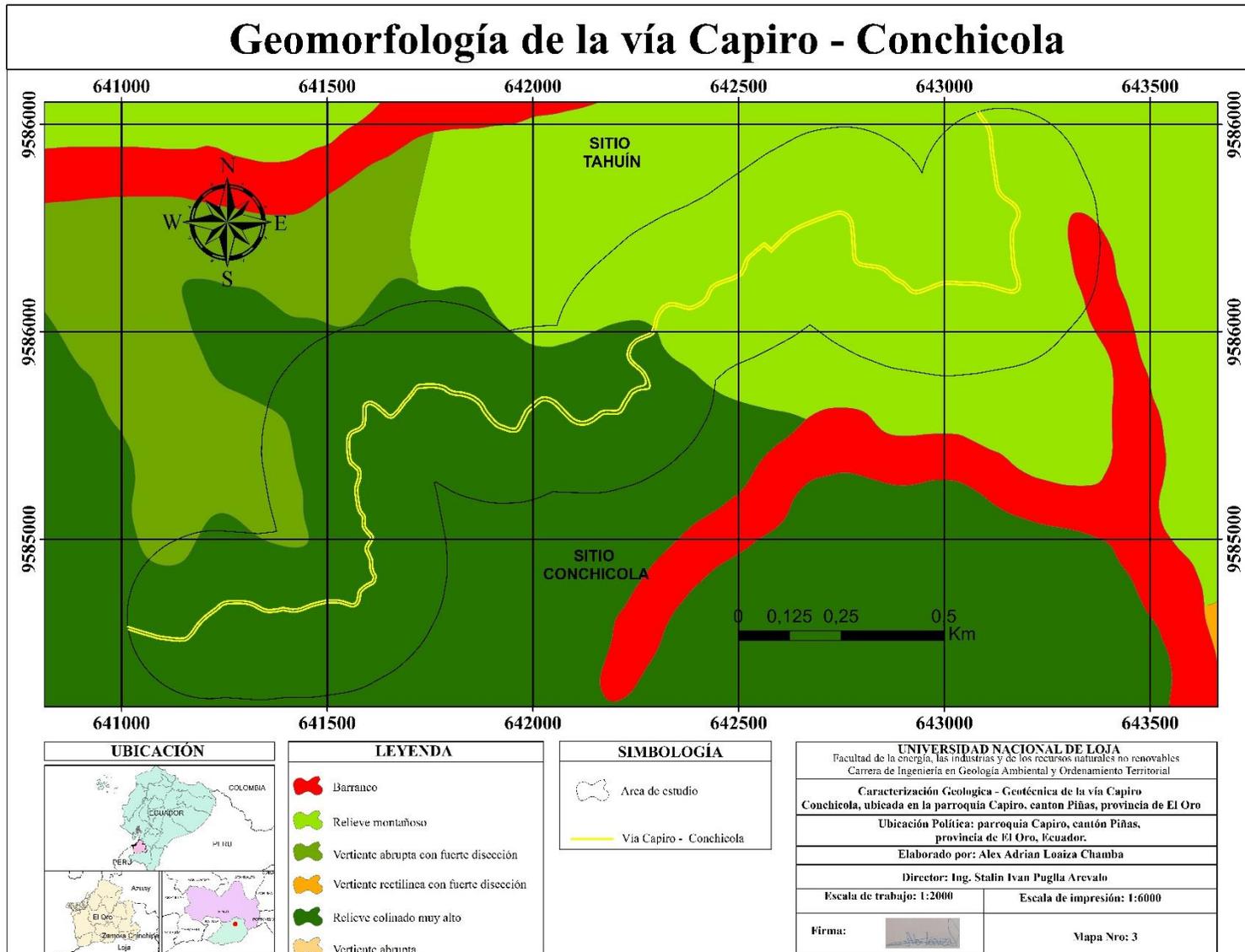
La generación de unidades geomorfológicas consiste en la subdivisión del territorio de acuerdo a las formas del relieve. Estas formas constituyen una porción del paisaje constituida por una misma roca o material superficial y con características similares en cuanto a su pendiente, desnivel relativo, forma de cima, forma de vertiente y procesos de erosión.. (GAD Parroquial de Capiro, 2015, p.55)

La parroquia posee un sistema montañoso diverso el cual debe ser manejado de forma eficiente para reducir los efectos provocados por la erosión hídrica debiéndose planificar medidas que reduzcan el impacto de la ganadería extensiva y que permitan un uso y aprovechamiento racional y sustentable del entorno natural. (GAD Parroquial de Capiro, 2015, p.55)

Las unidades geomorfológicas presentes en la parroquia Capiro, que cubren toda la parroquia, predominando los relieves montañosos que enmarcan valles medios y altas inscritos a barreras de escalonamiento. (GAD Parroquial de Capiro, 2015, p.55)

**Figura 8**

*Mapa geomorfológico de la Vía Capiro Conchicola*



- **Relieve montañoso**

Este tipo de relieves son relieves escarpados sobre rocas metamórficas, presentando desniveles relativos de 300 metros con pendientes fuertes y longitudinales con formas rectilíneas, mixtas o irregulares. En observación de campo se muestran las formas de valle en V y las formas de cima redondeadas o bien aguadas. (Ministerio de agricultura, ganadería, acuicultura y pesca & SIG Tierras, 2015, p48)

**Figura 9**

*Geoforma: Relieve montañoso*



- **Barranco.**

Este tipo de relieve se encuentra sobre rocas metamórficas, siendo del tipo escarpado, su grupo genético es fluvial, ubicándose al final de pendientes fuertes de 40 al 70% y da forma a los valles en V. (Ministerio de agricultura, ganadería, acuicultura y pesca & SIG Tierras, 2015, p31)

**Figura 10**

*Geoforma: Barranco*



- **Relieve colinado muy alto.**

En el cantón Piñas, el contexto está formado por un relieve colinado muy alto que presenta vertientes con pendientes fuertes, formado sobre el conjunto de rocas sedimentarias, ligeramente metamorfizadas, que forma el Grupo Tahuín.

En la zona de estudio este tipo de relieve cubre un 60% aproximadamente de la totalidad del área, presenta pendientes fuertes con longitudes de vertiente mayores a los 250 metros, las formas son irregulares, mixtas o rectilíneas. Se caracterizan por tener cimas redondeadas o agudas, e igualmente que las anteriores geoformas mencionadas dan valles en forma de V. (Ministerio de agricultura, ganadería, acuicultura y pesca & SIG Tierras, 2015, p41)

**Figura 11**

*Geoforma: Relieve colinado muy alto*



- **Vertiente abrupta con fuerte disección**

Según el SIG Tierras (2015) este tipo de relieve pertenece al grupo genético de laderas y a su vez al subgrupo de laderas abruptas; dentro del contexto geomorfológico a estos se los considera como relieves y estribaciones meridionales de la vertiente occidental.

Las litologías sobre las que se desarrolla la geoforma son las correspondientes a los macizos rocosos de granodioritas, dioritas y cuarzdioritas. De forma general este tipo de relieve presenta pendientes muy fuertes de 70 al 100%, con disecciones marcadas y desniveles relativos mayores a 100 metros. Se localiza al S-E de la zona de estudio en las partes bajas. (Ministerio de agricultura, ganadería, acuicultura y pesca & SIG Tierras, 2015, p34)

**Figura 12.**

*Geoforma: Vertiente abrupta con fuerte disección*



#### **5.5.6. Geología Regional.**

De acuerdo a lo descrito en la Carta geológica de Zaruma (1980) en el área de estudio afloran rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias con edad precámbrica – hasta el cretácico superior. Dichos materiales constituyen a su vez la serie Tahuín y el grupo Alamor. Dentro de la serie Tahuín encontramos los gneis de san roque los mismo que son de origen ígneo, con una edad comprendida entre el precámbrico y paleozoico inferior. Litológicamente se componen de gneis de grano fino – grano grueso, granito meta somático, cuarcitas, esquistos de cuarzo, feldespatos y biotita. Se presenta supra yaciendo al grupo Piedras e infra yaciendo a los Esquistos de Capiro.

Los esquistos de Capiro es la unidad más representativa dentro del área de estudio, constituyéndose principalmente de rocas casi no metamorfizadas hasta rocas de bajo a medio metamorfismo. Esta unidad está representada por una secuencia de esquistos micáceos meteorizados, esquistos cuarcíticos y cuarcitas. Sus espesores son variables con una edad correspondiente al Paleozoico inferior, y se presenta supra yaciendo al Gneis de San Roque e infra yaciendo a la formación Piñón.



## 5.6. Metodología del primer objetivo.

*Ejecutar un levantamiento geológico-estructural a detalle de la vía Capiro-Conchicola con una faja de estudio de 400 metros.*

### 5.6.1. Topografía

Para realizar el levantamiento topográfico se hizo uso de un Dron Marca Mavic 2 Pro equipado con cámara Hasselblad y sensor CMOS de 20 MP 1"pulgada y la Estación RTK marca KQ GEO M8 con precisión H: 8mm y V:15mm. Se procedió a colocar 4 puntos de control distribuidos a lo largo del tramo vial; los puntos se tomaron con una precisión horizontal mínima de 0.60 metros y una precisión vertical mínima de 0.60 metros; valores establecidos en las especificaciones técnicas para ortofotos a una escala 1:2000, elaborado por el IGM en el año 2008. El equipo que se utilizó fue una estación RTK marca KQ GEO M8 con precisión H: 8mm y V:15mm.

El levantamiento topográfico se lo inició con la planificación de vuelo del dron, la colocación de los puntos de control y la correspondiente toma de fotografías aéreas mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados, dicho trabajo se realizó los días 9 y 10 de octubre de 2022.

**Tabla 11**

*Coordenadas de los puntos de control. WGS 84*

Punto	Este (m)	Norte (m)	Altitud (m)	Error (m)
1	642427.878	9585602.415	1068.641	0,60
2	642406.183	9585570.985	1068.141	0,60
3	642478.083	9585628.395	1068.459	0,60
4	642342.082	9585570.432	1068.915	0,60

#### • Generación del plan de vuelo

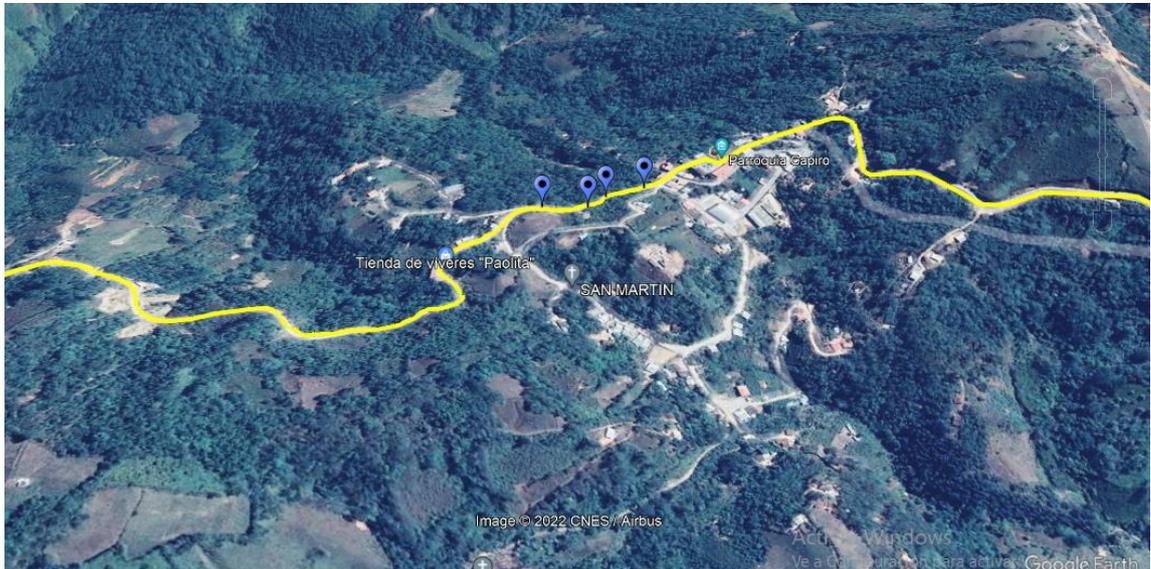
Previo al vuelo, se realizó una planificación del mismo, el cual se lo realizó con el programa Drondeploy en donde se seleccionaron los siguientes parámetros:

Dibujo del polígono de levantamiento

- Altura máxima de vuelo: 200 m
- Tamaño de pixel: 4.5 cm; el tamaño mínimo de pixel para una escala 1:2000 es 0.20 metros, según las especificaciones técnicas para ortofotos elaborado por el IGM en el año 2088n
- Velocidad de vuelo: 15 m/s
- Tiempo de vuelo: 31 minutos
- Número de vuelos: 2

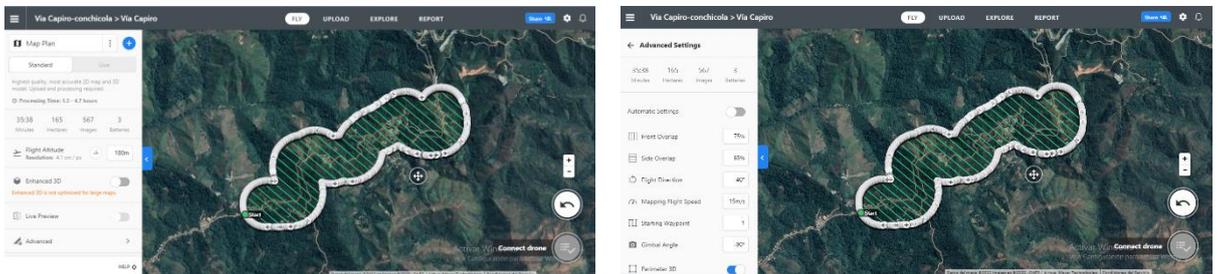
Se realizó una simulación de vuelo para comprobar que todos los parámetros estén correctamente colocados.

**Figura 14**  
*Ubicación de los puntos de control*



**Nota:** Tomado de GoogleEarthPro (2023). Elaborado por el autor.

**Figura 15**  
*Generación y configuración del Plan de vuelo*



### 5.6.1.1. Trabajo de oficina

Procesamiento de fotos y generación de curvas de nivel y ortofoto en el software AGISOFT METASHAPE, para ello se siguieron los siguientes pasos:

- Descarga de las fotografías áreas tomadas con el dron con su correspondiente archivo de posicionamiento georreferencial y altitudinal.
- Orientación de las fotos.
- Importación de los puntos de control.
- Emparejamiento de los puntos de control.
- Generación de nube de puntos densa.
- Clasificación supervisada del terreno.

- Generación del modelo digital de terreno.
- Generación de curvas de nivel cada metro.
- Generación de ortofoto.

#### **5.6.1.2. Mapa topográfico**

La porción inicial del área de trabajo se sitúa en la región denominada "El León", alcanzando una altitud de 1236 metros sobre el nivel del mar (msnm), lo que la convierte en el punto más elevado en toda el área de estudio. A lo largo de este segmento, se observa la presencia de una corriente de agua natural que fluye en paralelo, desembocando finalmente en el río Pindo. Esta sección se caracteriza por la marcada inclinación del terreno, variando desde pendientes pronunciadas de 15° a 35°, hasta áreas de pendientes aún más empinadas, que oscilan entre 35° y 55°. En la actualidad, existen vías que conectan directamente esta zona con la parroquia, y esta última a su vez se encuentra conectada con la cabecera cantonal de Piñas, estableciendo una red de comunicación vital.

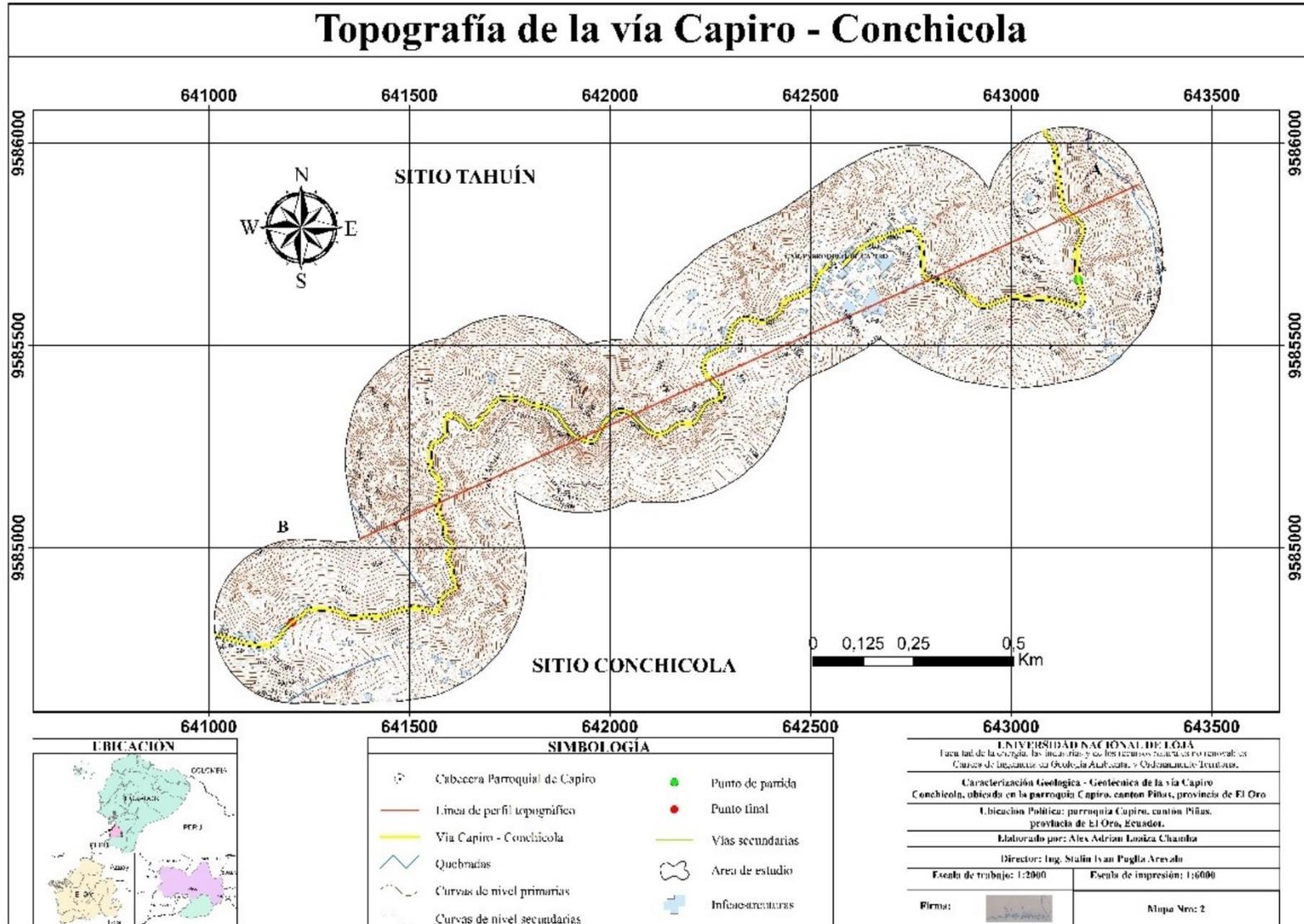
El segmento intermedio de la zona de estudio alberga la cabecera de la parroquia Capiro, donde las altitudes oscilan entre los 960 y 1105 msnm. Esta región se destaca por la presencia de pendientes pronunciadas a empinadas, que son características prominentes en todo este sector montañoso. En ciertas áreas, se pueden encontrar pequeñas superficies planas que son el resultado de deslizamientos antiguos. Estas planicies ofrecen terreno propicio para actividades agrícolas, silvícolas, ganaderas y apícolas, debido a su topografía más nivelada y adecuada para diversas formas de aprovechamiento.

Hacia la parte final de la zona de estudio, las altitudes varían entre 916 y 1207 msnm. En las direcciones noroeste (NO) y suroeste (SO), se observan cursos de agua naturales que convergen con otras vertientes antes de desembocar en el cauce del río Moromoro. Estos cuerpos de agua contribuyen al drenaje de la región y desempeñan un papel crucial en la conformación del paisaje.

El análisis detallado de estas distintas secciones revela una marcada diversidad topográfica en el área de estudio, con variaciones altitudinales significativas que influyen en la distribución de los recursos naturales y las actividades humanas. Comprender la geomorfología de la región es esencial para abordar la planificación y el uso sostenible de los recursos disponibles, así como para la gestión adecuada de las áreas propensas a pendientes pronunciadas y procesos geomorfológicos.

**Figura 16**

*Mapa topográfico del Área de estudio*



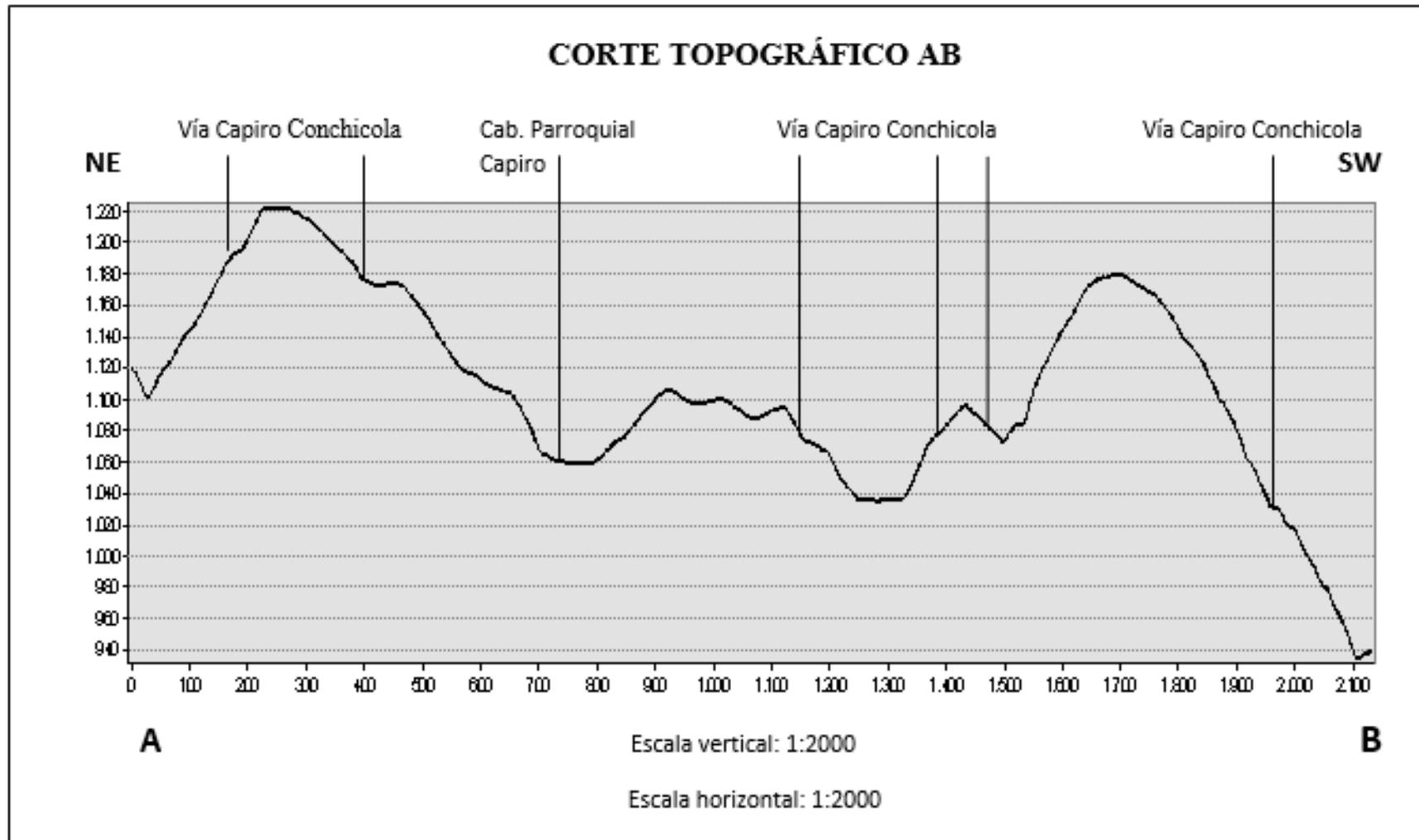


UNL

Universidad  
Nacional  
de Loja

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

**Figura 17**  
*Perfil Topográfico AB*



El perfil topográfico efectuado en la sección inicial del tramo de estudio, con una orientación de NE a SW. La longitud de este perfil abarca 2.1 kilómetros (2122.524444 metros), permitiendo visualizar la sinuosidad característica del terreno bajo investigación, siendo la cota más alta de 1220 metros y la más baja de 940 metros en esta sección.

### **5.6.2. Geología local**

#### **5.6.2.1. Trabajo de campo**

Se desarrolló el levantamiento geológico sobre la base de la topográfica a escala 1:2000, para lo cual se siguió el método de Mapeo por Afloramientos, usándose una tabla de descripción de afloramientos (ver en anexos). Se elaboró un inventario de los afloramientos de origen natural o antrópico presentes en la zona de estudio, para determinar la litología existente, así como las estructuras y con ello finalmente elaborar el mapa geológico.

A partir de la descripción de los afloramientos se tomaron muestras de mano para poder realizar un análisis macroscópico de las mismas utilizando la Ficha de Descripción Macroscópica de Rocas (ver anexo 1).

Finalmente, se realizó la descripción de los deslizamientos observados y para ellos se utilizó la ficha de inventario de movimientos de ladera (ver anexo 2) donde se determinó las principales características y datos relevantes que pueden influir dentro de la estabilidad de la zona de estudio.

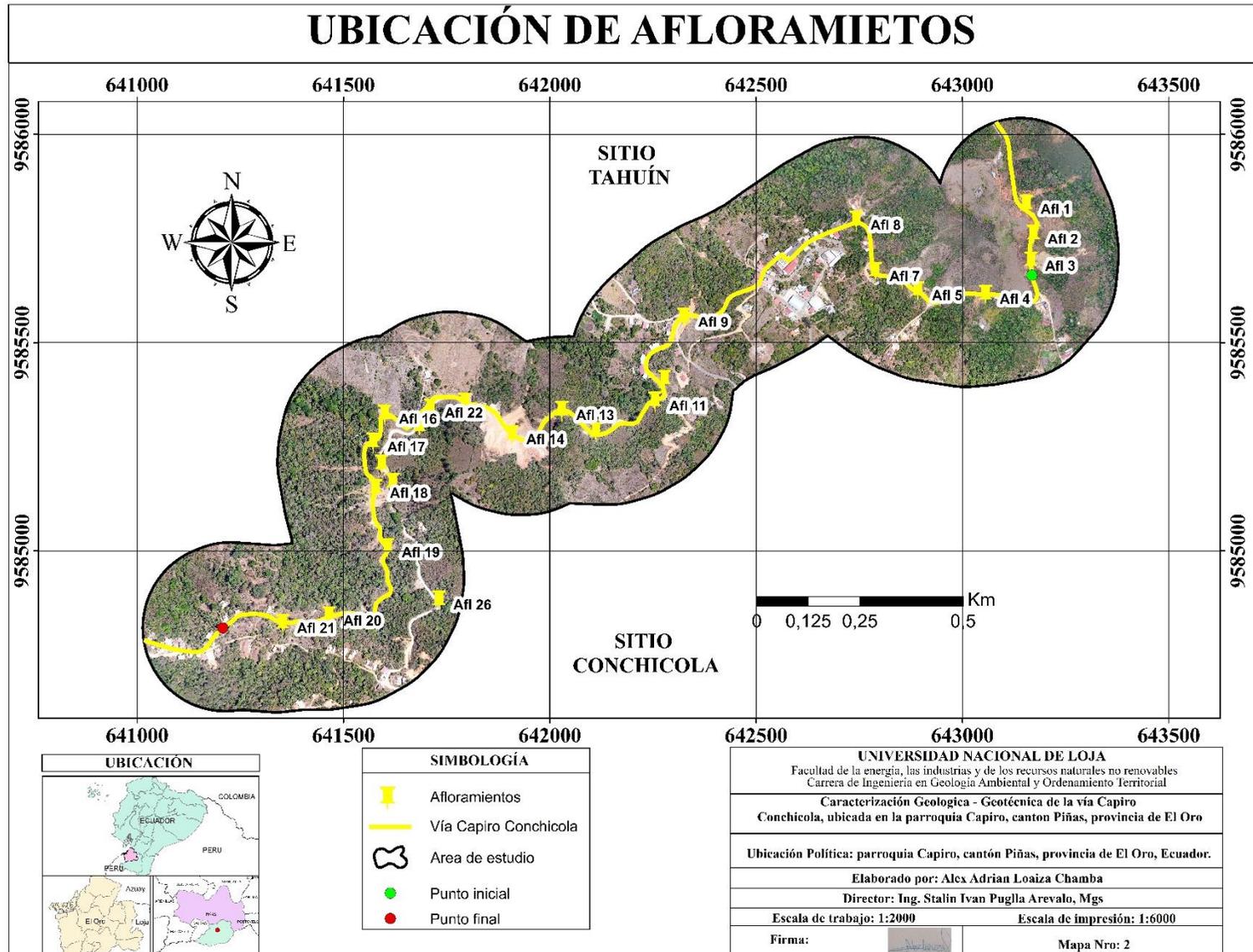
Se identificaron los afloramientos presentes en la zona de estudio y para su efecto estos han sido referenciados con coordenadas geográficas bajo el datum WGS 84. Se levantaron un total de 26 afloramientos en la vía siendo todos generados por actividades antrópicas como lo es la apertura de vías.

**Tabla 12**  
*Ubicación Geográfica de los afloramientos*

N°	Código	Afloramientos			Tipo
		Coordenadas			
		X (m)	Y (m)	Z (msnm)	
1	Afl 1	643155	9585829	1208	Antrópico
2	Afl 2	643167	9585723	1205	Antrópico
3	Afl 3	643166	9585693	1199	Antrópico
4	Afl 4	643056	9585613	1195	Antrópico
5	Afl 5	642892	9585622	1179	Antrópico
6	Afl 6	642853,745	9585652,7	1174	Antrópico
7	Afl 7	642789	9585668	1055	Antrópico
8	Afl 8	642742,943	9585790,64	1072	Antrópico
9	Afl 9	642325,199	9585557,57	1072	Antrópico
10	Afl 10	642278	9585409	1068	Antrópico
11	Afl 11	642255,179	9585356,52	1077	Antrópico
12	Afl 12	642112	9585283	1077	Antrópico
13	Afl 13	642029,589	9585334,22	1071	Antrópico
14	Afl 14	641908,872	9585276,35	1080	Antrópico
15	Afl 15	641794,241	9585354,07	1080	Antrópico
16	Afl 16	641600,072	9585325,12	1082	Antrópico
17	Afl 17	641572	9585258	1077	Antrópico
18	Afl 18	641578,186	9585147	1016	Antrópico
19	Afl 19	641607,189	9585005,22	1037	Antrópico
20	Afl 20	641465,54	9584840,66	1084	Antrópico
21	Afl 21	641353,189	9584822,92	1058	Antrópico
22	Afl 22	641711,273	9585339,78	1110	Antrópico
23	Afl 23	641684,246	9585297,23	1091	Antrópico
24	Afl 24	641592,853	9585205,37	1143	Antrópico
25	Afl 25	641619,827	9585161,49	1065	Antrópico
26	Afl 26	641731,982	9584879	1058	Antrópico

**Figura 18**

*Mapa de ubicación de Afloramientos*



A continuación, se presentan los resultados de la geología local:

El área de estudio se encuentra dentro de la serie Tahuín en la unidad “Esquistos de Capiro” la misma que se compone por areniscas, lutitas, pizarras, filitas, esquistos y cuarcitas; además afloran riolitas que corresponden a la formación Tarqui la misma que se encuentra al NE.

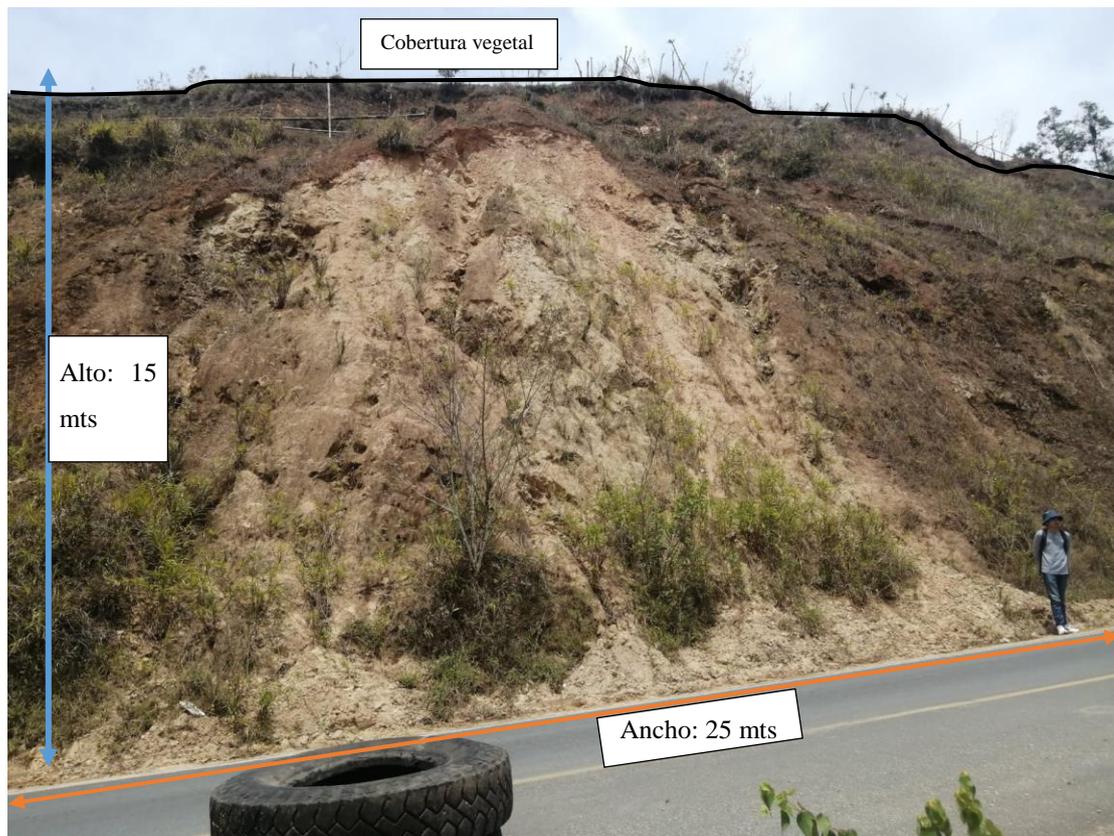
- **Formación Tarqui: Riolita**

Esta roca es del tipo Ígnea extrusiva, localizada en la parte NE del área de estudio. Este tipo de rocas se caracterizan por tener una proporción mayor de cuarzo que de los otros componentes principales característicos de las rocas ígneas. Las rocas se localizan en una zona de deslizamiento latente, las mismas que se encuentran recubiertas por sedimentos. Este tipo de rocas pertenecen a la formación “Gneis de San Roque”. Esta unidad subyace por debajo de la unidad “Esquistos de Capiro” representando el basamento litológico del área de estudio.

En una muestra de mano tiene textura afanítica y bajo el microscopio petrográfico se evidenció la presencia de cuarzo en proporción de 40% feldespato alcalino (incluye feldespatos potásicos: ortosa, hialofano y anortoclasa.) en un 30% y Plagioclasas (feldespato de calcio y sodio) en un 30%.

Para realizar esta estimación se usó el Diagrama QAFP o Streckeisen.

**Figura 19**  
*Afloramiento que se conforma por riolita*



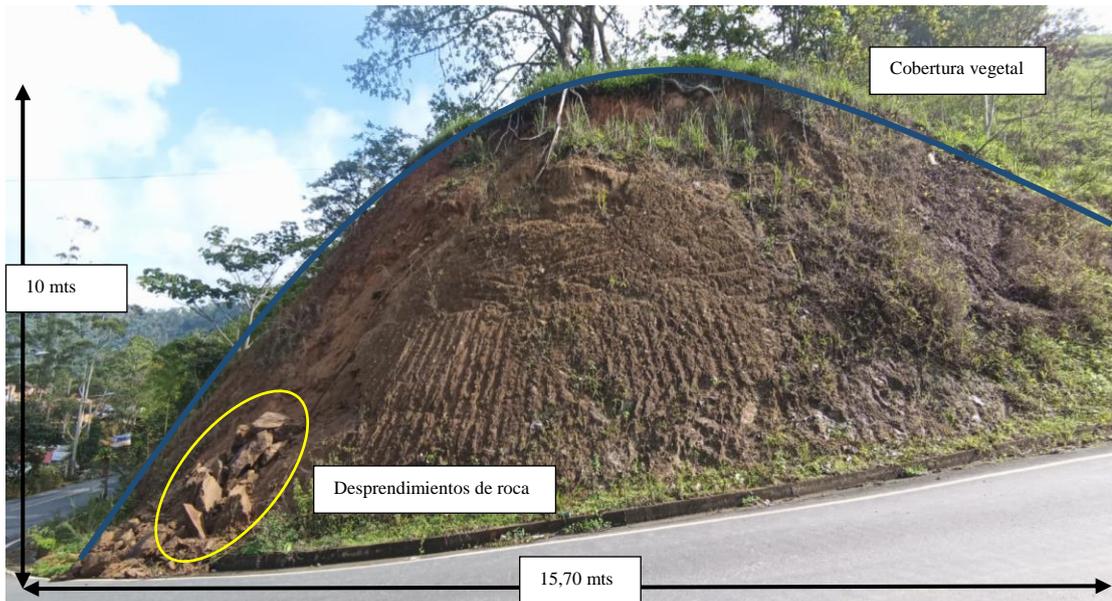
- **Esquisto de Capiro: esquisto micáceo**

Los esquistos son un tipo de roca metamórfica la cual presenta foliación y se puede observar que tiene granos visibles dispuestos en capas. Son rocas muy comunes en la zona de estudio, se presentan en la parte central.

Debido a su exposición a los agentes meteorológicos las rocas se encuentran recubiertas por materiales sedimentario proveniente de las partes altas, siendo estos: arenisca, fragmentos de roca (cuarcita), limo y arcillas.

Roca metamórfica cuyas características son: coloración amarillenta (referente a muestra húmeda) y una coloración gris blanquecina (muestra seca) con presencia de presencia de micas; su textura es lepidoblástica, ya que está definida por minerales de habito laminar y más o menos paralelos entre sí; su estructura es foliada o esquistosa, por el arreglo paralelo o subparalelo de los minerales laminados. Además, los minerales dominantes de la roca es la mica, tanto moscovita como biotita y se tiene también la presencia de cuarzo. El tipo de metamorfismo es regional, no hay facies, el protolito es la filita y grado de meteorización es alto, debido a que se disgregaba fácilmente con la mano.

**Figura 20**  
*Afloramiento compuesto por Esquisto.*



- **Esquistos de Capiro: esquistos meteorizados.**

Se determino la presencia de esquistos meteorizados, observándose materiales más sueltos con una textura suave en comparación con su estado de roca original, en este caso se denota un material arenoso limoso el mismo que tiene un mayor porcentaje arena que de limo. Por acciones de los agentes meteorológicos y por acción de la gravedad este tipo de materiales se depositan en el pie de los taludes, extendiéndose desde la parte inicial de la zona de estudio hasta la parte media.

**Figura 21**  
*Afloramiento de Esquisto meteorizado.*



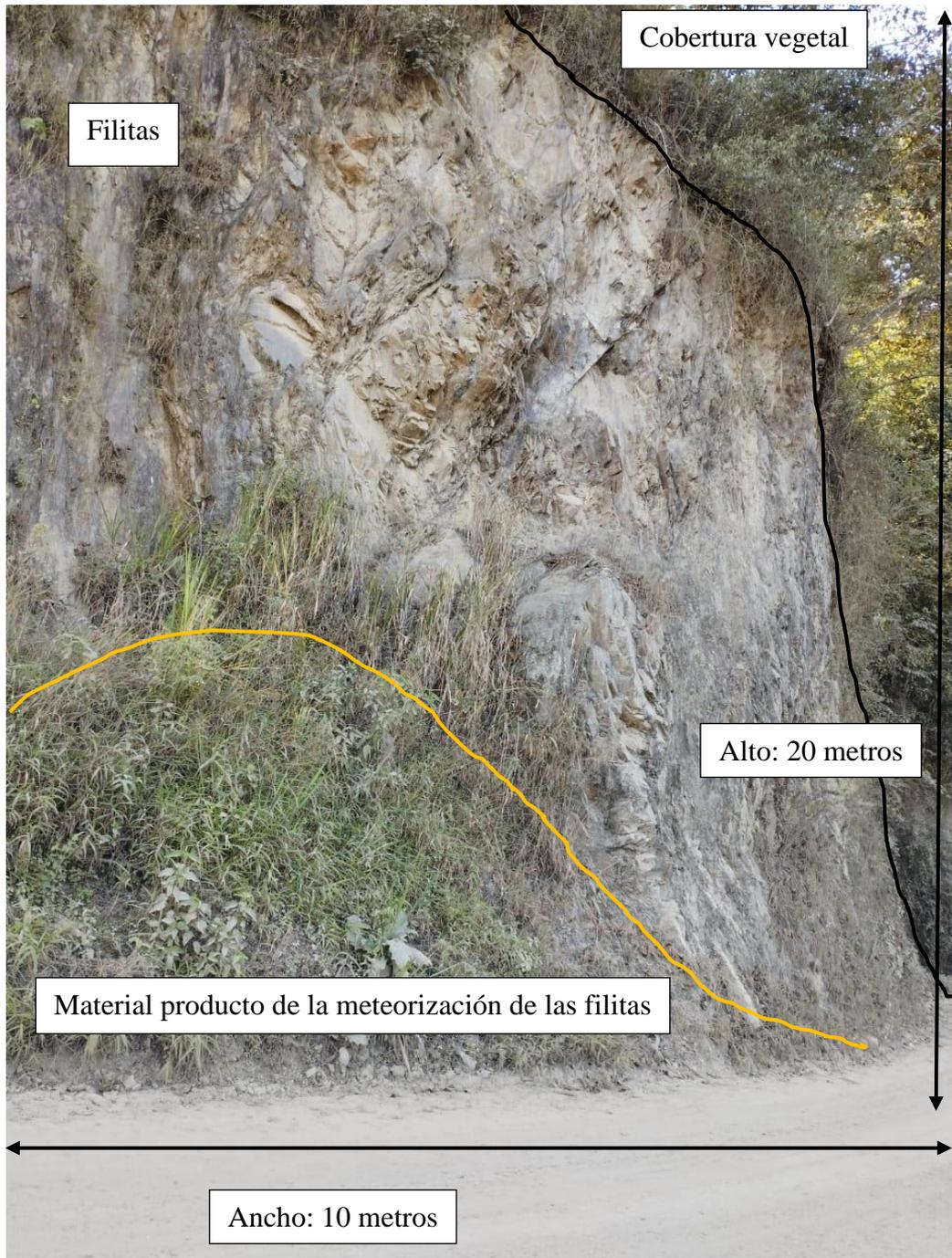


- **Esquistos de Capiro: Filitas**

En el área de estudio, se identifica un afloramiento con dimensiones de 10 metros de ancho y 20 metros de alto, está compuesto por filitas, que son rocas metamórficas, expuestas en la superficie y recubiertas por detritos originados por la meteorización de las mismas. Las filitas exhiben características de foliación de grado bajo, siendo mayoritariamente constituidas por minerales micáceos dispuestos en forma de escamas y alineados en paralelo. Esta disposición facilita la división de la roca en láminas o escamas.

En una observación de una muestra de roca, presenta cierto grado de humedad y exhibe una tonalidad grisácea. Además, se aprecia un brillo metálico característico que es común en este tipo de rocas. La presencia de estas características físicas y estructurales indica la influencia de la composición mineral y la foliación en las propiedades y el comportamiento de estas filitas en el área en cuestión.

**Figura 22**  
*Afloramiento que se conforma por filitas.*



- **Esquisto de Capiro: Pizarras meteorizadas.**

Las pizarras meteorizadas que encontramos en el terreno muestran signos evidentes de haber experimentado un proceso de alteración a lo largo del tiempo. Estas rocas, que en su estado original eran más compactas y densas, ahora presentan una textura más suave y descompuesta debido a la exposición a las condiciones

climáticas y ambientales. Se pueden observar fragmentos quebradizos y frágiles que se desprenden con facilidad al manipular la muestra.

En cuanto a su color, estas pizarras meteorizadas muestran una gama variada de tonalidades, desde grises apagados hasta marrones y ocre más claros. Esta variación en el color puede ser indicativa de distintos minerales presentes en la roca y de los procesos químicos que han ocurrido durante la meteorización. En algunos puntos de la muestra, se puede notar un brillo metálico atenuado, una característica que a menudo se relaciona con la presencia de minerales micáceos y refleja cómo la meteorización ha afectado las propiedades ópticas de la roca.

Al inspeccionar la pizarra meteorizada de cerca, se pueden apreciar estructuras laminadas y capas paralelas que recuerdan a la foliación original de la roca. Sin embargo, estas capas ahora pueden separarse con mayor facilidad debido a la meteorización, lo que resalta la fragilidad de la muestra. En conjunto, estas observaciones revelan cómo las pizarras han experimentado cambios significativos en su estructura, textura y coloración como resultado de su exposición prolongada a los elementos naturales.

### **Figura 23**

*Pizarras meteorizadas*



- **Esquisto de Capiro: Pizarras**

Este tipo de litología se ubica en la parte final de la zona de estudio al SE. Se presenta en macizo rocoso, en la parte superior se encuentran cubiertas por vegetación. Las rocas se encuentran con una meteorización del tipo media, siendo así que en la parte baja del afloramiento se depositan material coluvial originario de la meteorización física y biológica presente.

Al examinar estas muestras de pizarras en el terreno, se aprecian características notables que brindan pistas sobre su formación y propiedades. Las pizarras son rocas metamórficas que se han desarrollado a partir de arcillas y sedimentos en condiciones de presión y temperatura intensas a lo largo del tiempo geológico.

En términos de textura, las pizarras presentan una disposición laminar distintiva, con capas delgadas y paralelas que son visibles a simple vista. Estas capas se deben a la alineación de minerales, como la mica y la clorita, que le otorgan a la pizarra su tendencia a dividirse en láminas delgadas. A medida que se desliza el dedo sobre la superficie de la muestra, se siente una textura suave y ligeramente áspera debido a la presencia de estas capas.

El color predominante en estas pizarras varía entre tonos de gris oscuro y negro, aunque a menudo se pueden observar toques sutiles de otros colores, como ocre y verdes, que resultan de la presencia de minerales como la pirita y la clorita. A la luz, la superficie de las pizarras puede mostrar un brillo apagado y metálico, especialmente en las áreas donde la mica es más abundante.

Al observar la fractura de las pizarras, se nota que tienden a romperse a lo largo de las capas laminadas, lo que refuerza su propiedad de división en láminas. A medida que se manipula la muestra, es posible notar la facilidad con la que se separa en fragmentos delgados, revelando la naturaleza foliada de la roca.

En resumen, estas pizarras capturan una historia geológica interesante a través de su textura laminar, colores característicos y propiedad de división en láminas. Su formación metamórfica y las condiciones bajo las cuales se desarrollaron contribuyen a las características únicas que se pueden apreciar al examinar estas muestras en el campo.

**Figura 24**

*Afloramiento conformado por pizarras.*



- **Esquistos de Capiro: lutita**

Este tipo de litología se presenta en la parte S-E de la zona de estudio. La lutita es una roca sedimentaria de grano muy fino, con una textura pelítica o sea que está integrada por detritos clásticos que se componen a su vez por partícula de arcilla y limo.

Al analizar estas rocas lutitas con un grado de metamorfismo y una coloración amarillenta en el terreno, es evidente que han experimentado cambios significativos debido a procesos geológicos profundos. Las lutitas son rocas sedimentarias compuestas principalmente por partículas de tamaño fino, como arcillas y limos, que

se han compactado con el tiempo. La coloración amarillenta que se observa en estas lutitas metamorfizadas sugiere la presencia de minerales como la limonita, que a menudo es responsable del color amarillo en rocas. Esta coloración puede indicar la presencia de óxidos de hierro y otros minerales secundarios resultantes del proceso metamórfico. Al tocar la superficie de estas rocas, es posible notar una textura generalmente lisa, aunque algunas áreas pueden presentar rugosidades y relieves debido a la presencia de minerales cristalinos.

A medida que se examina la fractura de las rocas lutitas, se puede apreciar que tienden a romperse en fragmentos irregulares y angulosos. Esto es característico de las lutitas y es una consecuencia de su composición fina y compacta. Además, es posible observar estructuras estratificadas en estas rocas, que reflejan las capas originales de sedimentos que se han conservado a pesar del metamorfismo.

### Figura 25

*Lutita con intercalaciones de arenisca*



## Figura 26

### Muestra de roca Lutita



#### 5.6.1. Geología estructural.

Durante el proceso de exploración de campo, se ha enfrentado a la dificultad de identificar y diferenciar claramente las estructuras geológicas presentes. No obstante, los resultados obtenidos de los ensayos "*in situ*" sugieren la presencia de cambios litológicos, lo que podría indicar la existencia de un contacto en la región central del área de estudio.

A nivel regional, es importante señalar que el área de investigación se encuentra dentro de la unidad geológica conocida como "Esquistos de Capiro", la cual se inscribe en la serie Tahuín. No obstante, los datos provenientes de los estudios de los Sondeos Eléctricos Vertical (SEVs) han arrojado nueva información. Esta información sugiere la existencia de materiales situados a una mayor profundidad que se corresponden con el Plutón de Marcabelí. Este hallazgo adquiere una importancia destacada, ya que insinúa la presencia de un contacto inferido entre estas dos unidades geológicas.

A nivel superficial, se ha logrado identificar la presencia de riolitas mediante el análisis de muestras de roca. Estas riolitas son coherentes con la Formación Tarqui. Esta identificación sugiere un segundo contacto inferido en la zona, esta vez entre los materiales riolíticos y los esquistos, los cuales son predominantes en la litología del área de estudio. También se logró tomar datos estructurales correspondientes a diaclasas dentro de la zona de estudio.

Este conjunto de evidencias resalta la complejidad de la estructura geológica en el área y pone de manifiesto la necesidad de una mayor investigación y análisis para comprender plenamente la disposición y las interacciones entre las distintas unidades geológicas presentes. Las implicaciones de estos hallazgos podrían tener un

impacto significativo en la comprensión de la evolución geológica regional y en la caracterización de los recursos y riesgos geológicos presentes en el área de estudio. Es esencial continuar con la investigación detallada para obtener una imagen más completa y precisa de la historia geológica y las relaciones entre las diferentes formaciones presentes. En resumen, la combinación de los datos de campo y la información proporcionada por los SEVs contribuyeron significativamente a la delimitación y comprensión del contacto estratigráfico entre las unidades geológicas mencionadas

### 5.6.2. Calicatas

Se elaboraron 4 calicatas geológicas manuales de 1m de largo x 1m de ancho y una profundidad de 1,5 m con la finalidad de caracterizar el suelo y observar la disposición de los estratos.

#### **Figura 27**

*Dimensiones de las calicatas*



Para la realización de las calicatas y obtención de muestras se lo hizo en base a la NTP 339.162 (ASTM D 420). De cada calicata se recolectó una muestra de suelo de 2 kilogramos aproximadamente para posteriormente ser llevadas al laboratorio y realizar los respectivos ensayos.

Se utilizó herramientas como palas, barreta y cintra métrica; se procedió a retirar el material cuidadosamente para no alterar las muestras. Las dimensiones y coordenadas se detallan a continuación:

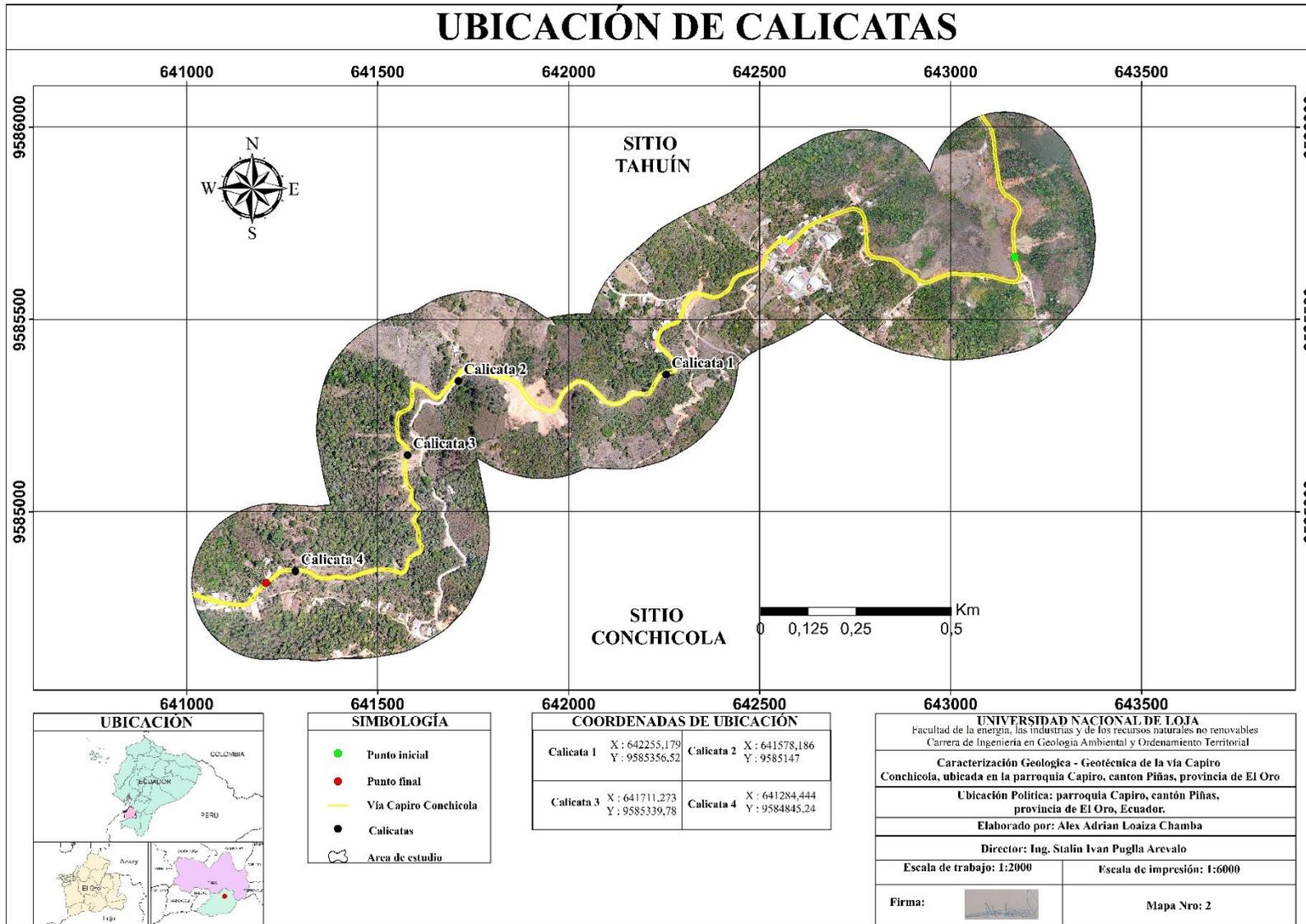


**Tabla 13**

*Ubicación y dimensiones de las calicatas*

Calicata	Coordenadas			Dimensiones (metros)		
	X (m)	Y (m)	Z (msnm)	Ancho	Largo	Profundidad
<b>1</b>	642255,179	9585356,52	1077	1	1	1,5
<b>2</b>	641578,186	9585147	1016	1	1	1,5
<b>3</b>	641711,273	9585339,78	1110	1	1	1,5
<b>4</b>	641284,444	9584845,24	1058	1	1	1,5

**Figura 28**  
Ubicación de las calicatas



### 5.6.2.1. Trabajo de laboratorio

Luego de recolectadas las muestras de suelo de cada una de las calicatas elaboradas, se procedió a llevarlas al laboratorio “DELTA CIA. LTA”. La realización de los ensayos fue bajo las siguientes normas:

- Ensayo para determinar el contenido de humedad mediante la Norma ASTM D- 2216.
- Ensayo para límites líquidos mediante la Norma ASTM D-4318
- Ensayo para Límite plástico mediante la Norma ASTM D-4318
- Índice de plasticidad mediante la norma ASTM D-4318
- Ensayo para el Análisis granulométrico mediante la Norma ASTM D 421-58
- Clasificación de suelos mediante los métodos AASHTO y S.U.C.S

**Figura 29**

*Equipos y materiales de laboratorio*



### 5.6.3. Resistividad Eléctrica

La prospección geofísica con el método de resistividad eléctrica se realizó mediante sondeos eléctricos verticales (SEVs). Para determinar la resistividad de los materiales, se realizaron 3 sondeos, en la Tabla 1 se indica la abertura AB/2 para cada SEV realizado.

En el estudio de resistividad eléctrica, se utilizó el resistivímetro marca ABEM modelo Terrameter SAS 4000, utiliza un voltaje máximo de salida a los electrodos de corriente igual a 400 voltios (con selección de tres rangos automáticos de medida  $\pm 250$  mV,  $\pm 10$ V y  $\pm 400$  V).

La amplitud de corriente es fijada automáticamente por el instrumento, o por control manual para facilitar la adaptación a las condiciones reales de los estudios, con un rango de amperaje entre 1 mA a 1000 mA, suficiente para una separación de electrodos de corriente AB de hasta 1000.0 m. bajo buenas condiciones de medida.

El equipo SAS 4000 responde a las medidas creadas por el transmisor de corriente en el momento de su acción, mientras rechaza las existentes por campos DC (SP), VOLTAJE Y RUIDO; la relación V/I que consta en las hojas de cálculo de cada sondeo eléctrico vertical (SEV), se calcula automáticamente y visualiza en la pantalla digitalmente en kiloohmios, ohmios o miliohmios.

### 5.6.3.1. Trabajo de campo

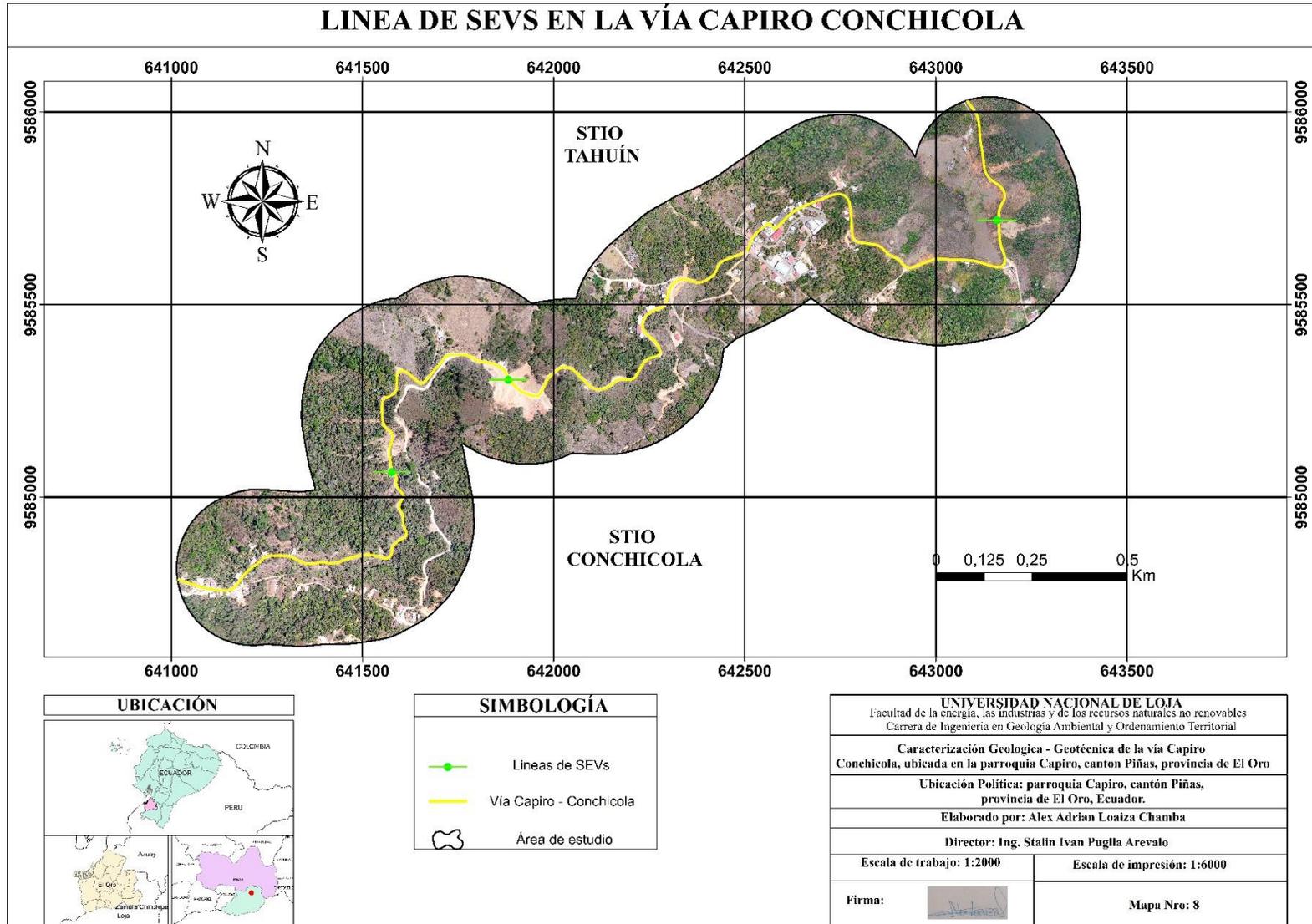
Se realizaron 3 sondeos eléctricos verticales para lo cual se trasladó el personal y el equipo necesarios desde la ciudad de Loja hasta la zona de estudio, cubriendo un recorrido de 75 km aproximadamente. Para la realización del mismo se empleó 2 horas en cada sondeo. Los ensayos realizados se ubican en las siguientes coordenadas:

**Tabla 14**  
*Ubicación geográfica de SEVs*

SEV	NORTE (X)	ESTE (Y)	LONGITUD AB/2
<b>1</b>	9585686	643165	70
<b>2</b>	9585297	641889	70
<b>3</b>	9585073	641580	70

**Figura 30**

*Mapa de ubicación de las líneas de SEVs*



**Figura 31.**

a) SEV 1 b) SEV 2 c) SEV 3



### 5.6.3.2. Trabajo de oficina

En la primera etapa, se realizó una interpretación cuantitativa y cualitativa de las curvas de los sondeos eléctricos verticales, la misma que consistió en una comparación manual de las curvas obtenidas en el campo con las curvas teóricas establecidas en los libros de Resistividad Eléctrica, escritos por los por los autores Orellana - Mooney y Pilaeb A. M.

Para la interpretación y asignación litologías se emplearon 2 tablas de resistividades, la primera tabla descrita en el artículo de “Relaciones Geoeléctricas en la Exploración Geotécnica” (Arias et al. 2012) y la segunda tabla descrita por Arias en 1975, en el libro “Geofísica Aplicada a la hidrogeología”

**Tabla 15**

*Resistividad de los materiales*

Materiales	Resistividad ( $\Omega m$ )
Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	>10000
Basamento. Roca fracturada	1500-5000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	1-100
Gruss no saturado	500-1000
Gruss saturado	40-60
Saprolito no saturado	200-500
Saprolito saturado	40-100
Gravas no saturadas	500-2000
Gravas saturadas	300-500
Arenas no saturadas	400-700
Arenas saturadas	100-200
Limos no saturados	100-200
Limos saturados	20-100
Limos saturados con agua salada	5-15
Arcillas no saturadas	20-40
Arcillas saturadas	5-20
Arcillas saturadas con agua salada	1-10
Andosoles secos	1000-2000
Andosoles no saturados	300-1000
Andosoles saturados	100-300

*Nota: Nota: La resistividad viene expresada en ohmios. Obtenido de: (Arias et al., 2012)*

**Tabla 16**  
*Resistividad de Rocas y Aguas*

Aguas y rocas	Resistividad en Ohm $\Omega$
Agua de mar	0,2
Agua de acuíferos aluviales	10-30
Agua de fuentes	50-100
Arenas y gravas secas	1000-10000
Arenas y gravas con agua dulce	50-500
Arenas y gravas con agua salada	0,5-5
Arcillas	2-20
Margas	20-100
Calizas	300-10000
Areniscas arcillosas	50-300
Areniscas cuarcíticas	300-10000
Cineritas, tobas volcánicas	20-100
Lavas	300-10000
Esquistos grafitosos	0,5-5
Esquistos sanos	100-300
Gneis, granitos alterados	10-1000
Gneis granitos sanos	1000-10000

*Nota: Astier (1975)*

Por otro lado, se utilizó el interpretador automático IPI2win y para presentación de resultados el software WinSEV, posteriormente se establecieron los espesores de las capas y las resistividades verdaderas correspondientes a cada una de ellas.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de los Sondeos Eléctricos Verticales:

- **Resultados de SEV 1**

En la siguiente tabla se indican los valores de resistividad tomados en campo para el SEV N°1:

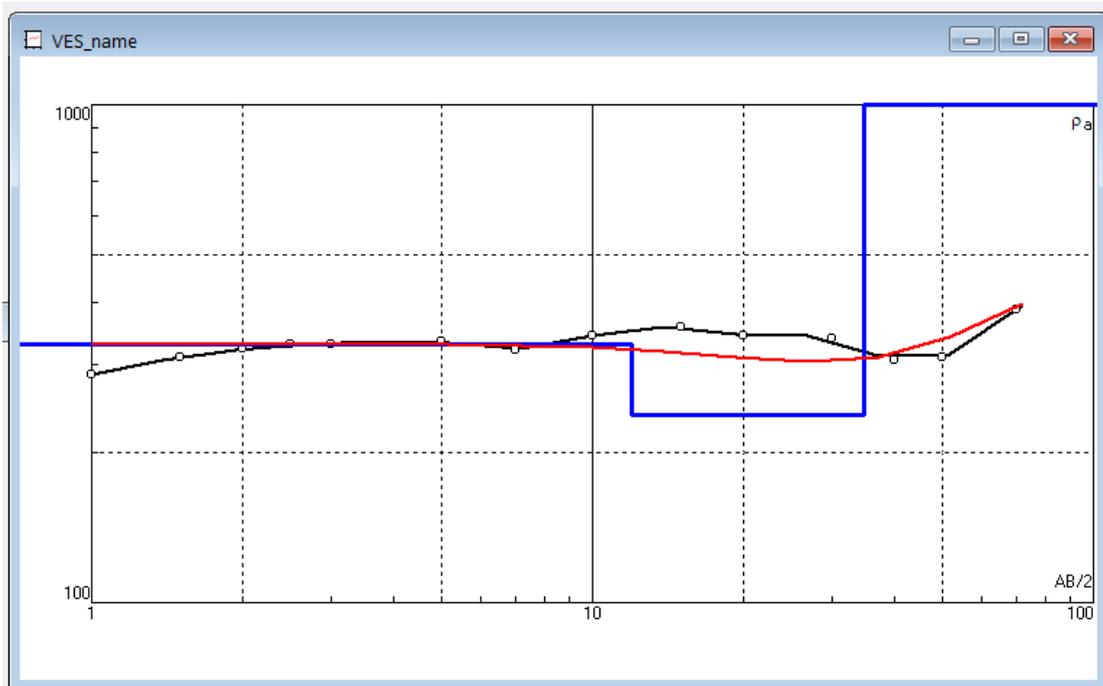
**Tabla 17**  
*Datos de resistividad*

N.º SEV	Resistividad
	$\Omega m$
1	330
	238
	1000

Con los datos obtenidos “in – situ” se procedió a la interpretación mediante el programa IPI2Win, 4844 en donde nos dio la curva de resistividad aparente como se puede ver en la Figura 43, en donde nos indica que hay la presencia de tres capas de suelo y roca, es así que a partir de la tercera capa comienza una capa indefinida.

**Figura 32**

*Curva de la resistividad aparente del SEV N° 1*



*Fuente:* Modelado del programa IPI2Win, 2023.

**Tabla 18**

*Perfil estratigráfico del SEV1*

N.º SEV	Resistividad $\Omega\text{m}$	Espesor (m)	Correspondencia del material	Color
1	330	12	Esquistos meteorizados	
	238	22.9	Bloques de roca fracturado saturados correspondientes a esquistos.	
	1000	¿?	Los valores captados con el ensayo se encuentran dentro del rango de bloques de roca poco meteorizada, a roca sana, materiales procedentes del Plutón Marcabeli.	

En la parte superior se identificó una primera capa de esquistos meteorizados, respondiendo a una resistividad de 119  $\Omega$  (Ohmios) y una potencia de 7.92 m; seguida

de una segunda capa de esquistos sano o más competentes con una resistividad de 339  $\Omega$  (Ohmios) y una potencia de 23.2 m.

A partir los 31.1 m los valores captados con el ensayo se encuentran dentro de resistividades superiores a los 454  $\Omega$  (Ohmios), siendo estos materiales correspondientes cuerpos de roca relacionados al Plutón de Marcabelí.

- **Resultados SEV N°2**

En la siguiente tabla se indican los valores de resistividad tomados en campo para el SEV N°1:

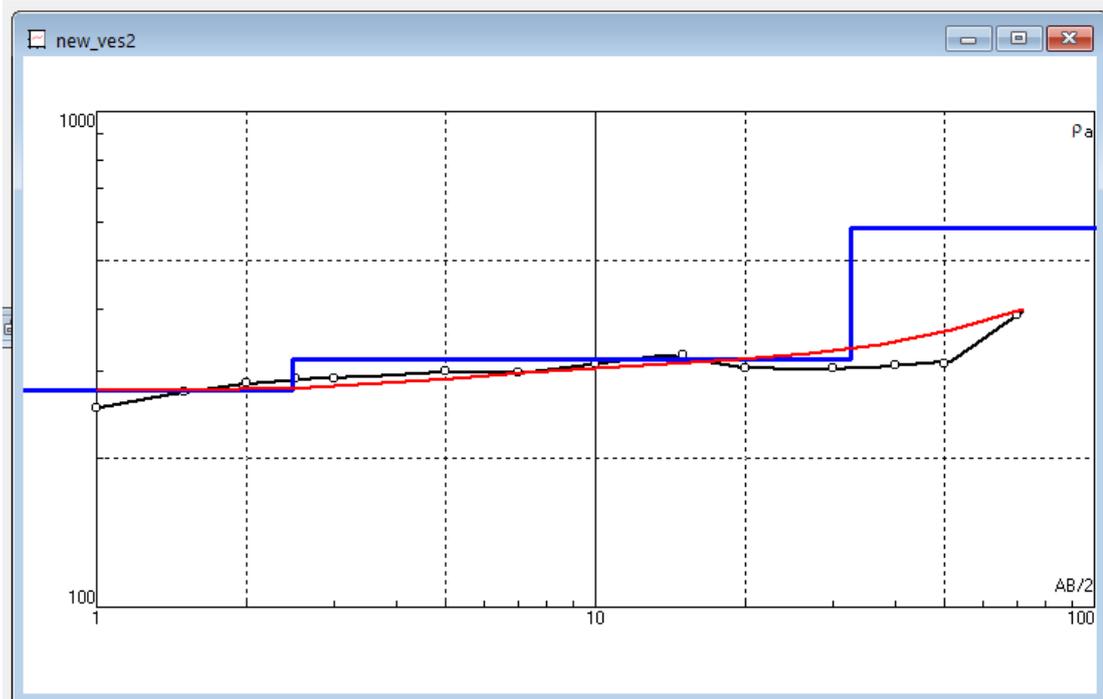
**Tabla 19**

*Datos de resistividad e interpretación. SEV2*

N.º SEV	Resistividad $\Omega\text{m}$
	202
2	304
	582

Con los datos obtenidos “*in – situ*” se procedió a la interpretación mediante el programa IPI2Win, en donde nos dio la curva de resistividad aparente en donde nos indica que hay la presencia de tres capas de materiales siendo la última de estas una capa indefinida.

**Figura 33**  
*Curva de la resistividad aparente del SEV 2*



*Fuente:* Modelado del programa IPI2Win, 2023.

**Tabla 20**  
*Descripción de las capas correspondientes al SEV 2*

N.º SEV	Resistividad $\Omega\text{m}$	Espesor (m)	Correspondencia del material	Color
	274	2,47	Esquistos meteorizados	
2	316	30	Esquisto	
	990	¿?	Los valores captados con el ensayo se encuentran dentro del rango de bloques de roca poco meteorizada, a roca sana, materiales procedentes del Plutón Marcabeli.	

Se identificó la primera a capa con una resistividad de 274  $\Omega$  (Ohmios), con un espesor de 2,47 m correspondientes esquistos meteorizados no saturados, dichos materiales están relacionados a Esquistos.

La segunda capa posee un espesor de 30 m con una resistividad de 316  $\Omega$  (Ohmios), la misma que se compone de cuerpos de roca relacionados a esquistos más competentes en relación a la primera capa.

A partir los 32,47 m los valores captados con el ensayo se encuentran dentro de resistividades superiores a 2000  $\Omega$  (Ohmios), siendo estos bloques de roca relacionados a materiales procedentes del Plutón de Marcabelí.

- **Resultados del SEV N°3**

En la siguiente tabla se indican los valores de resistividad tomados en campo para el SEV N°1:

**Tabla 21**

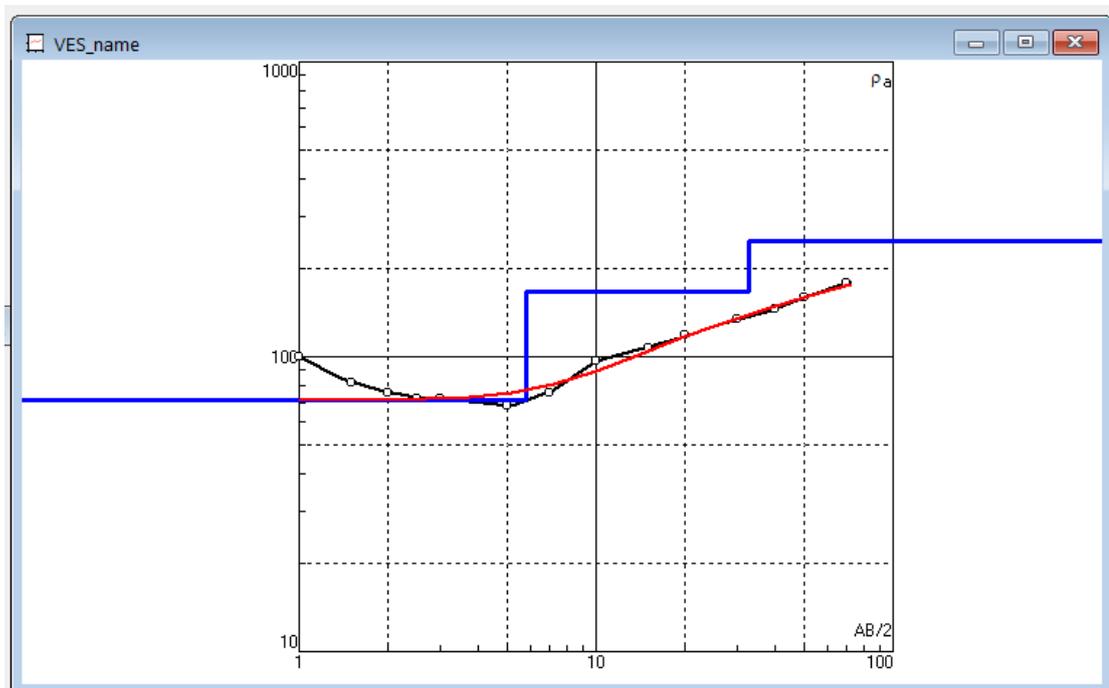
*Datos de resistividad e interpretación. SEV3*

N.º SEV	Resistividad $\Omega\text{m}$
	71.3
3	166
	247

Con los datos obtenidos “in – situ” se procedió a la interpretación mediante el programa IPI2Win, en donde nos dio la curva de resistividad aparente, en donde nos indica que hay la presencia de tres capas de material.

**Figura 34**

*Curva de la resistividad aparente del SEV 3*



**Fuente:** Modelado del programa IPI2Win, 2023.

**Tabla 22**

*Descripción de las capas correspondientes al SEV 3*

N.º SEV	Resistividad $\Omega m$	Espesor (m)	Correspondencia del material	Color
3	71	5.82	Pizarras meteorizadas	
	166	26.9	Pizarras	
	247	¿?	Los valores captados con el ensayo se encuentran dentro del rango de bloques de roca meteorizada, siendo que el horizonte de apoyo correspondiente a materiales procedentes de la Unidad Esquistos de Capiro	

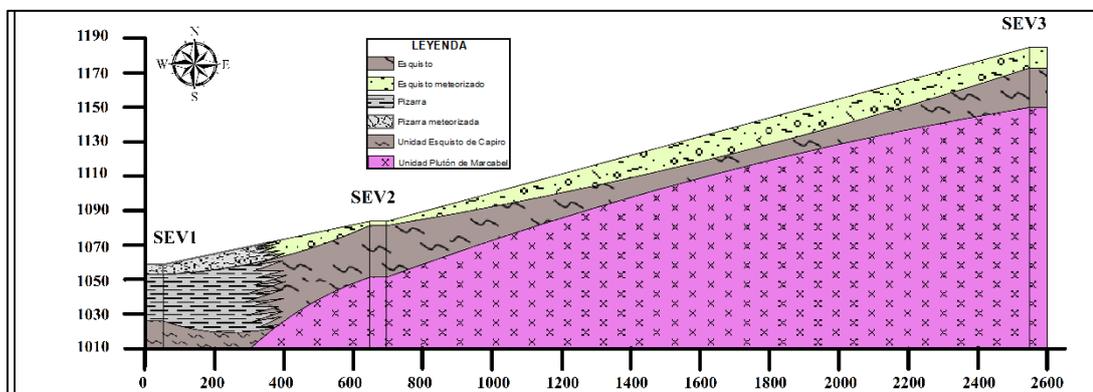
En la primera capa se identificó material meteorizado correspondientes pizarras, con una potencia de 5.82 m y con una resistividad de 71  $\Omega$  (Ohmios); seguida de una segunda capa con 26.9 m de espesor a una resistividad de 166  $\Omega$  (Ohmios) misma que se compone por pizarras en un estadio más competente.

A partir de los 32.7 m los valores captados dentro de los 247  $\Omega$  (Ohmios) corresponde a bloques de roca meteorizada, siendo que el horizonte de apoyo correspondiente a materiales procedentes de la Unidad Esquistos de capiro, la misma que se le ha asignado una potencia indefinida.

- **Correlación estratigráfica.**

**Figura 35**

*Correlación estratigráfica*



En cuanto a la relación que existe entre estos 3 puntos de exploración con SEVs, para efecto de que la explicación sea más dinámica se elaboró 3 columnas geológicas en base a los resultados de los ensayos.

- **Primer y segunda columna**

En la primera y segunda columna se observó que existe una correlación en cuanto a los materiales presentes en la zona, siendo así que en la primera capa se encuentran esquistos meteorizados, debido a la meteorización y a la afectación de los agentes climáticos sobre estos; en la capa subyacente a esta se determinó que corresponde a esquistos, pero mucho más competentes o sea en bloques de roca. Y como basamento los valores que reflejan los estudios fueron para materiales relacionado con el Plutón de Marcabelí.

- **Segunda y tercera columna.**

Los materiales presentes en la tercera columna se caracterizaron utilizando criterios específicos relacionados con las propiedades de las pizarras. Estos materiales mostraban signos de alteración o meteorización de los esquistos. Se encontró un material con mayor competencia geotécnica en la capa subsiguiente, que todavía estaba dentro del espectro de las pizarras.

La transición entre la segunda y la tercera columna mostró un cambio en la composición litológica, lo que indica un límite visible entre las rocas esquistosas y las pizarras. En el tercer punto de observación en el campo, se pudieron identificar tanto pizarras como filitas. Según esta observación, es posible que sea parte del complejo ofiolítico de El Oro, que está formado principalmente por materiales metamórficos.

#### **5.6.4. Mapa geológico**

Con la información obtenida en el trabajo de campo en función de la litología, estructuras y elementos de yacencia en los afloramientos en los que se logró identificar estratos/foliación para registrar dichos datos; se elaboró el mapa geológico a escala 1:2000 mediante la herramienta de ArcGIS versión 10.5, para la cual se realizaron polígonos sobre la base topográfica para representar las unidades litológicas, los datos estructurales (rumbo y buzamiento) y la formación geológica.

## 5.7. Metodología del segundo objetivo

*Definir las propiedades físico-mecánicas de los geo-materiales presentes en la zona de estudio.*

### 5.7.1. Ensayo a la comprensión simple.

#### 5.7.1.1. Trabajo de campo.

Con los datos geológicos obtenidos en campo y procesados, y con la topografía se determinaron los taludes más representativos que estaban conformados por roca y de estos se recolectaron muestras de roca inalterada y posterior a ello se realizó el respectivo ensayo.

Se recolectaron 3 muestras de roca de cada talud y a partir de las misma se moldearon 1 muestra cubica de 5 cm x 5 cm por cada muestra respectivamente. La ubicación de donde se recolectaron las muestras se a continuación:

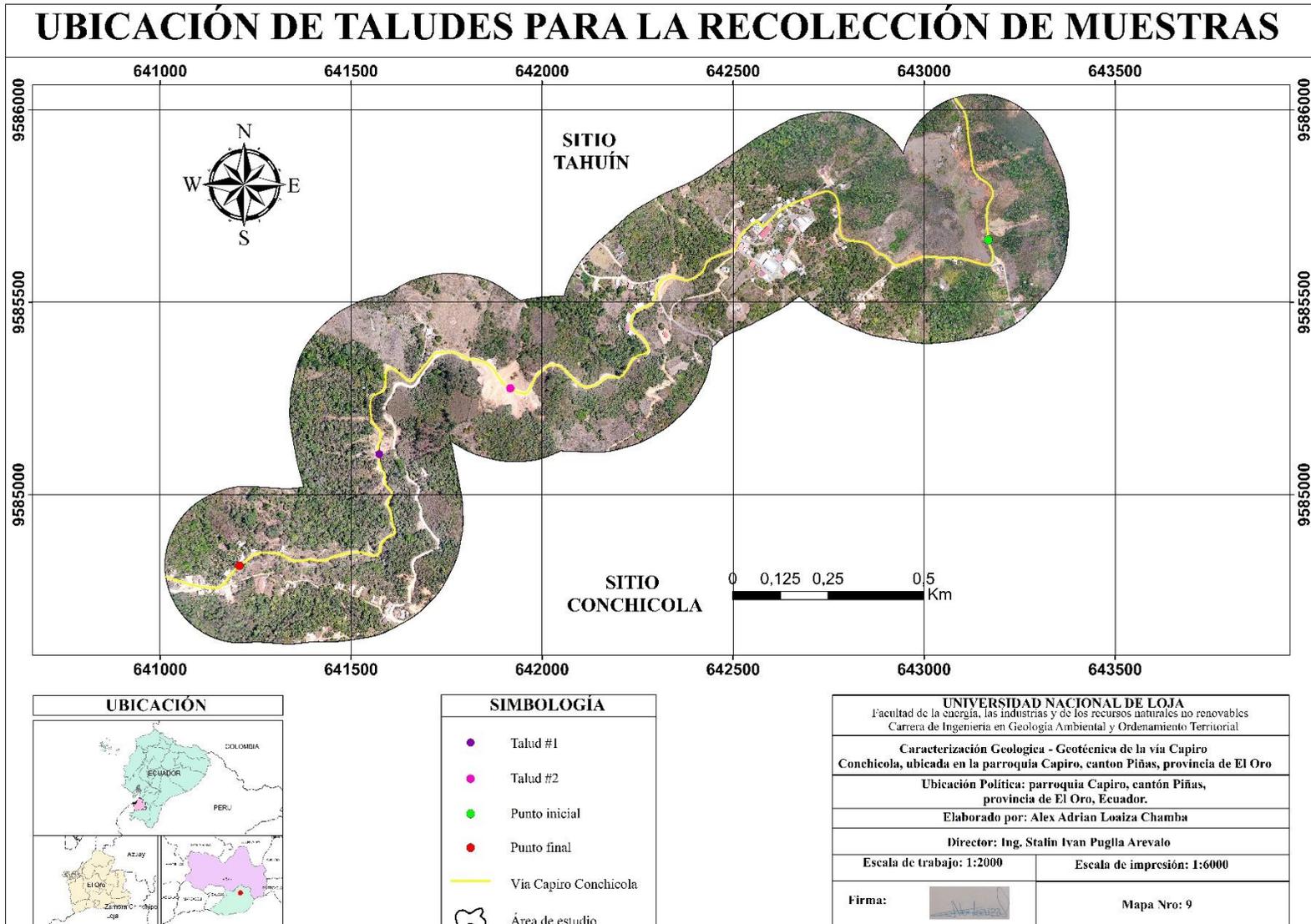
**Tabla 23**

*Ubicación de la recolección de muestras de roca.*

Talud	Nro. de muestra	Coordenadas		
		X	Y	Z
Talud #1	Muestra #1	641572,088	9585106,099	1010
	Muestra #2	641573,77	9585105,01	1010
	Muestra #3	641572,043	9585102,023	1010
Talud #2	Muestra #4	641916,907	9585276,176	1022
	Muestra #5	641916,907	9585276,176	1022
	Muestra #6	641916,907	9585276,176	1022

**Figura 36**

*Ubicación de taludes para la recolección de muestras del ensayo de compresión simple*

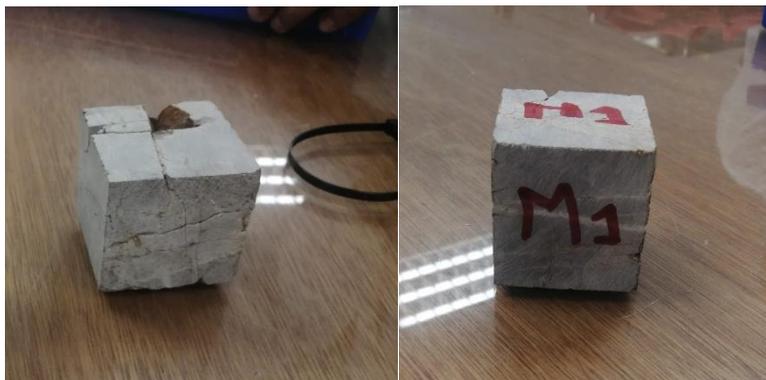


### 5.7.1.2. Trabajo de laboratorio

Con las muestras obtenidas, se procedió a realizar el ensayo de compresión simple en el laboratorio de Mecánica de rocas, de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA. Dicho ensayo se ejecutó bajo la norma ASTM – D2166. El procedimiento para obtener los cubos de roca de las muestras se describe a continuación:

#### Figura 37

*Muestras cúbicas de roca*



En primer lugar, se perfiló y niveló la muestra de roca para obtener un cubo de (50±5) mm de lado según la norma UNE-EN 1926:2006. Luego, con la ayuda de una balanza analítica se pesó la muestra, cuyo valor corresponde a la masa (M).

Posteriormente, se midió sus lados (D=l x l) y se multiplicaron para obtener el área (cm<sup>2</sup>). Seguidamente, se multiplicó el área obtenida por la altura de la muestra y con ello se obtuvo el volumen (cm<sup>3</sup>).

A continuación, se ubicó la muestra en la prensa con caras metálicas, donde su parte superior es fija y la inferior es accionada por un gato hidráulico, el cual sube hasta prensar la muestra y apretarla, desde ese momento se midió la resistencia que sobrepasó los límites y existió la rotura de la misma, siendo este valor máximo obtenido la carga o fuerza.

Con los datos necesarios se procede a calcular la resistencia a la compresión simple de la cada muestra, al ser 3 se obtuvo un promedio. Se utilizó la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

En donde:

$\sigma$  = Esfuerzo expresado en  $\frac{Kg}{cm^2}$

F = Fuerza o carga aplicada

A = área de la muestra

### 5.7.2. Ensayo de corte directo.

#### 5.7.2.1. Trabajo de campo

Se seleccionaron 3 puntos de los cuales se extrajeron 3 muestras de suelo para ser analizadas en laboratorio.

#### Figura 38

Apertura de calicata para extracción de cubo de suelo



Se extrajeron en total 3 muestras de suelo en los siguientes puntos:

#### Tabla 24

Ubicación de las muestras para ensayo de corte directo.

Numero de muestra	Coordenadas UTM WSG84		
	X	Y	Z
Muestra #1	641301,485	9584862,486	1200
Muestra #2	643187,967	9585509,864	1010
Muestra #3	643198,341	9585573,834	1034

#### 5.7.2.2. Trabajo de laboratorio

Para el ensayo de Corte Directo se utilizó la norma ASTM – 3080 y para Contenidos de Humedad ASTM D-2216.

Primeramente, se debe preparar el espécimen de ensayo para lo cual se hace lo siguiente:

La muestra debe ser lo suficientemente grande para poder obtener de esta como mínimo 3 especímenes similares para realizar el ensayo. El procedimiento debe

ser en un lugar de temperatura y ambiente controlado para minimizar la ganancia o pérdida de la humedad de la muestra.

- Se retiró la cubierta de la muestra en este caso plástico film que se utilizó con el fin de preservar todas sus características de la muestra si comprometer su estructura.

- Luego, se disgregó la muestra, con la ayuda de un anillo se obtuvo una porción de la misma y se enrazó cuidadosamente.

- Se pesó la muestra para determinar la masa inicial húmeda, y con ello calcular el contenido de humedad inicial y el peso unitario de la muestra.

### **Figura 39**

*Extracción y preparación de la muestra del cubo de muestra.*



En segundo lugar, el procedimiento a seguir para el desarrollo del ensayo es el siguiente:

- Se verificó que la caja de corte este ajustada adecuadamente, y que la parte superior e inferior estén alineadas de forma correcta.

- Luego, se colocó una piedra porosa húmeda en la base de la caja de corte, posteriormente la muestra de suelo y encima de esta, otra piedra porosa húmeda. Una vez colocado todo, se fijó mediante tornillos.

- Seguidamente, se conectó y ajustó el sistema de carga para la fuerza de corte, así como el dispositivo de medición del desplazamiento horizontal.

- Después, se calibró el yugo de carga de la fuerza normal hasta que la barra de carga sea horizontal, y así aplicar una carga normal al espécimen y obtener una lectura del dispositivo de medición de desplazamiento horizontal.

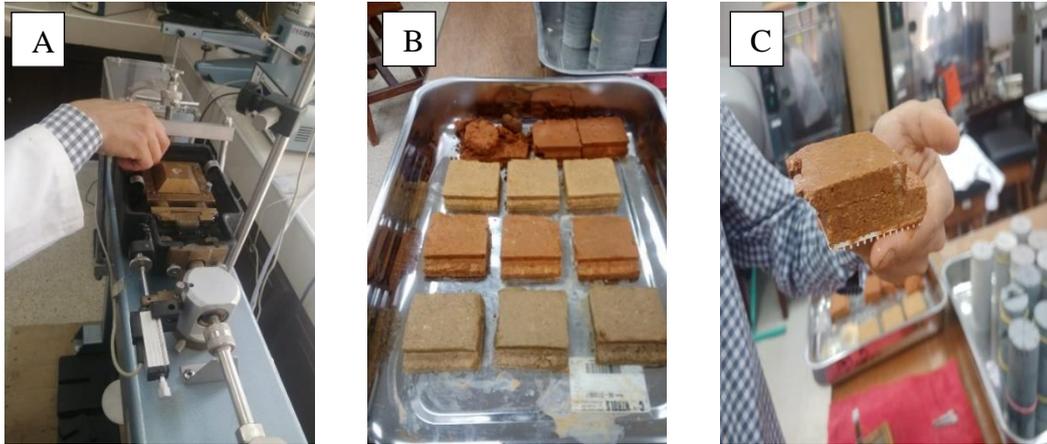
- Se llenó la caja de corte con agua y se la mantuvo llena durante todo el proceso del ensayo.

- Se debe aplicar el esfuerzo normal que se desea mediante la adición de un peso al brazo de soporte de la palanca del equipo. Posteriormente, se registró las lecturas de deformación normal versus el tiempo transcurrido.

- Se procedió al corte del espécimen con una velocidad de desplazamiento adecuada. Finalmente, con este ensayo se logró medir las relaciones esfuerzo cortante-deformación actuantes en la muestra analizada.

#### Figura 40

A) muestra ubicada en el Equipo. B) muestra luego de ser ensayadas C) muestra de suelo fallada



#### 5.7.3. Determinación de las propiedades físico de las rocas

A partir de una muestra de roca se realizó la determinación de las propiedades físicas en el laboratorio de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA. Siguiendo la respectiva normativa para cada uno de los ensayos y a partir de las fórmulas establecidas en los libros: Ingeniería geológica de Luis Vallejo (2002), y Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, cuarta edición de Braja, M. Das (2013).

- **Densidad**

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

En donde:

$\delta$  = densidad

m = masa de la muestra de roca

v = volumen de la muestra de roca

- **Densidad saturada superficialmente seca.**

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\delta_{sss} = \frac{W_a - W_{sum}}{W_a}$$

Donde:

$W_a$  = peso aire

$W_{sum}$  = peso sumergido

- **Gravedad específica.**

Se utilizó la norma ASTM D854 – 58. Para lograr precisión el ensayo se realizó 3 veces obtenido un promedio final. El procedimiento a seguir fue el siguiente:

1. Se pulverizó la muestra de roca hasta que pasó el tamiz #200.
2. Se procedió a secar la muestra por un lapso de 16 horas de tiempo en una temperatura de 110°C.
3. Se pesó el recipiente que se va a usar y se le añadió 30 gramos de muestra.
4. El picnómetro a usarse se secó y se pesó y se registró el peso. También se anotó el volumen que tiene.
5. Se llenó el picnómetro con agua destilada, se tapó y se registró su peso.
6. Se eliminó cierta cantidad de agua y se añadió los 30 gramos de la muestra pulverizada.
7. Se eliminó las burbujas de aire con ayuda de la bomba de vacío.
8. Nuevamente, se procedió a añadir agua al picnómetro hasta que esté lleno, se lo tapó y se lo pesó.
9. Se colocó la mezcla obtenida, en un vaso de precipitación el cual fue previamente limpiado y se pesó.
10. Se dejó secar el vaso de precipitación en el horno por no más de 24 horas a una temperatura de 110°C.

La expresión para determinar la gravedad específica es:

$$G_s = \frac{W_s}{W_s + W_{bw} - W_{bws}}$$

En donde:

$W_s$  = peso seco

$W_{bw}$  = peso picnómetro mas agua

$W_{bws}$  = peso picnómetro mas agua mas suelo

- **Peso específico real**

El peso específico real se determinó con la siguiente fórmula:

$$P_r = \frac{M - P}{W + M - P - S}$$

En donde:

M = Masa del picnómetro más la muestra

P = Peso del picnómetro

W = peso del picnómetro más agua destilada

S = Peso del picnómetro más agua destilada más muestra

- **Peso específico aparente**

Se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$\rho_a = \frac{W_{sec}}{W_{sat} - W_{sum}} * \rho_w$$

En donde:

$\rho_w$  = densidad del agua

$W_{sec}$  = peso en seco

$W_{sat}$  = peso saturado

$W_{sum}$  = peso sumergido

- **Humedad**

El presente ensayo se realizó bajo la norma ASTM D 2216 – 98, para ello se siguieron los siguientes pasos:

1. Se pesó el recipiente que se usará, este debe estar seco y limpio.
2. Al recipiente seco se le agregó la muestra húmeda y se registró el peso del mismo.
3. Con ayuda de un horno se dejó secar la muestra en un lapso de tiempo de 12 a 16 horas a una temperatura de 110°C
4. Pasado el tiempo estipulado se retiró la muestra del horno y se registró su peso nuevamente.

Se hizo uso de la siguiente formula:

$$\rho_a = \frac{W_h - W_s}{W_s} * 100$$

En donde:

$W_h$  = peso de la roca humeda

$W_s$  = peso de la roca seca

- **Porosidad**

Se determinó la porosidad en base a la siguiente expresión:

$$n = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_r}\right) * 100$$

En donde:

$\rho_a$  = Peso especifico aparente

$\rho_r$  = peso especifico real

- **Porosidad eficaz**

Para el cálculo de la porosidad eficaz se utilizó la siguiente fórmula:

$$n_e = \frac{W_{sat} - W_s}{W_{sat} - W_{sum}}$$

En donde:

$W_s$  = peso en seco

$W_{sat}$  = peso saturado

$W_{sum}$  = peso sumergido

- **Porosidad cerrada**

Se determinó la porosidad cerrada con la siguiente expresión:

$$n_c = n - n_e$$

En donde:

$n$  = porosidad

$n_e$  = porosidad eficaz

- **Coefficiente de absorción**

Se utilizó con la siguiente expresión:

$$C_{abs} = \frac{W_{sat} - W_s}{W_s} * 100$$

En donde:

$W_s$  = peso en seco

$W_{sat}$  = peso saturado

- **Compacidad**

Se realizó en base a la siguiente fórmula:

$$C = 1 - n$$

En donde:

$n$  = porosidad

- **Módulo de saturación**

Se utilizó la siguiente expresión:

$$M_{sat} = \frac{n_e}{n} * 100$$

En donde:

$n$  = porosidad

$n_e$  = porosidad eficaz

#### 5.7.4. Caracterización de macizo rocoso.

El macizo rocoso fue caracterizado mediante la aplicación de la clasificación geo-mecánica propuesta por Bieniawski. Para cumplir con los requisitos de esta metodología, Bieniawski inicialmente definió que la clasificación geomecánica debería comprender los siguientes parámetros: el Índice de Calidad de la Roca (RQD), grado de meteorización, resistencia a la compresión uniaxial de la roca inalterada, distancia entre fisuras y estratificación, orientación del rumbo y el buzamiento (echado), separación de las fisuras, continuidad de las fisuras, e infiltración de aguas subterráneas. La obtención de datos detallados sobre estos parámetros permitió la clasificación precisa de sus valores.

Adicionalmente, se llevó a cabo el análisis mediante el Slope Mass Rating (SMR), una adaptación del RMR de Bieniawski diseñada específicamente para su aplicación en taludes rocosos, propuesta por Romana en 1985. Como paso final, se determinó el Índice de Resistencia Geológica (GSI), desarrollado por Hoek y Brown en 1980 y 1980a. Este índice estima la reducción de la resistencia del macizo rocoso bajo diversas condiciones geológicas. La combinación de estas metodologías proporciona una evaluación comprehensiva de las características geomecánicas del macizo rocoso en estudio.

##### 5.7.4.1. Trabajo de campo

Para su desarrollo se utilizó la metodología de Ferrer y Vallejo (2007) en donde se realizó:

- Descripción general del afloramiento: Identificación, características y condiciones del afloramiento; descripción de cada componente: rocas, suelos, agua, singularidades; y la división del afloramiento en zonas (partes más homogéneas).
- Descripción de cada una de las zonas: -se realizaron descripciones objetivas y normalizadas de sus elementos estructurales (matriz rocosa y discontinuidades) y de sus propiedades.
- Descripción y caracterización de un macizo rocoso: perfiles geológico-geotécnicos y clasificaciones geomecánicas; integración del emplazamiento en la geología regional.

Se utilizó una ficha para describir la matriz y las discontinuidades presentes. Los materiales utilizados fueron: Esclerómetro, cintra métrica, brújula, GPS, fichas de campo, juego geométrico.

#### 5.7.4.2. Trabajo de oficina

- **RQD (Rock Quality Designation)**

Es el índice más usado para medir el grado de fracturación de un macizo rocoso. Para el RQD se dividió el macizo rocoso en dos estaciones cada una de 1m<sup>3</sup>, se realizó la sumatoria de fisuras ( $J_v$ ) en el macizo rocoso. Por medio de la fórmula del RQD planteada por Palmstrom (2005) se determinó el RQD de cada uno de los macizos y se asignó su respectiva clasificación basándose en las características del área de estudio:

$$RQD = 110 - 2.5J_v$$

$$RQD = 0 \text{ para } J_v > 44$$

$$RQD = 100 \text{ para } J_v < 44$$

Dónde:  $J_v$ , es el número de juntas por m<sup>3</sup>.

$J_v = \Sigma(1/SM_i)$  Donde:  $SM_i$ , es el espaciamiento medio de cada fisura en m.

- **Clasificación SMR**

Para calcular del índice RMR se empleó la clasificación geomecánica de Bienawski que se describe a continuación:

**Tabla 25**  
*Clasificación para el RMR de Bieniawski.*

Clasificación para el RMR de Bieniawski 1989								
1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (Mpa)	
			>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1
		Compresión Simple						
		Puntuación	15	12	7	4	2	1 0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%	
	Puntuación		20	17	13	6	3	
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0,06m	
	Puntuación		20	15	10	8	5	
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m	
		Puntuación	6	4	3	1	0	
		Abertura	Nada	<0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm	
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave	
		Puntuación	6	5	3	1	0	
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm	
		Puntuación	6	4	2	2	0	
		Alteración	Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente alterado	Muy alterada	Descompuesta	
		Puntuación	6	5	3	1	0	
5	Agua Freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min	
		Relación: Presión de agua/tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5	
		Estado General	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Agua Fluyendo	
		Puntuación		15	10	7	4	0

De acuerdo a la puntuación obtenida mediante la clasificación para el RMR de Bieniawski, se asignó una clase y una categoría de calidad de acuerdo a los datos obtenidos:

**Tabla 26**  
*Clasificación del 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

- **Clasificación SMR de Romana (1997)**

El SMR es una adaptación del RMR de Bieniawski para su aplicación a taludes rocosos, este sistema fue propuesto por Romana en 1985. Se lo determinó con el siguiente proceso:



Se obtiene a partir del RMR básico sumando cuatro factores de corrección en función de la orientación de las juntas y un factor de excavación, con la fórmula que se presenta a continuación:

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

RMR= Índice RMR básico de Bieniawski (0-100), es independiente de la estructura a construir en el macizo rocoso.

F1= Factor de ajuste por el paralelismo entre la dirección de las discontinuidades y la dirección de la superficie del talud.

F2= Factor de ajuste por buzamiento de las discontinuidades.

F3= Factor de ajuste por la relación entre los buzamientos de las discontinuidades y el del talud.

F4= Factor de excavación que depende método utilizado para excavar el talud.

**Tabla 27**  
*Factores de ajustes de juntas*

		<b>Factores de ajuste por la orientación de las juntas (F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> y F<sub>3</sub>)</b>				
<b>Caso</b>		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy Desfavorable
<b>P</b>	$ \alpha_j - \alpha_s $					
<b>T</b>	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $	>30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	<5°
<b>P/T</b>	F <sub>1</sub>	0,15	0,4	0,7	0,85	1
<b>P</b>	$ \beta_j $	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°
	F <sub>2</sub>	0,15	0,4	0,7	0,85	1
<b>T</b>	F <sub>2</sub>	1	1	1	1	1
<b>P</b>	$\beta_j - \beta_s$	>10°	10°-0°	0°	0°-(-10°)	<-10°
<b>T</b>	$\beta_j + \beta_s$	<110°	110°-120°	>120°		
<b>P/T</b>	F <sub>3</sub>	0	-6	-25	-50	-60
		<b>Factor de ajuste por el método de excavación (F<sub>4</sub>)</b>				
<b>Método</b>		Talud Natural	Precorte	Voladura Suave	Voladura o excavación mecánica	Voladura Deficiente
<b>F<sub>4</sub></b>		+15	+10	+8	0	-8
		<b>Clases de estabilidad</b>				
<b>Clase</b>		V	IV	III	II	I
<b>SMR</b>		0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
<b>Descripción</b>		Muy Mala	Mala	Normal	Buena	Muy Buena
<b>Estabilidad</b>		Totalmente Inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
<b>Roturas</b>		Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos Bloques	Ninguna
<b>Tratamiento</b>		Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

**Tabla 28**  
*Clases de estabilidad.*

		<b>Clases de estabilidad</b>				
<b>Caso</b>		V	IV	III	II	I
<b>SMR</b>		0-20	21-40	41-60	61-80	8-100
<b>Descripción</b>		Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
<b>Estabilidad</b>		Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Completamente estable
<b>Rotura</b>		Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
<b>Tratamiento</b>		Excavación	corrección	sistemático	Ocasional	Ninguno

Nota: Obtenido de (Bieniawski, 1972)

- **GSI**

Si el Si  $RMR > 23$  se puede aplicar la fórmula que se plantea a continuación, mientras que, si  $RMR < 23$  entonces no se puede determinar el valor de GSI. Para ello se aplicó la siguiente fórmula:

**GSI=RMR-5****Tabla 29***Calidad del Macizo rocoso según el GSI*

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

Nota: Alvarez (2020)

**5.8. Metodología para el tercer objetivo.**

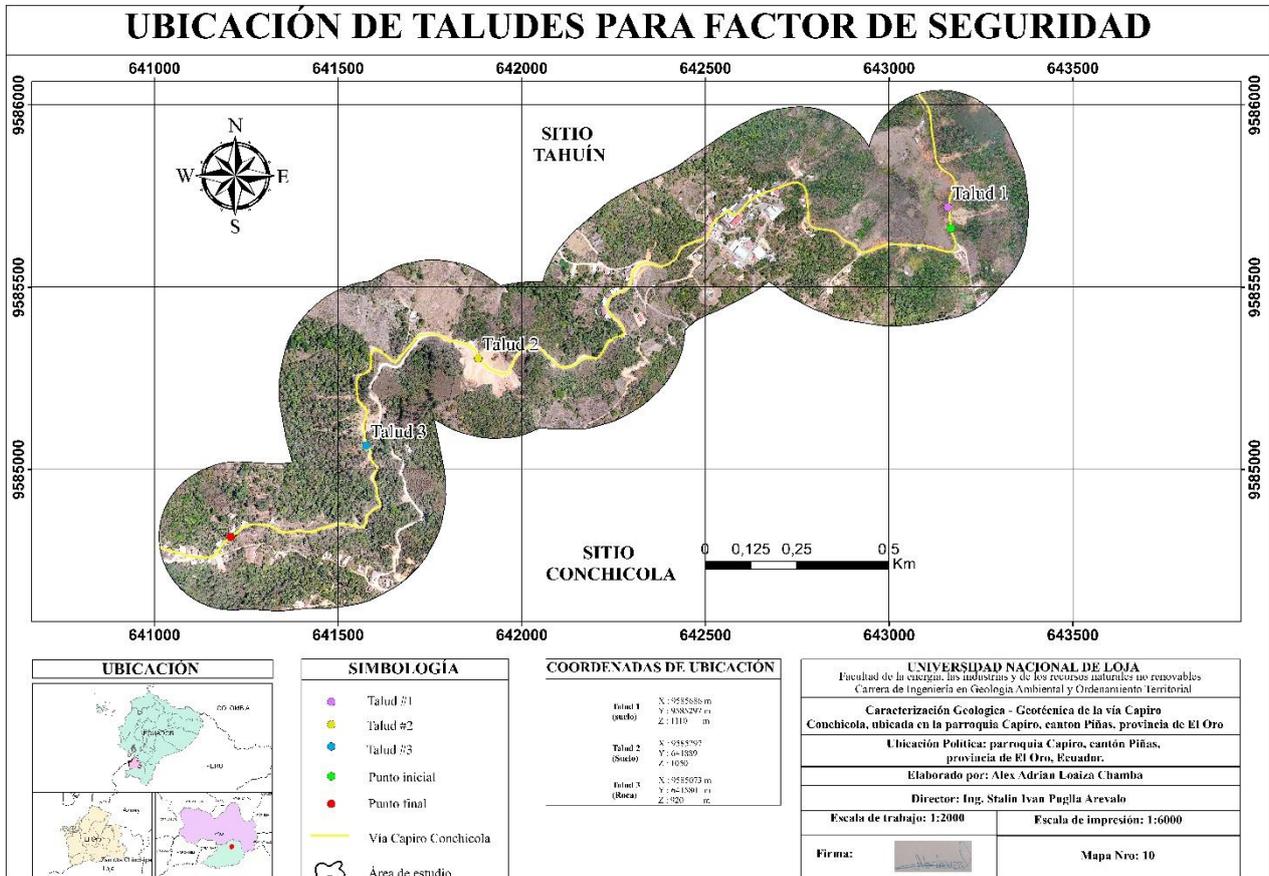
*Determinar las características geológicas – geotécnicas en base al factor de seguridad de los taludes representativos del área de estudio.*

Para la determinación del factor de seguridad se seleccionaron 3 taludes dentro de la zona de estudio, ubicados en las coordenadas que se detallan a continuación:

**Tabla 30***Ubicación de los taludes para el Fs.*

Talud	Coordenadas UTM WSG84		
	X (m)	Y (m)	Z(m)
<b>Talud 1</b>	9585686	643165	1110
<b>Talud 2</b>	9585297	641889	1050
<b>Talud 3</b>	9585073	641580	920

**Figura 41**  
Mapa de ubicación de taludes de factor de seguridad



### 5.8.1. Trabajo de oficina.

#### 5.8.1.1. Método de equilibrio límite.

El método del equilibrio límite establece que la rotura del terreno se produce a través de una línea que representa la superficie de rotura. De esta forma, se interpretó que la masa de terreno por encima de dicha línea se desplazó respecto la masa inferior, produciéndose, así, la rotura del terreno. En el momento de producirse la rotura, la resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento está movilizada, y el terreno se encuentra, en su totalidad, en equilibrio estático.

Dentro de la ejecución del método se realizó en los siguientes pasos (Alonso, 1989):

1. Determinar un mecanismo de rotura cinemáticamente admisible. Generalmente se consideran para la superficie de deslizamiento, formas geométricas sencillas, como pueden ser rectas, circunferencias o espirales logarítmicas.
2. A partir de la condición de equilibrio, se establecen relaciones entre las fuerzas presentes en el problema. Diferenciando entre las fuerzas que inducen al desequilibrio (peso, cargas externas...), y las fuerzas internas resistentes. Las ecuaciones necesarias que se deben cumplir en el problema son:
  - Equilibrio de fuerzas, tanto verticales como horizontales
  - Equilibrio de momentos, respecto a un punto arbitrario.
3. Se analiza la estabilidad del conjunto a partir del concepto de factor de seguridad.
4. Mediante cálculos repetitivos se halla el menor valor del factor de seguridad, que va asociado a la superficie de deslizamiento más desfavorable.

#### 5.8.1.2. Factor de seguridad.

Calcular el factor requirió hacer los análisis mediante el uso del software Slide 6.0 ya que este nos permitió moldear los taludes. Para cada representación del perfil de los taludes, se procedió a generar diferentes perfiles transversales a partir de la

topografía haciendo uso a su vez del software ARGIS y luego los datos fueron exportados al software inicial (Slide 6.0) para así corroborar las condiciones en las que se encuentra la estabilidad en el sector que se analizó.

Los datos que se ingresaron al programa serán: ángulo de fricción, peso específico y cohesión; estos valores serán establecidos en base a los resultados tanto de los sondeos eléctricos verticales, ensayos de penetración y caracterización del macizo rocoso.

### 5.8.1.3. Modelo estático

Para el modelamiento de los taludes en condición estática, se tomó en cuenta los factores que pueden afectar la estabilidad de los taludes, como: la geometría, geología y características geológicas-geotécnicas de los geomateriales obtenidas previamente en los ensayos.

Una vez establecidos los taludes de estudio se calculó el Factor de seguridad con las herramientas que proporciona el software Slide 6.0, sin embargo, para corroborar y comparar los datos se realizó un cálculo mediante fórmula que establece Suarez, quien menciona que, si la longitud relativa del talud es mayor a la relación con su espesor, la contribución de la resistencia en la cabeza y el pie del talud es menor a diferencia del resto de la superficie de falla. Por ello se ha empleado el método del talud infinito que permite determinar el factor de seguridad que se puede emplear en suelos alterados y homogéneos. Para obtener el factor de seguridad en condiciones normales en suelos se empleó la siguiente fórmula:

- **Talud infinito sin infiltración**

$$Fs (seco) = \frac{c}{\gamma * H * \cos^2 \beta * \tan \beta} + \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

- **Talud infinito con infiltración**

$$Fs (sat) = \frac{c}{\gamma_{sat} * H * \cos^2 \beta * \tan \beta} + \frac{\gamma}{\gamma_{sat}} + \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

$\gamma$  peso específico del suelo

$$\gamma = \gamma_{sat} - \gamma_{agua}$$

Donde:

$c$  = Ángulo de cohesión (KN/m<sup>2</sup>)

$\gamma$  = Peso específico (KN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{sat}$  = *Peso saturado (KN/m<sup>3</sup>)*

$\gamma_{agua}$  = *Peso específico del agua (KN/m<sup>3</sup>)*

$H$  = *Altura del macizo rocoso (m)*

$\beta$  = *Ángulo de inclinación.*

$\emptyset$  = *Ángulo de fricción.*

Estos datos son bibliográficos, específicamente tomados de (Hoek y Bray, 1991) debido a que, no se cuenta con los estudios que los determinan.

- **Método de rotura planar para macizo rocoso**

Para desarrollar este método se utilizó el software RockLab (v. 2.029) para ello, se introduce los datos de peso específico(ton/m<sup>3</sup>), ángulo de cohesión, ángulo de fricción, altura del macizo rocoso, ángulo de trabajo, diferencia de ángulo. Cabe mencionar que se emplea el método determinístico.

- **Método de rotura planar por fórmula propuesta por Culmann (1875)**

Se emplea la siguiente fórmula:

$$F_s = \frac{c + \frac{1}{2}\gamma * H \frac{\text{Sen}(\beta - \theta)}{\text{Sen}\theta - \text{Sen}\beta} \cos\theta \text{ sen}\theta \text{ tg}\emptyset}{\frac{1}{2}\gamma * H \frac{\text{Sen}(\beta - \theta)}{\text{Sen}\theta - \text{Sen}\beta} \text{ sen}^2\theta}$$

Donde:

$c$  = Cohesión.

$\gamma$  = Peso específico (ton/m<sup>3</sup>)

$H$  = Altura.

$\beta$  = Ángulo de trabajo.

$\theta$  = Diferencia del ángulo.

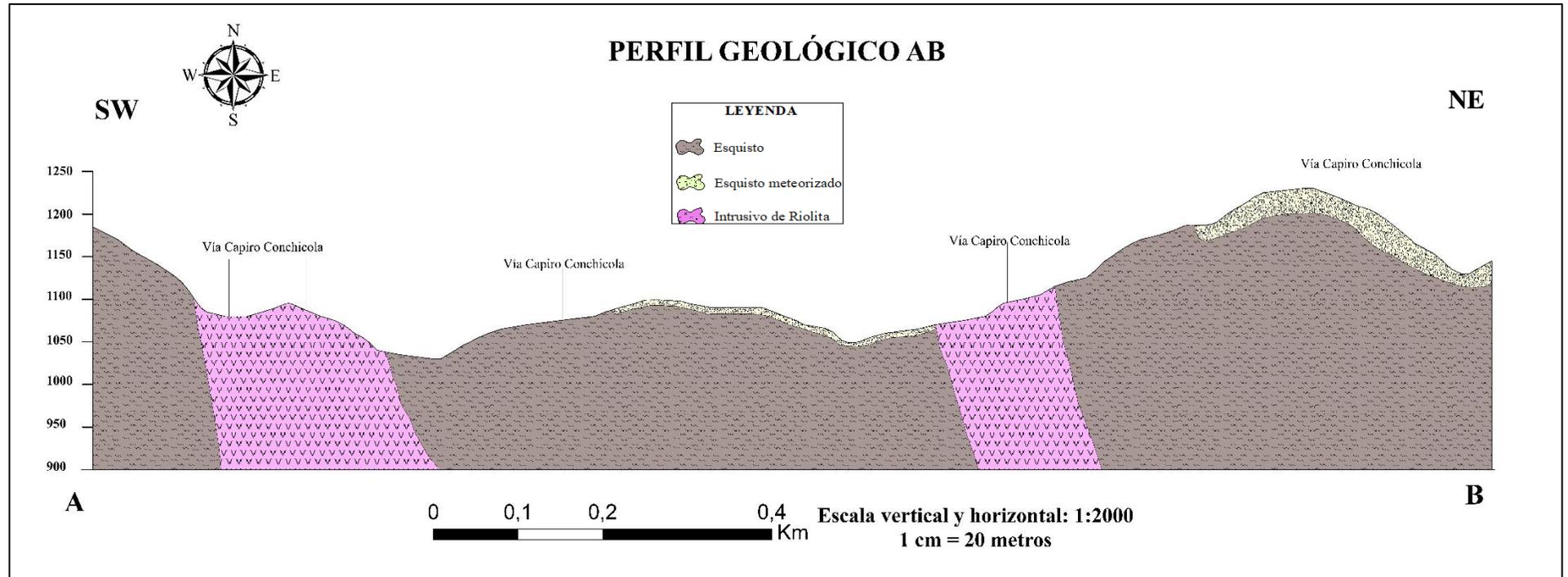
$\emptyset$  = Ángulo de Fricción.



- Corte geológico longitudinal A-B, SW - NE

**Figura 43**

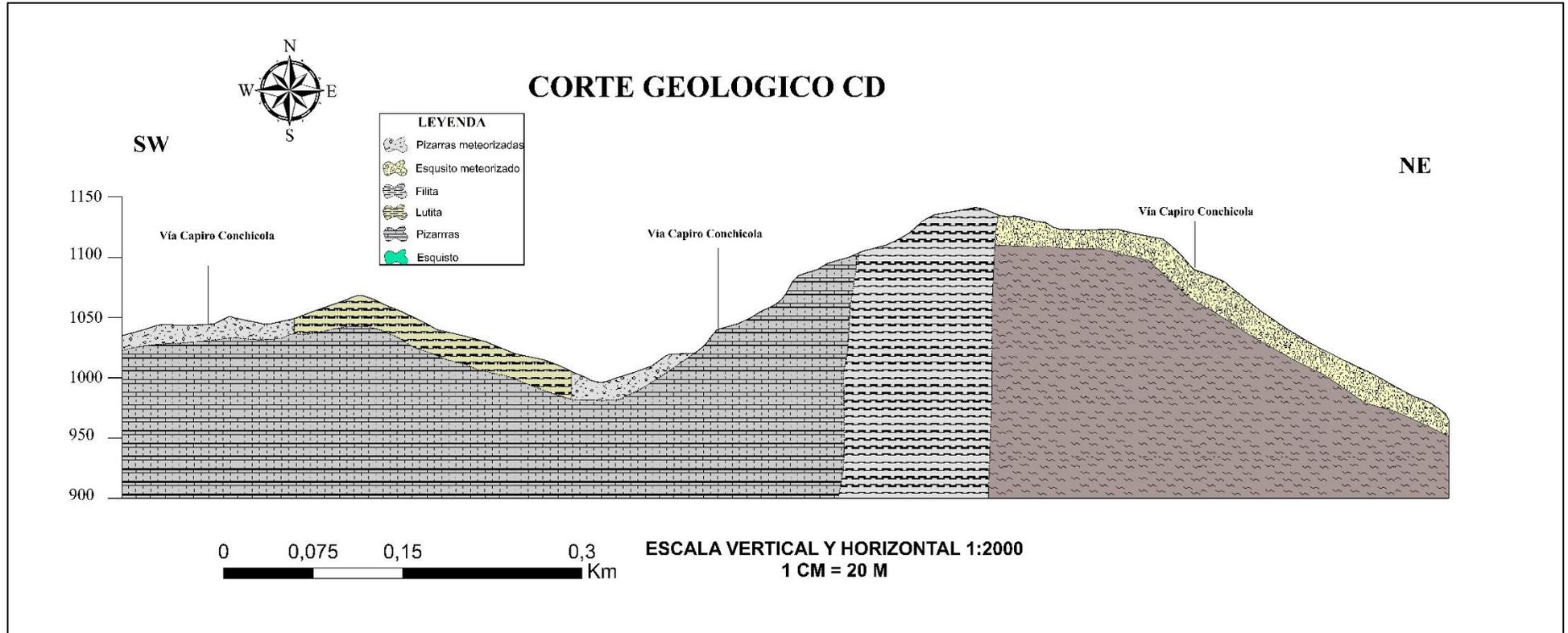
*Corte Geológico AB*



- Corte geología longitudinal CD, SW-NE

**Figura 44**

*Corte Geológico CD*



#### **6.1.1.1. Corte geológico AB**

El corte geológico AB, representado en la figura 42, abarca una extensión de 2,1 km con una orientación SW-NE, atravesando diversas formaciones litológicas. Entre ellas, destacan las rocas metamórficas, específicamente los esquistos pertenecientes a la unidad esquistos de Capiro y la serie Tahuín. Además, se observa la presencia de rocas extrusivas, como las riolitas, que forman parte de la formación Tarqui. Estas litologías abarcan edades desde el precámbrico-paleozoico hasta el inferior del cuaternario, siendo las rocas de la serie Tahuín las más antiguas y las riolitas las más recientes.

Basándonos en esta información, se determina que el basamento de la zona de estudio está constituido por los esquistos. Se puede inferir la presencia de un contacto discordante entre la riolita y los esquistos, ya que pertenecen a unidades geológicas distintas. Además, se sugiere la existencia de un contacto litoestratigráfico entre los esquistos meteorizados que afloran en la superficie y los esquistos más profundos y menos meteorizados. Esta inferencia se basa en la variación observada entre los esquistos superficiales y los más compactos presentes a mayor profundidad.

Debido a la acción tectónica producto de la cercanía con la zona de falla piña – Portovelo, se encontró aflorando la riolita en la superficie, esta es una roca extrusiva presente en forma de diques, esto implica la intrusión magmática de riolita fundida a través de fisuras o fracturas preexistentes en la corteza terrestre. Este tipo de roca se puede sugerir que estuvo en forma de magma riolítico y al ser este menos denso que las rocas circundantes logra su ascenso a través algunas fisuras o grietas.

#### **6.1.1.2. Corte geológico CD**

La representación del perfil geológico AB, como se ilustra en la figura 43, cubre una distancia de 1,1 km con una orientación SW-NE, atravesando distintas formaciones litológicas. Se destacan las rocas metamórficas, específicamente esquistos, pizarras, filitas y lutitas, integrantes de la unidad esquistos de Capiro y la serie Tahuín. Estas litologías abarcan un espectro temporal desde el precámbrico-paleozoico hasta el inferior del cuaternario.

Se deduce la presencia de un contacto litoestratigráfico entre los esquistos meteorizados aflorando en la superficie y los esquistos más compactos a mayores profundidades. En un contexto análogo, se sugiere un contacto similar entre las

pizarras meteorizadas en la superficie y las pizarras más profundas y compactas. La existencia de filitas indica un tipo de contacto con las pizarras. Por último, se observa la exposición en la superficie de la litología de lutita.

## 6.2. Resultados del segundo objetivo

### 6.2.1. Propiedades físico mecánicas de los geomateriales

#### 6.2.1.1. Resistencia a la compresión simple

Para llevar a cabo este ensayo se recolectaron muestras de roca, en función de la litología de la zona de estudio y se analizaron en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Loja. Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 31**

*Resultados de los ensayos de compresión simple a muestra de roca.*

Nro. de muestra	Descripción	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Masa (gr)	Área (cm <sup>2</sup> )	Volumen (cm <sup>3</sup> )	RCS (Mpa)
<b>1</b> <b>Filita</b>	Cubo 1	5,158	5,121	5,174	334,5	158,92	136,32	87,08
	Cubo 2	4,995	4,918	4,980	312	147,86	122,34	137,82
	Cubo 3	5,062	4,989	4,945	300,5	149,92	124,90	49,45
<b>Promedio</b>								91,45
<b>2</b> <b>Esquisto</b>	Cubo 1	5,868	5,049	5,079	330,5	170,58	151,58	62
	Cubo 2	5,110	5,117	5,144	336,5	157,51	134,50	83
	Cubo 3	5,036	5,111	5,000	324	152,95	128,71	72,70
<b>Promedio</b>								72,56
<b>3</b> <b>Riolita</b>	Cubo 1	5,031	5,095	5,127	336,5	155,10	131,43	87,08
	Cubo 2	5,140	5,156	5,701	330	170,60	151,61	91,67
<b>Promedio</b>								89,375

La filita exhibe una resistencia a la compresión simple significativamente alta. Esto sugiere que la roca tiene una capacidad para resistir fuerzas de compresión intensas antes de experimentar falla. Dada su alta resistencia, la filita podría ser una opción favorable en aplicaciones donde se requiera una resistencia estructural robusta.

El esquisto presenta una resistencia a la compresión simple menor en comparación con la filita. Aunque sigue siendo una resistencia significativa, podría indicar una menor capacidad para soportar cargas de compresión. El esquisto podría ser más propenso a deformaciones plásticas o fracturas bajo cargas de compresión elevadas en comparación con la filita.

La riolita exhibe una resistencia a la compresión simple alta, aunque no alcanza el nivel de la filita. A pesar de su resistencia, la presencia de fragmentos meteorizados en el campo sugiere una posible fragilidad o susceptibilidad a la meteorización. La consideración de la riolita en aplicaciones prácticas debe tener en

cuenta el grado de meteorización y su impacto potencial en la estabilidad y resistencia de la roca.

En resumen, estos resultados permiten clasificar las rocas según su capacidad para resistir fuerzas de compresión. La elección de una roca para aplicaciones específicas dependerá de factores como la resistencia requerida, la deformabilidad, y las características específicas del proyecto. Estos datos son esenciales para la planificación geotécnica y la toma de decisiones en ingeniería y proyectos relacionados con la construcción.

### 6.2.1.2. Ensayo de corte directo.

En función de la litología se tomaron muestras representativas de las cuales se llevó a cabo dicho ensayo en el laboratorio. Los resultados se presentan a continuación:

**Tabla 32**  
*Resultados del ensayo de corte directo*

Muestra	Nro. de ensayo	Esfuerzos ( $Kg/cm^2$ )			Angulo de fricción (grados)	Cohesión (MPa)
		X	Y	Y calculado		
		Normal	Cortante	Tangencial		
M1	1	0,49	172	0,49	24,43	0,2505
	2	0,97	288,7	0,82		
	3	1,98	462,2	1,31		
M2	1	0,49	199,2	0,56	33,11	0,2554
	2	0,97	319,4	0,90		
	3	1,98	544,5	1,54		
M3	1	0,49	139,9	0,40	31,17	0,1085
	2	0,97	250,2	0,71		
	3	1,98	459,9	1,30		

En la muestra 1, el ángulo de fricción indica una resistencia moderada al corte, mientras que la cohesión representa la fuerza cohesiva interna del suelo. Este valor es relativamente bajo, lo que sugiere una cohesión moderada. La baja cohesión y el ángulo de fricción moderado sugieren que podría tratarse de un suelo limoso o arcilloso con una cohesión relativamente baja. Estos suelos tienden a tener un ángulo de fricción más bajo y una cohesión más débil.

En la muestra 2, indica una resistencia al corte más alto en comparación con la Muestra 1. El suelo tiene una mayor capacidad para resistir fuerzas de corte. Aunque la cohesión es ligeramente mayor que en la Muestra 1, sigue siendo moderada. La resistencia cohesiva es parte de la resistencia al corte total. La mayor resistencia al corte y cohesión moderada indican un suelo más granular, como arena o grava, que

podría tener partículas más grandes y menos cohesión. El ángulo de fricción más alto sugiere una mayor resistencia al corte.

En la muestra 3, se muestra una resistencia al corte significativa, aunque ligeramente menor que la Muestra 2. Mientras que, la cohesión es más baja en comparación con las otras muestras. La fuerza cohesiva interna es menos significativa. Este conjunto de resultados sugiere un suelo con resistencia al corte considerable y baja cohesión, lo cual podría ser indicativo de un suelo granular con menor contenido de arcilla o limo.

Las Muestras 2 y 3 tienen una mayor resistencia al corte en comparación con la Muestra 1. Además, la cohesión es un componente importante en todas las muestras, pero varía en intensidad. Estos resultados son fundamentales para comprender el comportamiento de los suelos cohesivos bajo fuerzas de corte y son esenciales para el diseño geotécnico y la ingeniería de cimentaciones.

### 6.2.1.3. Propiedades físicas de las rocas

**Tabla 33**

*Propiedades de físicas de las muestras de roca*

Propiedades físicas	Simbología	Unidad	Muestra de roca		
			#1 Riolita	#2 Filita	#3 Esquistos
Densidad	$\Delta$	$gr/cm^3$	2,65585106	2,70867993	2,66767587
Peso específico aparente	Pa	$gr/cm^3$	2,57856971	2,55141741	2,58879212
Peso específico real	Pr	$gr/cm^3$	2,65585106	2,70867993	2,66767587
Humedad	W	%	0,65030417	0,65697733	0,3543422
Porosidad	N	%	2,90985254	5,80587317	2,95702132
Porosidad eficaz	Ne	%	2,33523924	3,56650934	2,02771471
Porosidad cerrada	Nc	%	0,5746133	2,23936383	0,92930661
Coefficiente de absorción	Cabs	%	0,90436566	1,39589713	0,78217014
Compacidad	C	%	97,0901475	94,1941268	97,0429787
Módulo de saturación	Msat	%	80,2528378	61,429336	68,572881

La muestra de roca 1 correspondiente a riolitas, en base a los resultados se observa que tiene una densidad y peso específico aparente y real comparables, o sea se ajustan a los valores normales consistentes a una roca ígnea. La baja porosidad del 2,90% y el coeficiente de absorción del 0,90% indican que la roca riolita es relativamente compacta y tiene baja capacidad para retener agua. La alta compacidad del 97% sugiere una estructura sólida y bien compactada. El módulo de saturación del

80,25% indica una saturación significativa de la roca, lo que puede afectar su comportamiento mecánico.

La muestra de roca 2, corresponde a una filita, muestra cierta variabilidad en la densidad y el peso específico aparente y real, o sea esta no se ajusta a los valores normales, estos valores pudieron variar debido a las características de la muestra. La humedad y porosidad son mayores en comparación con la roca riolita, indicando una estructura menos compacta. El coeficiente de absorción más alto sugiere una mayor capacidad para retener agua. El módulo de saturación del 61,42% indica una saturación moderada de la roca.

La muestra de roca 3, corresponde a un esquisto, en cuanto a la densidad, peso específico y peso específico aparente los resultados se relacionan con las propiedades de la roca; presenta baja humedad (0.3543%) y bajo coeficiente de absorción (0.78%) indican baja capacidad de retención de agua y el módulo de saturación significativo (68.57%) sugiere una saturación considerable.

En resumen, la roca riolita es adecuada en situaciones donde la estabilidad mecánica y la baja retención de agua son críticas, sin embargo, se debe considerar en este caso que es tipo de material en campo se lo encuentra meteorizado y en una zona donde está un deslizamiento activo.

La filita podría ser apropiada en contextos donde se requiere alguna capacidad de retención de agua, pero la estabilidad mecánica aún es esencial.

El esquisto podría ser preferible en situaciones donde la baja retención de agua y una alta estabilidad son prioritarias.

Estas interpretaciones generales brindan una visión resumida de las propiedades físicas de cada tipo de roca, orientando las decisiones en proyectos geotécnicos e ingenieriles. Es crucial considerar estas características al diseñar estructuras o realizar excavaciones en áreas geológicas específicas.

### **6.2.2. Calicatas (método directo)**

Se definieron 2 zonas específicas en las que realizaron calicatas con una profundidad de 1.50 m con la finalidad de estudiar las características y propiedades superficiales de los materiales. Posteriormente se recolectaron muestras de suelo para su análisis en Laboratorio.

### 6.2.3. Clasificación de suelos por ASSHTO y SUCS

#### 6.2.3.1. Muestra 1.

##### 6.2.3.1.1. Clasificación SUCS

Para determinar qué tipo de suelos estamos analizando es necesario obtener un análisis granulométrico y límites de Attenberg, los mismos que arrojaron los siguientes datos:

Granulometría:

- **% que pasa por el tamiz #200:** 37,7% se clasifica como arena.
- **% que pasa por el tamiz # 4:** 29% se clasifica como una grava ya que más del 50% (71%) es retenido en este tamiz.

Por lo que nuestro material está conformado por una 37,7% de arenas un 29% de gravas lo que da lugar a un 33,3 % de material fino.

- **Contenido de humedad natural:** 13, 83 – 13,58 %

#### Tabla 34

*Límites de Attenberg muestra 1*

Límites de Attenberg	Valores obtenidos en los ensayos	Valores según la norma
Limite liquido	19,9%	20%
Limite plástico	16,7%	17%
Índice de plasticidad	3,2%	3%

**Clasificación:** arena limosa con grava SM

##### 6.2.3.1.2. Clasificación AASHTO

De la misma manera que la clasificación anterior se procedió a realizar un análisis granulométrico y límites de Attenberg, los mismos que arrojaron los siguientes datos:

Granulometría:

- **% que pasa por el tamiz #200:** 37,7% mayor al 35% los mismos que pueden pertenecer a los grupos A-4, A-5, A-6 o A-7 según la norma AASHTO T 90-56
- **Contenido de humedad natural:** 13, 83 – 13,58 %

Con los valores obtenidos con los límites de Attenberg, se identificó que la muestra de suelo pertenece al grupo A-4 el mismo que es corresponde a un suelo limoso.

### 6.2.3.2. Muestra 2.

#### 6.2.3.2.1. Clasificación SUCS

Para determinar qué tipo de suelos estamos analizando es necesario obtener un análisis granulométrico y límites de Attenberg, los mismos que arrojaron los siguientes datos:

Para esta muestra no se calcularon los límites de Attenberg dado que no presenta plasticidad.

Granulometría:

- **% que pasa por el tamiz #200:** 30% se clasifica como arena.
- **% que pasa por el tamiz # 4:** 79% se clasifica como una grava
- **Contenido de humedad natural:** 13,45 – 13,13%
- **Clasificación:** arena limosa con grava SM

#### 6.2.3.2.2. Clasificación AASHTO

Para determinar qué tipo de suelos estamos analizando es necesario obtener un análisis granulométrico y límites de Attenberg, los mismos que arrojaron los siguientes datos:

Granulometría:

- **% que pasa por el tamiz #200:** 30% se clasifica como materiales granulares de excelentes a buenos
- **% que pasa por el tamiz # 4:** 79% se clasifica como una grava
- **Índice de grupo:** 3
- **Contenido de humedad natural:** 13,45 – 13,13%
- **Clasificación:** A-2-4 Grava y arena arcillosa o limosa



#### 6.2.4. Caracterización del macizo rocoso.

##### 6.2.4.1. Macizo rocoso N° 1: Filita.

El presente afloramiento está conformado por filitas, en la parte superior se observa que está cubierto por una capa de materia orgánica en las partes laterales que conforman el afloramiento se observa los cambios y las alteraciones de la roca, convirtiéndose en suelo. Se estableció una estación en esta zona, para obtener la mayor cantidad representativa de datos del macizo rocoso para su análisis. El macizo rocoso se encuentra localizado en las siguientes coordenadas:

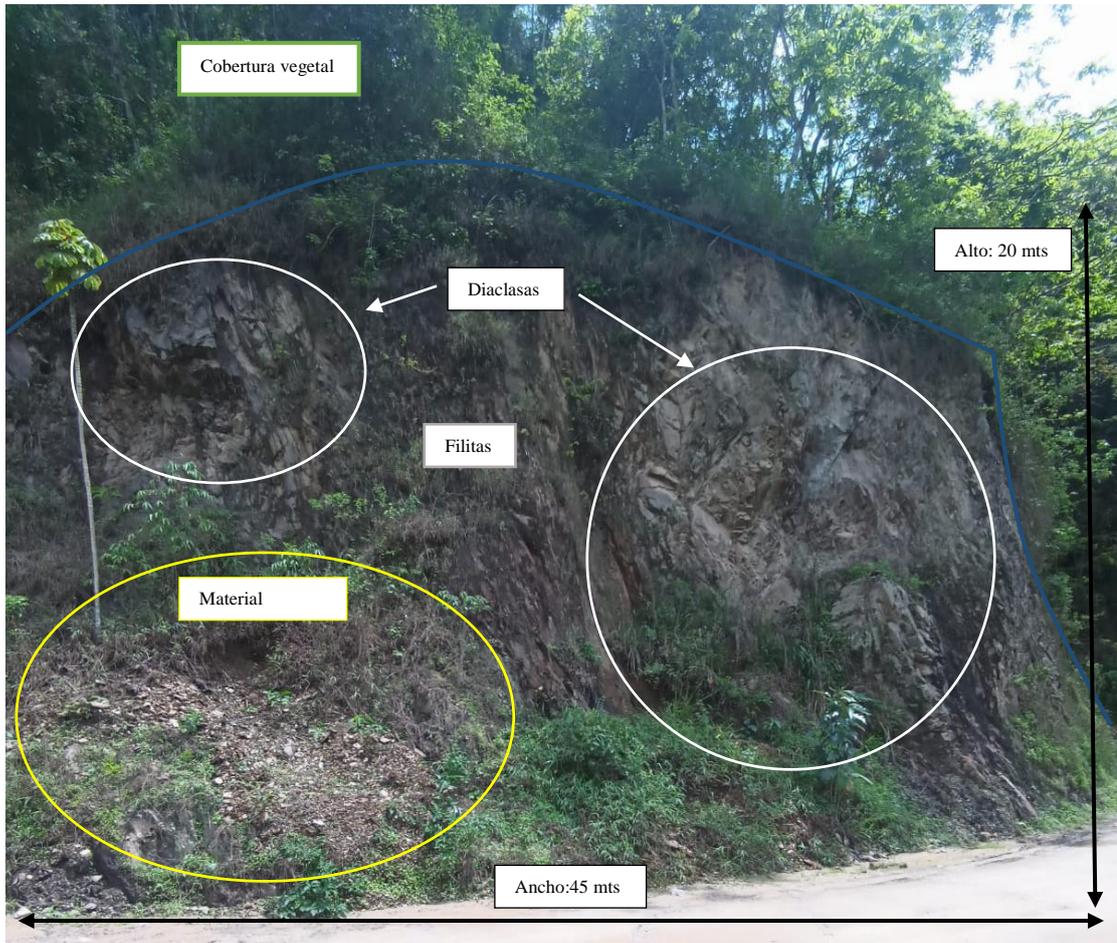
**Tabla 35**

*Ubicación de Macizo rocoso para caracterización*

Macizo rocoso	Coordenadas de ubicación		
	X (m)	Y (m)	Z (msnm)
Nro. 1	641586,804	9585059,28	1050

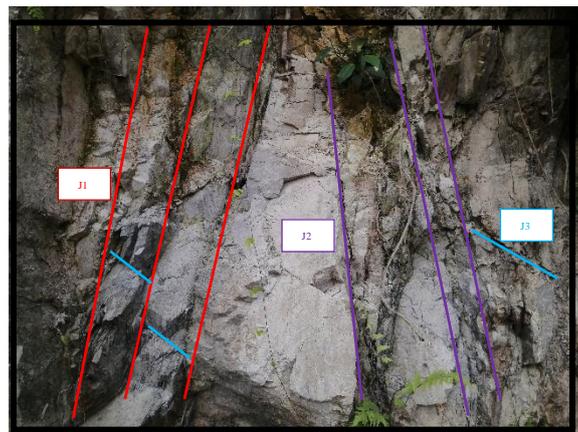
**Figura 45**

*Macizo rocoso: Filita*



**Figura 46**

*Estación para la obtención de datos del macizo rocoso.*



- **Cálculo del RQD**

A continuación, se muestran los resultados del índice de la calidad de roca (RQD):

**Tabla 36**  
*Calculo del RQD*

Junta	$Sm_i(m)$	$1/Sm_i(m)$	$Jv/m^3$	RQD	Calidad de la roca
J1	0,116	8,571			
J2	0,12	8,333	24,405	48,988	MALA
J3	0,133	7,500			

A continuación, se presenta la clasificación RMR por cada junta:

**Tabla 37**  
*RMR. Resumen de los parámetros para junta 1*

Parámetro		Calificación
Resistencia a la compresión simple		7
RQD		6
Separación entre diaclasas		5
Estado de discontinuidades	Longitud	6
	Abertura	4
	Relleno	2
	Rugosidad	3
	Alteración	1
Agua freática		7
<b>Valor RMR</b>		<b>39</b>

**Tabla 38**  
*Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR. J1.*

Clase	I	II	III	IV	V
<b>Calidad</b>	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
<b>Valoración RMR</b>	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
<b>Cohesión</b>	> 4 kg/cm <sup>2</sup>	3-4 kg/cm <sup>2</sup>	2-3 kg/cm <sup>2</sup>	1-2 kg/cm <sup>2</sup>	< 1 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Ángulo de rozamiento</b>	>45°	5°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°

**Tabla 39**  
*RMR. Resumen de los parámetros para Junta 2*

Parámetro		Calificación
Resistencia a la compresión simple		7
RQD		6
Separación entre diaclasas		5
Estado de discontinuidades	Longitud	6
	Abertura	2
	Relleno	3
	Rugosidad	2
	Alteración	1
Agua freática		7
<b>Valor RMR</b>		<b>39</b>

**Tabla 40**  
*Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR. J2.*

Clase	I	II	III	IV	V
<b>Calidad</b>	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
<b>Valoración RMR</b>	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
<b>Cohesión</b>	> 4 kg/cm <sup>2</sup>	3-4 kg/cm <sup>2</sup>	2-3 kg/cm <sup>2</sup>	1-2 kg/cm <sup>2</sup>	< 1 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Ángulo de rozamiento</b>	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°

**Tabla 41**  
*Resumen de parámetros para Junta 3*

Parámetro		Calificación
Resistencia a la compresión simple		7
RQD		6
Separación entre diaclasas		5
Estado de discontinuidades	Longitud	6
	Abertura	1
	Relleno	2
	Rugosidad	1
	Alteración	1
Agua freática		7
<b>Valor RMR</b>		<b>36</b>

**Tabla 42**  
*Calidad del macizo rocoso en relación al índice RMR. J3.*

Clase	I	II	III	IV	V
<b>Calidad</b>	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
<b>Valoración RMR</b>	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20
<b>Cohesión</b>	> 4 kg/cm <sup>2</sup>	3-4 kg/cm <sup>2</sup>	2-3 kg/cm <sup>2</sup>	1-2 kg/cm <sup>2</sup>	< 1 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Ángulo de rozamiento</b>	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°

**Tabla 43**  
*RMR de Bieniawski.*

<b>Clase</b>	<b>IV</b>
<b>Calidad</b>	Mala
<b>Valoración RMR</b>	38
<b>Cohesión</b>	1-2 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Ángulo de rozamiento</b>	15° - 25°

✓ **Slope Mass Rating (SMR)**

Este análisis se realizó para cada una de las juntas de la estación 1, que conforman el talud, donde se seleccionó el valor menor obtenido, en el caso de rotura planar. Se optó por este método en lugar de los métodos de cuña y rotura por vuelco debido a su capacidad para abordar de manera más integral las características específicas del macizo rocoso en cuestión. La consideración de las discontinuidades en una rotura planar permite una modelización más precisa de la geometría de las fallas, ofreciendo una evaluación más detallada de la estabilidad del macizo en comparación con los enfoques de cuña y rotura por vuelco, que podrían simplificar en exceso las condiciones reales del terreno.

**Tabla 44**  
*Datos empleados para la clasificación SMR del Macizo rocoso*

<b>SMR del macizo rocoso</b>				
<b>Juntas</b>	Dirección del talud $\alpha_s$	Dirección de las juntas $\alpha_j$	Buzamiento del talud $\beta_s$	Buzamiento de las juntas $\beta_j$
<b>J1</b>		298		77
<b>J2</b>	207	258	60	59
<b>J3</b>		187		57

**Tabla 45**  
*Resultados SMR.*

<b>Clasificación geomecánica SMR Romana 1985</b>									
<b>Rotura Planar</b>									
<b>Juntas</b>	$\alpha_s$	$\alpha_j$	F1	$\beta_j$	F2	$\beta_s$	F3	F4	<b>SMR</b>
<b>J1</b>		298	0,15	77	1		0	+8	47,00
<b>J2</b>	207	258	0,15	59	1	60	-50	+8	39,50
<b>J3</b>		187	0,70	47	0,85		-60	+8	8,30
<b>SMR: 31,60</b>			Clase: IV			Estabilidad: Mala			

**Tabla 46***Resumen de estabilidad.*

Caso	Clase	SMR	Descripción	Estabilidad	Roturas	Tratamientos
<b>Macizo Nro. 1: Pizarras</b>						
<b>Rotura Planar</b>	IV	31,60	Mala	Inestable	Juntas o grandes cuñas	Corrección

- **Geological Strength Index (GSI)**

Se obtuvo los siguientes resultados:

Macizo Nro. 1: Esquisto Micáceo

$$\text{GSI} = \text{RMR}_{89} - 5$$

$$\text{GSI} = 38 - 5$$

$$\text{GSI} = 33$$

El resultado del cálculo del GSI nos indica una calidad mala de la roca.

En base a los resultados obtenidos de la caracterización del macizo rocoso tenemos que, el valor de RQD es 48.98, indicando una calidad de roca mala. Esto sugiere que aproximadamente la mitad de las muestras son fragmentos intactos, pero la presencia de discontinuidades y fracturas afecta negativamente la calidad global. El índice RMR es 38, indicando un macizo rocoso de clase 4, lo que se traduce como calidad mala. Este valor refuerza la idea de que el macizo presenta desafíos significativos en términos de estabilidad y calidad del material rocoso. El SMR fue analizado por rotura planar obteniéndose un valor de 31.60, indicando inestabilidad en el macizo rocoso. Esta cifra refuerza la preocupación sobre la capacidad del macizo para soportar cargas sin experimentar fallas. El GSI es 33, indicando que la roca tiene una calidad mala. Este valor refuerza la evaluación negativa de la calidad de la roca en términos de resistencia y estabilidad.

Esta interpretación revisada destaca la baja calidad y estabilidad del macizo rocoso, enfatizando la importancia de abordar adecuadamente los desafíos geotécnicos en cualquier proyecto asociado con este tipo de formación rocosa.

### 6.3. Resultados del tercer objetivo.

Para examinar los taludes más notablemente representativos, se optó por utilizar el método de equilibrio límite. Este enfoque incluyó el uso de métodos estáticos de Bishop, Janbu y Spencer. Para lograr esto, se tomaron en cuenta los hallazgos del estudio de penetración estándar, los perfiles de sondeo eléctrico vertical y una descripción detallada de las características del terreno rocoso. Se utilizaron las pautas del libro “Principios Fundamentales de Ingeniería de Taludes de Ramírez y Alejano” para hacer estimaciones de los datos que no se obtuvieron directamente de los ensayos.

#### 6.3.1. Análisis de estabilidad.

##### 6.3.1.1. Método de talud infinito

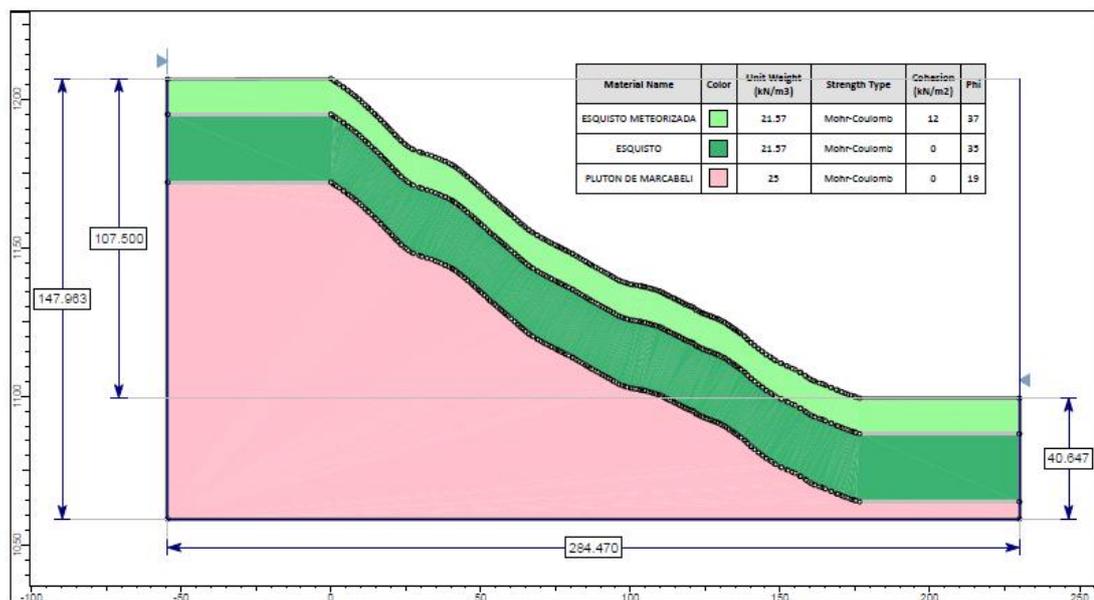
- **Talud 1**

El talud este compuesto principalmente por esquistos y presenta un grado de meteorización considerable, los desprendimientos de material actualmente están dañando la infraestructura vial y por ende representa una amenaza para las personas que usan las vías a diario, además de poner en peligro la vida de las personas que usan la vía a diario especialmente en la temporada invernal.

Resultado de los análisis se obtiene un factor de seguridad de 0,84 lo que significa que el esta es “Inestable” o un estado no estable con probabilidades de que falle.

**Figura 47**

*Modelado en Software Slide para el Talud 1*



**Tabla 47**  
Parámetros geotécnicos del talud 1.

Parámetros geotécnicos del talud 1				
Litología	Color	Peso específico KN/m <sup>3</sup>	Cohesión KN/m <sup>2</sup>	Ángulo de fricción
Esquistos meteorizados		21,57	12	37
Esquistos		21,57	0	35
Plutón de Marcabeli		25	0	19
<b>Promedio</b>		22,71	4	30,33
<b>Altura del talud</b>		107,50 m	<b>Buzamiento</b>	33°

#### Método talud infinito sin infiltración

$$FS_S = \frac{c}{\gamma * H * \cos^2 \beta * \tan \beta} + \frac{\tan \theta}{\tan \beta}$$

$$FS_S = \frac{4}{22,71 * 106 * \cos^2 33 * \tan 33} + \frac{\tan 30,33}{\tan 33}$$

$$FS_S = 0,904$$

#### Peso específico

$$\gamma = (\gamma_{sat} - \gamma_{agua})$$

$$\gamma = 23,9 - 1$$

$$\gamma = 22,9$$

#### Método talud infinito con infiltración

$$FS_S = \frac{c}{\gamma_{sat} * H * \cos^2 \beta * \tan \beta} + \frac{\gamma}{\gamma_{sat}} * \frac{\tan \theta}{\tan \beta}$$

$$FS_S = \frac{4}{23,9 * 106 * \cos^2 33 * \tan 33} + \frac{22,99}{23,9} * \frac{\tan 30,3}{\tan 33}$$

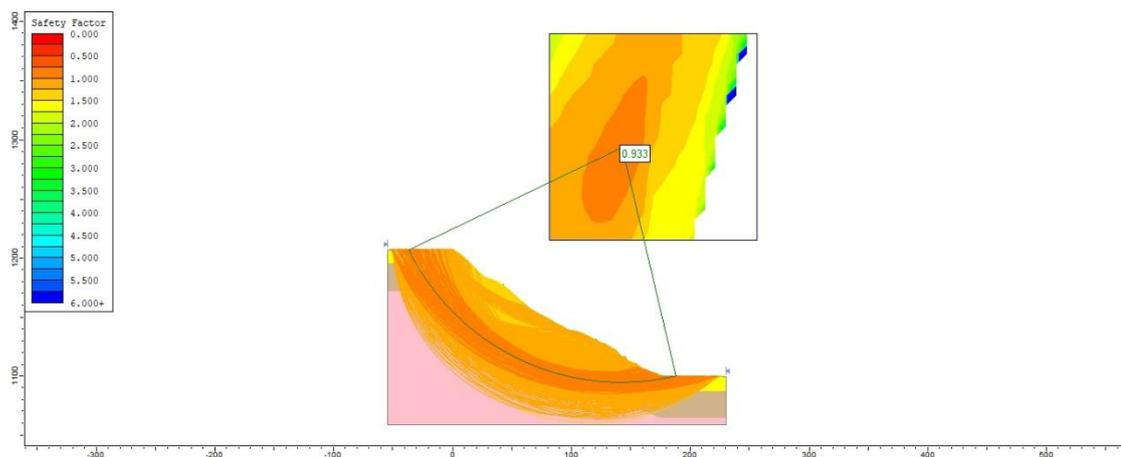
$$FS_S = \frac{22,295}{24,05} * \frac{\tan 41,1}{\tan 48}$$

$$FS_S = 0,865$$

A continuación, se presenta el modelado hecho en el software Slide 6.0 para poder comprobar los resultados, en dicha herramienta se empleó los métodos de Bishop, Spencer y Janbu Simplificado.

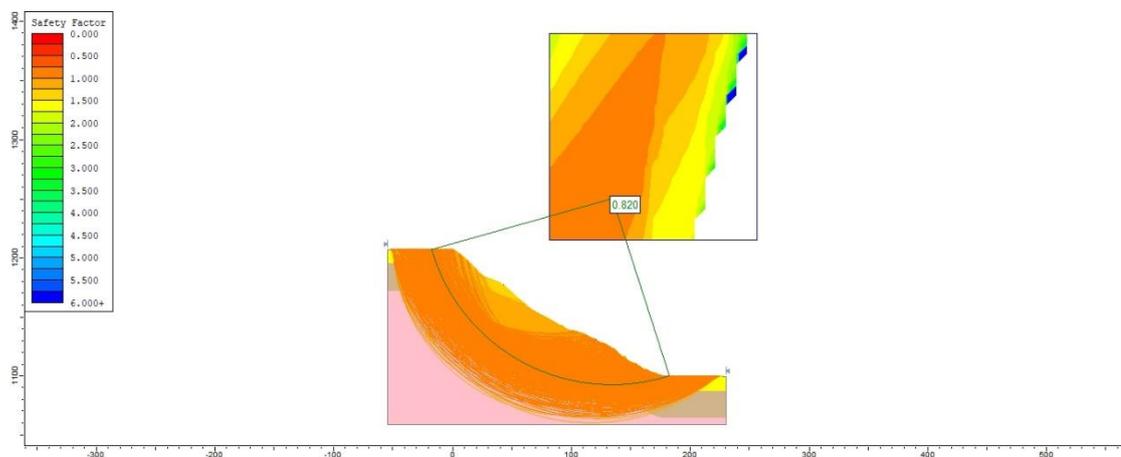
– **Bishop Simplificado.**

Como resultado de aplicar el método resulta un factor de seguridad de 0,84 sin infiltración lo que nos indica que el estado del talud es no estable con probabilidad de que en esta zona ocurra un fallo o también entendiéndose como el desprendimiento de masa de tierra.



– **Janbu simplificado**

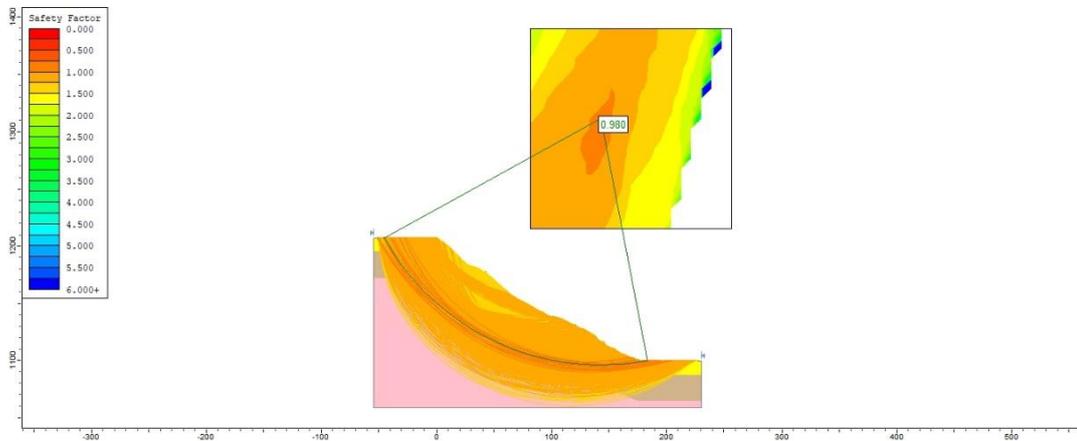
Como resultado de aplicar el método resulta un factor de seguridad de 0,784 sin infiltración lo que nos indica que el estado del talud es no estable con probabilidad de que en esta zona ocurra un fallo o también entendiéndose como el desprendimiento de masa de tierra.



– **Spencer**

Como resultado de aplicar el método resulta un factor de seguridad de 0,837 sin infiltración lo que nos indica que el estado del talud es no estable con probabilidad

de que en esta zona ocurra un fallo o también entendiéndose como el desprendimiento de masa de tierra.

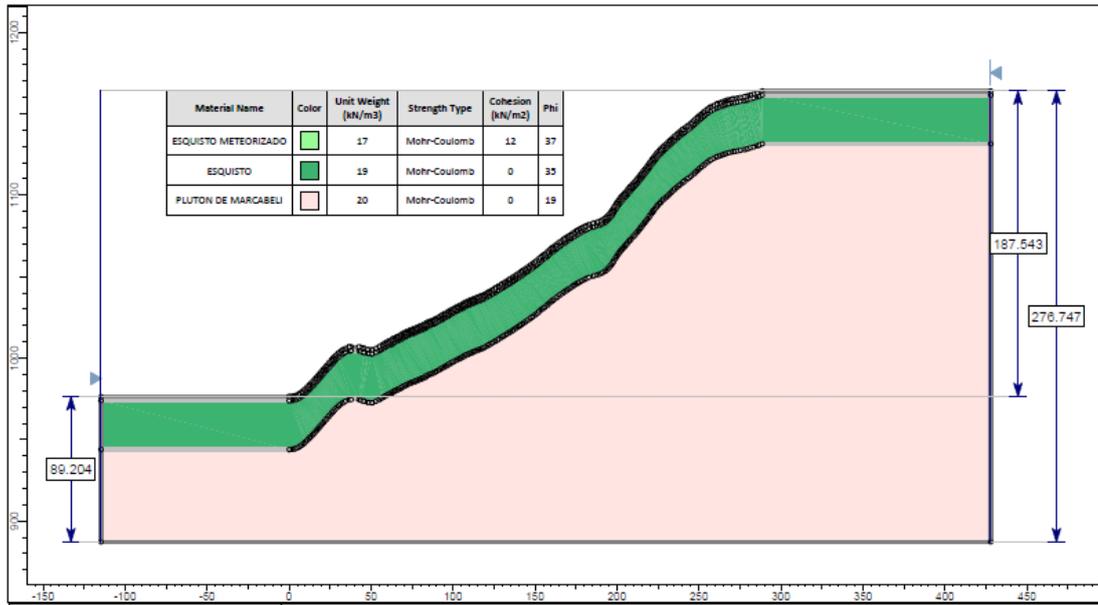


- **Talud 2**

La elección del talud 2 se refirió por ser este un lugar en donde constantemente se producen deslizamientos de material producto de la meteorización, abarcan una extensión considerable de daño. Igualmente, que el anterior la infraestructura vial se ve afectada, además en un costado del talud se encuentra una vivienda lo que representar un riesgo inminente.

A continuación, se muestran los valores con los que se trabajó para el desarrollo y la obtención del factor de seguridad del talud #2 el que está constituido de esquistos meteorizados y en roca a mayor profundidad, como el caso anterior se realizó el análisis bajo el método de talud infinito tanto en condiciones en donde no haya infiltraciones (seco) y, donde si las hayan (con agua).

**Figura 48**  
Modelado en el Software Slide para el Talud 2



**Tabla 48**  
Parámetros geotécnicos del talud 2.

Parámetros geotécnicos del talud 2				
Litología	Color	Peso específico KN/m <sup>3</sup>	Cohesión KN/m <sup>2</sup>	Ángulo de fricción
Esquistos meteorizados	Light Green	18	12	37
Esquistos	Dark Green	23	0	35
Plutón de Marcabelí	Light Orange	20	0	19
<b>Promedio</b>		20,33	4	30,33
<b>Altura del talud</b>		187 m	<b>Buzamiento</b>	42°

**Método talud infinito sin infiltración**

$$FS_s = \frac{c}{\gamma * H * \cos^2 \beta * \tan \beta} + \frac{\tan \theta}{\tan \beta}$$

$$FS_s = \frac{4}{20,33 * 187 * \cos^2 42 * \tan 42} + \frac{\tan 30,22}{\tan 42}$$

$$FS_s = 0,649$$

### Peso específico

$$\gamma = (\gamma_{sat} - \gamma_{agua})$$

$$\gamma = 22,1 - 1$$

$$\gamma = 21,1$$

### Método talud infinito con infiltración

$$FS_S = \frac{c}{\gamma * H * \cos^2 \beta * \tan \beta} + \frac{\gamma}{\gamma_{sat}} * \frac{\tan \theta}{\tan \beta}$$

$$FS_S = \frac{4}{22,1 * 187 * \cos^2 42 * \tan 42} + \frac{21,1}{22,1} * \frac{\tan 30,22}{\tan 42}$$

$$FS_S = 0.621$$

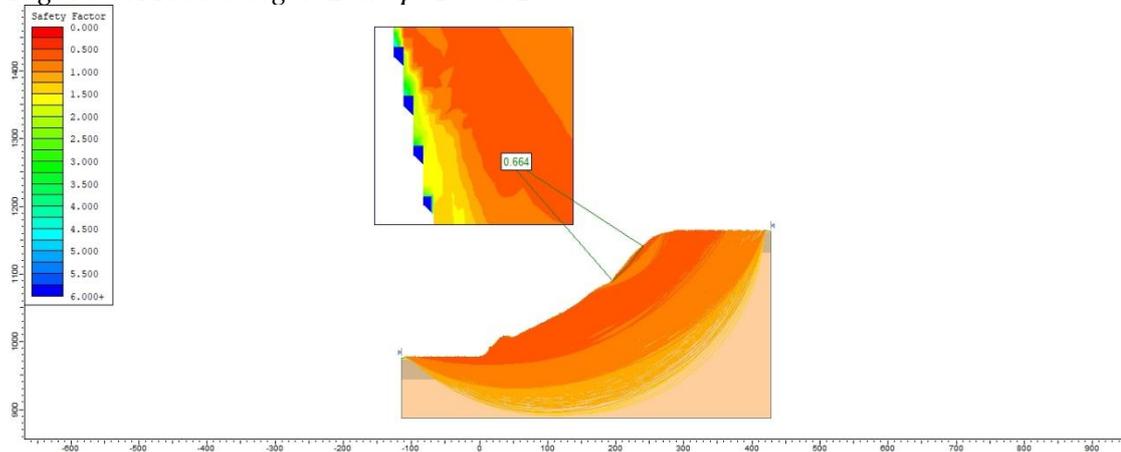
A continuación, se presentan los modelos realizados en Slide 6.0.

- **Bishop simplificado**

Como resultado de aplicar el método resulta un factor de seguridad de 0,649 sin infiltración lo que nos indica que el estado del talud es no estable con probabilidad alta de que en esta zona ocurra un fallo o también entendiéndose como el desprendimiento de masa de tierra.

### Figura 49

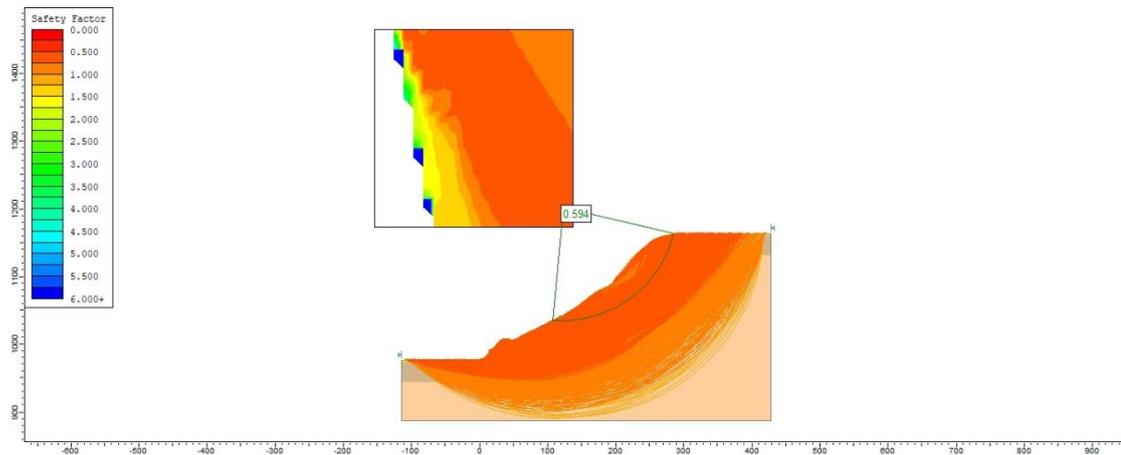
Figura 45 Modelo según Bishop. Talud 2



- **Janbu Simplificado**

Como resultado de aplicar el método resulta un factor de seguridad de 0,392 sin infiltración lo que nos indica que el estado del talud es no estable con probabilidad alta de que en esta zona ocurra un fallo o también entendiéndose como el desprendimiento de masa de tierra.

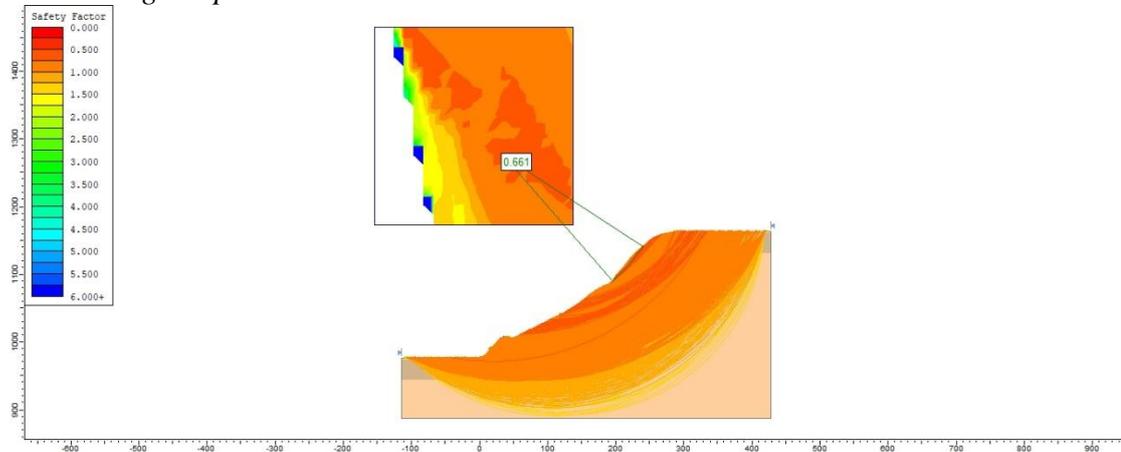
**Figura 50**  
*Modelo según Janbu*



- **Spencer**

Como resultado de aplicar el método resulta un factor de seguridad de 0,392 sin infiltración lo que nos indica que el estado del talud es no estable con probabilidad alta de que en esta zona ocurra un fallo o también entendiéndose como el desprendimiento de masa de tierra.

**Figura 51**  
*Modelo según Spencer.*



### 6.3.1.2. Rotura planar

Se realizó la configuración geométrica del afloramiento rocoso, así como del carácter inherente de las discontinuidades presentes en el mismo. Empleando la plataforma informática Rockplane, se llevó a cabo un análisis orientado a la anticipación de posibles fracturas de tipo plano en el talud. Dicha evaluación se sustentó en enfoques de carácter determinista, focalizándose de manera exclusiva en

el criterio J1, el cual delinea las superficies propensas a experimentar rupturas siguiendo planos específicos.

El componente de cohesión no entró en consideración y se presupuso un valor nulo debido a la carencia de cohesión en las discontinuidades rocosas, no obstante, se incorporó un ángulo de fricción sustancial. No obstante, se procedió a tener en cuenta un ángulo de fricción considerable en los cálculos.

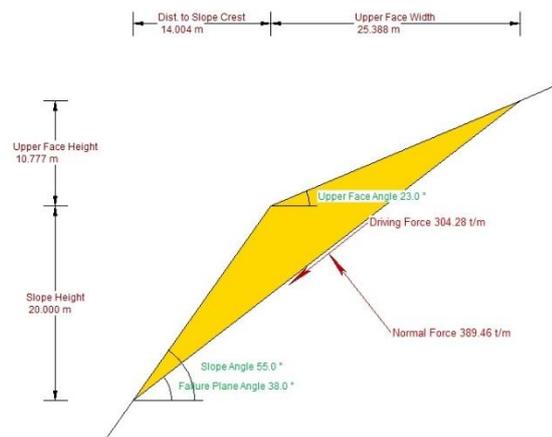
- **Talud 3: Filita**

El talud está conformado por roca Filita, se tomó en consideración para el análisis por los desprendimientos de roca de forma continua.

A continuación, se presentan los datos geotécnicos del macizo rocoso a analizar, el mismo se encuentra conformado por filitas:

**Figura 52**

*Modelado en Rockplane para el talud 3*



**Tabla 49**

*Parámetros geotécnicos del talud roca.*

Parámetros geotécnicos del talud 1				
Litología	Color	Peso específico KN/m <sup>3</sup>	Cohesión KN/m <sup>2</sup>	Ángulo de fricción
Filita		27,65	0	33

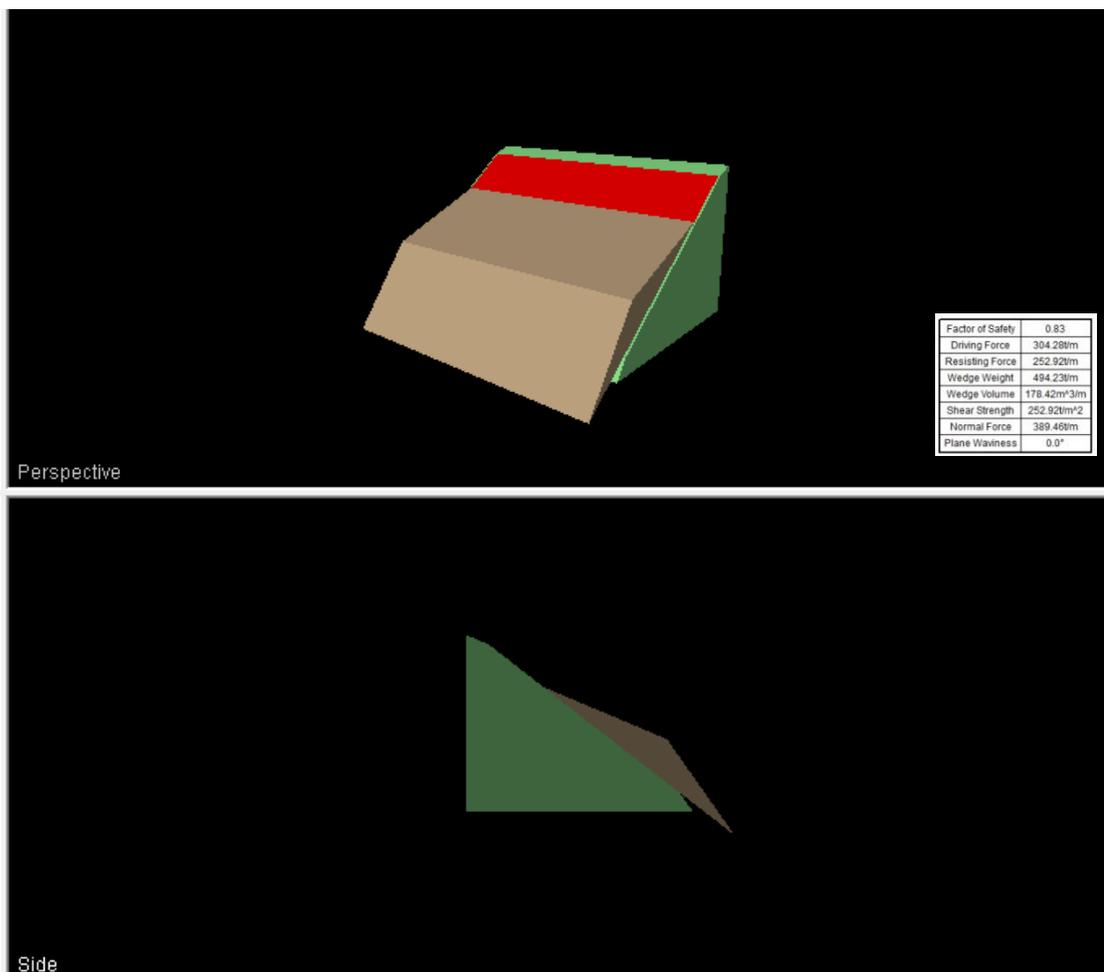
**Tabla 50**

*Datos estructurales para la Junta 2*

SMR del macizo rocoso				
Juntas	Dirección del talud $\alpha_s$	Dirección de las juntas $\alpha_j$	Buzamiento del talud $\beta_s$	Buzamiento de las juntas $\beta_j$
J2	207	258	60	59

En este espacio de trabajo se logró obtener datos estructurales e identificar familia de discontinuidades, con estos datos se realizó un análisis de rotura planar mediante el Software Rockplane versión 2.029. Se empleó criterios determinísticos y para ello se tomó únicamente la J2 considerando como la única que tiende a romper en planos. Para este caso se tiene una cohesión de 0 porque las juntas de roca no tienen fricción, sin embargo, su ángulo de fricción corresponde a 33.

Como producto tenemos un factor de seguridad de 0.83 en condiciones estáticas lo que indica que el talud no es estable.



Cálculo matemático para la obtención del factor de seguridad por medio de rotura planar:

$$Fs = \frac{c + \frac{1}{2} \gamma * H \frac{\text{Sen}(\beta - \theta)}{\text{Sen}\theta - \text{Sen}\beta} \cos\theta \text{sen}\theta \text{tg}\phi}{\frac{1}{2} \gamma * H \frac{\text{Sen}(\beta - \theta)}{\text{Sen}\theta - \text{Sen}\beta} \text{sen}^2\theta}$$



$$F_s = \frac{0 + \frac{1}{2} 27,65 * H \frac{\text{Sen}(55-38)}{\text{Sen}38 - \text{Sen}55} \cos 38 \text{ sen} 38 \text{ tg} 33}{\frac{1}{2} 27,65 * H \frac{\text{Sen}(55-38)}{\text{Sen}38 - \text{Sen}55} \text{ sen}^2 38}$$

$$F_s = 0,83120 = 0,83 = \text{inestable}$$

El software RocPlane 2.029 permitió corroborar el resultado del factor de seguridad establecido por la fórmula de rotura planar, el resultado obtenido para ambos métodos fue 0.83, lo que significa que el talud es inestable, ante esto se determina que hay desprendimiento de rocas, de manera que necesita medidas correctivas.

## 7. Discusión de resultados

El objetivo primordial del trabajo de titulación residía en llevar a cabo una investigación geológico-geotécnica del tramo vial comprendido entre los puntos denominados "Capiro" y "Conchicola", dicho segmento vial abarca una longitud de 3 kilómetros, ocupando una extensión territorial de 130 hectáreas; con el propósito de abordar con eficacia el desarrollo del estudio, se implementó una faja de análisis con una amplitud promedio de 200 metros a cada lado del eje central de la vía.

De acuerdo a Valarezo (2021) en su estudio realizado en la ciudad de Piñas empleando la metodología de Mora Vahrson (1994) establece la presencia mayoritariamente de pendientes "Altas" y "Muy Altas" seguidas de pendientes "Moderadas" y "Medias" dentro de su area de estudio. Lo que difiere con lo que se determinó en esta investigación desde la metodología empleada que fue la postulada por Demek (1972) hasta los resultados, debido a que, se estableció que predomina en su mayoría la categoría de pendientes "muy inclinadas" que abarca un 64% del área. La siguiente categoría, que representa el 24% del terreno, se refiere a "pendientes empinadas". Se registro también un porcentaje de un 9.43% para pendientes "fuertemente inclinadas", seguidas por la clase de pendientes "ligeramente inclinadas" con un 1%. Por último, se presentan pendientes "verticales", aunque con una presencia mínima representada por un escaso 0.11%.

La información colectada en campo guarda estrecha relación con la referida en la en la hoja geológica de Zaruma (1980). En la que la zona de investigación se encuentra dentro de la unidad geológica Esquistos de Capiro, que es parte de la serie de Tahuín; dentro de la historia geológica se considera a esta la más antigua de la región. No obstante, se ha observado una situación interesante al noreste del área de estudio, se ha detectado la presencia de riolitas, que se asocian con la formación Tarqui. Estas riolitas se consideran parte de un intrusivo, lo que sugiere que estas rocas ígneas más jóvenes han penetrado las capas geológicas preexistentes. Esta observación destaca la complejidad de la geología local y cómo los procesos geológicos a lo largo del tiempo han contribuido a la formación de diferentes tipos de rocas en la zona de estudio.

Dentro del contexto geológico del complejo ofiolítico de El Oro, donde se ubica el área de estudio, se observa una composición diversa de rocas. Entre los elementos notables se encuentran los cuerpos intrusivos, como la riolita expuesta en la superficie y el Plutón de Marcabeli, cuya identificación se logró mediante SEVs.

Además, predominan los materiales metamórficos, como pizarras, filitas, esquistos y lutitas, que confieren una variada complejidad a la región.

En el mismo mapa, es evidente la proximidad de la zona de falla Piñas – Portovelo, lo cual sugiere una posible relación con la presencia de rocas correspondientes a cuerpos intrusivos. Esta cercanía a una zona de actividad tectónica podría haber facilitado la emersión de estos cuerpos ígneos, y su asociación con las rocas metamórficas sugiere una historia geológica rica y dinámica en esta área. Estos hallazgos subrayan la importancia de entender los procesos tectónicos y magmáticos en la evolución geológica regional y su influencia en la composición y distribución de las rocas que encontramos en el terreno.

El enfoque directo seleccionado para el análisis geotécnico involucró la realización de calicatas, excavaciones de 1.50 metros de profundidad en los taludes bajo estudio. A través de este procedimiento, se determinó con certeza que el nivel freático no se encontraba presente hasta esa profundidad. Además de este hallazgo, se recolectaron muestras del suelo para su posterior análisis en laboratorio, buscando establecer sus propiedades fundamentales.

De acuerdo a Mora (2023) en su trabajo realizado en la Via Portete – La Chuva empleo la metodología de Bieniawski (1989) para la caracterización de los macizos rocosos compuestos por toba riolítica y riolita, teniendo, así como resultado para el RQD de calidad de roca muy mala a regular; un RMR de calidad mala a media; en relación al SMR los resultados reflejan inestabilidad en la zona; finalmente la obtención del GSI recalca la información previa con un resultado de calidad de roca mala. Ahora bien, para el desarrollo del presente trabajo se empleó la misma metodología teniendo así resultados diferentes puesto que el talud de roca que se analizó está compuesto de roca filitas, siendo así que el índice de calidad de la roca (RQD) es mala, para el RMR se tiene como resultado una calidad mala; nos dio que el macizo rocoso es inestable o lo mismo que quiere decir que estaría en una clase IV esto en relación al SMR; finalmente se obtuvo el resultado del GSI con un resultado de mala calidad de roca.

Estos resultados derivados de la caracterización en el campo proporcionan información crítica para comprender la calidad y la estabilidad del macizo rocoso en la zona de estudio. Dado que no se disponía de datos previos, este análisis directo en el terreno resultó esencial para el desarrollo adecuado de futuras decisiones

relacionadas con la ingeniería y la gestión de la infraestructura en esta área geográfica específica.

La herramienta elegida para llevar a cabo los cálculos fue el software Slide 6.0, una herramienta reconocida para el análisis de estabilidad de taludes. Se aplicaron varios métodos, incluyendo el método de Bishop Simplificado, el método de Janbú Simplificado y el método de Spencer. Además, se utilizaron fórmulas específicamente desarrolladas para abordar la estabilidad de taludes en suelos con características indefinidas.

Tras completar el análisis, los resultados revelaron la situación de los taludes en estudio. El talud 1, conformado por esquisto, exhibió una condición de inestabilidad. Esto se reflejó en un factor de seguridad de 0,904 en condiciones sin infiltración y 0.865 bajo condiciones de infiltración. De manera similar, el talud 2, también compuesto por esquisto, demostró una inestabilidad con un factor de seguridad de 0,649 en ausencia de infiltración y 0.621 en condiciones de infiltración. Por otro lado, el talud compuesto de roca filita se sometió a un análisis específico utilizando la fórmula orientada a la rotura planar y el software Rockplane 2.029. Los resultados de este análisis indicaron un factor de seguridad de 0.83, lo cual también señala una condición de inestabilidad en este talud.

El análisis de estabilidad mostró claramente que ambos taludes presentan problemas de inestabilidad que requieren atención y medidas correctivas. La implementación de estrategias para la estabilización efectiva de estos taludes se vuelve crucial para garantizar la seguridad y la integridad de las áreas circundantes y de cualquier infraestructura cercana. Estos hallazgos subrayan la importancia de una ingeniería geotécnica precisa y la toma de decisiones informadas en la planificación y el diseño de proyectos relacionados con taludes y áreas de terreno inclinado.

## 8. Conclusiones

La topografía de la zona exhibe una marcada sinuosidad, con elevaciones que varían entre 960 y 1105 metros, cubriendo un área total de 130 hectáreas. Esta área sirvió como base para el levantamiento geológico. En la geología local, se identificaron varios tipos de rocas, como esquistos, esquistos meteorizados, filitas, pizarras, pizarras meteorizadas y filitas, todos pertenecientes a la unidad de esquistos de Capiro. Además, se identificó la presencia de Riolita, que forma parte de la formación Tarqui, lo que sugiere la existencia de una intrusión.

Durante la observación directa en el campo no fue posible identificar estructuras geológicas claramente. Sin embargo, el uso de los SEVs inferir posibles zonas de contacto entre materiales a mayor profundidad entre la unidad de Esquistos de Capiro y la Unidad Plutón de Marcabeli. Esto nos ayudó a comprender la disposición estructural y litológica en profundidad, así como la relación entre las diferentes unidades geológicas presentes en el área de estudio. Aunque no se identificaron estructuras geológicas directas en el campo, estos métodos indirectos nos ayudaron a obtener información valiosa y significativa.

Para determinar las propiedades físico – mecánicas de los geomateriales se tomaron muestras de suelo y roca “*In situ*” que permitieron obtener la clasificación y tipo de suelo, según los estándares ASSHTO y SUCS. Según la clasificación ASSHTO, los resultados indican que el suelo corresponde a una mezcla de limo, grava y arena arcillosa o limosa. Por otro lado, bajo la clasificación SUCS, se define el suelo como una arena limosa con una fracción de grava presente. onde en su mayoría los materiales de la zona son limos, arcillas y arenas. Estos análisis directos y los resultados obtenidos brindan una visión detallada de las características geotécnicas del suelo en el área bajo estudio, sentando una base sólida para la toma de decisiones informadas en futuros desarrollos y proyectos que involucren la manipulación de este tipo de suelo en los taludes investigados.

Además, se llevaron a cabo ensayos de compresión simple para las muestras de roca obtenidas de los macizos y dos ensayos de corte directo para los taludes conformados por suelo, donde los datos obtenidos fueron valores residuales al ser las muestras tomadas superficialmente a una profundidad de 1 m.

Se realizó la caracterización de los macizos rocosos mediante el RQD, RMR89, GSI y SMR; El RQD obtenido fue de 49.98, lo que señala una calidad de roca en el rango de "mala"; el Índice de Calificación de Roca RMR (Rock Mass



Rating) con una categoría (IV), correspondiente a valores de 40-21. El Índice de Calificación de Roca SMR (Swedish Mass Rating), con un valor de 31.60, indicando una condición "mala" e "inestable" en términos de calidad de la roca; se utilizó el Sistema de Clasificación Geomecánica GSI (Geological Strength Index) con un valor de 33, que se traduce en una calidad "mala" del macizo rocoso.

Se determinó el factor de seguridad para los taludes en la zona de estudio en su estado actual, de lo que se determina que el factor de seguridad para los taludes 1 y 2 son inestables especialmente el talud 2 con un valor de 0,64 que se interpreta la zona con inestable, y finalmente el talud 3 que corresponde a un macizo rocoso compuesto por filitas nos da un factor de seguridad de 0,83 que igualmente refleja un talud inestable.

## 9. Recomendaciones

Se recomienda que este trabajo sea considerado como una valiosa fuente de apoyo para las autoridades competentes, quienes podrían utilizarlo como referencia fundamental en la toma de decisiones críticas. Este documento podría ser especialmente relevante para respaldar los estudios de riesgos en la zona, al proporcionar detalles de las condiciones geotécnicas y de estabilidad de los taludes más relevantes en el área. Además, este trabajo puede desempeñar un papel esencial en los análisis de proyectos de expansión rural, ya que ofrece información sustancial sobre las características del terreno y la geología local. La integración de estos conocimientos en la planificación y diseño de futuros proyectos podría contribuir en gran medida a la seguridad, eficiencia y éxito general de las iniciativas de desarrollo en la zona.

No se recomienda realizar excavaciones en los taludes para extraer materiales, ya que esto puede alterar las condiciones naturales de los mismos y potencialmente afectar su estabilidad. Los taludes pueden volverse más susceptibles a deslizamientos o colapsos debido a la pérdida de soporte y a la redistribución de las cargas, y de ser necesario implementar medidas de estabilización adicionales como se detalla a continuación:

El Talud 1, compuesto mayormente por esquistos, enfrenta una situación crítica debido a deslizamientos continuos que están causando daños en la infraestructura vial. Se recomienda una evaluación geotécnica detallada para comprender las causas de los deslizamientos, seguida por medidas de estabilización urgentes, como la instalación de sistemas de retención y mejoras en el drenaje. El monitoreo constante es esencial, y se debe restaurar la vía dañada. La colaboración con expertos en ingeniería geotécnica es crucial para abordar esta problemática de manera efectiva y garantizar la seguridad de la comunidad y la infraestructura.

El Talud 2, predominantemente compuesto por esquistos con un grado de meteorización media, presenta factores de seguridad relativamente bajos en múltiples métodos de análisis. Se recomienda realizar un análisis geotécnico minucioso y considerar medidas de estabilización adecuadas, como sistemas de refuerzo y sostenimiento, debido a la situación inestable del talud. La evaluación debe abordar la influencia de la meteorización en la resistencia. La seguridad de la zona y la protección de las personas son primordiales en cualquier intervención que se lleve a cabo.



El Talud 3, compuesto por rocas filitas nos da un factor de seguridad de 0,83 presenta inestabilidad por tanto es crucial tomar medidas inmediatas para reducir el riesgo. Se recomienda realizar un diseño que contenga medidas de estabilización, como sistemas de drenaje y muros de contención, así como también, establecer un programa de monitoreo continuo para abordar este problema de manera efectiva y segura, priorizando la seguridad de la comunidad.

## 10. Bibliografía

- Paladines Paladines, A., & Soto Luzuriaga, J. E. (2010). *Geología y Yacimientos Minerales del Ecuador*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja - UTPL.
- American Society for Testing and Materials. (1995 ). *Classification of Soils for Engineering Purposes: Annual Book of ASTM Standards*. Obtenido de [astm.org/Standards/D2487.htm](http://astm.org/Standards/D2487.htm)
- Billings,, M. (1974). *Geología estructural* (Cuarta ed.). Buenos Aires, Argentina.
- Blyth , F., & Freitas, M. (2003). *Geología para ingenieros* . CECSA.
- Caminos Naturales . (2016). *Estabilización de taludes*. Obtenido de [www.mapa.gob.es](http://www.mapa.gob.es): [https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/caminos-naturales/6.5.%20Estabilizaci%C3%B3n%20de%20taludes\\_tcm30-140113.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/caminos-naturales/6.5.%20Estabilizaci%C3%B3n%20de%20taludes_tcm30-140113.pdf)
- Condoy, M. (2010). *Rocas Sedimentarias* . Obtenido de <http://usuarios.geofisica.unam.mx/gvazquez/yacimientosELIA/zonadesplegar/Clases/Clase%205%20Rocas%20sedimentarias.pdf>
- Echevereste, H. (2008). *Manual de Levantamiento Geologico*. Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata.
- GAD CAPIRO. (Septiembre de 2015). *PROYECTO DE DESARROLLO ORDENAMIENTO TERRIOTORIAL* . Obtenido de [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0760030680001\\_PDOT%20CAPIRO%202015\\_29-10-2015\\_20-22-38.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0760030680001_PDOT%20CAPIRO%202015_29-10-2015_20-22-38.pdf)
- GAD PIÑAS. (2015). *Actualizacion Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantonal*. Obtenido de [app.sni.gob.ec](http://app.sni.gob.ec): [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/0760000850001\\_PDOT%20PI%C3%91AS%20DIAGN%C3%93STICO\\_16-03-2015\\_23-39-35.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0760000850001_PDOT%20PI%C3%91AS%20DIAGN%C3%93STICO_16-03-2015_23-39-35.pdf)
- GEOLOGIAWEB. (2020). *Métodos o medidas de estabilización de taludes*. Obtenido de <https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/metodos-medidas-estabilizacion-taludes/#:~:text=Con%20la%20modificaci%C3%B3n%20de%20la,disminuir%20la%20inclinaci%C3%B3n%20del%20talud>



- George, P. (1974). *Diccionario de la Geografía*. . Francia: Presses Universitaires de France. .
- Griem, W. (2020). *Mapeo y confección de un mapa geológico*. Obtenido de [www.geovirtual2.cl](http://www.geovirtual2.cl):  
<https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap10f.htm>
- Ingenieroa ML . (2019). *PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA TALUDES DE CONTENCIÓN REFUERZO DE SUELO CON GEOMALLA Y ACABADO VEGETADO*. Obtenido de <https://mlingenieria.com/wp-content/uploads/2016/04/procedimiento%20vegetado.pdf>
- Mesias, D. (2018). *ESTABILIZACIÓN DE TALUDES APLICANDO EL PROGRAMA GEOTÉCNICO GEO & SOFT Y APLICACIÓN PRÁCTICA EN TALUD DE LA VÍA PIFO*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Montero Olarte, J. (2017). *Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Nieto, A. (2022). *Geología general del nororiente ecuatoriano*. Obtenido de [www.eird.org](http://www.eird.org):  
<https://www.eird.org/deslizamientos/pdf/spa/doc15079/doc15079-c.pdf>
- PREFECTURA EL ORO. (2018). *Plan desarrollo, ordenamiento territorial*. Obtenido de [app.sni.gob.ec](http://app.sni.gob.ec): [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0760000180001\\_PDYOT-PROVINCIA%20EL%20ORO-14-08-2015\\_14-08-2015\\_18-31-46.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0760000180001_PDYOT-PROVINCIA%20EL%20ORO-14-08-2015_14-08-2015_18-31-46.pdf)
- Rincón Mario, V. W. (2017). *Topografía: Conceptos y Aplicaciones*. Bogotá: ECOE Ediciones.
- Rincón Villalba, M., Vargas V, W., & Gonzales V, C. (2017). *TPOGRAFIA Y CONCEPTOS BASICOS*. ECOE EDICIONES.
- Robador Moreno, A. (2017). Mapas geológicos. En F. J. González Matesanz, & M. V. Pérez de Vargas, *Evolución del posicionamiento y los Sistemas Geodésicos de Referencia en España* (págs. 91-105). Madrid: Instituto Geográfico Nacional .
- Servicio Geologico Mexicano . (22 de 03 de 2017). Obtenido de <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Rocas-sedimentarias.html>
- Seyfried, H., Worrier, G., Uhlig, D., Kohler, I., & Calvo, C. (Junio de 1998). *INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA Y MORFOLOGÍA DE LOS ANDES EN*



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

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

EL NORTE DE CHILE. Obtenido de Scielo.cl:  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-73561998000100002>

SIG TIERRAS. (Abril de 2015). *Memoria técnica, Geomorfología del cantón Piñas*.  
Obtenido de <http://metadatos.sigtierras.gob.ec>:  
[http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria\\_tecnica\\_Geomorfologia\\_PI%  
C3%91AS\\_20151117.pdf](http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria_tecnica_Geomorfologia_PI%C3%91AS_20151117.pdf)

SIG TIERRAS. (Abril de 2015). *Memoria técnica, Geomorfología del cantón Zaruma*.  
Recuperado el Diciembre de 2022, de <http://metadatos.sigtierras.gob.ec>:  
[http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria\\_tecnica\\_Geomorfologia\\_ZAR  
UMA\\_20151117.pdf](http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Memoria_tecnica_Geomorfologia_ZARUMA_20151117.pdf)

Simons, G. G. (1970). *La Ciencia Histórica. En Filosofía de la Geología*. Mexico: C. Albritton Ed.

Tarbut, E. J., & Lutgens, F. K. (2005). *Ciencias de la tierra. Una introducción a la geología física* (8va ed.). Madrid: Pearson Educación S. A.

Tobar, J. (05 de Enero de 2021). *Los Movimientos en Masa como Amenaza Natural*.  
Obtenido de El Oriente: [https://www.eloriente.com/articulo/los-movimientos-  
en-masa-como-amenaza-natural/16494](https://www.eloriente.com/articulo/los-movimientos-en-masa-como-amenaza-natural/16494)

Tooth, S., & Viles, H. (2019). *10 razones por las cuales la geomorfología es importante*. Argentina: British Society for Geomorphology.

TRAGSA Y TRAGSATEC. (1994). *Restauración hidrológico – forestal de cuencas y control de la erosión*. Madrid.

Universidad del País Vasco. (2022). *¿Qué es la geología?* Obtenido de [www.ehu.es](http://www.ehu.es):  
<https://www.ehu.es/es/web/geologia/zer-da-geologia>

Wolf, P. R., & Ghilani, C. D. (2016). *Topografía* (catorceava ed.). Mexico: Alfaomega Grupo Editor, S.A. Recuperado el 28 de Junio de 2022, de [https://www.academia.edu/45601336/Topograf%C3%ADa\\_Topograf%C3%ADa  
Da\\_Decimocuarta\\_edici%C3%B3n](https://www.academia.edu/45601336/Topograf%C3%ADa_Topograf%C3%ADa_Decimocuarta_edici%C3%B3n)



## 11. Anexos

### *Anexo 1 Ficha de campo para la descripción de afloramientos*

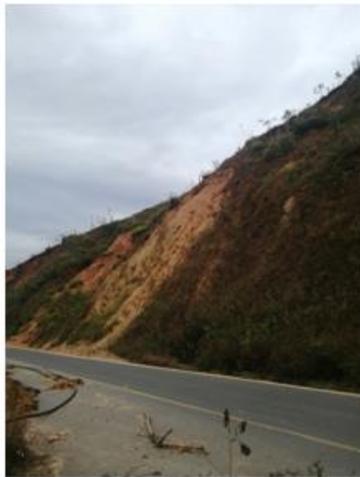
<b>FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS</b>		
<b>Nro. de afloramiento</b>	<b>Fecha</b>	
<b>Tipo de afloramiento</b>	<b>Unidad geológica</b>	
<b>Coordenadas de ubicación</b>		
<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>Tipo de roca o material</b>		
<b>Ígnea</b>	<b>Metamórfico</b>	<b>Sedimentario</b>
<b>Fotografía</b>		
<b>Dimensiones</b>		<b>Nro. de estratos</b>
<b>Largo</b>	<b>Alto</b>	
<b>Características del afloramiento</b>		
<b>Buzamiento</b>	<b>Dir. Buzamiento</b>	<b>Rumbo</b>
<b>Descripción del afloramiento</b>		

## Anexo 2 Descripción de afloramientos

FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS			
Nro. de afloramiento	AFL 1	Fecha	11-02-2023
Tipo de afloramiento	Antrópico	Unidad geológica	Esquistos de Capiro
Coordenadas de ubicación			
X (m)	Y (x)	Z (m)	
643155	9585829	1208	
Tipo de roca o material			
Ignea	Metamórfico	Sedimentario	
x			
Fotografía			
			
Dimensiones		Nro. de estratos	
Largo (m)	Alto (m)	s/n	
20	15		
Características del afloramiento			
Dir.			
Buzamiento	s/n	Buzamiento	s/n
Rumbo			
s/n			
Descripción del afloramiento			
Afloramiento ubicado en la parte inicial del área de estudio compuesto principalmente por material metamórfico correspondiente a esquistos en meteorización, presenta pequeños fragmentos de rocas. Cubierto de vegetación herbácea.			

FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS			
Nro. de afloramiento	AFL 2	Fecha	11-02-2023
Tipo de afloramiento	Antrópico	Unidad geológica	Esquistos de Capiro
Coordenadas de ubicación			
X (m)	Y (x)	Z (m)	
643167	9585723	1205	
Tipo de roca o material			
Ignea	Metamórfico	Sedimentario	
x			
Fotografía			
			
Dimensiones		Nro. de estratos	
Largo (m)	Alto (m)	s/n	
20	15		
Características del afloramiento			
Dir.			
Buzamiento	s/n	Buzamiento	s/n
Rumbo			
s/n			
Descripción del afloramiento			
Afloramiento ubicado en la parte NE del área de estudio compuesto principalmente por material metamórfico correspondiente a esquistos en meteorización, presenta pequeños fragmentos de rocas. Cubierto de vegetación herbácea. Se puede observar la intrusión de las raíces de los árboles en la parte superior lo que da origen a la meteorización biológica.			

FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS			
Nro. de afloramiento	AFL 3	Fecha	11-02-2023
Tipo de afloramiento	Antropico	Unidad geológica	Esquistos de Capiro
Coordenadas de ubicación			
X (m)	Y (x)	Z (m)	
643166	9585693	1199	
Tipo de roca o material			
Ignea	Metamórfico	Sedimentario	
x			
Fotografía			
			
Dimensiones			
Largo (m)	Alto (m)	Nro. de estratos	
10	6	s/n	
Características del afloramiento			
Dir.			
Buzamiento	s/n	Buzamiento	s/n
Rumbo			
s/n			
Descripción del afloramiento			
Material metamórfico a pie de talud, relacionado a esquistos meteorizados. Cubierto de vegetación arbustiva y herbácea			

FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS			
Nro. de afloramiento	AFL 4	Fecha	11-02-2023
Tipo de afloramiento	Antropico	Unidad geológica	Esquistos de Capiro
Coordenadas de ubicación			
X (m)	Y (x)	Z (m)	
643056	9585613	1195	
Tipo de roca o material			
Ignea	Metamórfico	Sedimentario	
x			
Fotografía			
			
Dimensiones			
Largo (m)	Alto (m)	Nro. de estratos	
17	20	s/n	
Características del afloramiento			
Dir.			
Buzamiento	s/n	Buzamiento	s/n
Rumbo			
s/n			
Descripción del afloramiento			
Aflora en superficie material correspondiente a roca ígneas riolita que es un producto subvolcanico. Se puede observar daño en la vía.			

FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS			
Nro. de afloramiento	AFL 5	Fecha	11-02-2023
Tipo de afloramiento	Antrópico	Unidad geológica	Esquistos de Capiro
Coordenadas de ubicación			
X (m)	Y (x)	Z (m)	
642892	9585622	1179	
Tipo de roca o material			
Ignea	Metamórfico	Sedimentario	
x			
Fotografía			
			
Dimensiones		Nro. de estratos	
Largo (m)	Alto (m)	s/n	
10	14		
Características del afloramiento			
Buzamiento	Dir.	Rumbo	s/n
s/n	Buzamiento	s/n	
Descripción del afloramiento			
Aflora en superficie material correspondiente a roca ígneas riolita que es un producto subvolcanico. Cubierto de material sedimentario producto de la meteorización.			

FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS			
Nro. de afloramiento	AFL 6	Fecha	11-02-2023
Tipo de afloramiento	Antrópico	Unidad geológica	Esquistos de Capiro
Coordenadas de ubicación			
X (m)	Y (x)	Z (m)	
642853,745	9585652,7	1174	
Tipo de roca o material			
Ignea	Metamórfico	Sedimentario	
x			
Fotografía			
			
Dimensiones		Nro. de estratos	
Largo (m)	Alto (m)	s/n	
10	14		
Características del afloramiento			
Buzamiento	Dir.	Rumbo	s/n
s/n	Buzamiento	s/n	
Descripción del afloramiento			
Aflora en superficie material correspondiente a roca ígneas riolita que es un producto subvolcanico. Cubierto de material sedimentario producto de la meteorización. La vía presenta daño			

FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS					
<b>Nro. de afloramiento</b>		AFL 7		<b>Fecha</b> 11-02-2023	
<b>Tipo de afloramiento</b>		Antrópico		<b>Unidad geológica</b> Esquistos de Capiro	
<b>Coordenadas de ubicación</b>					
<b>X (m)</b>		<b>Y (x)</b>		<b>Z (m)</b>	
642789		9585668		1055	
<b>Tipo de roca o material</b>					
<b>Ignea</b>		<b>Metamórfico</b>		<b>Sedimentario</b>	
x					
<b>Fotografía</b>					
					
<b>Dimensiones</b>			<b>Nro. de estratos</b>		
<b>Largo (m)</b>		<b>Alto (m)</b>			
10		14		s/n	
<b>Características del afloramiento</b>					
<b>Buzamiento</b>		<b>Dir. Buzamiento</b>		<b>Rumbo</b>	
s/n		s/n		s/n	
<b>Descripción del afloramiento</b>					
Aflora en superficie material correspondiente a roca ígneas riolita que es un producto subvolcanico. Cubierto de material sedimentario producto de la meteorización.					

FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS					
<b>Nro. de afloramiento</b>		AFL 8		<b>Fecha</b> 11-02-2023	
<b>Tipo de afloramiento</b>		Antrópico		<b>Unidad geológica</b> Esquistos de Capiro	
<b>Coordenadas de ubicación</b>					
<b>X (m)</b>		<b>Y (x)</b>		<b>Z (m)</b>	
642742,943		9585790,64		1072	
<b>Tipo de roca o material</b>					
<b>Ignea</b>		<b>Metamórfico</b>		<b>Sedimentario</b>	
x					
<b>Fotografía</b>					
					
<b>Dimensiones</b>			<b>Nro. de estratos</b>		
<b>Largo (m)</b>		<b>Alto (m)</b>			
11		8		s/n	
<b>Características del afloramiento</b>					
<b>Buzamiento</b>		<b>Dir. Buzamiento</b>		<b>Rumbo</b>	
s/n		s/n		s/n	
<b>Descripción del afloramiento</b>					
Material metamórfico relacionado a esquistos meteorizado. Se observa desprendimiento de masas. La parte superior se usa para cultivos / pastoreo					

FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS					
Nro. de afloramiento	AFL 9		Fecha	11-02-2023	
Tipo de afloramiento	Antrópico		Unidad geológica	Esquistos de Capiro	
Coordenadas de ubicación					
X (m)	Y (x)		Z (m)		
642325,199	9585557,57		1072		
Tipo de roca o material					
Ignea	Metamórfico		Sedimentario		
x					
Fotografía					
					
Dimensiones			Nro. de estratos		
Largo (m)	Alto (m)		s/n		
22	12				
Características del afloramiento					
Dir.					
Buzamiento	s/n	Dir.	s/n	Rumbo	s/n
Buzamiento					
Descripción del afloramiento					
Material metamórfico relacionado a esquistos meteorizado. Se observa desprendimiento de masas. La parte superior se usa para cultivos / pastoreo.					

FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS					
Nro. de afloramiento	AFL 10		Fecha	11-02-2023	
Tipo de afloramiento	Antrópico		Unidad geológica	Esquistos de Capiro	
Coordenadas de ubicación					
X (m)	Y (x)		Z (m)		
642325,199	9585557,57		1072		
Tipo de roca o material					
Ignea	Metamórfico		Sedimentario		
x					
Fotografía					
					
Dimensiones			Nro. de estratos		
Largo (m)	Alto (m)		s/n		
17	10				
Características del afloramiento					
Dir.					
Buzamiento	s/n	Dir.	s/n	Rumbo	s/n
Buzamiento					
Descripción del afloramiento					
Material metamórfico relacionado a esquistos meteorizado. Se observa desprendimiento de masas. Contiene pequeños fragmentos de roca. Se encuentra ligeramente húmedo.					

FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS			
Nro. de afloramiento	AFL 11	Fecha	11-02-2023
Tipo de afloramiento	Antrópico	Unidad geológica	Esquistos de Capiro
Coordenadas de ubicación			
X (m)	Y (x)	Z (m)	
642255,179	9585356,52	1077	
Tipo de roca o material			
Ignea	Metamórfico	Sedimentario	
x			
Fotografía			
			
Dimensiones			
Largo (m)	Alto (m)	Nro. de estratos	
5	7	s/n	
Características del afloramiento			
Dir.			
Buzamiento	s/n	Dir. Buzamiento	s/n
		Rumbo	s/n
Descripción del afloramiento			
Material metamórfico relacionado a esquistos meteorizado. Se observa desprendimiento de masas. Contiene pequeños fragmentos de roca. Se encuentra ligeramente húmedo.			

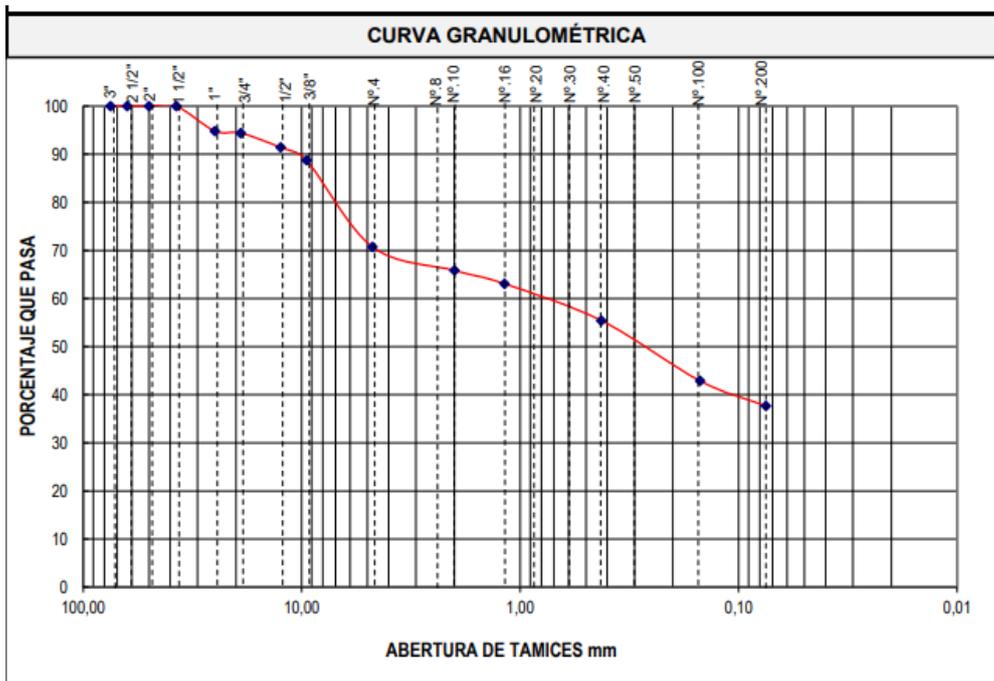
FICHAS DE DESCRIPCIÓN DE AFLORAMIENTOS			
Nro. de afloramiento	AFL 12	Fecha	11-02-2023
Tipo de afloramiento	Antrópico	Unidad geológica	Esquistos de Capiro
Coordenadas de ubicación			
X (m)	Y (x)	Z (m)	
642112	9585283	1077	
Tipo de roca o material			
Ignea	Metamórfico	Sedimentario	
x			
Fotografía			
			
Dimensiones			
Largo (m)	Alto (m)	Nro. de estratos	
19	14	s/n	
Características del afloramiento			
Dir.			
Buzamiento	s/n	Dir. Buzamiento	s/n
		Rumbo	s/n
Descripción del afloramiento			
Material metamórfico relacionado a esquistos meteorizado. Se observa desprendimiento de masas. Contiene pequeños fragmentos de roca. Con un sistema de terraceo. El terreno es usado en labores agrícolas.			

FICHAS DE DESCRIPCION DE AFLORAMIENTOS			
Nro. de afloramiento	AFL 13	Fecha	11-02-2023
Tipo de afloramiento	Antropico	Unidad geológica	Esquistos de Capiro
Coordenadas de ubicación			
X (m)	Y (x)	Z (m)	
642029,589	9585334,22	1071	
Tipo de roca o material			
Ignea	Metamórfico	Sedimentario	
x			
Fotografía			
			
Dimensiones		Nro. de estratos	
Largo (m)	Alto (m)	s/n	
50	50		
Características del afloramiento			
Buzamiento	Dir.	Buzamiento	Rumbo
s/n	s/n	s/n	s/n
Descripción del afloramiento			
Material metamórfico relacionado a esquistos meteorizado. Se observa desprendimiento de masas. Es uno de los afloramientos mas grandes de la zona de estudio.			

FICHAS DE DESCRIPCION DE AFLORAMIENTOS			
Nro. de afloramiento	AFL 14	Fecha	11-02-2023
Tipo de afloramiento	Antropico	Unidad geológica	Esquistos de Capiro
Coordenadas de ubicacion			
X (m)	Y (x)	Z (m)	
641908,872	9583276,35	1080	
Tipo de roca o material			
Ignea	Metamórfico	Sedimentario	
x			
Fotografía			
			
Dimensiones		Nro. de estratos	
Largo (m)	Alto (m)	s/n	
8	5		
Características del afloramiento			
Buzamiento	Dir.	Buzamiento	Rumbo
s/n	s/n	s/n	s/n
Descripción del afloramiento			
Aflora rocas riolíticas. Cubierto por vegetacion herbacea en su gran mayoria y por arbustos. En el pie se pueden observar detritos producto de la meteorización.			

### Anexo 3 Análisis de suelo, Muestra 1.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37,5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	114	5	95	
19	3/4"	123	6	94	
12,5	1/2"	189	9	91	
9,5	3/8"	248	11	89	
4,750	Nº.4	644	29	71	
	<b>Pasa Nº.4</b>	<b>1556</b>	<b>71</b>	<b>29</b>	
2,360	Nº.8				
2,000	Nº.10	16	5	66	
1,180	Nº.16	25	8	63	
0,850	Nº.20				
0,600	Nº.30				
0,425	Nº.40	50	15	55	
0,300	Nº.50				
0,150	Nº.100	91	28	43	
0,075	Nº.200	108	33	37,7	
	<b>Pasa Nº.200</b>	<b>123</b>	<b>37,7</b>		
	<b>TOTAL</b>	<b>2200</b>			
Peso Total de Lavado:			231,00		
Peso Total después de Lavado:			108,00		



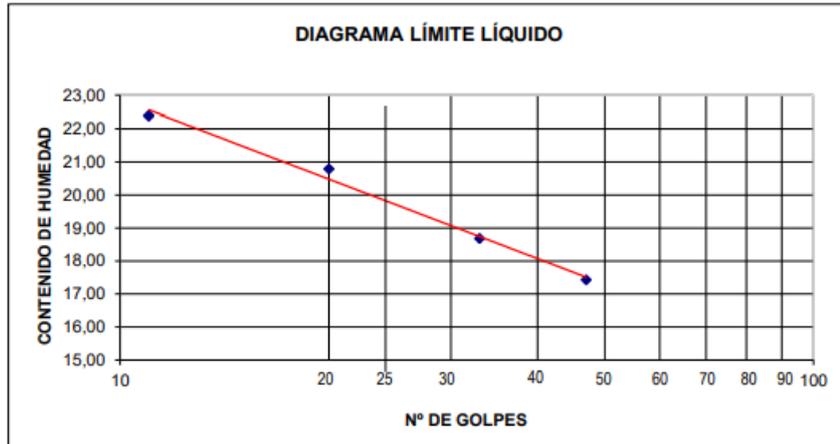
CONTENIDO DE HUMEDAD				
PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPSULA	% DE HUMEDAD	RESULTADO
80,13	72,53	17,57	13,83	13,71
82,35	74,65	17,96	13,58	

### LIMITES DE CONSISTENCIA

#### LÍMITE LÍQUIDO

NUMERO DE CÁPSULA	41	43	29	30
Peso de la Cápsula (gr.)	17,95	18,12	17,33	17,87
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo(gr.)	30,25	30,32	30,23	30,74
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr.)	28,00	28,22	28,20	28,83
Peso del suelo Seco (gr.)	10,05	10,10	10,87	10,96
Peso del Agua (gr.)	2,25	2,10	2,03	1,91
Contenido de Humedad (%)	22,39	20,79	18,68	17,43
NUMERO DE GOLPES	11	20	33	47

#### DIAGRAMA LÍMITE LÍQUIDO

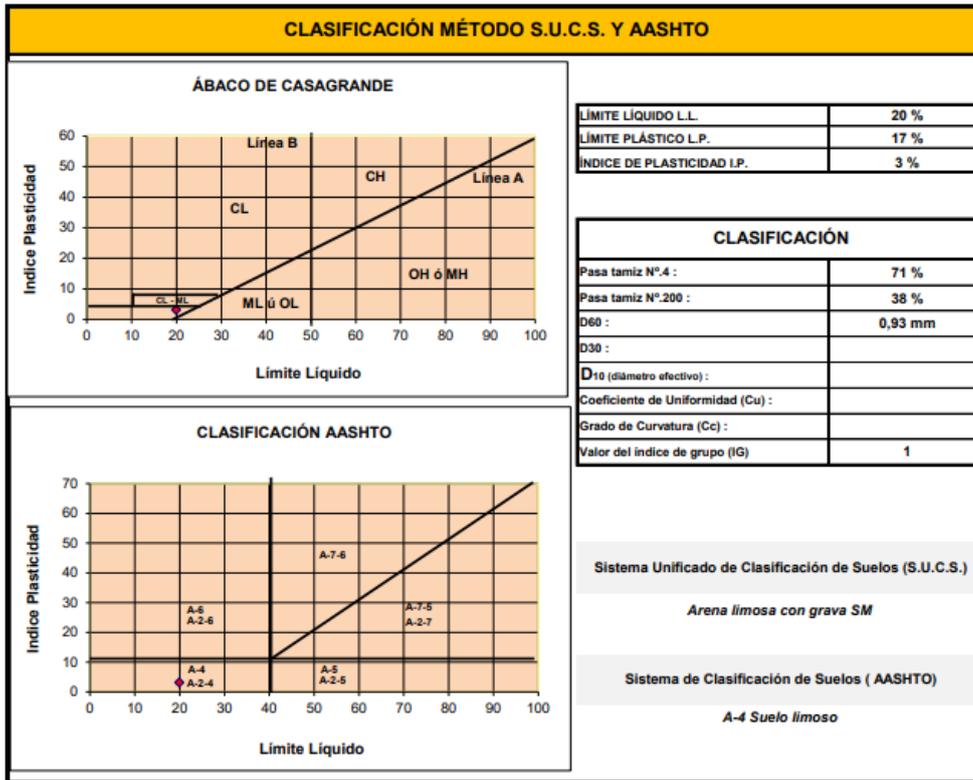


#### LÍMITE PLÁSTICO

NUMERO DE CÁPSULA	5	31	32
Peso de la Cápsula (gr.)	10,16	9,91	9,99
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo(gr.)	10,92	10,67	10,70
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr.)	10,81	10,56	10,60
Peso del suelo Seco (gr.)	0,65	0,65	0,61
Peso del Agua (gr.)	0,11	0,11	0,10
Contenido de Humedad (%)	16,92	16,92	16,39
Contenido Medio de Humedad (%)	L.P.= 16,74 %		

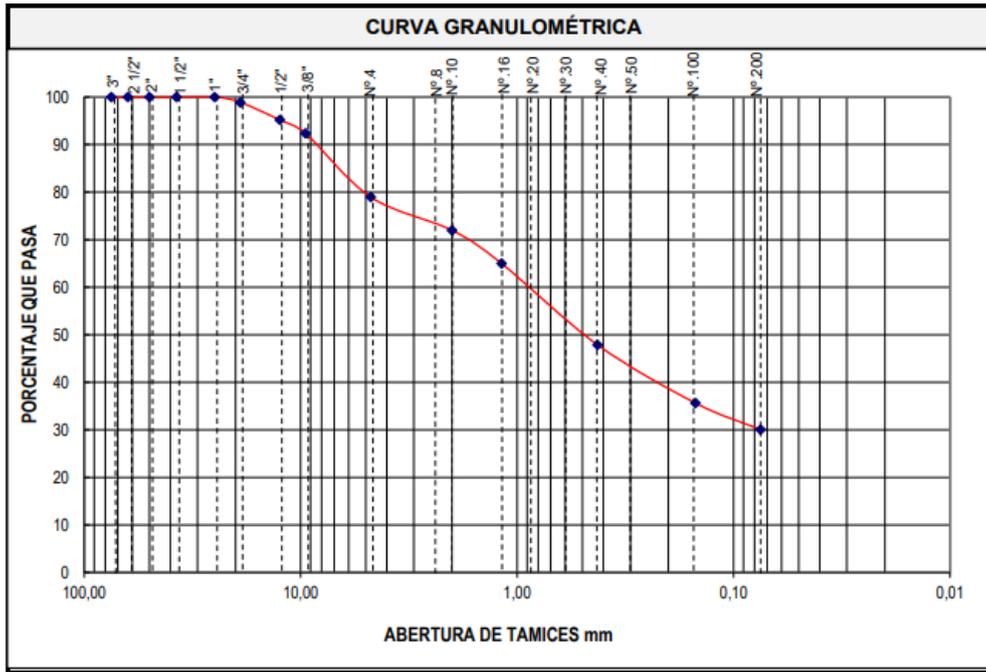
#### RESULTADOS

VALORES ENSAYO	VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA
L.L. = 19,9%	L.L. = 20%
L.P. = 16,7 %	L.P. = 17 %
I.P. = 3,2%	I.P. = 3%



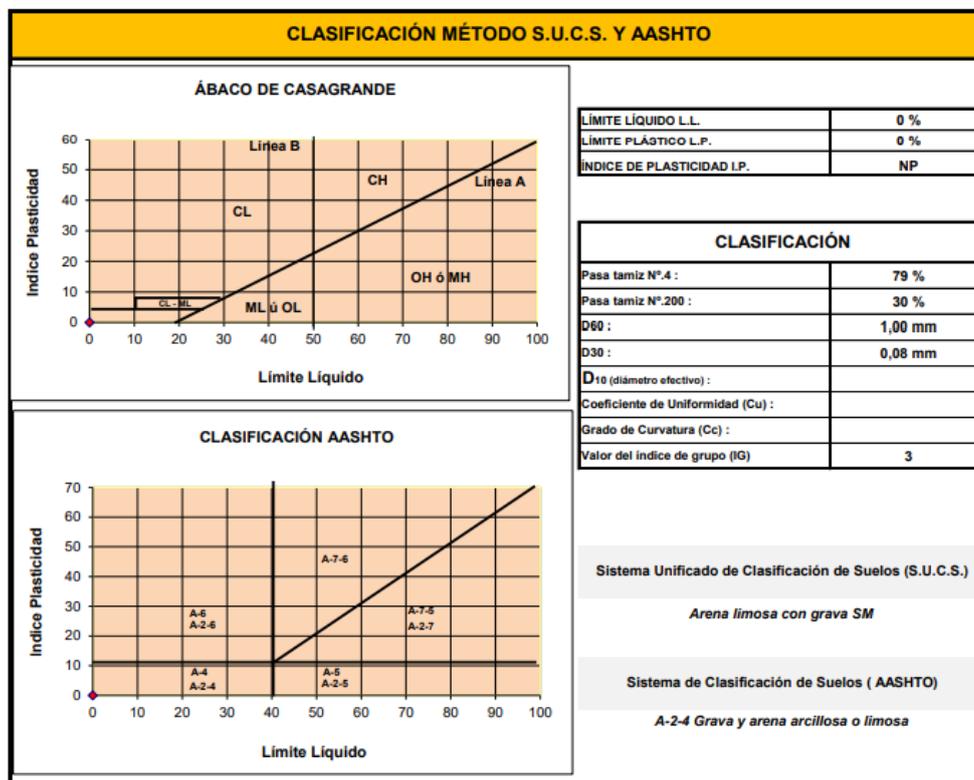
**Anexo 4** Análisis de suelo, Muestra 2

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37,5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	33	1	99	
12,5	1/2"	141	5	95	
9,5	3/8"	224	8	92	
4,750	N°.4	617	21	79	
	Pasa N°.4	2315	79	21	
2,360	N°.8				
2,000	N°.10	20	7	72	
1,180	N°.16	40	14	65	
0,850	N°.20				
0,600	N°.30				
0,425	N°.40	89	31	48	
0,300	N°.50				
0,150	N°.100	124	43	36	
0,075	N°.200	140	49	30,0	
	Pasa N°.200	86	30,0		
	<b>TOTAL</b>	<b>2932</b>			
Peso Total de Lavado:			226,00		
Peso Total después de Lavado:			140,00		

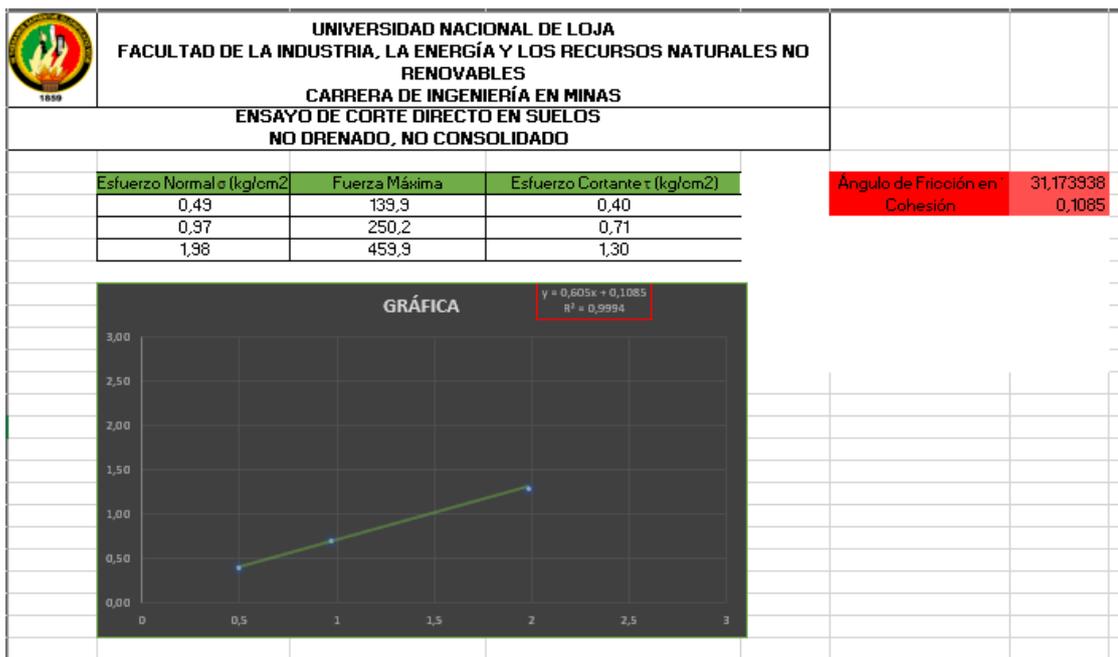
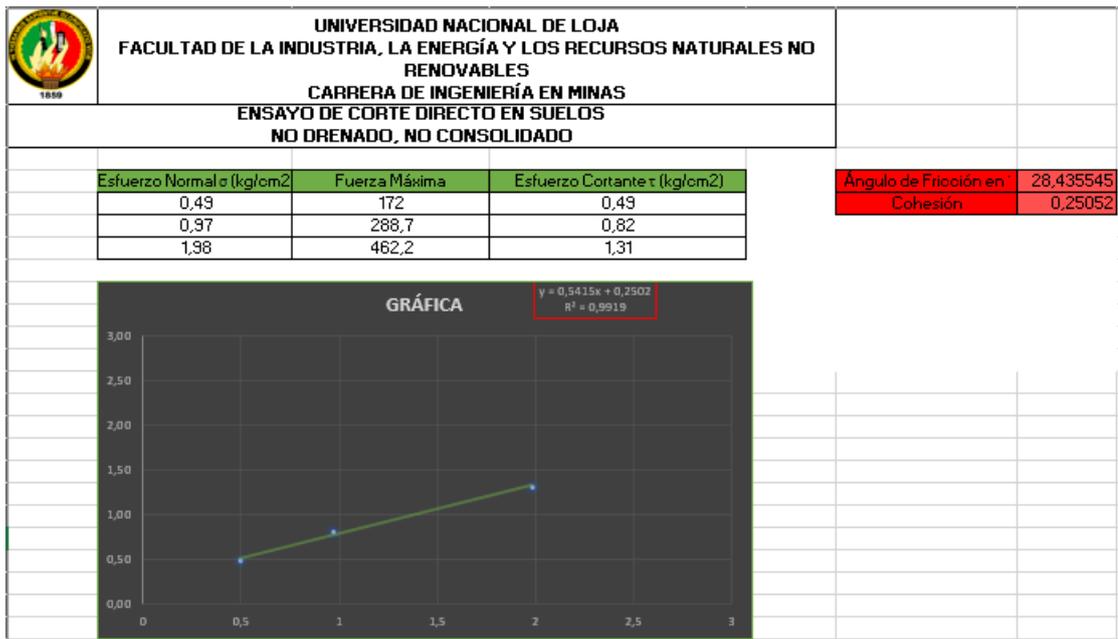


### CONTENIDO DE HUMEDAD

PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPSULA	% DE HUMEDAD	RESULTADO
70,75	64,48	17,88	13,45	<b>13,29</b>
68,69	62,82	18,12	13,13	



**Anexo 5 Resultados del ensayo de corte directo**





unl

Universidad Nacional de Loja

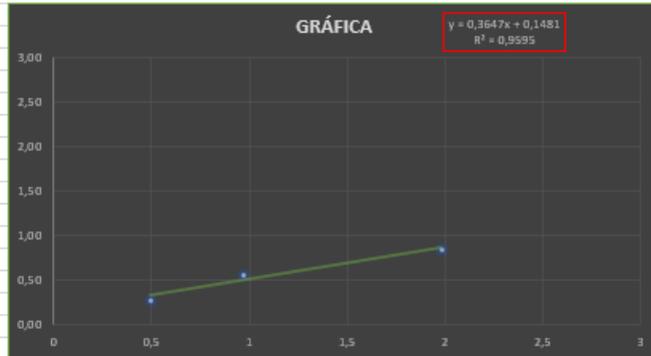
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA  
FACULTAD DE LA INDUSTRIA, LA ENERGIA Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES  
CARRERA DE INGENIERIA EN MINAS  
ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS  
NO DRENADO, NO CONSOLIDADO**

Esfuerzo Normal $\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza Máxima	Esfuerzo Cortante $\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )
0,49	100	0,28
0,97	200	0,57
1,98	300	0,85

Ángulo de Fricción en	20,036913
Cohesión	0,1481



*Anexo 6 Fichas técnicas para la caracterización del macizo rocoso*

PROYECTO:			ZONA:			HOGAR/PLANO:		
REALIZADO POR:			LOCALIZACIÓN:			FOTO:		
FECHA:								
LITOLÓGIA	NATURALEZA:			POTENCIA:		FORMACIÓN Y EDAD:		
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA:			MORFOLOGÍA:		ESPEZOR:		
ESTRUCTURA	PLIEGUES		FALLAS		OTROS:			
FRAGMENTACIÓN	BLOQUES N Juntas/m <sup>3</sup>	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy fragmentado >60	
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente blanda (uña) 0	Muy blanda (navaja) 1	Blanda (punta de martillo) 2	Medio (1 golpe martillo) 3	Duro (+1 golpe martillo) 4	Muy duro (varios golpes) 5	Extremadamente Duro (sólo raya con martillo) 6	
GRADOS DE METEORIZACION	I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (3)		III Moderadamente alterada (2)		IV Muy alterada (1)	
HIPODIOLOGÍA	Sin presencia de agua		Seco (sin señales de agua)		Húmedo		Goteos Flujo CAUDAL ESTIMADO:	
MUESTRAS	OBSERVACIONES:							
ARBORENTAMENTO					CROQUIS			



**Anexo 7**  
*RMR para la junta 1 del macizo rocoso*

PARAMETRO		RANGO DE VALORES							
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple		
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	<b>Puntuación</b>		<b>15</b>	<b>12</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	<b>Puntuación</b>		<b>20</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>6</b>	<b>3</b>		
3	Separación entre diaclasas (m)		>2	0.6-2	0.2-0.6	0.06-0.2	<0.06		
	<b>Puntuación</b>		<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud (m)	<1	1-3	3-10	10-20	>20		
		<b>Puntuación</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
		Abertura (mm)	Nada	<0.1	0.1-1	1-5	>5		
		<b>Puntuación</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
		Relleno (mm)	Ninguno	Duro <5	Duro >5	Blando <5	Blando >5		
		<b>Puntuación</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		<b>puntuación</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		<b>Puntuación</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>		
5	Agua freática	Relación: presión de agua/tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		<b>Puntuación</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>0</b>		
<b>Valor RMR</b>			<b>39</b>						

## Anexo 8

### RMR para la junta 2 del macizo rocoso

Clasificación para el RMR de Bieniawski 1989. J2									
1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (Mpa)		
			>250	250-100	100-50	50-25	25-	5-	<1
			Compresión Simple				5	1	
Puntuación			15	12	7	4	2	1 0	
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
		Puntuación	20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0,06m		
		Puntuación	20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
			Puntuación	6	4	3	1	0	
			Abertura	Nada	<0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm	
			Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave	
			Puntuación	6	5	3	1	0	
			Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm	
			Puntuación	6	4	2	2	0	
			Alteración	Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente alterado	Muy alterada	Descompuesta	
			Puntuación	6	5	3	1	0	
			5	Agua Freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min
Relación: Presión de agua/tensión principal mayor	0	0-0.1				0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5	
Estado General	Seco	Ligeramente Húmedo				Húmedo	Goteando	Agua Fluyendo	
Puntuación	15	10				7	4	0	
<b>TOTAL</b>							<b>39</b>		

## Anexo 9

### RMR para la junta 3 del macizo rocoso

Clasificación para el RMR de Bieniawski 1989. J3									
1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (Mpa)		
			>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1
	Compresión Simple						5	1	
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
		Puntuación	20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0,06m		
		Puntuación	20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m		
			Puntuación	6	4	3	1	0	
		Abertura	Nada	<0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente alterado	Muy alterada	Descompuesta		
Puntuación	6	5	3	1	0				
5	Agua Freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
			Relación: Presión de agua/tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5	
		Estado General	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Agua Fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		
<b>TOTAL</b>							<b>36</b>		



- Anexo 10** Mapa de ubicación de la zona de estudio
- Anexo 11** Mapa de pendientes
- Anexo 12** Mapa de Geomorfología
- Anexo 13** Mapa de la Geología Regional
- Anexo 14** Mapa de la Topografía
- Anexo 15** Mapa de Ubicación de Afloramientos
- Anexo 16** Mapa de Ubicación de calicatas
- Anexo 17** Mapa de Ubicación de las líneas de SEVs
- Anexo 18** Mapa de Ubicación de los taludes para compresión simple
- Anexo 19** Mapa de Ubicación de los taludes para el Factor de Seguridad
- Anexo 20** Mapa Geológico

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



unl

Universidad  
Nacional  
de Loja

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

**Anexo 21** Certificado de la Traducción del resumen

Loja, 27 de noviembre del 2023

Yo, Fabiola Esperanza Ramírez Maldonado, con documento de identidad Nro. **1101949624**, Licencia en Ciencias de la Educación, Especialidad Inglés

**CERTIFICO:**

Que el documento aquí compuesto es fiel a la traducción del idioma español al idioma inglés de un resumen del Trabajo de Titulación el cual se realizó en base a los documentos originales entregados por el autor de la misma el Sr. **ALEX ADRIAN LOAIZA CHAMBA**, con cédula identidad Nro. **0705911139**, con el tema denominado “Caracterización Geológica-Geotécnica de la Vía Capiro-Conchicola Ubicada en la Parroquia Capiro, Cantón Piñas, Provincia de El Oro”, traducción que servirán para fines personales 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.

Fabiola Esperanza Ramírez Maldonado

C.I: 1101949624