



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

SEDE MORONA SANTIAGO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y MINAS

**“ESTUDIO GEOLÓGICO PARA DETERMINAR LAS CAUSAS
DEL MOVIMIENTO DE MASAS, QUE AFECTA LA
INFRAESTRUCTURA DEL SECTOR LA DOLOROSA Y SAN
BARTOLO, DE LA PARROQUIA COPAL.”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

AUTOR: JONATAN MICHAEL SARMIENTO VALLEJO

DIRECTORA: Ing. JENNY PRISCILA GRANJA CARRERA MSc.

Macas – Ecuador

2021

© 2021, **Jonatan Michael Sarmiento**

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

Yo, JONATAN MICHAEL SARMIENTO VALLEJO, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 27 de abril de 2021


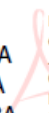



Jonatan Michael Sarmiento Vallejo

140056961-0

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y MINAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de Titulación; “**ESTUDIO GEOLÓGICO PARA DETERMINAR LAS CAUSAS DEL MOVIMIENTO DE MASAS, QUE AFECTA LA INFRAESTRUCTURA DEL SECTOR LA DOLOROSA Y SAN BARTOLO, DE LA PARROQUIA COPAL.**”, realizado por el señor: JONATAN MICHAEL SARMIENTO VALLEJO, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
<p>Ing. MSc. Gregory Guillermo Cuesta Andrade</p> <p>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</p>	 <p>Firmado electrónicamente por: GREGORY GUILLERMO CUESTA ANDRADE</p>	<p>2021-04-27</p>
<p>Ing. MSc. Jenny Priscila Granja Carrera</p> <p>DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN</p>	<p>JENNY PRISCILA GRANJA CARRERA</p>  <p>Firmado digitalmente por JENNY PRISCILA GRANJA CARRERA Fecha: 2021.06.18 14:13:57 -05'00'</p>	<p>2021-04-27</p>
<p>Ing. MSc. Christian Orlando Camacho López</p> <p>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</p>	 <p>Firmado electrónicamente por: CHRISTIAN ORLANDO CAMACHO LOPEZ</p>	<p>2021-04-27</p>

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a mi hijo Aldrick Sarmiento, quién es mi impulso para seguir a delante; a mis padres Sandra Vallejo y Oswaldo Sarmiento, quienes me forjaron como la persona que soy en la actualidad, sentando en mí la base de responsabilidad y deseos de superación.

Jonatan

AGRADECIMIENTO

Al concluir una etapa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento, a quiénes hicieron posibles este sueño, a aquellas personas que junto a mi pasaron en todo momento y fueron inspiración, apoyo y fuerza. Esta mención en especial para mi hijo, mi Dios, mis padres, mi hermana y mi novia. Muchas gracias a ustedes por demostrarme que la perseverancia es el camino hacia donde queremos llegar y que se puede alcanzar cualquier meta que nos propongamos.

Mi gratitud, también a la Escuela Politécnica de Chimborazo, por brindarme las enseñanzas durante este largo camino, mi agradecimiento sincero a mi asesor y director, por ser muy pacientes y haber sido esas personas que con sus directrices pudieron explicarme aquellos detalles para culminar mi tesis, a cada docente quienes con su apoyo y enseñanza constituyen la base de mi vida profesional.

Mil gracias a todos.

Jonatan

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	2
1.4. Hipótesis.....	3
1.5. Generalidades.....	3
1.5.1. <i>Ubicación</i>	3
1.5.2. <i>Acceso</i>	4
1.5.3. <i>Clima</i>	5
1.5.4. <i>Suelo</i>	6
1.5.4.1. <i>Clasificación agronómica</i>	6
1.5.4.2. <i>Uso y cobertura del suelo</i>	8

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	9
2.1. Tectónica regional.....	9
2.2. Geología regional.....	10
2.2.1. <i>Formación Hollín</i>	11
2.2.2. <i>Formación Mera (Plioceno - Pleistoceno)</i>	11
2.2.3. <i>Formación Chapiza (Jurásico – Cretácico Inferior)</i>	11
2.2.4. <i>Formación Napo (Cretáceo Inferior)</i>	12
2.2.5. <i>Metamórfico indiferenciado (Precámbrico)</i>	12

2.3.	Geología local	13
2.3.1.	<i>Aluvial</i>	13
2.3.2.	<i>Coluviones</i>	13
2.4.	Movimientos de masa	14
2.4.1.	<i>Tipos de movimiento de masa</i>	14
2.4.1.1.	<i>Caídas</i>	15
2.4.1.2.	<i>Volcamiento</i>	15
2.4.1.3.	<i>Deslizamientos</i>	16
2.4.1.4.	<i>Propagación Lateral</i>	18
2.4.1.5.	<i>Flujo</i>	19
2.4.1.6.	<i>Reptación</i>	21
2.5.	Clasificación geomecánica	22
2.5.1.	<i>Resistencia de la roca</i>	22
2.5.2.	<i>Índice de la calidad de la roca (RQD)</i>	24
2.5.3.	<i>Espaciamiento de las discontinuidades</i>	24
2.5.4.	<i>Condiciones de las discontinuidades</i>	25
2.5.4.1.	<i>Persistencia</i>	25
2.5.4.2.	<i>Abertura</i>	25
2.5.4.3.	<i>Rugosidad</i>	26
2.5.4.4.	<i>Relleno</i>	26
2.5.4.5.	<i>Alteración</i>	26
2.5.5.	<i>Presencia de agua</i>	26
2.5.6.	<i>Ajuste de orientación de discontinuidades</i>	27
2.6.	Método de Mora – Vahrson	27
2.7.	Método de Mora – Vahrson (modificado)	27
2.7.1.	<i>Factor de pendiente del terreno</i>	28
2.7.2.	<i>Factor de cobertura del suelo</i>	28
2.7.3.	<i>Factor de susceptibilidad litológica</i>	29
2.7.4.	<i>Factor detonante por sismicidad</i>	30
2.7.5.	<i>Factor detonante por precipitación</i>	31
2.7.6.	<i>Clases de susceptibilidad y sus calificativos de acuerdo al grado de amenaza</i>	31

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	33
3.1.	Documentación y recopilación de la información	33
3.1.1.	<i>Conversaciones con los moradores de la zona</i>	33

3.2.	Trabajo de campo	34
3.2.1.	<i>Caracterización del macizo rocoso</i>	34
3.2.2.	<i>Método Mora-Vahrson (modificado)</i>	35
3.2.2.1.	<i>Ponderación del factor de pendiente del terreno</i>	35
3.2.2.2.	<i>Ponderación del factor litológico</i>	36
3.2.2.3.	<i>Ponderación del factor de cobertura del suelo</i>	37
3.2.2.4.	<i>Ponderación del factor de precipitación</i>	38
3.2.2.5.	<i>Ponderación del factor sísmico</i>	39
3.2.2.6.	<i>Grado de susceptibilidad de la zona de estudio</i>	40
3.3.	Trabajo de gabinete	41

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	42
4.1.	Geomorfología	42
4.2.	Geología estructural	47
4.2.1.	<i>Características de la estratificación</i>	47
4.2.2.	<i>Tectónica de la zona</i>	47
4.2.2.1.	<i>Fallas</i>	49
4.2.2.2.	<i>Diaclasas</i>	49
4.3.	Geología del área de estudio	50
4.4.	Hidrogeología	65
4.5.	Valorización del macizo rocoso en el área de estudio	65
4.6.	Determinación de zonas de movimiento de suelo	68
4.6.1.	<i>Mapa de susceptibilidad de la zona de estudio</i>	70
4.6.2.	<i>Causas de los movimientos</i>	71

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Resumen del registro de pluviosidad.....	6
Tabla 2-1:	Clasificación de suelos de la zona de Copal.....	7
Tabla 1-2:	Estratigrafía del área de estudio.....	11
Tabla 2-2:	Tipos de movimiento de masas	14
Tabla 3-2:	Clasificación geomecánica de Bieniawski	22
Tabla 4-2:	Identificación de la resistencia de la roca mediante el martillo de geólogo	23
Tabla 5-2:	Identificación de la resistencia de la roca mediante su alteración	23
Tabla 6-2:	Determinación del RQD en el campo.....	24
Tabla 7-2:	Descripción del espaciamiento de discontinuidades.....	25
Tabla 8-2:	Descripción de persistencia	25
Tabla 9-2:	Descripción de abertura	26
Tabla 10-2:	Descripción del relleno.....	26
Tabla 11-2:	Valoración del parámetro de pendiente del terreno.....	28
Tabla 12-2:	Calificación del factor cobertura vegetal.....	29
Tabla 13-2:	Valoración del parámetro de susceptibilidad litológica.....	30
Tabla 14-2:	Valoración del parámetro de sismicidad	30
Tabla 15-2:	Valoración del parámetro de precipitación.....	31
Tabla 16-2:	Grado de amenaza de acuerdo al potencial de susceptibilidad.....	31
Tabla 17-2:	Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento	32
Tabla 1-3:	Ponderación del factor pendiente (Sm)	35
Tabla 2-3:	Ponderación del factor litológico (Sl).....	36
Tabla 3-3:	Ponderación del factor cobertura vegetal (Sc).....	37
Tabla 4-3:	Ponderación del factor precipitación (Tp)	38
Tabla 5-3:	Ponderación del factor sismicidad (Ts)	39
Tabla 6-3:	Grado de amenaza de acuerdo al potencial de susceptibilidad.....	40
Tabla 1-4:	Configuración y componentes de un valle o artesa glaciar	43
Tabla 2-4:	Planos de estratificación dentro área de estudio	47
Tabla 3-4:	Alineaciones estructurales – fallas	49
Tabla 4-4:	Familias de diaclasas	49
Tabla 5-4:	Ficha geológica 01.....	50
Tabla 6-4:	Ficha geológica 02.....	51
Tabla 7-4:	Ficha geológica 03.....	51
Tabla 8-4:	Ficha geológica 04.....	51
Tabla 9-4:	Ficha geológica 05.....	52
Tabla 10-4:	Ficha geológica 06.....	52

Tabla 11-4:	Ficha geológica 07.....	52
Tabla 12-4:	Ficha geológica 08.....	53
Tabla 13-4:	Ficha geológica 09.....	53
Tabla 14-4:	Ficha geológica 10.....	53
Tabla 15-4:	Ficha geológica 11.....	54
Tabla 16-4:	Ficha geológica 12.....	54
Tabla 17-4:	Ficha geológica 13.....	54
Tabla 18-4:	Ficha geológica 14.....	55
Tabla 19-4:	Ficha geológica 15.....	55
Tabla 20-4:	Ficha geológica 16.....	55
Tabla 21-4:	Ficha geológica 17.....	56
Tabla 22-4:	Ficha geológica 18.....	56
Tabla 23-4:	Ficha geológica 19.....	56
Tabla 24-4:	Ficha geológica 20.....	57
Tabla 25-4:	Ficha geológica 21.....	57
Tabla 26-4:	Ficha geológica 22.....	57
Tabla 27-4:	Ficha geológica 23.....	58
Tabla 28-4:	Ficha geológica 24.....	58
Tabla 29-4:	Ficha geológica 25.....	58
Tabla 30-4:	Ficha geológica 26.....	59
Tabla 31-4:	Ficha geológica 27.....	59
Tabla 32-4:	Ficha geológica 28.....	59
Tabla 33-4:	Ficha geológica 29.....	60
Tabla 34-4:	Ficha geológica 30.....	60
Tabla 35-4:	Ficha geológica 31.....	60
Tabla 36-4:	Ficha geológica 32.....	61
Tabla 37-4:	Ficha geológica 33.....	61
Tabla 38-4:	Ficha geológica 34.....	61
Tabla 39-4:	Ficha geológica 35.....	62
Tabla 40-4:	Ficha geológica 36.....	62
Tabla 41-4:	Ficha geológica 37.....	62
Tabla 42-4:	Ficha geológica 38.....	63
Tabla 43-4:	Ficha geológica 39.....	63
Tabla 44-4:	Ficha geológica 40.....	63
Tabla 45-4:	Ficha geológica 41.....	64
Tabla 46-4:	Ficha geológica 42.....	64
Tabla 47-4:	Clasificación geomecánica del macizo rocoso seco.....	66

Tabla 48-4:	Clasificación geomecánica del macizo rocoso con presencia de agua	67
Tabla 49-4:	Ficha de deslizamiento 01	68
Tabla 50-4:	Ficha de deslizamiento 02	68
Tabla 51-4:	Ficha de deslizamiento 03	68
Tabla 52-4:	Ficha de deslizamiento 04	69
Tabla 53-4:	Ficha de deslizamiento 05	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Mapa de ubicación	4
Figura 2-1:	Mapa de acceso	5
Figura 3-1:	Tipos de suelos de la zona de estudio	7
Figura 1-2:	Contexto geodinámico del Ecuador	9
Figura 2-2:	Esquema general de la subducción en Ecuador	10
Figura 3-2:	Mapa geología regional del cantón Santiago	13
Figura 4-2:	Esquema de la caída rocas	15
Figura 5-2:	Volcamiento de bloques.....	16
Figura 6-2:	Volcamiento flexural	16
Figura 7-2:	Deslizamiento traslacional llamado resbalamiento y corrimiento	17
Figura 8-2:	Deslizamiento traslacional en cuña.....	17
Figura 9-2:	Esquema de un deslizamiento rotacional	18
Figura 10-2:	Esquema de expansiones laterales	18
Figura 11-2:	Flujos de detritos.....	19
Figura 12-2:	Avalanchas de detritos	19
Figura 13-2:	Esquema de reptación	21
Figura 14-2:	Esquema de solifluxión.....	21
Figura 1-3:	Mapa de pendientes de la zona de estudio	36
Figura 2-3:	Mapa litológico de la zona de estudio.....	36
Figura 3-3:	Mapa de cobertura vegetal	38
Figura 4-3:	Mapa de isoyetas de la provincia de Morona Santiago.....	39
Figura 5-3:	Mapa de intensidad sísmica del cantón Santiago.....	39
Figura 1-4:	Circo glacial	42
Figura 2-4:	Visión morfológica desde la comunidad La Dolorosa.....	44
Figura 3-4:	Visión morfológica desde la comunidad San Bartolo.....	44
Figura 4-4:	Tipo de valle fluvial dentro del área de estudio	46
Figura 5-4:	Mapa de elevaciones de la zona de estudio.....	46
Figura 6-4:	Alineación tectónica de la zona de estudio	48
Figura 7-4:	Mapa tectónico de la zona de estudio	48
Figura 8-4:	Mapa de deslizamientos de la zona de estudio	70
Figura 9-4:	Mapa de susceptibilidad por grado de amenaza.....	70

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MAPA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL ECUADOR

ANEXO B: DESLIZAMIENTO ABSCISA 2 + 400

ANEXO C: DESLIZAMIENTO ABSCISA 3 + 200

ANEXO D: DESLIZAMIENTO ABSCISA 3 + 600

ANEXO E: DESLIZAMIENTO ABSCISA 4 + 600

ANEXO F: DESLIZAMIENTO ABSCISA 5 + 300

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo realizar los estudios geológicos para determinar los factores causantes del movimiento de masas, que afectan la infraestructura del sector La Dolorosa y San Bartolo, de la parroquia Copal. Se realizó investigación de campo mediante el recorrido vial de la zona, observación directa, revisión documental sobre informes de la y fuentes para el desarrollo del marco teórico. Además, el análisis estructural sobre los cortes de las quebradas y los cortes ocasionados por la implantación de la tubería de conducción de agua del proyecto hidroeléctrico; adicionalmente, se implementó el método de Mora - Varhson (modificado) para determinar la susceptibilidad a movimientos de masas en el sector de estudio, con sus cinco variables: litología, pendiente y cobertura vegetal, como factores condicionantes; y, sismicidad y precipitación, como factores detonantes. Luego, se elaboraron los mapas temáticos como pendiente, litología, tectónico, susceptibilidad, etc. Como resultados, se estableció que, el substrato donde se asientan los centros poblados está emplazado sobre depósitos coluviales, subyaciendo a rocas de la formación Napo. Con ello, se presenta una secuencia rítmica de areniscas, limos y arcillas negras dispuestas de manera laminar centimétrica, con elevada meteorización y alto nivel de fractura. Se concluye que, el retiro de la sobrecarga tanto litológica como vegetal que cubría a la formación Napo, ha provocado un contacto directo con el ambiente, generando exceso de agua en época lluviosa y desecación que fragmenta la roca en época seca. Este retiro de sobrecarga hace que la formación Napo se transforme en una zona de acuífero abierto por donde circula libremente el agua en forma de vertientes y escorrentía, favoreciendo el movimiento de la masa del suelo. Se recomienda implementar sistemas de tablestaca en las zonas deslizadas para dar soporte al sustrato rocoso y permitir el paso y eliminación del exceso de agua.

Palabras clave: < MOVIMIENTO DE MASAS >, <MÉTODO MORA VARHSON>, <COLUVIAL>, <SUSCEPTIBILIDAD>, <SANTIAGO (CANTÓN)>

INES
ZAPAT
A
ZUMAR
RAGA

Firmado digitalmente
por INES ZAPATA
ZUMARRAGA
DN: cn=INES ZAPATA
ZUMARRAGA
gn=INES c=EC
f=RIOBAMBA
ou=Certificado de
Clase 2 de Persona
Física EC
e=ineszapataz@hotmail.com
Motivo: Apruebo este
documento
Ubicación:
Fecha: 2021-06-15
16:47:05:00



1217-DBRAI-UPT-2021

ABSTRACT

The objective of this research was to carry out geological studies in order to determine the factors causing mass movements which affect the infrastructure of the La Dolorosa and San Bartolo places from Copal parish. Field research was carried out through the road route of the area, direct observation, documentary review on reports from the sources to the development of the theoretical framework. In addition, this study developed the structural analysis on the cuts of the streams and the cuts caused by the implantation of the water conduction pipe of the hydroelectric project. Additionally, the Mora-Varhson method (modified) was implemented to determine the susceptibility to mass movements in the study place with its five variables: lithology, slope and vegetation cover as conditioning factors, and seismicity and precipitation as triggering factors. Then, thematic maps such as slope, lithology, tectonic, susceptibility, etc. were elaborated. As a result, it was established that the substratum where the populated centers are located is located on colluvium deposits underlying rocks of the Napo formation. Therefore, a rhythmic sequence of sandstones, silts and black clays is presented arranged in a centimeter laminar way with high weathering and a high level of fracture. As a conclusion, the removal of the lithological and vegetal overburden that covered the Napo formation has caused direct contact with the environment, generating excess water in the rainy season and desiccation that fragments the rock in the dry season. This removal of overload transforms the Napo formation into an open aquifer zone through which water circulates freely in the form of springs and runoff favoring the movement of the soil mass. It is recommended to implement sheet pile systems in the slipped areas to support the rocky substrate and allow the passage and removal of excess water.

Keywords: <MASS MOVEMENT>, <MORA-VARHSON METHOD>, <COLLUVIUM>, <SUSCEPTIBILITY>, <SANTIAGO (CANTON)>



Firmado electrónicamente por:
**LUIS ARMANDO
QUISHPE HIPO**

INTRODUCCIÓN

Los procesos de remoción en masa son fenómenos naturales que desencadenan movimiento, modificando las condiciones originales de las laderas por medio de desplazamientos con diferente intensidad y velocidad. Dichos movimientos en masa son producto de la geodinámica externa o interna de la corteza terrestre los cuales modifican las diferentes formas de terreno, manifestándose principalmente como deslizamientos. A pesar de que el deslizamiento no es siempre el tipo de movimiento predominante, se suele utilizar frecuentemente como sinónimo de movimiento de masas gravitacionales (flujos, deslizamientos o caídas de rocas, detritos, barro o tierra).

Los deslizamientos, como todos los movimientos en masa, involucran el movimiento pendiente abajo de los materiales que comprenden la ladera bajo la influencia de la gravedad; aunque el agua es a menudo un importante agente de tales movimientos, la gravedad es la fuerza dominante. El presente trabajo surge de la necesidad de establecer las causas y las características de los procesos de remoción en masa presentes en los sectores de La Dolorosa y San Bartolo, lo cual es motivo de preocupación de la población que habita en estos sectores, debido a daños en la infraestructura de sus viviendas y negocios, así como en las líneas vitales (infraestructura de vialidades, agua, drenaje y alumbrado).

Las condiciones naturales para el desarrollo de procesos de remoción en masa varían considerablemente de un lugar a otro, en base a su relieve, geología, actividad sísmica, clima y vegetación; lo mismo ocurre con el grado y la forma de intervención antrópica.

Para esto, se ha determinado utilizar el modelo de Mora- Varhson (modificado), el cual nos permite establecer la susceptibilidad a movimientos de masa, en base a condiciones como pendiente, litología, y cobertura vegetal (factores condicionantes), y factores detonadores como precipitación y actividad sísmica.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Los movimientos en masa son procesos que modifican las diferentes formas del terreno lo que ocasionan cambios en la superficie, estos cambios se han evidenciado en el sector de San Bartolo y La Dolorosa puesto que se encuentran ubicadas en una zona montañosa, dicha zona es muy susceptible a sufrir movimientos de la masa del suelo, debido a que se reúnen elementos importantes para su ocurrencia tales como: topografía, meteorización, actividad sísmica y precipitación. Por ello es importante generar información técnica que nos permita determinar las causas del movimiento masa, ya que estos movimientos progresivos o repentinos producen daños en la infraestructura de las viviendas y presentan un riesgo en la integridad física de los habitantes.

1.2. Justificación

El proyecto nace de la necesidad de conocer si existe peligro de futuros deslizamientos y la consiguiente afectación a los pobladores de la zona. Para lo cual se busca determinar los factores condicionantes y detonadores que pueden modificar la geodinámica del sector, ya sea por acción antrópica o por factores endógenos o exógenos que intervienen en los procesos dinámicos de la corteza terrestre modificando la realidad geológica del sector.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar los estudios geológicos para determinar los factores causantes del movimiento de masas, que afecta la infraestructura del sector La Dolorosa y San Bartolo de la parroquia Copal.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización geológica del área de estudio.
- Realizar la caracterización estructural del área de estudio.
- Identificar los diferentes tipos de movimiento de masas, para definir zonas inestables y potencialmente inestables.
- Recomendar posibles medidas de prevención para dichos movimientos.

1.4. Hipótesis

Es posible conocer de manera técnica cuales son los factores causantes de los movimientos de masas que se están produciendo en el sector La Dolorosa y San Bartolo pertenecientes a la parroquia Copal; de modo que permita predecir el comportamiento a futuro, mediante el uso de sistemas de información geográfica.

1.5. Generalidades

1.5.1. Ubicación

El sector donde se realizó el estudio se localiza políticamente en las comunidades de San Bartolo y La Dolorosa de la Parroquia Copal, del cantón Santiago en la provincia de Morona Santiago, geográficamente se localiza en la parte baja de la cuenca del río Negro que drena las aguas de parte de la cordillera Real en una estrecha cuenca formada por los ríos Cruzado y Negro. La parroquia de Copal está ubicada al extremo oeste del Cantón Santiago, aproximadamente a 15 km, de la cabecera Cantonal (Méndez).

La zona de estudio se localiza aproximadamente entre la cota 571 msnm que corresponde al nivel del río Negro, mientras que la tubería de captación de la Hidroeléctrica Hidro San Bartolo se halla en la cota 600 msnm y entre la cota 900 msnm se encuentran las comunidades de San Bartolo y La Dolorosa, como se visualiza en el gráfico 1-1.

Los límites del área estudiada son: al norte el río Negro, al sur la coordenada 9696054 N, 789383 E; al este la coordenada 9697170 N, 792200 E y al oeste la coordenada 9695971 N, 787803 E, para esta georreferenciación se utilizan coordenadas UTM, datum PSAD 56; el área de estudio ocupa una superficie aproximada de 7 Km² como se indica en la siguiente figura.

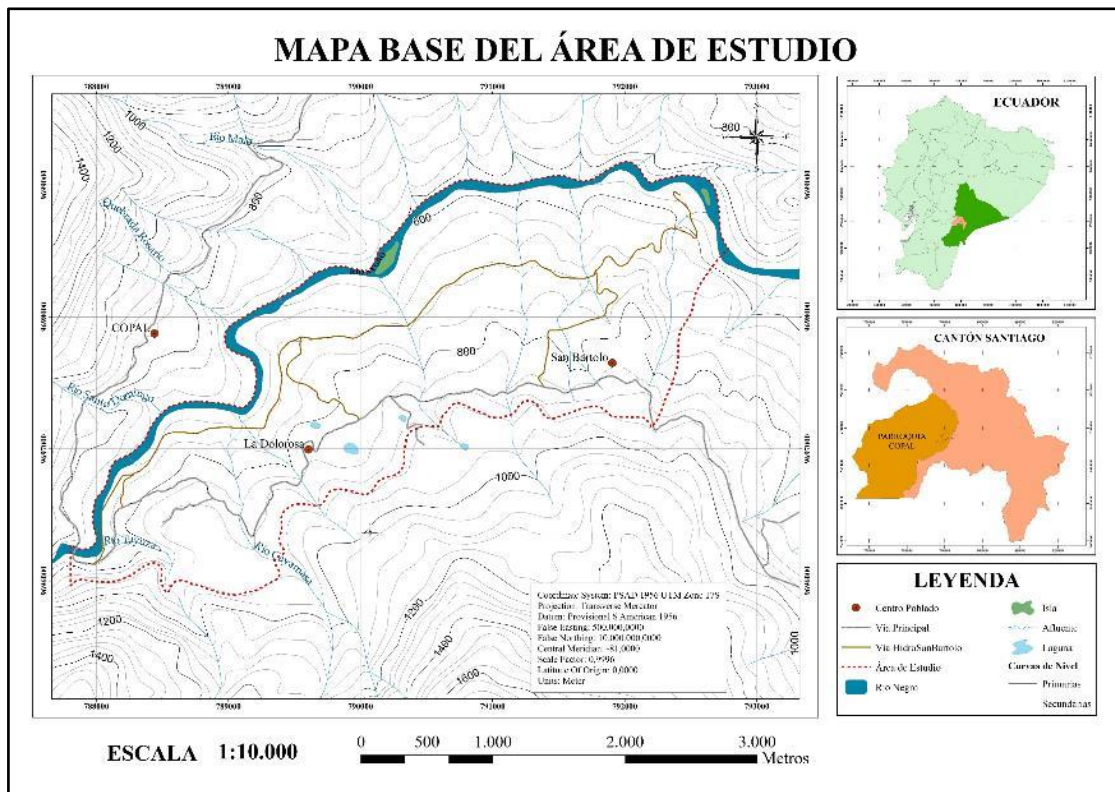


Figura 1-1: Mapa de ubicación

Realizado por: Sarmiento, J, 2020.

1.5.2. Acceso

Desde la ciudad de Macas se recorre por la troncal amazónica (E45) hacia el sur hasta el sector de Bella Unión, desde este sitio existen dos posibilidades; la primera continuar por la vía a Limón hasta el sector de El Paraíso, de este punto por una vía hacia la derecha se recorre aproximadamente 9 km hasta la comunidad de San Bartolo y a La Dolorosa (dentro de la zona de estudio), como se detalla en figura 2-1.

La segunda opción es continuar hasta Méndez y desde esa ciudad por la carretera a Guarumales (E40), se recorre aproximadamente 9 km, de este sector se ingresa hacia la izquierda de la vía principal, posteriormente se recorre aproximadamente 6 km hasta la parroquia Copal y desde esta parroquia a las comunidades.

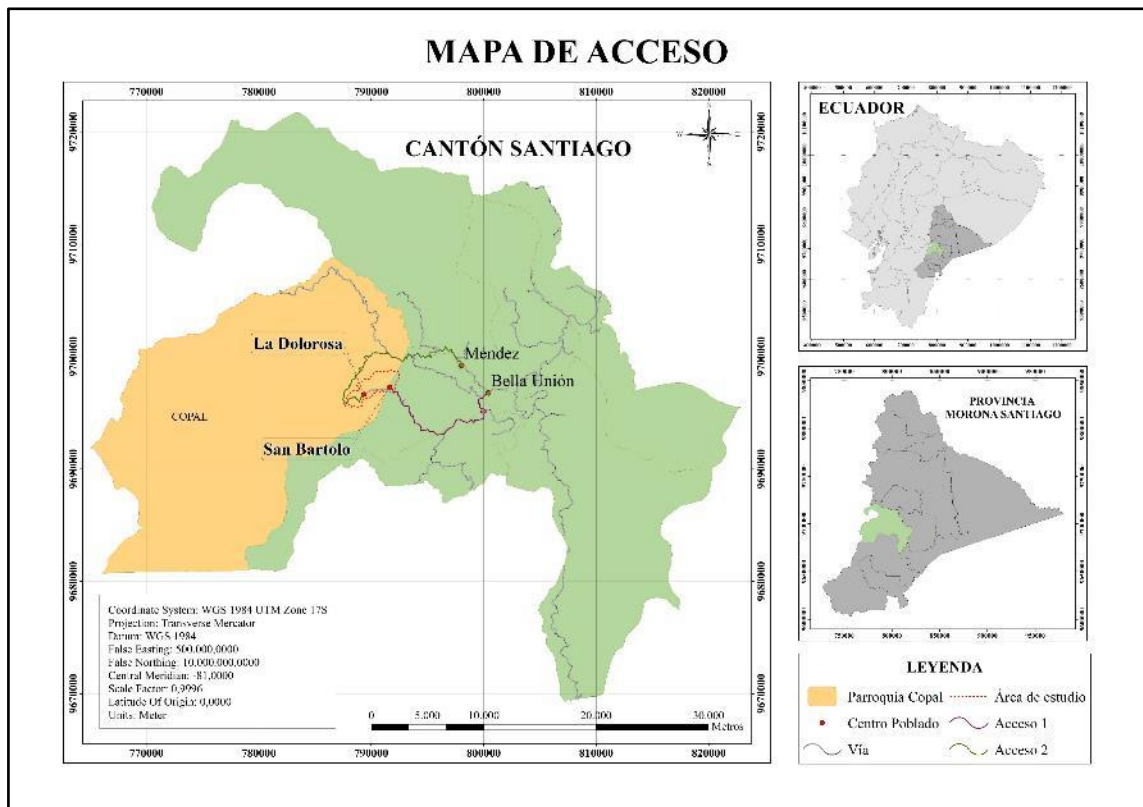


Figura 2-1: Mapa de acceso

Realizado por: Sarmiento, J, 2020.

1.5.3. Clima

El sector de interés se localiza en el valle del río Negro, en una zona en el cual el encañonado cauce del río se abre paso al valle sub andino, donde la interacción de los vientos de la cordillera con el frente amazónico proporcionan los medios propicios para que el sector se caracterice por precipitaciones entre 2.500 mm y 4.000 mm anuales; esta distribución anual de lluvias indica un incremento entre los meses de enero a junio, que va disminuyendo el volumen de precipitación entre los meses de julio a octubre, pudiendo decirse que el mes de septiembre es relativamente seco, luego comienza un incremento de lluvia desde el mes de octubre a diciembre (GEODINÁMICA, 2017, p. 15).

Tabla 1-1: Resumen del registro de pluviosidad

Precipitación (mm/día)	Sitio de Presa	Central de Generación	Promedio
Máxima diaria	80.90	82.00	63.90
Mínima diaria	00.00	00.00	00.00
Promedio	9.26	7.90	8.58
Mediana	3.80	2.85	3.75
Días sin lluvia	107	98	75
Total (días registro)	400	400	
Lluvia acumulada (mm)	3704.43	3159.10	3431.77

Fuente: GEODINÁMICA, 2017

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020.

La temperatura del ambiente en el sector de Copal se halla entre 18°C registrados en los meses de invierno austral (junio a agosto) llegando hasta los 28°C en cualquier momento del año, el promedio de temperatura se halla en 22°C. La humedad relativa promedio se establece entre 88 y 95%, siendo la humedad relativa media 91%. La evaporación registrada en Copal presenta valores entre 600 y 1.300 mm/año, siendo mayores los correspondientes a los meses secos (GADPC, 2015, p.29).

Los registros de viento indican una velocidad media anual que varían entre los 5,4 a los 12 km/h, la distribución anual indica vientos normalmente distribuidos durante todo el año con excepción de vientos huracanados predominantes durante el mes de marzo y un ligero incremento de la media anual durante los meses de agosto y septiembre; la dirección predominante de los vientos es siguiendo el cauce del río Negro hacia aguas arriba (GADPC, 2015, p.29).

Las características de las variables climáticas indicadas confieren a la zona un clima predominante sub tropical húmedo. La presencia continua de lluvias y la inexistencia de épocas secas prolongadas, suministran al sector una elevada carga de agua en el suelo, esto asociada a la alta infiltración de agua en el sustrato genera problemas de inestabilidad en el sector.

1.5.4. Suelo

1.5.4.1. Clasificación agronómica

La descripción del suelo desde el punto de vista edafológico la mayor parte de la zona de estudio presenta suelos inmaduros, de poco espesor y pobres en materia orgánica, se caracteriza por tener un incipiente desarrollo de horizontes pedo-genéticos, que se ha desarrollado en una superficie

plana, geomorfológicamente joven, en ambiente húmedo a muy húmedo en zona cálida, localizado al pie de la cordillera Real, son de color pardo rojizo, poco profundos, derivado de morrenas en rocas metamórficas, son caoliníticos, arcillosos compactos, poseen una permeabilidad baja por lo que es común la formación de charcos y lagunas en las partes planas del relieve, mal drenados, muy desaturadas en bases y lixiviados, baja productibilidad, pH ácido; estos suelos pertenecen al Orden Inceptisol, como se indica en la siguiente figura (SECS, 1986, p.36).

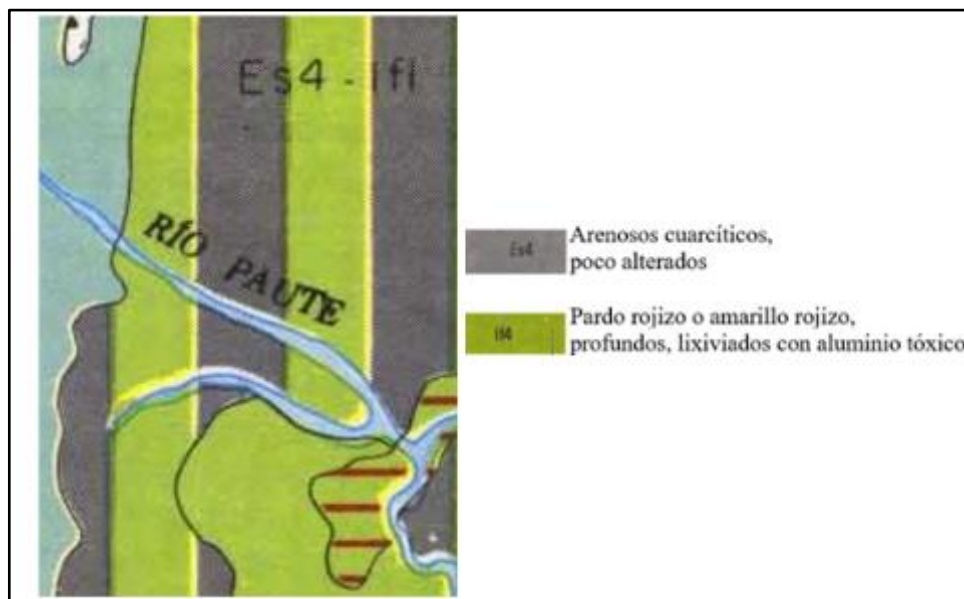


Figura 3-1: Tipos de suelos de la zona de estudio

Fuente: SECS, 1986

Tabla 2-1: Clasificación de suelos de la zona de Copal

Orden	Suborden	Gran Grupo	Fisiografía y Relieve	Características
ENTISOL	ORTHENTS	TROPORTHENTS	Sedimentario o indiferenciado antiguo: arcillas, areniscas y calizas.	Suelos erosionados, superficiales, materiales primarios gruesos, arenosos, cuarcíticos poco alterados.
				Clima: cálido húmedo.
			Relieve socavado de la Cordillera Sub Andina Amazónica	Con poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes pedogenéticos.
				Dominio de material primario no consolidado.

Fuente: SECS, 1986

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

1.5.4.2. *Uso y cobertura del suelo*

En la parroquia de Copal, se han identificado cuatro usos del suelo de acuerdo a las características de los grandes ecosistemas: a) pastos; b) Cuerpos de agua natural; c) bosques intervenidos; d) Cultivos (GADPC, 2015, p.27).

– *Pastos*

Los pastos son áreas dedicados a la ganadería. Es la vegetación que domina sobre los cultivos, se encuentran diseminados en todas las elevaciones y casi en todas las pendientes, lo que da una dominancia total a este uso del suelo.

– *Cuerpos de agua natural*

Los cuerpos de agua son lugares donde la presencia del agua es permanente y corresponde a cursos de agua como el río Negro y las quebradas que son sus afluentes, además se considera los embalses naturales que en forma de pequeñas lagunas y charcas se localizan en los alrededores de La Dolorosa y San Bartolo.

– *Bosque intervenido*

Los bosques de la zona han soportado una fuerte actividad antrópica dedicada fundamentalmente a la tala de especies maderables y luego han sufrido el abandono, estos bosques se localizan en las zonas de fuerte pendiente donde no es posible el entable de pastos o cultivos.

– *Cultivos*

La mayor parte de los suelos no son aptos para el desarrollo de la actividad agrícola, siendo estos pobres en materia orgánica, a pesar de ello existen áreas comprendidas por pequeños espacios dentro de las comunidades, en donde realizan cultivos perennes como plátano, yuca, caña, guineo, entre otros.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Tectónica regional

La cordillera de los Andes constituye la mayor estructura fisiográfica del país, y lo corta en sentido general de Norte a Sur, este raso genera tres regiones geográficas que en sentido Oeste – Este y se las conoce como Región Litoral, Sierra y Región Amazónica (Gutscher et al, 1999, p.257).

Aparte de la zona continental se tiene otra región tectónica que se halla bajo las aguas del Pacífico y que está constituida por la fosa oceánica de subducción que se dibuja de forma paralela a la cordillera y por la Dorsal de Carnegie orientada en sentido este- oeste.

De esta manera el concepto Andes del Ecuador se configura con una zona de subducción hacia el occidente, cuatro cordilleras de tendencia Norte-Sur (Cordillera de la Costa, Cordillera Occidental, Cordillera Real y Cordillera Oriental).

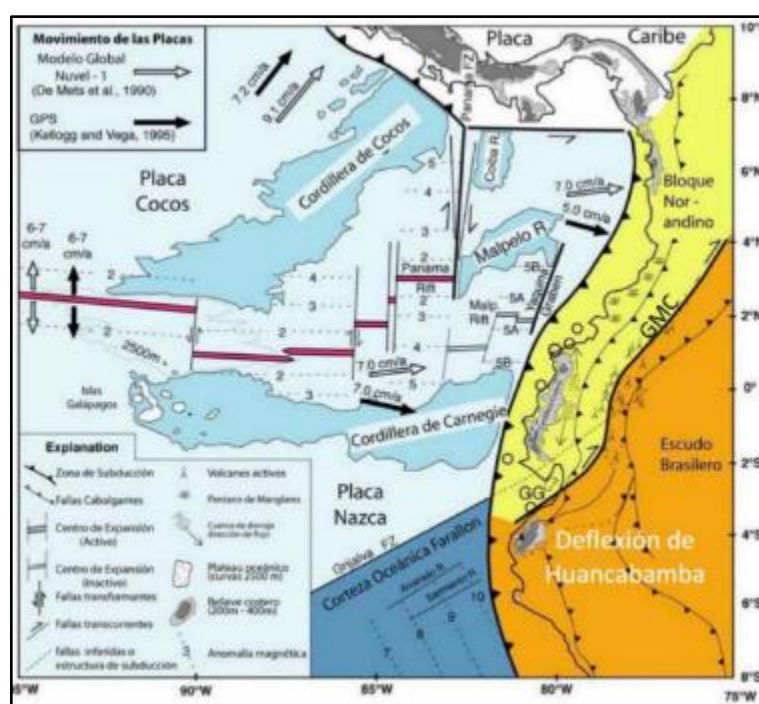


Figura 1-2: Contexto geodinámico del Ecuador

Fuente: Gutscher et al., 1999

Como se indica en la figura 1-2, el contexto geodinámico del Ecuador se halla definido por el Escudo Brasero (Paleozoico) que aflora en la cordillera Real y se halla por debajo de los sedimentos de la región amazónica, el bloque Nor-andino (Cretáceo Superior – Terciario) que corresponde a un bloque olistostrómico que está presente en la cordillera Occidental y por debajo

de los sedimentos de la cuenca litoral ecuatoriana y la placa de Nazca localizada en el océano Pacífico (Gutscher et al, 1999, p. 259).

El límite entre el cratón brasilero y el bloque Nor-andino está definido por la mega cizalla transcurrente dextral denominada Guayaquil-Dolores; el límite entre el bloque Nor-andino y la placa de Nazca corresponde a una zona de subducción donde la placa de Nazca se mueve por debajo del bloque Nor-andino con un ángulo variable entre 30 grados y 38 grados como se detalla en la siguiente figura (Carballo, 2004, pp. 24-25).

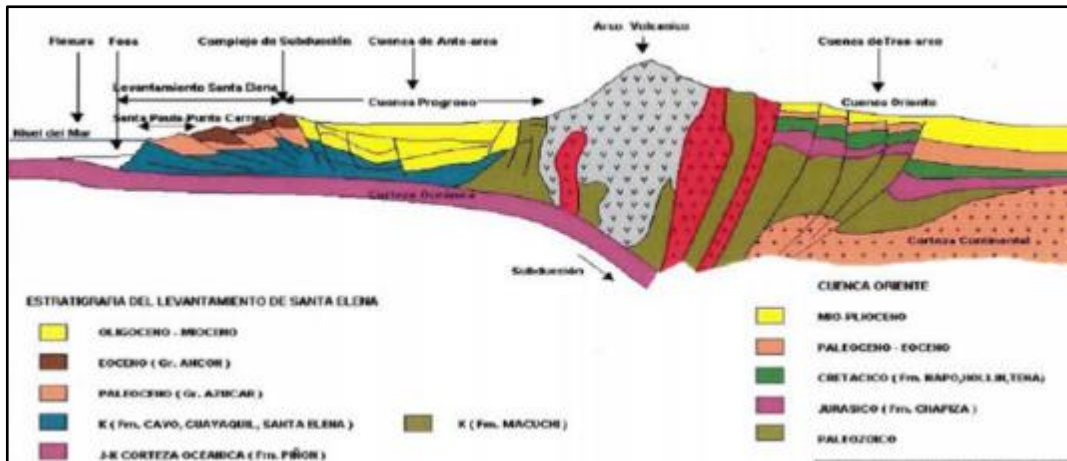


Figura 2-1: Esquema general de la subducción en Ecuador

Fuente: Carballo, 2004

La mega cizalla denominada Guayaquil – Dolores se extiende desde el golfo de Guayaquil (en Ecuador) hasta el golfo de Dolores (en Venezuela) como un tren de fallas transcurrentes dextrales, activas de rumbo NNE que recorre a lo largo de los Andes, y se define como el límite entre el Paleozoico y Cretáceo (bloque olistostrómico Nor Andino) en tanto que la falla Real (frente de escamas) como un sistema de fallas inversas de alto ángulo que se localizan al pie oriental de la cordillera Real y separa los bloques paleozoicos de la cordillera Real y los sedimentos amazónicos (Carballo, 2004, pp. 24-25).

El modelo tectónico aplicado a la subducción ecuatoriana plantea que el eje de subducción tiene un vector N80E, que sería la resultante del movimiento E-W de la subducción y NNE de la mega cizalla.

2.2. Geología regional

Según Baldock, 1982 en el mesozoico superior las condiciones continentales fueron sucedidas por una transgresión marina cretácica, durante el cual se depositaron sedimentos delgados; estos depósitos se encuentran conformados por unidades lito estratigráficas como describe en la siguiente tabla:

Tabla 1-2: Estratigrafía del área de estudio

Tipo	Litología	Edad	Ambiente
Formación Hollín	Arenisca de cuarzo	Cretáceo	Planicie fluvial continental
Formación Chapiza	Tobas, lavas, brechas	Cretáceo-Jurásico	Arco volcánico rift
Formación Mera	Lahares	Cuaternario	Cuenca Continental
Formación Napo	Ritmito de caliza, arena, limo, arcilla	Cretáceo	Marino epicontinental
Formación Santiago	Turbiditas, conglomerados, calizas	Jurásico-Triásico	Rift marino somero
Metamórfico Indiferenciado	Pizarras, esquistos, gneis, migmatitas	Precámbrico	

Fuente: Baldock, 1982.

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

2.2.1. Formación Hollín

La Formación Hollín está constituida de areniscas de grano medio a grueso, maciza o con estratificación cruzada, con intercalaciones escasas de lutitas arenosas, localmente micáceas o carbonatadas. Acompaña generalmente a la Formación Napo subyacente (Duque, 2000, p. 36).

2.2.2. Formación Mera (Plioceno - Pleistoceno)

Corresponde a una masa laharítica que se ha depositado en los cauces de los ríos que bajan de las estructuras volcánicas de la cordillera Real; se presenta como una masa caótica de rocas de composición andesitas y basaltos, son angulosos a sub redondeados de tamaños que varían desde arenas hasta bloques métricos (Baldock, 1982, p. 18).

2.2.3. Formación Chapiza (Jurásico – Cretácico Inferior)

La Formación Chapiza comprende una sucesión de sedimentos clásticos continentales sobrepuestas por depósitos clásticos y piroclásticos (Baldock, 1982, p. 19). Esta formación ha sido subdividida en tres miembros:

- *Chapiza superior.* El tope de la formación Chapiza está constituido por rocas volcánicas masivas y gruesas caracterizadas por lavas andesíticas y tobas de la misma composición, que forman parte del potente arco magmático de rift localizado desde el norte peruano al norte colombiano.
- *Chapiza medio.* Consiste básicamente de lutitas, areniscas, no contiene evaporitas y por su coloración rojiza se la conoce como red beds.

- *Chapiza inferior roja y gris*. Consiste de lutitas, areniscas y delgados horizontes desde anhidrita, dolomita y yeso.

2.2.4. Formación Napo (Cretáceo Inferior)

La Formación Napo quizás es la secuencia más importante en el Oriente Ecuatoriano, consiste en una sucesión de lutitas negras, calizas grises a negras y areniscas calcáreas. La formación varía en espesores menos de 200 metros a más de 700 metros; sobreyace concordante a la formación Hollín por todo el Oriente, además está cubierta por capas rojas de la formación Tena con ligera discordancia erosional (Baldock, 1982, p. 20).

La Napo fue depositada en un ambiente marino en una cuenca de orientación N-S, dicha formación está dividida originalmente en tres unidades, estas son:

- *Napo inferior*. Comprende areniscas, lutitas, margas y pocas calizas; tiene un espesor de 60 a 250 metros.
- *Napo medio*. Consiste de calizas grises de masivas a muy estratificadas; tiene un espesor de 75 a 90 metros.
- *Napo superior*. Es una secuencia de argilitas negras duras, lutitas verdosas y grises, con intercalaciones de calizas y areniscas; tiene un espesor de 0 a 320 metros.

2.2.5. Metamórfico indiferenciado (Precámbrico)

Rocas de edad precámbrica pertenecientes al escudo Guayano-Brasilero Paleozoico y se hallan constituidos por rocas metamórficas de grado diverso y comprende mayormente esquistos grafitosos, filitas negras y verdes, esquistos verdes, esquistos pirofílicos, gneises, mármoles, anfíbolitas y en menor proporción cuarcitas. Adicionalmente se incluyen rocas ultramáficas serpentizadas y esquistos micáceos que afloran en el sector de Zumba (Baldock, 1982, p. 21).

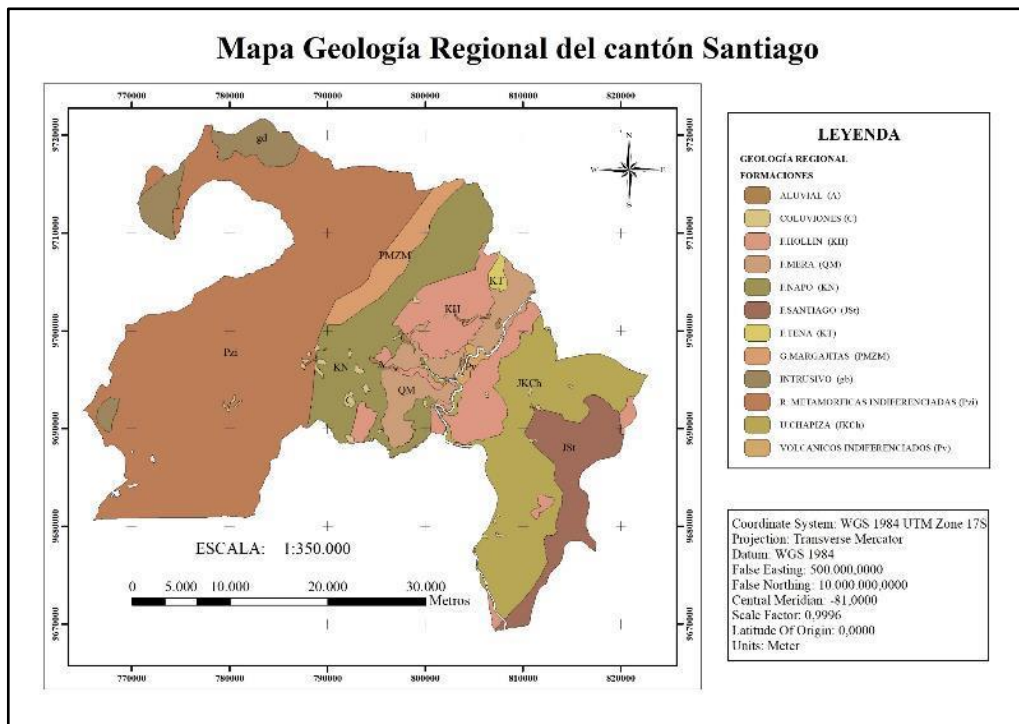


Figura 3-2: Mapa geología regional del cantón Santiago

Fuente: Baldock, 1982

Realizado por: Sarmiento, J, 2020

2.3. Geología local

2.3.1. Aluvial

Corresponde a los sedimentos actuales que son transportados por ríos u quebradas, corresponde a una mezcla aleatoria de cantos rodados por el arrastre del agua, son sub redondeados a sub esféricos, su tamaño varía desde bloques de rocas, gravas gruesas, arenas, limos y arcillas, presentan bordes redondeados y se distribuye en forma de capa sedimentaria y son muy anisótropos.

2.3.2. Coluviones

Son acumulaciones constituidas por materiales de diverso tamaño, generalmente de litología homogénea, englobados o no en una matriz de arena o limo que se distribuye irregularmente al pie de los terrenos montañoso, se forman por la caída por efecto de la gravedad de las rocas desde las laderas y forma acumulaciones al pie de un talud.

Se caracterizan por contener elementos de granulometría variada entre bloques y gravas, los cuerpos son angulosos a sub angulosas, no presentan ningún tipo de clasificación por tamaños y no presentan estratificación.

2.4. Movimientos de masa

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la Tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre.

Según Cruden, 1991 los movimientos en masa incluyen todos aquellos movimientos ladera debajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efecto de la gravedad. Así, si por una parte el levantamiento tectónico forma montañas, por otra la meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la acción del hombre) actúan sobre las laderas para desestabilizarlas y cambiar su relieve (PMA-GCA, 2007, p.1).

2.4.1. Tipos de movimiento de masa

Al asignar un determinado movimiento de masa se debe tener en cuenta la complejidad que tiene dicho moviendo, debido a que puede presentar diferentes comportamientos a lo largo de su trayectoria teniendo en cuenta las características de los materiales involucrados.

Según Crozier & Glade, 2005 hay factores externos que influyen en el tipo de movimiento, por ejemplo, mientras que una determinada ladera pudiera fallar como deslizamiento traslacional en condiciones de humedad moderada, el mismo deslizamiento se puede transformar en una avalancha o un flujo de detritos en condiciones de mayor humedad, aumentando la longitud de su recorrido (PMA-GCA, 2007, p.2).

Los tipos de movimientos de masas descritos en este capítulo se definen a su vez mediante la siguiente tabla:

Tabla 2-1: Tipos de movimiento de masas

TIPO	SUBTIPO	
Caídas	Caída de roca (detritos o suelo)	
Volcamiento	Volcamiento de roca (bloque) Volcamiento flexural de roca o del macizo rocoso	
Deslizamiento de roca o suelo	Deslizamiento traslacional, deslizamiento en cuña Deslizamiento rotacional	
Propagación lateral	Propagación lateral lenta Propagación lateral por licuación (rápida)	
Flujo	Flujo de detritos	Flujo de lodo
	Avalancha de detritos	Flujo de tierra
	Crecida de detritos	Flujo de turba
	Deslizamiento por flujo o deslizamiento por licuación (de arena, limo, detritos, roca fracturada)	
Reptación	Reptación de suelos Soliflucción, geliflucción (en permafrost)	

Fuente: PMA-GCA, 2007

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

2.4.1.1. Caídas

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae deslazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978, p.15).

Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni de tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento. (PMA-GCA, 2007, p.4).

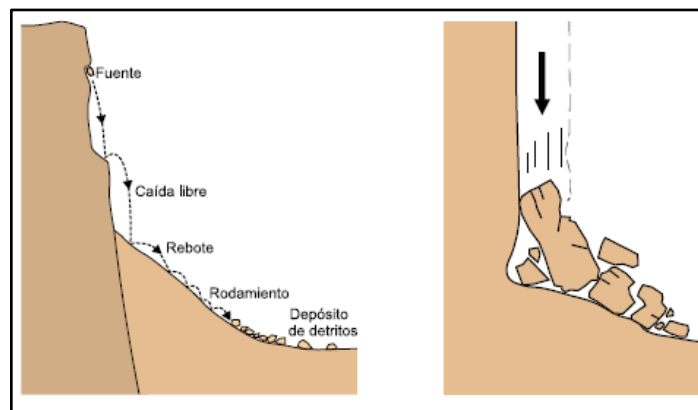


Figura 4-2: Esquema de la caída de rocas

Fuente: Corominas & García, 1997

2.4.1.2. Volcamiento

Se denomina así a un movimiento en masa en el cual hay una rotación generalmente hacia delante de uno o varios bloques o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por la acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978, p.17). El volcamiento puede ser en bloque y flexural del macizo rocoso.

Según Goodman & Bray, 1976 el volcamiento por bloques involucra roca relativamente competente, donde el fallamiento ocurre por pérdida de estabilidad y rotación de uno o varios bloques a partir de un punto en su base; el volcamiento por bloques es controlado por una orientación específica de discontinuidades y generalmente está asociado a velocidades altas (ver figura 2). El volcamiento flexural, en cambio, involucra rocas más frágiles y densamente diaclasadas; el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas delgadas. Los movimientos en este caso pueden ser lentos y graduales (PMA-GCA, 2007, p.6).

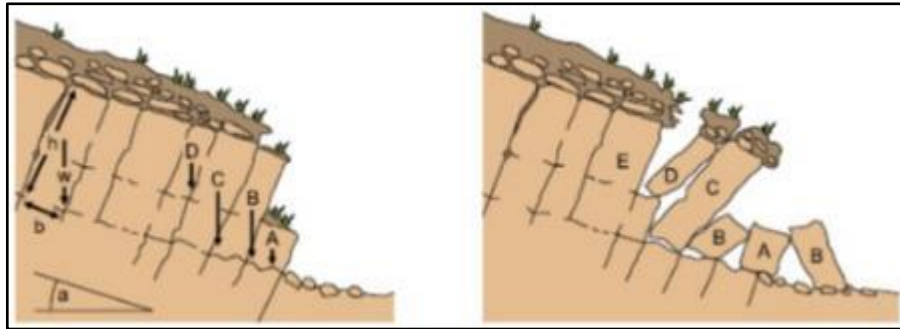


Figura 5-2: Volcamiento de bloques

Fuente: Varnes, 1978

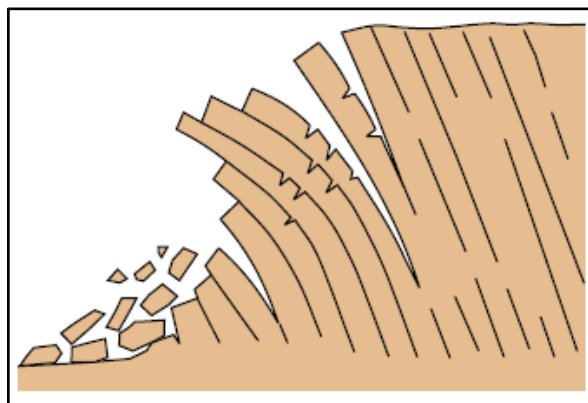


Figura 6-2: Volcamiento flexural

Fuente: Corominas & García, 1997

El volcamiento flexural del macizo rocoso es un movimiento de ladera a gran escala el cual involucra deformación flexural gradual de estratos densamente diaclasados, con buzamientos altos, usualmente en rocas metamórficas como esquistos o filitas (Nichol S, 2002, p.781).

2.4.1.3. Deslizamientos

Es un movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante (PMA-GCA, 2007, p.9).

Varnes, 1978 clasifica los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacional y rotacional.

– Deslizamiento traslacional

El deslizamiento traslacional puede ser a su vez planares o en cuña. El primero es un tipo de deslizamiento donde la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada, esta suele ser más superficial y ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas,

diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden & Varnes, 1996, p.38).

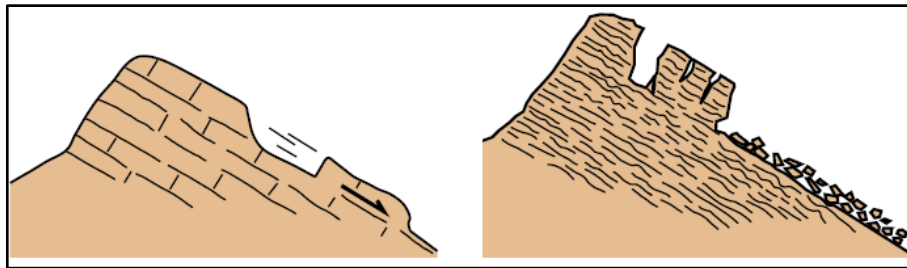


Figura 7-2: Deslizamiento traslacional llamado resbalamiento y corrimiento

Fuente: Corominas & García, 1997

El deslizamiento en cuña, es un tipo de movimiento en el cual el cuerpo del deslizamiento está limitado por dos planos de discontinuidad que se intersectan entre si e intersectan la cara de la ladera o talud. (Cruden & Varnes, 1996, p.46).

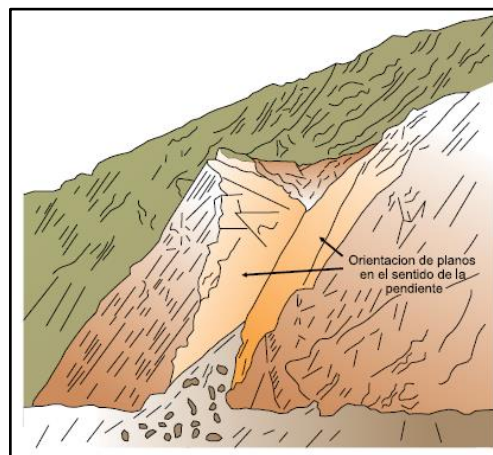


Figura 8-2: Deslizamiento traslacional en cuña

Fuente: PMA-GCA, 2007

– *Deslizamiento rotacional*

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal profundo y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal (Cruden & Varnes, 1996, p.47).

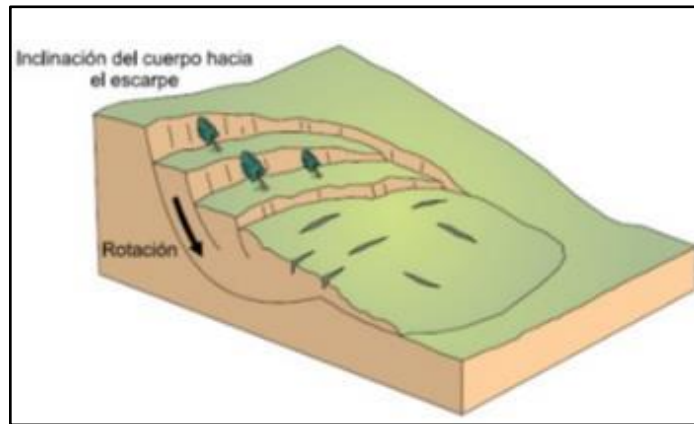


Figura 9-2: Esquema de un deslizamiento rotacional

Fuente: PMA-GCA, 2007

2.4.1.4. Propagación Lateral

La propagación o expansión lateral es un tipo de movimiento en masa cuyo desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material. Varnes, 1978 distingue dos tipos de propagación, uno en que el movimiento afecta a todo el material sin distinguirse la zona basal de cizalla, típico de masas rocosas y otro que ocurre en suelos cohesivos que sobre yacen a materiales que han sufrido licuefacción o a materiales en flujo plástico (PMA-GCA, 2007, p.17).

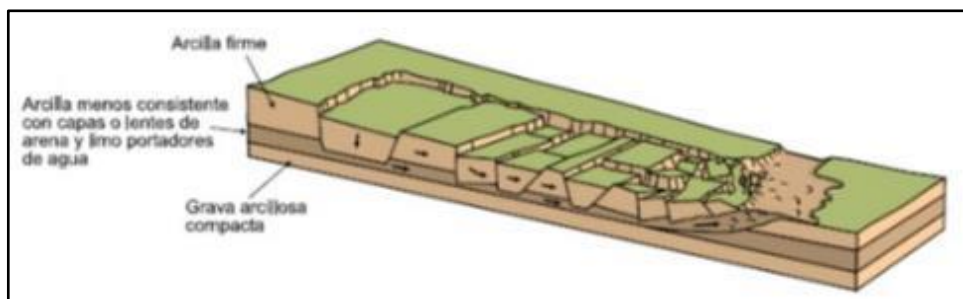


Figura 10-2: Esquema de expansiones laterales

Fuente: Varnes, 1978

Las propagaciones laterales lentas ocurren en estratos rocosos gruesos que sobreyacen a materiales blandos, esto ocurre cuando el estrato competente superior puede fracturarse y separarse en bloques o losas; mientras que el material blando fluye hacia las grietas entre los bloques y así el movimiento de éstos es extremadamente lento. Por otra parte, la propagación lateral rápida involucra la licuación de materiales sensibles, tales como: arenas saturadas de densidad relativamente baja a media o limos y arcillas sensibles que subyacen a estratos rocosos fracturados (Varnes, 1978, p. 22).

2.4.1.5. Flujo

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se origina a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978, p. 26).

– *Flujo de detritos*

Flujo de detritos o movimiento en masa canalizada, es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos ($I_p < 5\%$), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada (PMA-GCA, 2007, p.19).

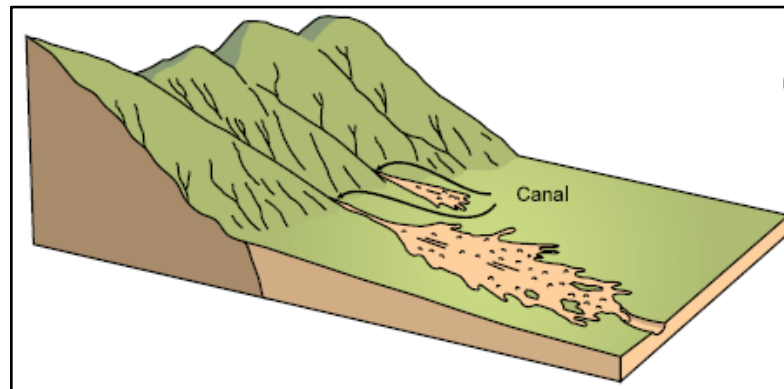


Figura 11-2: Flujos de detritos

Fuente: Varnes, 1978

Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los deposita en abanicos de detritos. Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de U, trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales (PMA-GCA, 2007, p.19).

– *Avalanchas de detritos*

Es un flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundos, muy rápidos a extremadamente rápidos.

Las avalanchas, a diferencia de los deslizamientos, presentan un desarrollo más rápido de la rotura, según el contenido de agua o por efecto de la pendiente, la totalidad de la masa puede licuarse, al menos en parte, fluir y depositarse mucho más allá del pie de la ladera (Varnes, 1978, p. 24).

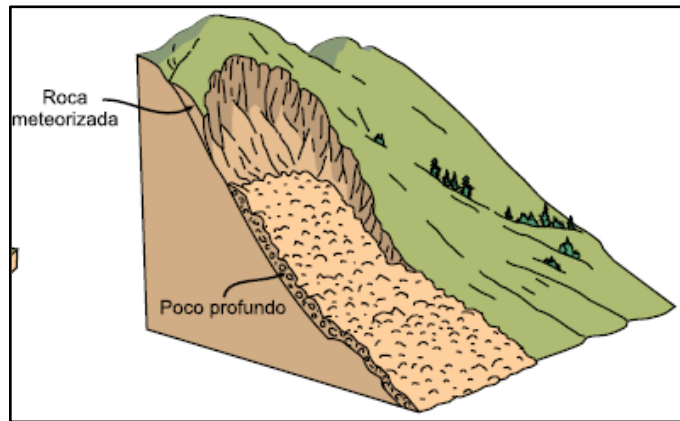


Figura 12-2: Avalanchas de detritos

Fuente: Varnes, 1978

– *Crecida de detritos*

Flujo muy rápido de una crecida de agua que transporta una gran carga de detritos a lo largo de un canal (Hungro, 2001, p. 36).

Los depósitos de crecida de detritos están compuestos comúnmente por mezclas de arena gruesa y grava pobremente estratificada. Se diferencia de los depósitos de *flujos de detritos* en que las gravas que los forman presentan una textura uniformemente gradada sin matriz en todo el depósito, e imbricación de clastos y bloques (Pierson, 2005, p. 175).

– *Flujo de lodo*

Flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos ($I_p > 5\%$), cuyo contenido de agua es significativamente mayor al del material fuerte. Se distingue del flujo de arcilla, en que el flujo de lodo incorpora agua superficial durante el movimiento, mientras que el deslizamiento por flujo ocurre por licuación in-situ, sin incremento significativo del contenido de agua (Hungro, 2001, p. 40).

– *Flujo de tierra*

Es un movimiento intermitente, rápido o lento, de suelo arcilloso plástico.

– *Deslizamiento por flujo*

Flujo muy rápido o extremadamente rápido de una masa de suelo con estructuras granular ordenada o desordenada. Ocurre en taludes de pendientes moderadas e involucra un exceso de presión de poros o licuación del material en la zona donde se origina el movimiento de masa. De acuerdo con el tipo de material, puede denominarse más específicamente como: deslizamiento por flujo de arena, limo, detritos o deslizamiento por flujo de roca débil (Hungro, 2001, p. 42).

2.4.1.6. Reptación

La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla.

La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo (PMA-GCA, 2007, p.30).

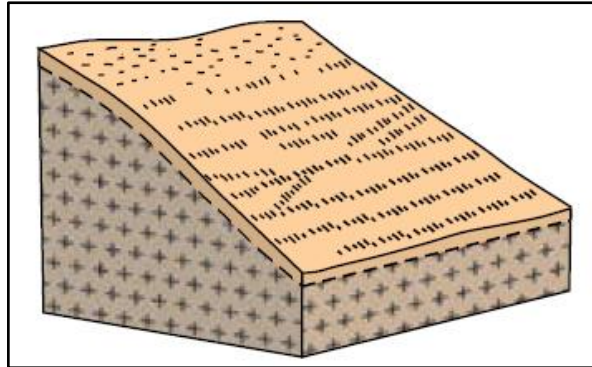


Figura 13-2: Esquema de reptación

Fuente: Corominas & García, 1997

Dentro de este movimiento se incluye la solifluxión, es un proceso causado por cambios de volumen de carácter estacional en capas superficiales del orden de 1 a 2 metros de profundidad, combinados con el movimiento lento del material ladera abajo (PMA-GCA, 2007, p.30).

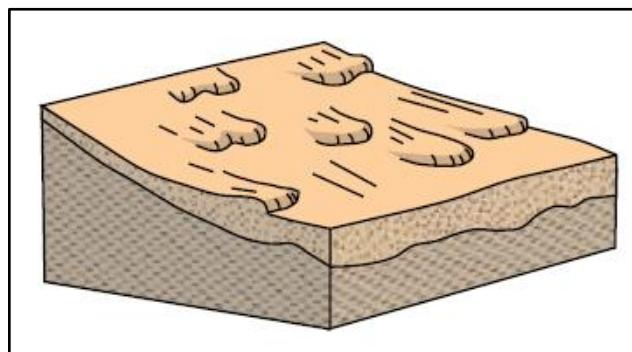


Figura 14-2: Esquema de solifluxión

Fuente: Corominas & García, 1997

La reptación de suelos y la solifluxión son importantes en la contribución a la formación de delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de alta pendiente. Estas capas pueden ser subsecuentemente la fuente de deslizamientos de detritos superficiales y de avalanchas de detritos.

2.5. Clasificación geomecánica

El RMR es una clasificación geomecánica, en la que se tienen en cuenta los siguientes parámetros del macizo rocoso. (Bieniawski, 1989, p. 77).

- Resistencia de la roca
- Índice de calidad de la Roca (RQD)
- Separación de las discontinuidades
- Condiciones de las discontinuidades
- Presencia de Agua
- Corrección por orientación

Estos factores se cuantifican mediante una serie de parámetros, definiendo unos valores para dichos parámetros, cuya suma, en cada caso nos da el Índice de Calidad de RMR que varía entre 0 – 100.

Tabla 3-2: Clasificación geomecánica de Bieniawski

Clase	Calidad	RMR	Cohesión (KPa)	Angulo de fricción (°)
I	Muy buena	81 – 100	> 400	> 45
II	Buena	61 – 80	300 – 400	35 – 45
III	Regular	41 – 60	200 – 300	25 – 35
IV	Mala	21 – 40	100 – 200	15 – 25
V	Muy mala	0 – 20	< 100	< 15

Fuente: Engineering Rock Mass Classifications, Bieniawski, Z. T.

A continuación, se define y valora cada uno de los parámetros que intervienen en la clasificación.

2.5.1. Resistencia de la roca

La resistencia de una roca se puede determinar por tres procedimientos mediante el martillo Schmidt de Dureza, mediante el ensayo de carga puntual y mediante el ensayo de compresión simple y/o Uniaxial. Además de parámetros que permiten clasificar este valor mediante la identificación de campo. Ver tabla 2-4 y 2-5.

Tabla 4-2: Identificación de la resistencia de la roca mediante el martillo de geólogo

Grado	Descripción	Identificación de campo	Rango aprox. (MPa)
R1	Roca muy dura	Se requieren varios golpes con el martillo de geólogo para romper la muestra	> 250
R2	Roca dura	Se requieren más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra	100 - 250
R3	Roca medianamente dura	No se puede rayar o desconchar con la navaja, las muestras se pueden romper con un golpe firme del martillo de geólogo	50 - 100
R4	Roca débil	Puede desconcharse con dificultad con una navaja, se puede hacer marcas poco profundas golpeando firmemente con la punta del martillo de geólogo	25 - 50
R5	Roca muy débil	Desmenuzable bajo golpes firmes con la punta del martillo de geólogo, pueden desconcharse con una navaja	< 25

Fuente: Departamento de Geología – Produmin, 2016

Tabla 5-2: Identificación de la resistencia de la roca mediante su alteración

Grado	Descripción	Identificación de campo	Rango aprox. (MPa)
I	SANA	Ningún signo de alteración en el material rocoso. Quizás ligera decoloración sobre superficies de discontinuidades principales.	> 250
II	LIGERO	La decoloración indica alteración del material rocoso y superficial de discontinuidad. El material rocoso decolorido extremadamente es más débil, que en su condición sana.	100 - 250
III	MODERADA	Menos de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un marco continuo o como núcleo rocoso.	50 - 100
IV	MUY ALTERADA	Más de la mitad del material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a un suelo. La roca sana o decolorada se presenta como un núcleo rocoso.	25 - 50
V	DESCOMPUESTA	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado a suelo. La estructura original de la masa rocosa aún se conserva intacta.	< 25

Fuente: Departamento de Geología – Produmin, 2016

2.5.2. Índice de la calidad de la roca (RQD)

Para el área de mapeo del RQD en el campo se estima a partir del número de discontinuidades por unidad de volumen, en el cual el número de discontinuidades por metro para cada familia es sumado. La fórmula es la siguiente:

$$RQD = 100 - 3 (J_v)$$

Siendo: J_v = Número de fisuras (discontinuidades) por metro cúbico.

Tabla 6-2: Determinación del RQD en el campo

Calidad M.R	Tamaño de bloque	Discontinuidades por m ³	RQD	Calidad M.R	Tamaño de bloque	Discontinuidades por m ³	RQD
Excelente	1 m ³	1	97	Mala	1 m ³	17	49
		2	94			18	46
		3	91			19	43
Buena	1 m ³	4	88			20	40
		5	85			21	37
		6	82			22	34
		7	79			23	31
		8	76			24	28
Regular	1 m ³	9	73	Muy Mala	1 m ³	25	25
		10	70			26	22
		11	67			27	19
		12	64			28	16
		13	61			29	13
		14	58			30	10
		15	55			31	7
		16	52			32	4
<i>RQD=100-(3*Jn) Jn= número de discontinuidades por m³</i>						33	1

Fuente: Fierro, F, 2004

Modificado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

2.5.3. Espaciamiento de las discontinuidades

Se ha comprobado que el espaciamiento de las discontinuidades tiene gran influencia sobre la estructura del macizo rocoso. La resistencia del macizo rocoso va disminuyendo según va aumentando el número de discontinuidades (Bienaiwsky, 1989, p.37).

Así resulta que un material rocoso de alta resistencia de 100 a 200 MPa, que esté muy fracturado con un espaciamiento de discontinuidades de 5 cm, corresponde a un macizo rocoso débil.

Tabla 7-2: Descripción del espaciamiento de discontinuidades

Descripción espaciamiento	Espacio de discontinuidad	Tipo de macizo rocoso
Muy ancho	> 2 m	Solido
Ancho	0,6 – 2 m	Masivo
Moderado	200 – 600 m	En bloques
Cerrado	60 – 200 mm	Fracturado
Muy cerrado	< 60 mm	Machacado

Fuente: Engineering Rock Mass Classifications, Bieniawski, Z. T.

2.5.4. Condiciones de las discontinuidades

Estas condiciones describen cuantitativamente un macizo rocoso, para esto se tiene en cuenta los siguientes parámetros:

2.5.4.1. Persistencia

Es la longitud o tamaño de las discontinuidades

Tabla 8-2: Descripción de persistencia

Descripción	Longitud
Muy baja persistencia	< 1 m
Baja persistencia	1 – 3 m
Persistencia media	3 – 10 m
Alta persistencia	10 – 20 m
Muy alta persistencia	> 20 m

Fuente: Engineering Rock Mass Classifications, Bieniawski, Z. T.

2.5.4.2. Abertura

Es la distancia perpendicular de separación de cada lado de las discontinuidades y se estima mediante la tabla siguiente:

Tabla 9-2: Descripción de abertura

Descripción	Separación
Muy abierta	> 10 mm
Abierta	2,5 – 10 mm
Moderadamente abierta	0,5 – 2,5 mm
Cerrada	0,1 – 0,5 mm
Muy cerrada	< 0,1 mm

Fuente: Engineering Rock Mass Classification, Bieniawski, Z. T.

2.5.4.3. Rugosidad

Es la calidad (lisura) de la superficie de la discontinuidad esta clasificación se establece en 5 categorías de rugosidad: muy rugosa, rugosa, ligeramente rugosa, suave y espejo de falla.

2.5.4.4. Relleno

Se define por su espesor, tipo de material, consistencia y continuidad que se halla dentro de la discontinuidad.

Tabla 10-2: Descripción del relleno

Descripción	Extensión
Limpia	
Dura	< 5 mm
Dura	> 5 mm
Suave	< 5 mm
Suave	> 5 mm

Fuente: Engineering Rock Mass Classifications, Bieniawski, Z. T.

2.5.4.5. Alteración

Es el grado de alteración de los bordes de la discontinuidad, esta clasificación se establece en 5 categorías de alteración: sana, ligeramente alterada, alterada, muy alterada, descompuesta.

2.5.5. Presencia de agua

El efecto del agua tiene especial importancia en los macizos rocosos diaclasados. El criterio que se utilizará será el siguiente: seco, húmedo, mojado, goteo y flujo.

2.5.6. Ajuste de orientación de discontinuidades

La valoración de este parámetro cuando es orientado a estudios de taludes, es siempre negativa, se considera para este parámetro la orientación del buzamiento de las discontinuidades con la orientación de corte del talud, se clasifica en 5 categorías: muy favorable, favorable, regular, desfavorable y muy desfavorable.

2.6. Método de Mora – Vahrson

Es un método de tipo explícito y semi analítico que tiene por objeto predecir la amenaza por FMR (fenómenos de remoción en masa). En este método se consideran cinco factores que son: el relieve relativo, la litología, la humedad del suelo (elementos pasivos), la combinación de estos tres elementos pasivos se realiza considerando que los FRM ocurren cuando una ladera adquiere un grado de susceptibilidad. La sismicidad, y la intensidad de lluvias o precipitación (elementos activos) actúan como elementos de disparo que destruyen los equilibrios, la mayoría de las veces precarios, que mantienen las laderas (Mora, 1992).

De esta forma se considera que el grado o nivel de amenaza es el producto de la susceptibilidad y de la acción de los elementos de disparo.

$$H = (SI * SH * SP) * (DLL + DS)$$

Dónde:

H: grado de amenaza

SI: valor del parámetro de la susceptibilidad litológica

SH: valor del parámetro de humedad del terreno

SP: valor del parámetro de pendiente

DLL: valor del parámetro de disparo por lluvia

DS: valor del parámetro de disparo por sismicidad

2.7. Método de Mora – Vahrson (modificado)

Es un método modificado que utiliza el factor de cobertura vegetal, en lugar del factor de humedad del suelo y se determina por la siguiente fórmula.

$$H = (S_m * S_c * S_l) * (T_s + T_p)$$

Dónde

H: grado de amenaza de las unidades geomorfológicas

S_m: Factor de pendiente

S_c: Factor de cobertura vegetal

S_l: Factor de susceptibilidad litológica

T_s: Factor detonante por sismicidad

T_p: Factor detonante por precipitación

2.7.1. Factor de pendiente del terreno

Este parámetro utiliza las clases de pendiente con las cuales se describen los procesos característicos y esperados, y las condiciones del terreno, así como una leyenda de colores sugerida por el mismo autor. Las clases de pendientes pueden coincidir con los sectores críticos, donde los procesos de deslizamiento son dominantes (Zuidman, 1986, p. 442).

Tabla 11-2: Valoración del parámetro de pendiente del terreno

Pendiente	Condiciones del terreno	Factor S_m
0° - 2°	Planicie, sin denudación apreciable	0
2° - 4°	Pendiente muy baja, peligro de erosión	1
4° - 8°	Pendiente baja, peligro severo de erosión	2
8° - 16°	Pendiente moderada, deslizamientos accionales, peligro severo de erosión	3
16° - 35°	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos	4
35° - 55°	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible	5
> 55°	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada	6

Fuente: Mora & Vahrson, 1993

2.7.2. Factor de cobertura del suelo

El efecto de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes ha sido muy debatido en los últimos años; incluso ha dejado muchas dudas e inquietudes en relación a la cuantificación de los efectos de estabilización de las plantas sobre el suelo; sin embargo, la experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación, para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales. Las características de las raíces dependen de la especie vegetal, la edad, las propiedades del perfil de suelo y el medio ambiente. La profundidad de las raíces generalmente, no supera los cinco metros en árboles grandes, dos metros en los arbustos y 30 centímetros en los pastos (Suárez, 1998, pp. 11-23).

Tabla 12-2: Calificación del factor cobertura vegetal

Categoría	Calificativo	Descripción	Factor Sc
Bosques Cultivos permanentes Manglares	Alta cobertura	Bosque: Ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural, que se caracteriza por la presencia de árboles de diferentes especies nativas, edades y portes variados, con uno o más estratos. Cultivos: Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo es mayor a tres años, y ofrece durante este periodo varias cosechas.	1
Vegetación arbustiva Vegetación herbácea Páramos Cultivos Semipermanentes Cultivos anuales Agropecuario mixto	Baja cobertura	Vegetación Arbustiva: Áreas con un componente substancial de especies leñosas nativas cuya estructura no cumple con la definición de bosque. Vegetación Herbácea: Vegetación dominante constituida por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontáneo, que no reciben cuidados especiales, utilizados con fines de pastoreo esporádico, vida silvestre o protección. Vegetación desarrollada en abruptos o sobre cangagua. Páramo: Incluye ecosistemas de páramo denso y en distintas etapas de recuperación después de disturbios antrópicos. Cultivo Semipermanente: Comprenden aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo dura entre uno y tres años. Cultivo Anual: Comprende aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas, cuyo ciclo vegetativo es estacional, pudiendo ser cosechados una o más veces al año. Agropecuario mixto: Comprende las tierras usadas para diferente clase de cultivos donde se usó esta caracterizado por variedad de productos	2
Sin cobertura Zonas erosionadas Procesos de erosión	Sin cobertura	Áreas con poca o ninguna cobertura vegetal. Incluye playas, desiertos, gravas, salina industrial, salina natural, afloramientos rocosos y áreas erosionadas por procesos naturales o de origen antrópico	3
Infraestructura	Mediana cobertura (antrópica)	Establecimiento de un grupo de personas en un área determinada, incluyendo la infraestructura civil que lo complementa.	1

Fuente: CLIRSEN, 2013

2.7.3. Factor de susceptibilidad litológica

Los tipos de suelos y rocas juegan un papel preponderante en el comportamiento dinámico de las laderas. La composición mineralógica, la capacidad de retención de humedad, los espesores y grado de meteorización, el estado de fracturamiento, el ángulo de buzamiento, la posición y variación de los niveles freáticos, etc., influyen claramente en la estabilidad o inestabilidad de las laderas (Mora & Vahrson, 1993 p. 45).

Tabla 13-2: Valoración del parámetro de susceptibilidad litológica

Litología	Calificación	Factor S_l
Aluvión grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo. Calizas duras permeables. Rocas intrusivas, poco fisuradas, bajo nivel freático. Basaltos, andesitas, ignimbritas. Características físicas mecánicas: materiales sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevado, fisuras sanas, sin relleno	Bajo	1
Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, poco fisuradas. Calizas duras permeables. Rocas intrusivas, calizas duras. Características físico mecánicas: resistencia al corte, media a elevada	Moderado	2
Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas tobas poco soldadas, rocas metamórficas mediana a fuertemente alteradas, niveles freáticos relativamente altos	Medio	3
Aluviones fluvio lacustres, suelos piroclásticos poco compactados, rocas fuertemente alteradas.	Alto	4
Materiales aluviales, coluviales de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen los casos 3 y 4 con los niveles freáticos muy someros, sometidos a gradientes hidrodinámicos altos	Muy Alto	5

Fuente: Mora & Vahrson, 1993

2.7.4. Factor detonante por sismicidad

Se ha observado que el potencial de generación de deslizamientos por actividad sísmica puede correlacionarse con la escala de intensidades de Mercalli-Modificada (Mora, 1992).

Tabla 14-2: Valoración del parámetro de sismicidad

Intensidad Mercalli-Modificada	Magnitud Richter (estimada)	Calificación	Factor T_s
III	3,5	Leve	0
IV		Muy bajo	
V		Bajo	
VI	4,5	Moderado	1
VII		Medio	
VIII	6,0	Elevado	2
IX		Fuerte	
X	7,0	Bastante fuerte	3
XI	8,0	Muy fuerte	4
XII		Extremadamente fuerte	

Fuente: Mora & Vahrson, 1993

2.7.5. Factor detonante por precipitación

En este parámetro se considera las intensidades de lluvias potencialmente generadoras de deslizamientos, se utiliza la lluvia máxima en 24 horas; a series temporales con más de 10 años de registros (Mora, 1992).

Tabla 15-2: Valoración del parámetro de precipitación

Precipitación máxima mm/día	Descripción	Factor T _p
< 100	Muy bajo	1
101 - 200	Bajo	2
201 - 300	Medio	3
301 - 400	Alto	4
> 400	Muy alto	5

Fuente: Mora & Vahrson, 1993

2.7.6. Clases de susceptibilidad y sus calificativos de acuerdo al grado de amenaza

Para los resultados de la combinación de todos los factores no se puede establecer una escala de valores única, pues los mismos dependen de las condiciones de cada área estudiada. Por este motivo, se sugiere dividir el rango de valores obtenidos, para el área de estudio, en cinco clases de susceptibilidad y asignar los calificativos que se presentan en el siguiente cuadro (Mora, 1992).

Tabla 16-2: Grado de amenaza de acuerdo al potencial de susceptibilidad

Potencial	Clase	Grado de amenaza
0 - 6	I	Muy baja
7 - 32	II	Baja
33 - 512	III	Moderado
513 - 1251	IV	Alto
> 1251	V	Muy alta

Fuente: Mora & Vahrson, 1993

Se debe enfatizar en que la clasificación relativa de la susceptibilidad, se basa en la influencia que tienen las diferentes condiciones examinadas en un área específica; es decir, las áreas de susceptibilidad determinadas para un sitio son válidas únicamente para este sitio. Condiciones similares, encontradas fuera del sitio, pueden producir un resultado diferente por una pequeña diferencia en alguno de los factores (Mora, 1992).

Tabla 17-2: Clasificación de la susceptibilidad al deslizamiento

Clase	Calificativo de susceptibilidad	CARACTERÍSTICAS
I	Muy baja	Sectores estables, no se requieren medidas correctivas. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc.
II	Baja	Sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en caso de obras de infraestructura de gran envergadura. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta. Sectores aptos para usos urbanos de alta densidad y ubicación de edificios indispensables como hospitales, centros educativos, estaciones de policía, bomberos, etc. los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado
III	Moderada	No se debe permitir la construcción de infraestructura si no se realizan estudios geotécnicos y se mejora la condición del sitio. Las mejoras pueden incluir: movimientos de tierra, estructuras de retención, manejo de aguas superficiales y subterráneas, bioestabilización de terrenos, etc. los sectores con rellenos mal compactados son de especial cuidado. Recomendado para usos urbanos de baja densidad.
IV	Alta	Probabilidad de deslizamiento alta (< 50%) en caso de lluvias de intensidad alta. Para su utilización se debe realizar estudios de estabilidad a detalle y la implementación de medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector, en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.
V	Muy alta	Probabilidad de deslizamiento muy alta (> 50%) en caso de lluvias de intensidad alta. Prohibido su uso con fines urbanos, se recomienda usarlos como áreas de protección.

Fuente: Mora, 1992

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Documentación y recopilación de la información

Antes de realizar el trabajo de campo se realizó el análisis de la información disponible sobre la zona, especialmente las condiciones generales de la vegetación, clima, vías de acceso, asentamientos humanos, condiciones hidrológicas y geológicas, para esto se realizó la recopilación de material bibliográfico en las entidades estatales como el GAD parroquial de Copal, GAD cantonal del cantón Santiago, la administración de la Hidroeléctrica San Bartolo; los documentos analizados para este trabajo corresponden a:

- Hoja topográfica Méndez escala 1:50.000, editada por el Instituto Geográfico Militar, 1989.
- Mapa geológico del Ecuador, Hoja 92 - Méndez, escala 1:100.000, editado por la Dirección General de Geología y Minas.
- Mapa General de Suelos del Ecuador – Sociedad Ecuatoriana de las Ciencias del Suelo, 1989.
- Geología del Ecuador: Boletín de explicación del mapa geológico de la república del Ecuador, Esc. 1:1,000,000.
- Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Copal.
- Estudio geológico – geotécnico y diagnóstico de los procesos de inestabilidad a lo largo de la conducción correspondiente al Proyecto Hidrológico.
- Consultas varias.

3.1.1. Conversaciones con los moradores de la zona

Se realizó una conversación con algunos moradores de la comunidades de San Bartolo y La Dolorosa con la finalidad de obtener información relacionada con los movimientos del suelo y su grado de afectación a la comunidad; luego de estas reuniones se estableció que el movimiento del suelo en el sector tiene características de permanente en el tiempo (la historia de los asentamientos humanos no es mayor que 80 años) y que tiene relación con la frecuencia de los períodos lluviosos que afectan al sector por lo que se establece cierto grado de periodicidad de los movimientos y asociados a los períodos de lluvia excesivos (período de El Niño); lo que se considera de importancia es que la comunidad se mantiene pasiva e indolente frente a estos eventos.

3.2. Trabajo de campo

Con los datos obtenidos del análisis de la bibliografía se elaboró el mapa geológico preliminar y con este documento se procedió a realizar el levantamiento de campo que consistió en recorrer el área de estudio a fin de determinar la litología dominante, estructuras geológicas existentes, estimación del macizo rocoso y verificación de los movimientos de masa existentes en la zona. El instrumento utilizado fue: GPS Garmin, brújula tipo Brunton, picota, libreta de campo, lápiz, flexómetro, lápiz rayador de dureza, ácido clorhídrico, teléfono celular.

El levantamiento geológico de campo se realizó utilizando los cortes efectuados para el emplazamiento de la tubería de conducción de agua del proyecto hidroeléctrico, los cortes de la vía desde San Bartolo hasta la represa y los cauces naturales de las quebradas del sector, este levantamiento incluye la identificación y caracterización litológica, determinación de las condiciones estructurales de la zona tales como orientación y disposición de las capas o estratos, la determinación de pliegues, fallas geológicas y sistema de fracturación además se realizó la determinación del nivel freático mediante la observación directa de la presencia de agua en los afloramientos y en la superficie estudiada.

3.2.1. Caracterización del macizo rocoso

La clasificación geomecánica de Bieniawski o clasificación RMR fue desarrollada en 1973, actualizada en 1979 y 1989, el sistema consiste de una metodología de criterios de excavación y sostenimiento, esta clasificación tiene como objetivo definir la calidad de los macizos rocosos en función al índice RMR, este índice se calcula teniendo en cuenta la resistencia de la matriz rocosa, el índice RQD (frecuencia de fracturación), condición de las discontinuidades y parámetros hidrogeológicos; la valoración del macizo rocoso (RMR) de Bieniawski, se realizará analizando y calificando los siguientes parámetros.

Resistencia de la roca

- RQD (intervalo entre fracturas, mayor que 10 cm)
- Separación de las discontinuidades (distancia media entre discontinuidades de una misma familia)
- Condición de las discontinuidades (longitud de una discontinuidad en el macizo, separación (abertura) de una discontinuidad, grado de rugosidad, relleno existente en la discontinuidad
- Presencia de agua

Estas características del macizo rocoso se obtienen del trabajo de campo realizado en el área de estudio, mediante la utilización de instrumentos como (brújula, martillo geológico) y la visualización in-situ, la brújula nos permite medir la dirección y buzamiento de las diferentes discontinuidades y el martillo geológico mediante la utilización la tabla 2-4, 2-5 la estimación de

la resistencia de la roca; que está directamente relacionadas con la determinación del RMR (Rock Mass Rating), que evalúa la calidad del macizo rocoso.

3.2.2. Método Mora-Vahrson (modificado)

3.2.2.1. Ponderación del factor de pendiente del terreno

El factor de pendiente del terreno tiene gran importancia como condición de susceptibilidad en la ocurrencia de un movimiento de masa; la ponderación para la obtención del factor pendiente se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1-3: Ponderación del factor pendiente (S_m)

Rango (grados)	Ponderación (S_m)
$0^0 - 2^0$	0
$2^0 - 4^0$	1
$4^0 - 8^0$	2
$8^0 - 16^0$	3
$16^0 - 35^0$	4
$35^0 - 55^0$	5
$> 55^0$	6

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Para elaborar el mapa de pendientes se utilizaron las curvas de nivel del cantón Santiago a escala 1:50000, a partir del cual se originó un DEM (modelo de elevación Digital), en base a estos datos se realizó el cálculo de pendientes en base a los parámetros de pendientes de Mora & Vahrson (modificado).

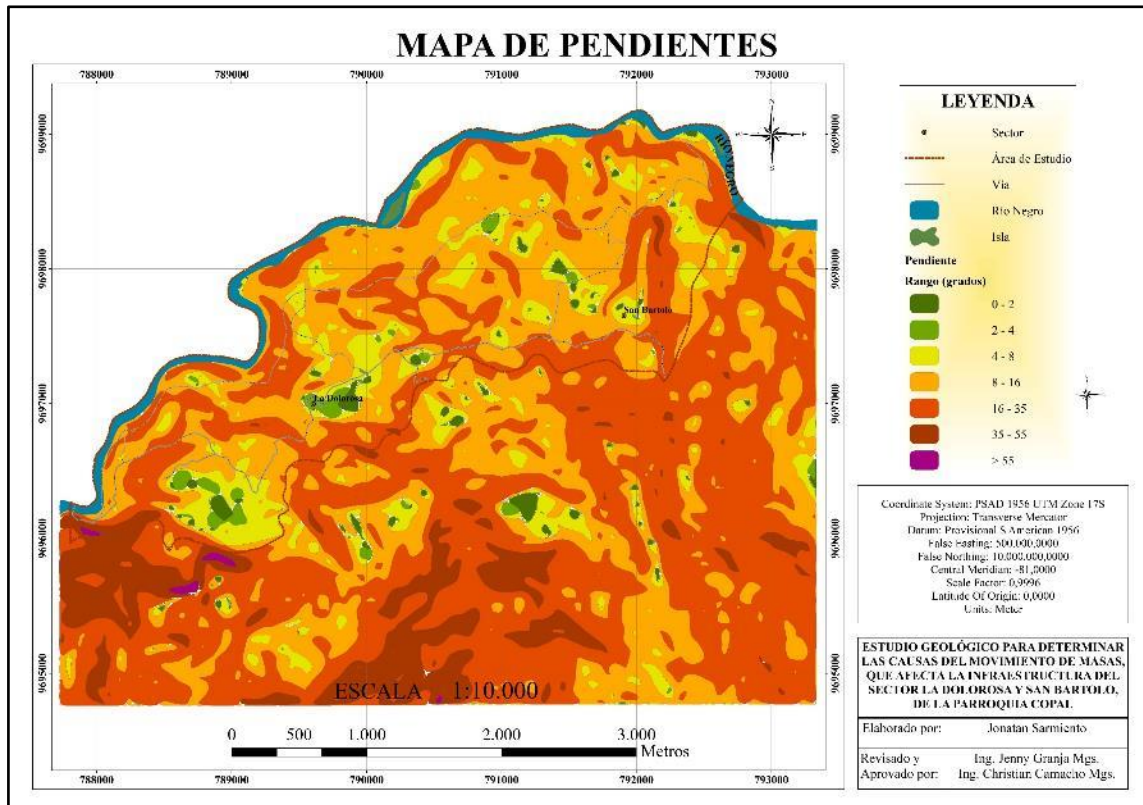


Figura 1-3: Mapa de pendientes de la zona de estudio

Realizado por: Sarmiento, J, 2020

3.2.2.2. Ponderación del factor litológico

De acuerdo a los datos obtenidos en campo y a la interpretación litológica del área de estudio, se obtuvo las siguientes ponderaciones.

Tabla 2-3: Ponderación del factor litológico (S_i)

Formación geológica	Descripción	Ponderación (S _i)
Formación Napo	Rocas sedimentarias presenta una secuencia rítmica de arenas, limos, arcillas y calizas.	3
Depósitos Coluviales	Rocas extremadamente alteradas compuestas por arcillas, arenas de grano fino a grueso.	5

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Para la elaboración de mapa litológico se realizó a partir del mapa base a escala 1:10000.

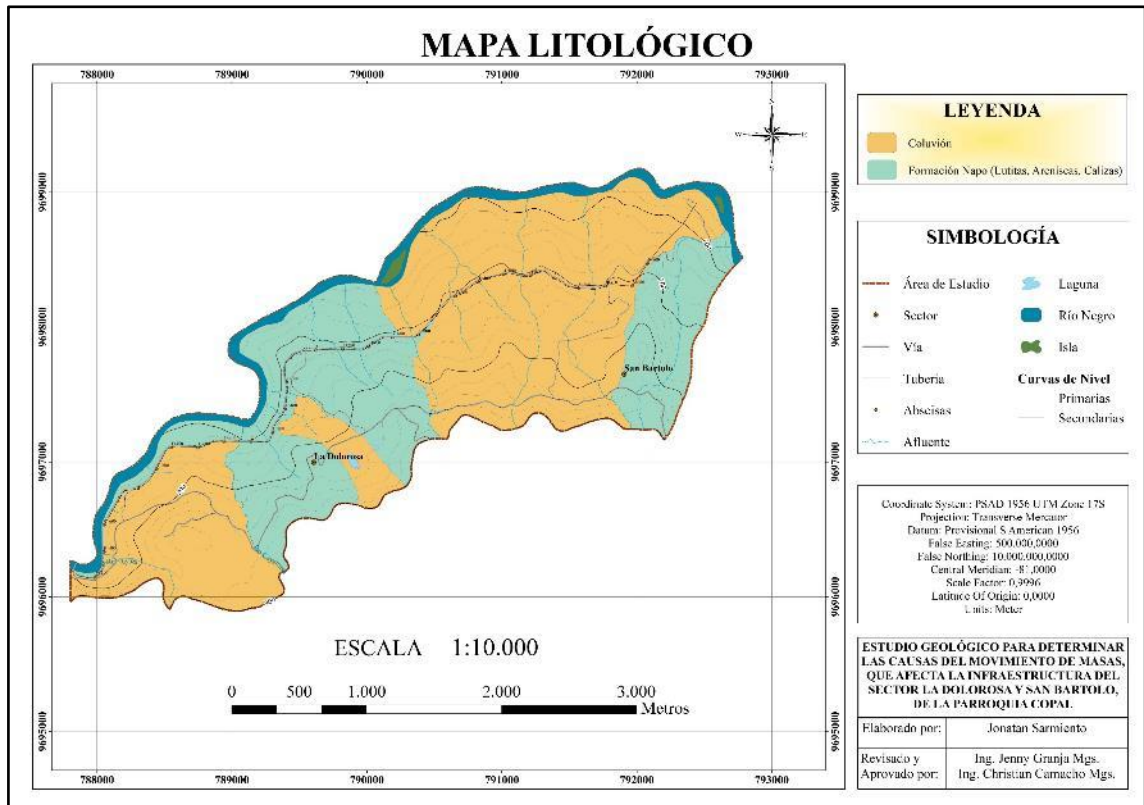


Figura 2-3: Mapa litológico de la zona de estudio

Realizado por: Sarmiento, J, 2020

3.2.2.3. Ponderación del factor de cobertura del suelo

La cobertura vegetal no actúa como un factor definitivo para disminuir la susceptibilidad de zonas propensas a movimientos de masas, pero tiene una gran influencia en la estabilidad del talud. La ponderación de la cobertura del suelo se obtuvo a partir de los datos proporcionados por SENPLADES, con esta base se procedió a reclasificar los parámetros basados en el método de Mora Vahrson (modificado).

Tabla 3-1: Ponderación del factor cobertura vegetal (S_c)

Cobertura vegetal	Calificativo	Ponderación (S_c)
Bosques (vegetación Leñosa)	Alta cobertura	1
Vegetación herbácea Pasto Pasto Rebrote	Baja cobertura	2
Suelo descubierto	Sin cobertura	3

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

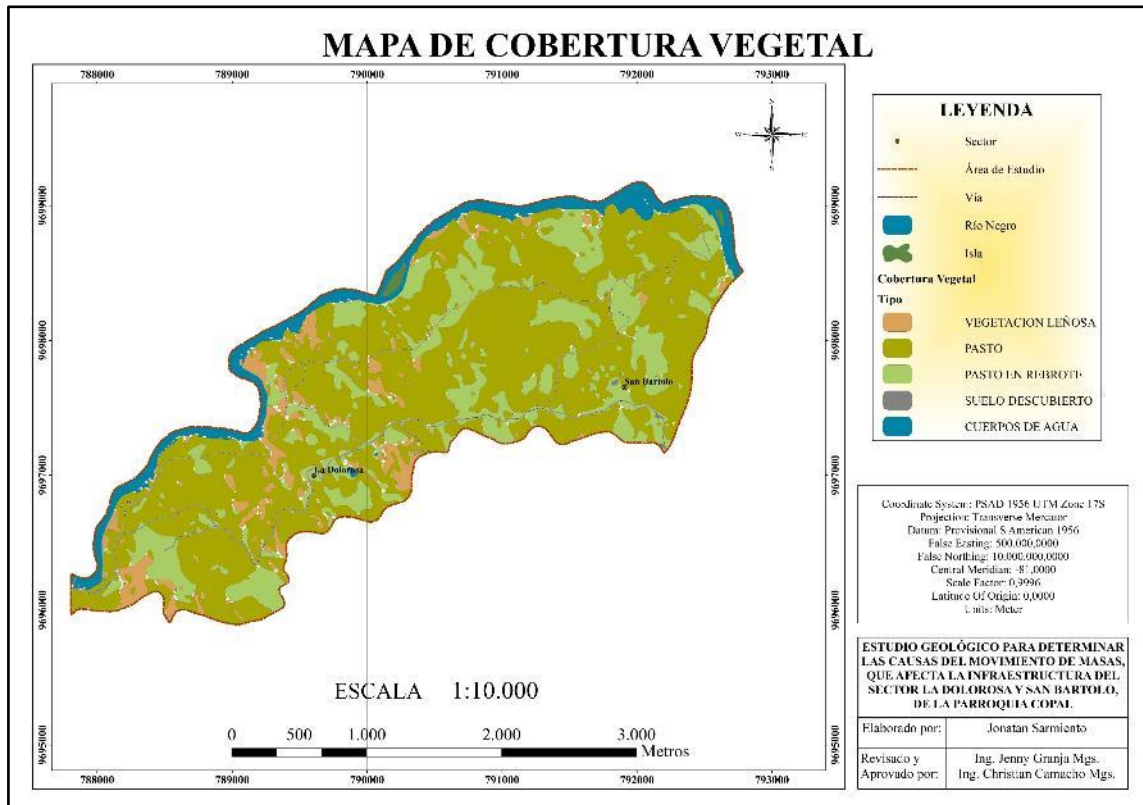


Figura 3-1: Mapa de cobertura vegetal

Realizado por: Sarmiento, J, 2020

3.2.2.4. Ponderación del factor de precipitación

La precipitación es el primer factor detonante en un movimiento de masa y se determinó mediante la recopilación de información media anual a un periodo de 10 años, en base a los registros de las estaciones meteorológicas del INHAMI, una vez obtenida se analiza mediante un mapa de isoyetas.

Tabla 4-3: Ponderación del factor precipitación (Tp)

Estación	Precipitación máx. 24 horas	Coordenadas UTM	
		X	Y
SANGAY	613 mm	770776	9812860
GUALAQUIZA	314 mm	769162	9623751
LOGROÑO	369 mm	808926	9709821
MENDEZ	418 mm	799882	9701018
MACAS	492 mm	819809	9753224

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

La ponderación del factor precipitación en el área de estudio es de 5, al estar dentro de un rango mayor a 400 mm.

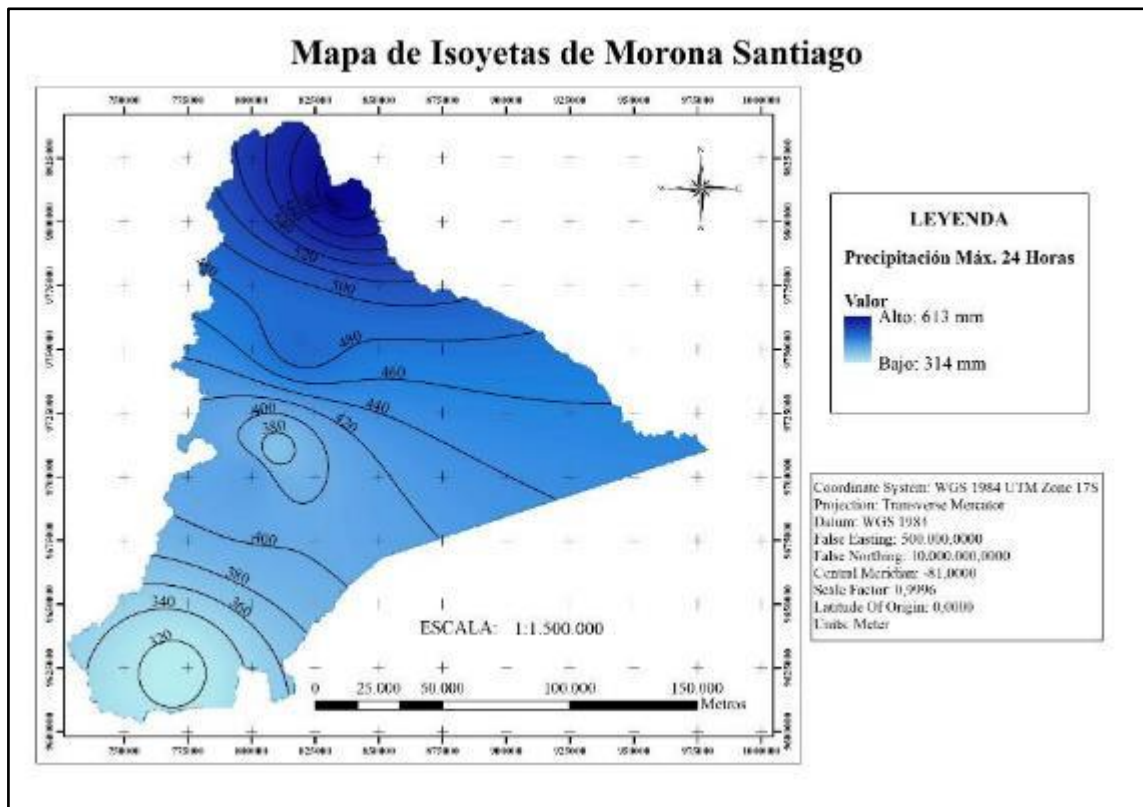


Figura 4-3: Mapa de isoyetas de la provincia de Morona Santiago

Realizado por: Sarmiento, J, 2020

3.2.2.5. Ponderación del factor sísmico

El segundo factor detonante es la sismicidad que fue analizado en base a los registros sísmicos del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. La ponderación del factor sismicidad se presenta a continuación:

Tabla 5-3: Ponderación del factor sismicidad (Ts)

Rangos	Magnitudes de sismos Cantón Santiago	Ponderación (Sc)
< 3,5	3 – 3-5	0
3,6 – 4,5	3,6 – 4,5	1
4.6 - 6	4,6 – 4,9	2

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

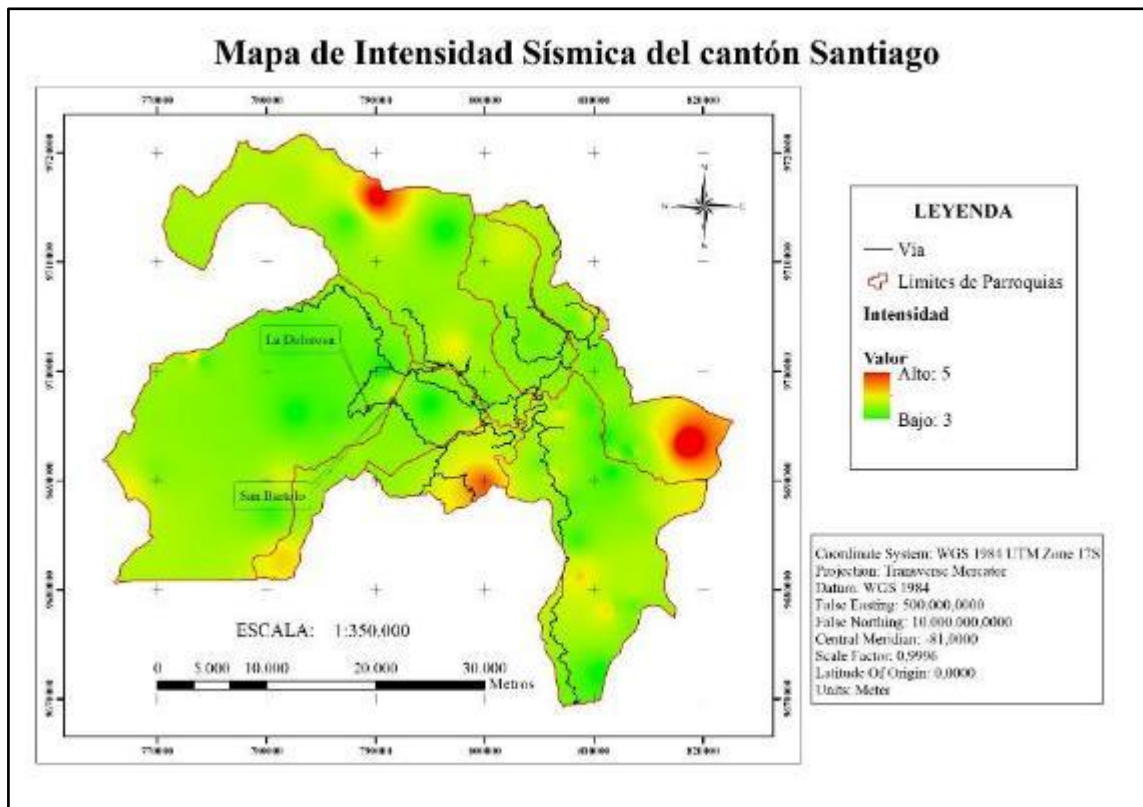


Figura 5-3: Mapa de intensidad sísmica del cantón Santiago

Realizado por: Sarmiento, J, 2020

3.2.2.6. Grado de susceptibilidad de la zona de estudio

Aplicando el método de Mora & Vahrson modificado, se calculó el grado de susceptibilidad de la zona de estudio, para esto se utilizó cada uno de los campos ponderados de los factores condicionantes y detonantes, mediante la siguiente fórmula.

$$SUS = [(S_m * S_l * S_c) * (T_s + T_p)]$$

Obtenido los datos de cada uno de los factores, se procede al cálculo mediante la utilización del software ArcGIS, generado el mapa se analiza y reclasifica de acuerdo a los parámetros de la Tabla 2-16, que determina el grado de amenaza en base a su potencial de susceptibilidad.

Tabla 6-3: Grado de amenaza de acuerdo al potencial de susceptibilidad

Potencial	Clase	Grado de amenaza
0 - 6	I	Muy baja
7 - 32	II	Baja
33 - 375	III	Moderado

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

3.3. Trabajo de gabinete

Luego de las labores de campo, se ha procedido a la realización de actividades como depuración y análisis de datos, además la determinación de la calidad del macizo rocoso y la elaboración de los mapas temáticos.

Mediante el uso del software ArcGis se realizaron los mapas de los factores condicionantes como (pendiente, litología y cobertura vegetal), y factores detonantes como precipitación y actividad sísmica. Los mapas temáticos que se confeccionaron en esta etapa han sido colocados junto a los textos correspondientes para mejorar su comprensión.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Geomorfología

Las condiciones climáticas en la actualidad, que se observan en la provincia de Morona Santiago corresponde a un clima tropical donde no es posible la existencia de zonas glaciales; sin embargo, si se analiza la situación desde el punto de vista de la evolución climática a nivel global, queda en claro que se conocen varias etapas climáticas donde el frío fue la denominación común de varios pisos climáticos en diferentes lugares del planeta, es así que durante el período comprendido entre 850.000 años y 110.000 años, se han presentado cuatro ciclos glaciales donde los casquetes de hielo cubrían gigantescas áreas de la Tierra; estos eventos han quedado registrados en la geografía provincial como zonas de morrenas y acumulaciones de tipo coluvión fluvio-glacial, como los que se observa dentro de la zona de estudio.

Los diferentes tipos de depósitos acumulados en los alrededores de La Dolorosa y San Bartolo, se presentan como archivos históricos de los procesos geomorfológicos relacionados con el clima y la evolución del relieve y que en esta zona se presenta como depósitos de morrenas que tienen su circo de alimentación glaciar ubicado en el contrafuerte Cumtza cuya cima se halla a 1830 msnm., donde se observa una morfología tipo circo con depresiones semicirculares y paredes abruptas que se observan como pequeños nichos con un fondo semi plano inclinado al norte y con características escalonadas, asociado a este circo, como se indica en la siguiente figura.

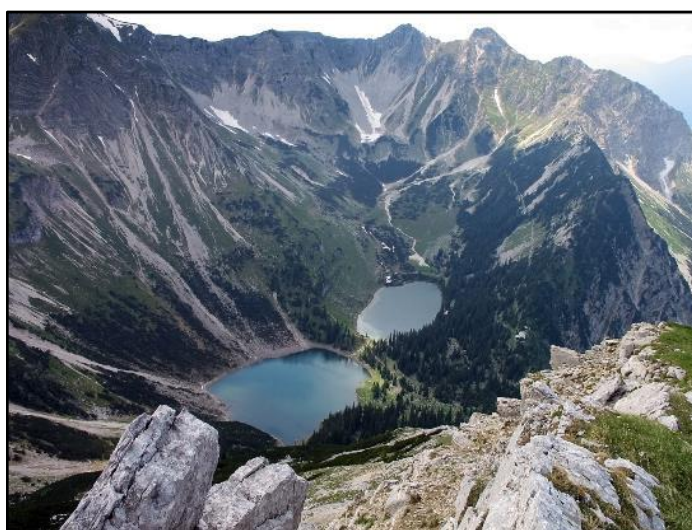
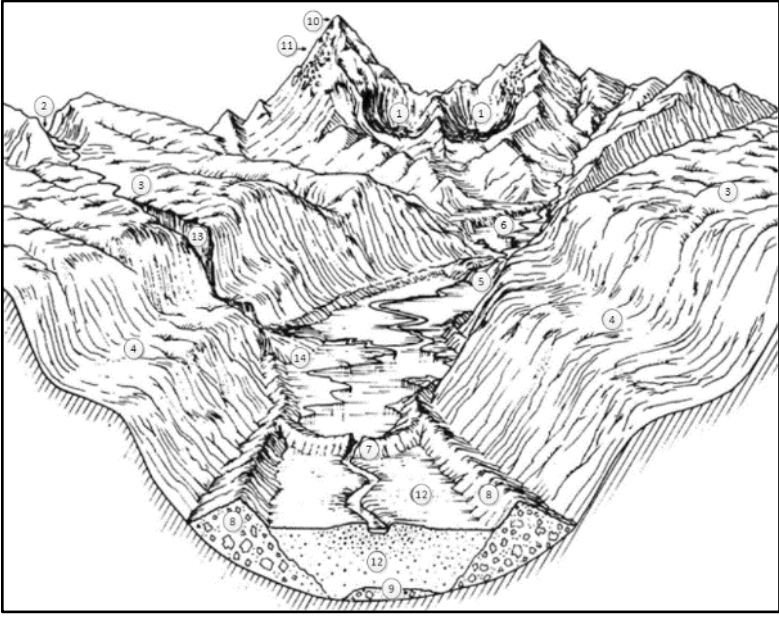


Figura 1-4: Circo glaciar

Fuente: Wikipedia, https://es.wikipedia.org/wiki/Circo_glaciar

En la siguiente tabla, se presenta la descripción de un circo glaciar y sus componentes.

Tabla 1-4: Configuración y componentes de un valle o artesa glaciar

	
<p>Modelado de erosión glaciar</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. Circo glaciar con laguna actual 2. Ensilladura de difluencia glaciar 3. Rocas aborregadas con superficie pulida 4. Hombrera o rellano de artesa glaciar 5. Umbral con estrechamiento del valle 6. Cubeta de sobre-excavación con laguna 	<p>Modelado periglacial</p> <ul style="list-style-type: none"> 10. Horn o picacho de gelifracción 11. Talud de derrubios de gravedad
<p>Modelado de acumulación glaciar</p> <ul style="list-style-type: none"> 7. Morrena frontal reteniendo laguna 8. Morrena lateral 9. Morrena de fondo 	<p>Modelado fluvial postglaciar</p> <ul style="list-style-type: none"> 12. Superficie de agradación por relleno aluvial. 13. Valle lateral colgante con escalones de confluencia 14. Cono de deyección

Fuente: Derruau, 1966

El sector del contrafuerte Cumtza, se presenta limitado por paredes escarpadas donde destaca la parte más alta que se presenta como un pico de forma piramidal (horn); estos escarpes limitan a valles glaciares en U y como de valles colgados que pone en evidencia el movimiento de la nieve generando un glaciar de flujo hacia el occidente acarreado las rocas metamórficas del contrafuerte hacia la parte baja donde se identifican dos cordones de morrenas una dirigida hacia La Dolorosa y la otra hacia San Bartolo.

El sector correspondiente al trazado del proyecto hidroeléctrico y las poblaciones de San Bartolo y La Delicia, se halla conformado por una morfología de tipo lomería baja donde se destaca una cuesta uniforme con pendientes dominantes inferiores a los 30° que se extiende desde el río Negro hasta la cima del contrafuerte Cumtza.

A pesar de esta definición general se indica que existen zonas como el sector localizado hacia la margen izquierda del río Tuyuza que presenta una morfología escarpada con pendientes fuertes superiores a los 70 grados, el valle del río es profundo y estrecho y se presenta como una U erosionada; entre el río Tuyuza y el río Cayamasa presentan superficies suavemente inclinadas tanto al río Negro como al río Cayamasa y al río Tuyuza, esta zona se encuentra entre los 900 msnm y corresponde a la mayor elevación dentro del área estudiada.

Las rocas del contrafuerte están constituidas por rocas metamórficas de edad Paleozoica que se localizan dentro del circo glacial o cuenca de recepción, del cual fueron arrancadas durante la fase de descongelamiento que generó el movimiento del glaciar y se depositaron en forma de las morrenas que se observan en la zona. Con los datos obtenidos en el campo y utilizando el software Global Mapper, se presenta la visión morfológica de la zona de estudio y alrededores para la comprensión completa de lo descrito.

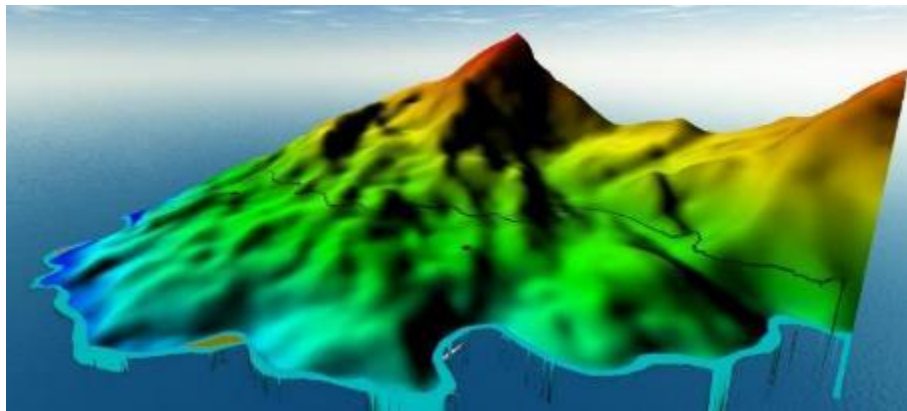


Figura 2-4: Visión morfológica desde la comunidad La Dolorosa

Realizado por: Sarmiento, J, 2020

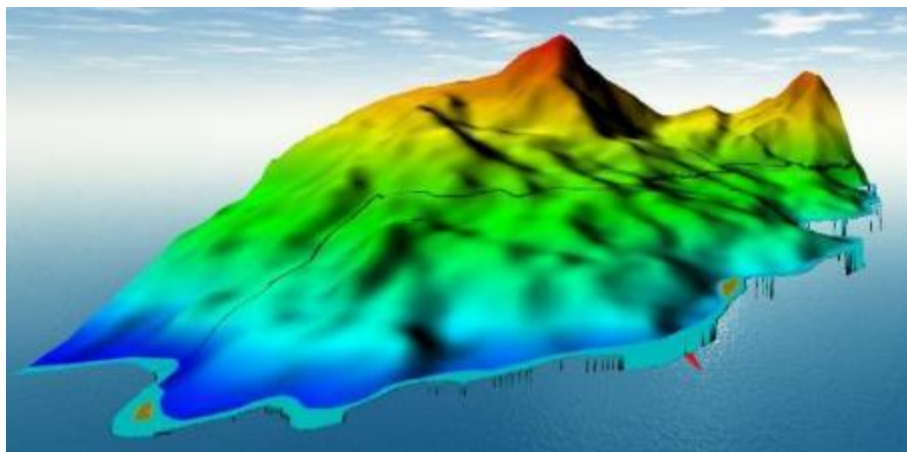


Figura 3-1: Visión morfológica desde la comunidad San Bartolo

Realizado por: Sarmiento, J, 2020

La descripción morfológica del área divide a esta en tres zonas la primera zona que se localiza sobre la carretera San Bartolo – La Dolorosa, la segunda zona que se localiza bajo la carretera indicada y la tercera zona corresponde al valle del río Negro, como se n la figura 2-4 y 3-4.

La primera zona se localiza de manera general sobre la cota 800 msnm., corresponde a una zona relativamente plana suavemente inclinada (entre 5 y 10 grados) esto se detalla en la figura 1-3 y 5-4, la litología que se observa pertenece a rocas de la formación Napo cubiertas por rocas de origen glacial conformada por bloques angulosos de esquistos, que se hallan dispuestos de manera desordenada sobre esta superficie; en los alrededores de La Dolorosa, en la parte plana la litología dominante corresponde a una morrena compuesta por una masa rocosa compuesta por bloques de esquisto dentro de una masa fino de tipo limo arcillosa que genera formas lagunares que producen encharcamiento del agua en el sector, observándose una laguna de aproximadamente 500 metros cuadrados y otras más pequeñas.

Hacia el occidente del área entre el río Tuyuza y el río Cayamasa se observa superficies suavemente inclinadas tanto hacia el río Negro como a los ríos Cayamasa y Tuyuza, esta zona se encuentra entre los 900 msnm y corresponde a la mayor elevación dentro del área estudiada.

Siguiendo hacia el este, se localiza la población de La Dolorosa en los alrededores de este poblado, sobre la vía se tiene como litología dominante, una morrena compuesta por bloques de roca metamórfica de características angulosas y sub angulosas, en tamaños superiores a 60 cm de diámetro y dispuestos roca/roca, sin ningún tipo de cemento.

La segunda zona se extiende desde la cota de la carretera La Delicia – San Bartolo hasta el valle del río Negro, corresponde a una zona inclinada hacia el norte (entre 25 y 45 grados), la litología que predomina corresponde a rocas sedimentarias de la formación Napo, principalmente una secuencia rítmica de areniscas, limos y arcillas de color negro, ocasionalmente calcáreas, que en locales se hallan recubiertas por morrenas que se observan desde la parte media del área de estudio hacia el sector de la casa de máquinas.

Finalmente tenemos el valle donde se localizan las instalaciones del proyecto y la tubería de transporte del agua, actualmente debido a los trabajos del proyecto se presenta como una superficie aplanada, levemente inclinada hacia el este.

El río Negro que se localiza entre las cotas 730 msnm y 535 msnm, corresponde al límite norte del área de estudio, el río presenta un cauce amplio de aproximadamente 50 metros donde dominan rocas metamórficas de gran tamaño, la gradiente del río se halla alrededor de 5 metros por cada 100 metros de río.

La zona de estudio se localiza en la margen derecha del río Negro, en este sector el sistema hidrográfico está compuestos por pequeños ríos y quebradas que fluyen de sur a norte a través de causes estrechos, profundos y en forma de “V”, la tendencia de las márgenes de estos ríos es a formar pequeños escarpes verticales, excepto el río Copito que presenta un cauce amplio y extendido, todos estos desembocan de forma perpendicular al río Negro.

Los datos que se han descrito sobre la geomorfología de la zona sirven de base para la elaboración del mapa de elevaciones, como se indica en la figura 5-4; además son datos relevantes para la interpretación de la susceptibilidad a deslizamientos según Mora & Vahrson (modificado).



Figura 4-4: Tipo de valle fluvial dentro del área de estudio

Realizado por: Sarmiento, J, 2020

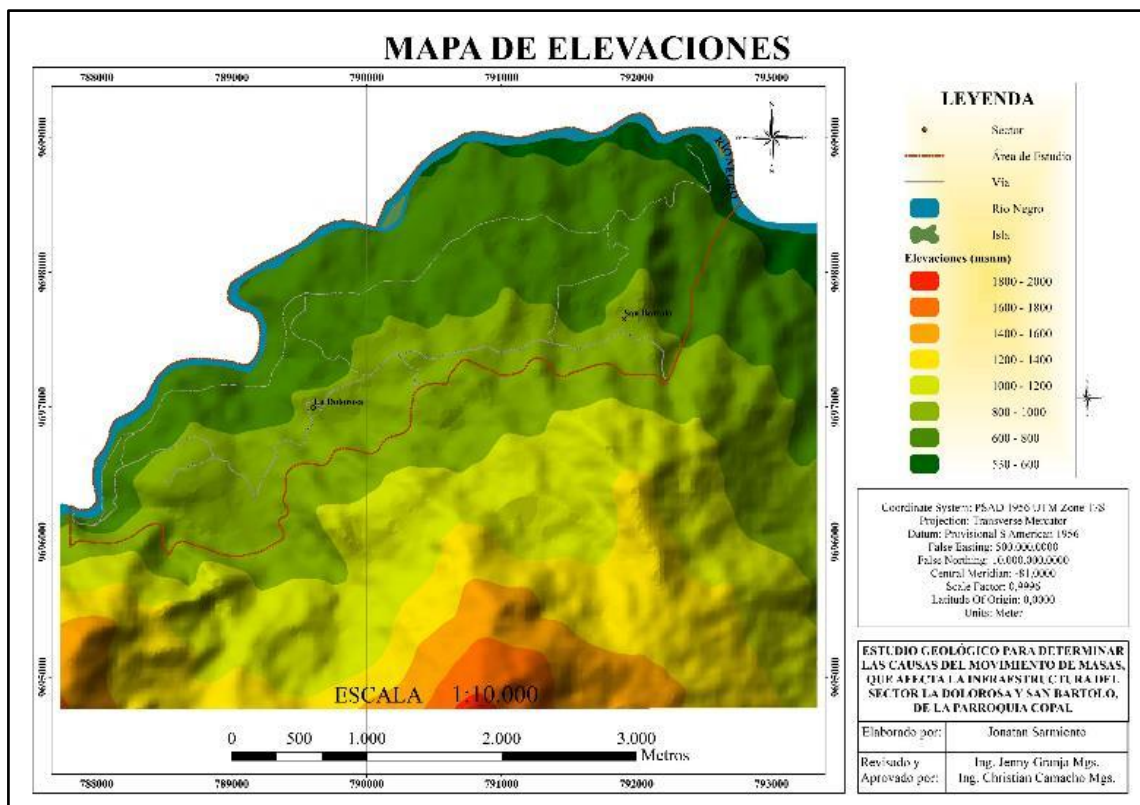


Figura 5-4: Mapa de elevaciones de la zona de estudio

Realizado por: Sarmiento, J, 2020

4.2. Geología estructural

Del levantamiento de campo se indica que la estructura dominante en el sector corresponde a la estratificación de la formación Napo, la misma que se presenta plegada en pliegues estrechos, en tipo chevron, en algunos lugares se presentan pliegues circulares pequeños mineralizados en tipo saddle reef, además de presentar estructuras de tipo boudinage donde las cuarcitas por su dureza presentan amercillamiento.

4.2.1. Características de la estratificación

La disposición de las capas es desde laminar hasta estratos de quince centímetros que se presentan como superficies plano onduladas, levemente rugosas, ocasionalmente rellenas por cuarzo y calcita, mineralizadas por sulfuros principalmente piritas en las crestas de los pliegues. Se ha identificado los siguientes planos de estratificación.

Tabla 2-4: Planos de estratificación dentro área de estudio

Planos NE		Planos NS	Planos NW	
N85E/65NW	N13E/45SE	NS/ 50W	N33W/ 15NE	N7W/ 30SW
N50E/37SE	N23E/36SE		N10W/ 40SW	N26W/ 34NE
N50E/37SE	N35E/45SE		N10W/ 35NE	N30W/ 35NE
N12E/57NW	N85E/10SE		N25W/ 50NE	N30W/ 33NE
N3E/65NW			N15W/ 70SW	

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

4.2.2. Tectónica de la zona

La zona de estudio se localiza en el sector de cruce de tres lineamientos tectónicos regionales, uno que discurre paralelo a la cordillera Real (tendencia NS), otro que discurre por el río Negro y el tercero por los ríos Negro – Namangoza, como se detalla en la figura 6-4.

El diseño tectónico dentro del área de estudio muestra una tendencia general, existiendo fallas con dirección NS/90 concordantes con el lineamiento de la cordillera Real, lineamientos con dirección N40E paralelos al lineamiento del río Negro y fallas paralelas al lineamiento del río Negro-Namangoza con dirección N45W; esto se detalla en la figura 7-4.

La observación directa de estas fallas en el campo es muy difícil debido a que la totalidad del terreno se halla cubierto por una capa de sedimentos de origen fluvio-glacial que impide la visualización de las estructuras, si bien se resalta las fallas en el mapa solo es para la visualización real de la problemática tectónica del lugar.

Los datos que se obtiene al estudiar las condiciones de la geología estructural de la zona permite conocer parámetros importantes relacionados con las condiciones geomecánicas del macizo rocoso en estudio; como el grado de fracturación en las rocas, las condiciones y características de la estratificación, su complejidad y uniformidad su disposición respecto a la pendiente y la permisividad de las estructuras al flujo de agua subterráneo, datos importantes tanto para la aplicación de la metodología RMR de Bieniawski, como la susceptibilidad por Mora & Vahrson (modificado).



Figura 6-4: Alineación tectónica de la zona de estudio

Realizado por: Sarmiento, J, 2020

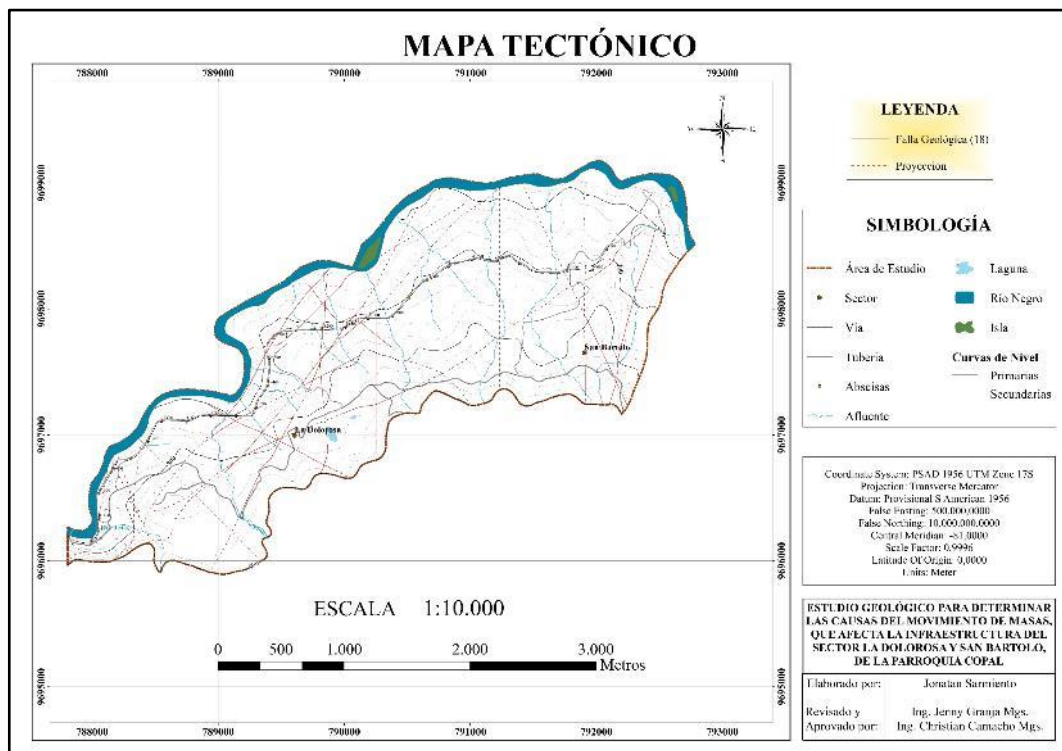


Figura 7-4: Mapa tectónico de la zona de estudio

Realizado por: Sarmiento, J, 2020

4.2.2.1. Fallas

Durante el levantamiento se ha localizado en el terreno las siguientes fallas geológicas.

Tabla 3-4: Alineaciones estructurales – fallas

Alineaciones NE	Alineaciones NS	Alineaciones NW
N05E/35SE		N36W/65SW
N32E/50SE		N10W/40SW
N23E/36SE		N55W/50SW
N26E/30SE	NS/90	N40W/37NE
N60E/60NW	NS/90	N40W/30NE
N58E/30NW		N05W/40NE
N25E/50NW		N10W/45/NE
N65E/33NW		N45W/90

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

4.2.2.2. Diaclasas

Tabla 4-1: Familias de diaclasas

Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4	Familia 5
N40W/72NE				
N40W/66NE			N50E/35SE	
N45W/55NE		N70W/63NE	N40E/44SE	
N50W/48NE		N70W/64NE	N40E/57SE	N10E/64SE
N30W/57/NE	N10W/40NE	N83W/55NE	N55E/62SE	N20E/42NW
N61W/25NE		N70W/50SW	N40E/75SE	N17E/56NW
N50W/34SW		N80W/63SW	N35E/40NW	
N45W/50SW		N70W/45SW	N50E/75NW	
N50W/46SW		N75E/25SE	N55E/65NW	
N40W/55SW				

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

La familia 1 se halla relacionada con el lineamiento regional N45W; mientras que la familia 2 se relaciona con la lineación NS, además el sistema de respuesta mecánica de rotura de este lineamiento, se refleja en la familia 3 como roturas de distensión. La familia 4 está relacionada

con el lineamiento regional N40E, y como sistema de distensión mecánica de este lineamiento está la familia 5


En general las diaclasas se caracterizan por generar superficies planas, rugosas con longitudes mayores a 20 metros y frecuencias superior a 50 fracturas por metro, frecuentemente presentan aberturas menores al milímetro y en ocasiones presentan rellenos de carbonatos, sulfuros metálicos y en las zonas de cizalla están rellenas de arcilla.

Los datos obtenidos y clasificados como estratificación, fallas y diaclasas se utilizan dentro de la clasificación geomecánica de un macizo rocoso como discontinuidades o sea corresponden a las zonas de debilidad del macizo y en ellas se analizan 5 de los 6 parámetros geotécnicos (los parámetros que se analizan para calificar y clasificar el macizo rocoso son: Resistencia de la roca, separación de las discontinuidades, longitud de las discontinuidades, separación de los lados de las diaclasas, rugosidad de la superficie de las discontinuidades, relleno de las discontinuidades (fallas y diaclasas) alteración de las rocas y la presencia de agua), con las características de estos parámetros se realiza la clasificación del macizo rocoso.

4.3. Geología del área de estudio

El levantamiento geológico de campo consiste en recorrer toda el área de estudio en donde se realizaron 42 fichas de descripción de afloramientos geo-referenciadas, esto nos permitió determinar la litología predominante en el área; a continuación, se presenta un mayor detalle.

Tabla 5-4: Ficha geológica 01

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	0 + 200
		<p>Descripción:</p> <p>Afloramiento donde se aprecia material de tipo coluvión constituido por bloques angulosos a sub redondeados de roca metamórfica de diámetro aproximado a los 2 metros; el conjunto presenta una potencia de 10 metros aproximadamente.</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 6-4: Ficha geológica 02

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abcisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	0 + 320
		<p>Descripción:</p> <p>Afloramiento donde se aprecia un derrubio constituido por fragmentos angulosos a semi angulosos de cuarcita negra, lutitas negras y limos negros con granulometría entre 1 a y 10 centímetros.</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 7-4: Ficha geológica 03

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abcisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	0 + 420
		<p>Descripción:</p> <p>Afloramiento donde se aprecia material de tipo coluvión constituido principalmente por clastos de cuarcita. Se observa la presencia de una falla producto de esta, se evidenciada la presencia de una brecha de aproximadamente 3 metros.</p> <p>Los datos estructurales de la falla son: Rumbo: N5E Buzamiento: 35SW</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 8-4: Ficha geológica 04

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abcisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	0 + 540 a 0 + 730
		<p>Descripción:</p> <p>Afloramiento donde se aprecia material de tipo coluvión constituido por fragmentos angulosos de hasta 2 metros, con una potencia de alrededor de 7 metros.</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 9-4: Ficha geológica 05

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	0 + 830
		<p>Descripción: Afloramiento donde se aprecia material de la formación Napo, constituido principalmente por estratos de cuarcita de aproximadamente 15 cm de potencia, que se emplaza entre ritmitos de arenisca, limo arcilla de color gris oscuro. Se observa la presencia de una falla producto de esta, se evidenciada la presencia de una brecha de aproximadamente 3 metros. Los datos estructurales de la falla son: Rumbo: N40W Buzamiento: 37NE</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 10-4: Ficha geológica 06

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	0 + 880
		<p>Descripción: Afloramiento donde se aprecia material de tipo coluvión constituido principalmente por clastos de cuarcita negra.</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 11-4: Ficha geológica 07

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	1 + 070
		<p>Descripción: Afloramiento donde se aprecia material de tipo coluvión constituido principalmente por clastos de cuarcita. Se observa la presencia de una falla producto de esta, se evidenciada la presencia de una brecha de aproximadamente 60 centímetros. Los datos estructurales de la falla son: Rumbo: N5W Buzamiento: 40NE</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 12-4: Ficha geológica 08

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	1+ 160
		<p>Descripción:</p> <p>Afloramiento donde se aprecia clastos de cuarcita gris que conforman una brecha de aproximadamente 1 m de potencia.</p> <p>Los datos estructurales de la falla son Rumbo: N45W Buzamiento: 90</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 13-4: Ficha geológica 09

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	2 + 060
		<p>Descripción:</p> <p>Afloramiento donde se aprecia cuarcitas negras de la formación Napo, se observa un pequeño pliegue circular de cuarenta centímetros y estratos de cuarcita de hasta 18 cm.</p> <p>Los datos estructurales de la falla son: Rumbo: N60E Buzamiento: 60NW</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 14-4: Ficha geológica 10

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	2 + 400
		<p>Descripción:</p> <p>Afloramiento de ritmo de arenisca, limo lutitas de color negro, de la formación Napo, la estructura se presenta fracturada, y se observa la presencia de ojos de agua que oxidan a la roca en el lugar de afloramiento, se tiene pliegues de pequeño tamaño.</p> <p>Este sector corresponde a una zona de inestabilidad del talud derecho con relación a la tubería.</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 15-4: Ficha geológica 11

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	2+550
			Descripción: Afloramiento de cuarcita de color gris que se presenta en estratos de entre 5 y 12 centímetros. Los datos estructurales son: Rumbo: N85E Buzamiento: 65NW	


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 16-4: Ficha geológica 12

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	2 + 600
			Descripción: Afloramiento donde se aprecia ritmo de limo cuarcita y lutita, el color es negro en estratos centimétricos. Los datos estructurales son: Rumbo: N50E Buzamiento: 37SE	


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 17-4: Ficha geológica 13

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	2 + 680
			Descripción: Afloramiento donde se aprecia cuarcita negra de la Napo, dispuesta en estratos centimétricos, se tiene la presencia de una falla de estratificación. Los datos estructurales de la falla son: Rumbo: N32E Buzamiento: 50SE	


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 18-4: Ficha geológica 14

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	2 + 730
			Descripción: Afloramiento de ritmito de la formación Napo, donde se observa una falla de estratificación. Los datos estructurales de la falla son: Rumbo: N58E Buzamiento: 30NW	


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 19-4: Ficha geológica 15

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	3 +200
			Descripción: Afloramiento de lutitas limos y areniscas negras al inicio de una zona de deslizamiento activo, además se tiene la presencia de una falla. Los datos estructurales de la falla son: Rumbo: N10W Buzamiento: 40SW	


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 20-4: Ficha geológica 16

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	3 + 250
			Descripción: Afloramiento de una secuencia rítmica de lutitas negras, limos negros y areniscas negras que se presentan en estratos entre 0.1 y 5 centímetros. En este afloramiento se observa la presencia de vetillas compuestas por cuarzo y calcita en forma de cuentas de rosario y con potencia de hasta 5 centímetros. Rumbo: N12E Buzamiento: 57NW	


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 21-4: Ficha geológica 17

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	3 + 270
		<p>Descripción: Afloramiento de la formación Napo que corresponde a un conjunto rítmico de lutitas, limos y arenisca, con dominancia de las lutitas, el color del conjunto es negro, y presenta vetillas de calcita paralelas a la estratificación, se observa además zonas de oxidación de color amarillento que corresponde a alteración de piritas; la estructura se halla fuertemente inclinada hacia el oeste. Rumbo: N3E Buzamiento: 65NW</p>		

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 22-4: Ficha geológica 18

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa		
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	3 + 280		
		<p>Descripción: Afloramiento de areniscas, limo y arcilla en estratos centimétricos plegados, se aprecia la presencia de un cuerpo decimétrico de cuarcita gris como centro del pliegue; estos pliegues son de pequeño tamaño y presentan los siguientes datos estructurales.</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Flanco este Rumbo: N10W Buzamiento: 40SW</td> <td>Flanco occidental Rumbo: N13E Buzamiento: 45SE</td> </tr> </table> <p>El eje del pliegue. Rumbo: N18W. Buzamiento: 50SE.</p>			Flanco este Rumbo: N10W Buzamiento: 40SW	Flanco occidental Rumbo: N13E Buzamiento: 45SE
Flanco este Rumbo: N10W Buzamiento: 40SW	Flanco occidental Rumbo: N13E Buzamiento: 45SE					


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 23-4: Ficha geológica 19

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	3 + 380
		<p>Descripción: Afloramiento de ritmo de color gris oscuro, donde domina la lutita sobre la arenisca, la estratificación es en estratos milimétricos. Rumbo: N23E Buzamiento: 36SE</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 24-4: Ficha geológica 20

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	3 + 500
		Descripción: Pliegue invertido en la secuencia rítmica de la Napo, el color es pardo rojizo.		
		Eje del pliegue Rumbo: N15W Buzamiento: 30NE		
		Flanco superior Rumbo: N10W Buzamiento: 35NE	Flanco inferior Rumbo: N25W Buzamiento: 50NE	


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 25-4: Ficha geológica 21

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	3 + 510
		Descripción: Afloramiento de lutitas, limos y areniscas donde se observa una falla. Rumbo: N10E Buzamiento: 30NW		
		La parte superior de la falla se tiene estratificación de milimétrica a centimétrica con inclinación hacia el oeste. Rumbo: NS Buzamiento: 50W	La parte inferior de la falla tiene estratificación centimétrica principalmente de las areniscas que presentan características de boudinage (rosario). Rumbo: N15W Buzamiento: 70SW	


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 26-4: Ficha geológica 22

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	3 + 560
		Descripción: Afloramiento de ritmo de color gris oscuro, donde domina la arenisca, que se presenta en estratos de hasta 30 centímetros frente a la lutita que tiene tendencia laminar. Corresponde a la zona de fallamiento regional norte sur; con la presencia de dos fallas. Rumbo: N26E Buzamiento: 30SE Rumbo: N10W Buzamiento: 28SW		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 27-4: Ficha geológica 23

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	3 + 820
		<p>Descripción: En la zona de cantera, afloramiento de la formación Napo que corresponde a un conjunto rítmico de lutitas, limos y arenisca, el color del conjunto es gris claro, y se observa además una zona de arenisca de aproximadamente 3 metros de potencia donde se tiene potencia de hasta treinta centímetros de estrato, en esta zona se observa la presencia de agua en forma de humedad en las areniscas.</p> <p>Rumbo: N7W Buzamiento: 30SW</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 28-4: Ficha geológica 24

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	3 + 890
		<p>Descripción:</p> <p>Afloramiento donde se aprecia un derrubio constituido por fragmentos de cuarcita negra, lutitas negras y limos negros de entre 1 y 10 centímetros.</p> <p>Es una zona de inestabilidad del suelo</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 29-4: Ficha geológica 25

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	4+170 a 4+350
		<p>Descripción:</p> <p>Afloramiento donde se aprecia material de coluvión, bajo este material se halla el ritmo negro de la Napo, donde se tomó un dato estructural.</p> <p>Rumbo: N26W Buzamiento: 34NE</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 30-4: Ficha geológica 26

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	4 + 400
			<p>Descripción:</p> <p>Afloramiento donde se aprecia material de coluvión, bajo este material se halla el ritmo negro de la Napo, donde se tomó un dato estructural.</p> <p>Rumbo: N30W Buzamiento: 35NE</p>	


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 31-4: Ficha geológica 27

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	4 + 600
			<p>Descripción:</p> <p>Afloramiento donde se aprecia material de coluvión, bajo este material se halla el ritmo negro de la Napo, donde se tomó un dato estructural.</p> <p>Rumbo: N30W Buzamiento: 33NE</p>	


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 32-4: Ficha geológica 28

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	4 + 740
			<p>Descripción:</p> <p>Afloramiento de areniscas limo y arcilla en estratos centimétricos plegados, además la presencia de una falla NS/90, se observa espejos de falla en las lutitas en una zona de 10 metros junto a la falla, la falla es concordante con la estructura de la F. Napo.</p>	


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 33-4: Ficha geológica 29

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	4 + 820
		<p>Descripción: Afloramiento de arenisca- limo de treinta centímetros que recubren a una capa de arcilla de color café que presenta alteración a tonos verde, este conjunto tiene igual tamaño que las areniscas, tanto las areniscas como los limos y las arcillas se presentan con estructura laminar a milimétrica en estratos centimétricos, se tiene datos estructurales. Rumbo: N35E Buzamiento: 45SE</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 34-4: Ficha geológica 30

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	5 + 155
		<p>Descripción: Afloramiento de tipo ritmito de areniscas, limo y arcilla de color negro, tiene una estructura laminar paralela de tamaño centimétrica. Datos estructurales. Rumbo: N85E Buzamiento: 10SE</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 35-4: Ficha geológica 31

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	5 + 180
		<p>Descripción: Afloramiento de areniscas limo y arcilla en estratos centimétricos que se halla plegado en forma invertido.</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 36-4: Ficha geológica 32

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	5 + 375
		Descripción: Afloramiento cuarcitas negras centimétricas a laminadas donde se observa nódulos redondeados de color negro de hasta 5 cm. Se tiene una falla Rumbo: N25W Buzamiento: 90		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 37-4: Ficha geológica 33

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	5 + 450
		Descripción: Afloramiento de areniscas limo y arcilla en estratos centimétricos, plegados formando un pliegue acostado constituido por: Falla Rumbo: N10W Buzamiento: 45NE		
		Flanco superior Rumbo: N10E Buzamiento: 52NW	Flanco inferior Rumbo: N25E Buzamiento: 45SE	

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 38-4: Ficha geológica 34

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	5 + 550
		Descripción: Afloramiento de areniscas limo y arcilla en estratos centimétricos de 3 a 7 centímetros, se halla plegada. Flanco derecho Rumbo: N17E Buzamiento: 75SE Flanco izquierdo Rumbo: N05E Buzamiento: 60NW		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 39-4: Ficha geológica 35

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	5 + 600
			<p>Descripción: Afloramiento de lutitas de color café amarillento que se halla formando un escarpe, de aproximadamente 20 metros de altura.</p> <p>Rumbo: N38E Buzamiento: 43NW</p>	


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 40-4: Ficha geológica 36

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Coordenadas UTM	
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	792007 E	9697497 N
			<p>Descripción: Afloramiento donde se aprecia la formación Napo, constituida por arenisca negra intercalada con lutitas y limonitas, el color es café por oxidación y de color verde oscuro en la fractura. Se observa estratificación donde las areniscas presentan potencias de 5 a 15 centímetros, en tanto que las lutitas y los limos son milimétricos y laminares</p> <p>Rumbo: N67E Buzamiento: 37SE</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 41-4: Ficha geológica 37

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Coordenadas UTM	
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	790519 E	9697366 N
			<p>Descripción: Secuencia rítmica de lutitas negras intercaladas con areniscas y limos negras de entre 0.5 a 5 centímetros el material se presenta en forma de brecha con fracturación cada 5 centímetros además presenta un plano de falla concordante con la estratificación.</p> <p>Rumbo: N65E Buzamiento: 33SE</p>		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 42-4: Ficha geológica 38

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Coordenadas UTM	
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	790258 E	9697364 N
			Descripción: Afloramiento donde se aprecia cuarcita negra intercalada con limos negros, con una estructura laminar a milimétrica. Rumbo: NS Buzamiento: 90		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 43-4: Ficha geológica 39

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Coordenadas UTM	
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	789597 E	9696869 N
			Descripción: Afloramiento donde se aprecia cuarcitas y limolitas de color negro, en estratos milimétricos, cortados por una falla. Rumbo: N55W Buzamiento: 50SW		


Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 44-4: Ficha geológica 40

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Coordenadas UTM	
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	789470 E	9696732 N
			Descripción: Afloramiento donde se aprecia bloques de esquistos y otras rocas metamórficas que se presentan angulosos a sub angulosos, de tamaños entre 0.5 m de diámetro a diámetros mayores que 2 metros, la potencia estimada para este afloramiento es de 6 metros.		



Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 45-4: Ficha geológica 41

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Coordenadas UTM	
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	789305 E	9696598 N
			<p>Descripción:</p> <p>Afloramiento fluvio glacial constituidos por bloques de esquistos y otras rocas metamórficas que se presentan angulosos a sub angulosos, de tamaños mayores que 2 metros de diámetro, que se ubican en una explanada sobre la carretera La Dolorosa - San Bartolo.</p>		

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 46-4: Ficha geológica 42

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Coordenadas UTM	
Morona Santiago	Santiago	Copal	San Bartolo	788495 E	9696442 N
					
<p>Descripción: En el patio de una vivienda, se observa restos fluvio glaciales compuestos por cantos sub redondeados de bloques de roca metamórfica entre 5 y 60 centímetros de diámetro, dentro de una matriz fina de material limo arcilloso</p>					

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Se determinó que las rocas predominantes en el área de estudio, son rocas pertenecientes a la Formación Napo, es decir, son rocas de edad Cretáceo y corresponde a una secuencia rítmica de arenas, limos, arcillas y calizas; el color dominante es el negro por la presencia de materia orgánica; individualmente las capas se presentan como estratos centimétricos dominando los valores bajos entre 0.5 y 2 centímetros, exceptuando la arenisca que llega a formar estratos entre 10 y 50 cm; ésta arenisca tienen un tamaño de arena fina hasta arena media, los elementos individuales son redondeados y presentan una coloración blanco ceniza, blanco verdoso, no presentan color de alteración, salvo en sitios particulares donde se observa flujo de agua que se tiene la presencia de óxido de hierro.

Dicha formación presenta pliegues, abiertos y suaves, pliegues estrechos en chevrón, pliegues circulares asociados a boudinage donde sobresalen las capas deformadas de arenisca, que en cortes aparecen como una secuencia en cuentas de rosario.

Además, pudimos encontrar depósitos aluviales, estos se encuentran dispuestos de forma aleatoria en los cauces activos de ríos y quebradas de los afluentes de la margen derecha del río Negro, estos son redondeados a sub redondeados, y su composición es variable dependiendo el sector donde se localice en el cauce; su granulometría incluye clastos de diversos tamaños que se hallan sueltos y no presentan compactación ni una estructuración estratigráfica en capas.

Al mismo tiempo, es posible encontrar depósitos fluvio-glaciales (morrenas); este tipo de material morrénico está caracterizado por una mezcla disforme de clastos generalmente decimétricos sub redondeados soportados por una masa areno limosa, dispuestos en forma semianular; además existe un conjunto de clastos métricos de forma angulosa a sub redondeada dispuestas como clastos autosoportados sin ningún tipo de cementación; el espesor de estos depósitos se halla entre 5 y 10 metros.

4.4. Hidrogeología

Las condiciones hidrológicas de un macizo rocoso corresponde a otro de los ítems que se utiliza para definir la calidad del macizo, en este caso, la pluviosidad elevada de la zona asociado al elevado grado de humedad del ambiente, hace que se tenga un exceso de agua en el suelo que va a fluir como agua de escorrentía y agua de infiltración, si a esto sumamos las características de la capa de cobertura, que corresponde a una morrena, donde se forman encharcamientos, lagunas y humedales hace que el suelo tenga agua en abundancia durante todo el año, las características hidrológicas de esta litología son las siguientes: los materiales grandes, clastos soportados presentan huecos por los cuales el flujo de agua es libre tanto en sentido horizontal como vertical; las zonas donde se tiene bloques de tamaño medio a grande pero que se hallan cementados por limos, generan una facilidad para el flujo de agua por cuanto son porosos y permeables, el suelo morrénico de tipo limo arcilla retiene el agua por lo que son las zonas donde se produce encharcamientos superficiales.

Las características litológicas de la formación Napo hacen que la presencia de limos y arenas, asociados al intenso fracturamiento tectónico se comporte como una roca permeable; mientras que la presencia de capas de arcilla dentro de la misma secuencia estratigráfica, genera entrampamientos que modifican las condiciones de flujo de agua, generando zonas con alta presión de poros que al ser liberados por acciones antropogénicas ocasionan movimientos de acomodo de la masa del suelo generando deslizamientos.

4.5. Valorización del macizo rocoso en el área de estudio

Sobre la base de la metodología de clasificación de un macizo rocoso, se ha procedido a realizar la valoración de este parámetro para las dos situaciones que existen en la zona, macizo seco y macizo rocoso con presencia de agua y utilizando los datos y valores que se obtuvieron durante el levantamiento geológico; para definir el parámetro resistencia de la roca se toma como referencia el valor indicado en el Estudio Geológico – Geotécnico y diagnóstico de los procesos de inestabilidad a lo largo de la conducción (GEODINAMICA, 2017) donde el valor promedio de los ensayos de carga puntual es de 1,81 MPa, equivalente a un valor de resistencia a la compresión simple de 45 MPa, conjuntamente con otros parámetros de la clasificación geomecánica se obtiene un valor del macizo rocoso seco de 49 que corresponde a un macizo rocoso regular como se detalla en la tabla 47-4; en tanto que para el macizo con presencia de agua se obtiene un valor de 15 que corresponde a un macizo rocoso muy malo, como se detalla en la tabla 48-4.

Tabla 47-4: Clasificación geomecánica del macizo rocoso seco

PARAMETROS		VALOR ESTIMADO									VALORACIÓN		
RESIST. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)		> 250	(15)	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25-50	(4)	<25 (2) <5 (1)	<1 (0)	1	4
RQD %		90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	25-50	(8)	< 25	(3)	2	3
ESPACIAMIENTO		> 2 m	(20)	0,6 - 2 m	(15)	200 - 600 mm	(10)	60 - 200 mm	(8)	< 60	(5)	3	5
CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(2)	> 20 mm	(0)	4 A	0
	ABERTURA	Cerrada	(6)	< 0,1 mm	(5)	0,1 - 1,0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4 B	6
	RUGOSIDAD	Muy rugosa	(6)	Rugosa	(5)	Lig. Rugosa	(3)	Lisa	(1)	Espejo de Falla	(0)	4 C	5
	RELLENO	Limpia	(6)	Duro < 5 mm	(4)	Duro > 5 mm	(2)	Suave < 5 mm	(2)	Suave > 5 mm	(0)	4 D	6
	ALTERACIÓN	Sana	(6)	Lig. Alterada	(5)	Mod. Alterada	(3)	Muy Alterada	(1)	Descompuesta	(0)	4 E	5
AGUA SUBTERRANEA		Seco	(15)	Humedo	(10)	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Flujo	(0)	5	15
VALOR TOTAL R.M.R (Suma de valoración 1 a 5) =												49	

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 48-4: Clasificación geomecánica del macizo rocoso con presencia de agua

PARAMETROS		VALOR ESTIMADO									VALORACIÓN		
RESIST. COMPRESION UNIAxIAL (Mpa)		> 250	(15)	100 - 250	(12)	50 - 100	(7)	25-50	(4)	<25 (2) <5 (1)	<1 (0)	1	0
RQD %		90 - 100	(20)	75 - 90	(17)	50 - 75	(13)	25-50	(8)	< 25	(3)	2	3
ESPACIAMIENTO		> 2 m	(20)	0,6 - 2 m	(15)	200 - 600 mm	(10)	60 - 200 mm	(8)	< 60	(5)	3	5
CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	< 1m	(6)	1 - 3 m	(4)	3 - 10 m	(2)	10 - 20 m	(2)	> 20 mm	(0)	4 A	0
	ABERTURA	Cerrada	(6)	< 0,1 mm	(5)	0,1 - 1,0 mm	(4)	1 - 5 mm	(1)	> 5 mm	(0)	4 B	0
	RUGOSIDAD	Muy rugosa	(6)	Rugosa	(5)	Lig. Rugosa	(3)	Lisa	(1)	Espejo de Falla	(0)	4 C	5
	RELLENO	Limpia	(6)	Duro < 5 mm	(4)	Duro > 5 mm	(2)	Suave < 5 mm	(2)	Suave > 5 mm	(0)	4 D	2
	ALTERACIÓN	Sana	(6)	Lig. Alterada	(5)	Mod. Alterada	(3)	Muy Alterada	(1)	Descompuesta	(0)	4 E	0
AGUA SUBTERRANEA		Seco	(15)	Humedo	(10)	Mojado	(7)	Goteo	(4)	Flujo	(0)	5	0
VALOR TOTAL R.M.R (Suma de valoración 1 a 5) =												15	

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

4.6. Determinación de zonas de movimiento de suelo


A partir de las observaciones de campo se realizó la toma de datos en donde existen presencia de movimiento de masa, de las cuales se presenta a continuación, cinco fichas de deslizamientos representativos e importantes en el sector

Tabla 49-4: Ficha de deslizamiento 01

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	2 + 400
			Movimiento rotacional de la masa de roca al pie del talud.	

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 50-4: Ficha de deslizamiento 02

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	3 + 200
			Flujo de lodos	

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 51-4: Ficha de deslizamiento 03

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	3 + 200
			Movimiento gravitacional	

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 52-4: Ficha de deslizamiento 04

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	3 + 200
			Fisura en el piso del terraplén generado por movimiento gravitacional del suelo.	

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Tabla 53-4: Ficha de deslizamiento 05

Provincia	Cantón	Parroquia	Sector	Abscisa
Morona Santiago	Santiago	Copal	La Dolorosa	5 + 300
			Flujo de detritos que se observa en los canales de coronación y en las cunetas.	

Realizado por: Sarmiento Vallejo, Jonatan, 2020

Los movimientos del suelo se hallan directamente relacionados con la tubería del PHSB, dichos movimientos corresponden con el abscisado de la tubería: 2 + 300 a 2 + 530, 3 + 170 a 3 + 320, 3 + 940 a 4 + 070, 4 + 360 a 4 + 730, 5+315 a 5 + 400, como se detalla en el gráfico siguiente.

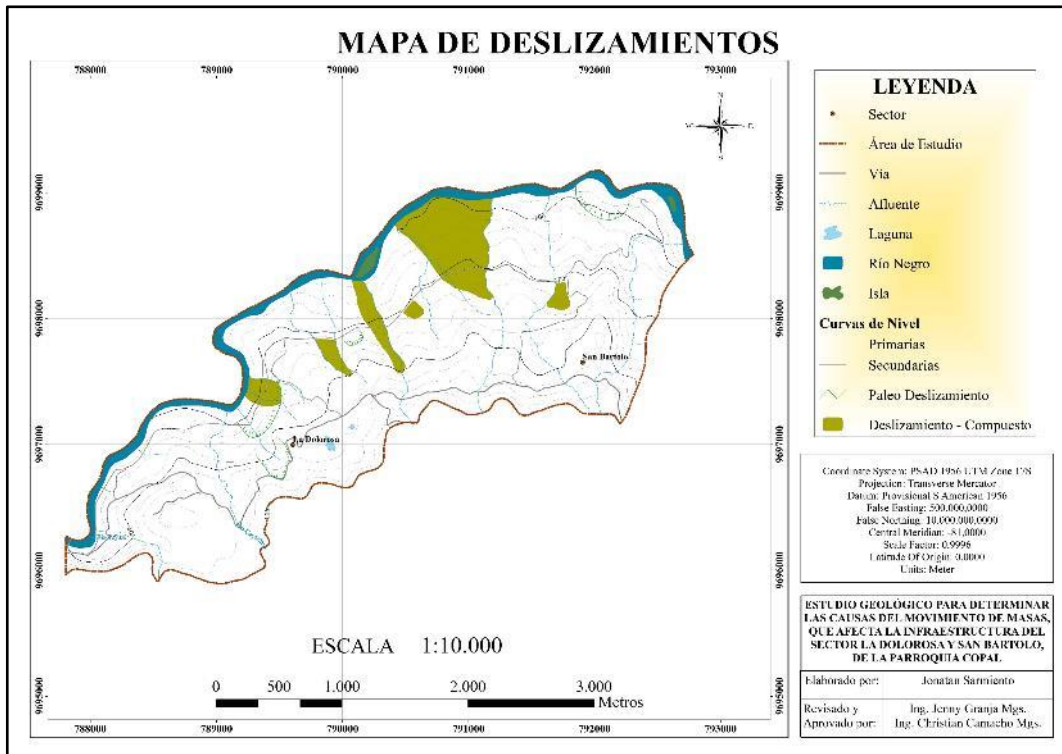


Figura 8-4: Mapa de deslizamientos de la zona de estudio

Realizado por: Sarmiento, J, 2020

4.6.1. Mapa de susceptibilidad de la zona de estudio

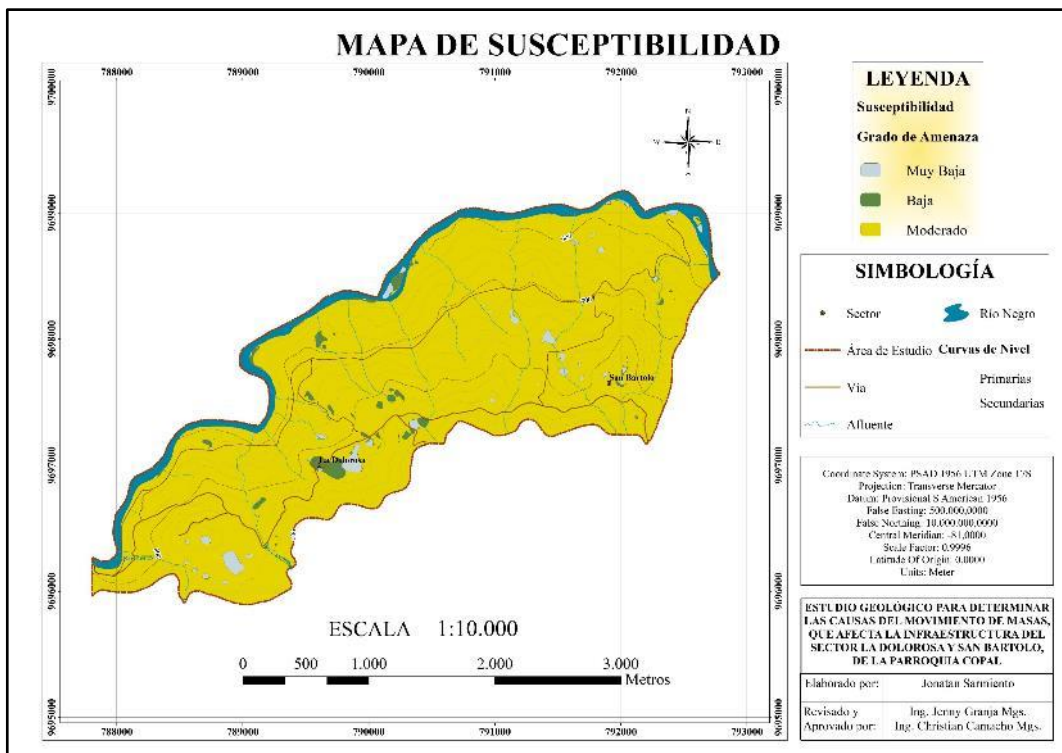


Figura 9-4: Mapa de susceptibilidad por grado de amenaza

Realizado por: Sarmiento, J, 2020

Como se observa en el mapa de susceptibilidad los alrededores de las comunidades de San Bartolo y La Dolorosa son áreas moderadamente susceptibles a movimientos de masas, mientras que las zonas más estables se encuentran en las partes planas donde está asentada cada una de las comunidades.

La relación entre los deslizamientos existentes y el nivel de amenaza por movimientos de masa representan un 100 % de movimientos en un nivel de amenaza moderado, observando que todos los deslizamientos se encuentran en la parte baja de la zona de estudio.

4.6.2. Causas de los movimientos

Como causa de la generación de deslizamientos y otros movimientos naturales de la masa del suelo en el sector se indica las siguientes:

- Existencia de zonas inestables (paleo deslizamientos) que evidencian la inestabilidad de la zona.
- Asociación litología, agua, pendiente – En la parte plana de la zona del proyecto principalmente La Dolorosa y alrededores, se tiene la presencia de una morrena caracterizada por una masa donde se tiene elementos líticos de pequeños a medios aglutinados por una matriz arcillo-limosa que genera encharcamientos en la superficie, la pendiente es suave lo que ha limitado la solifluxión durante el tiempo de registro histórico de la zona, se puede decir que la parte plana es estable y la inestabilidad se inicia sobre la pendiente hacia el río Negro y afecta a la tubería en los alrededores de la abscisa 2 + 200
- El río Copito, eventualmente dependiendo de la fuerza y caudal pluvial que se registre en la parte alta del contrafuerte Cumtza, arrastra detritos de diverso tamaño que en ocasiones se transforma en avalancha de detritos, que va a afectar directamente a la tubería de conducción en los alrededores de la abscisa 5 + 270.
- Las restantes zonas de movimiento en las abscisas: 2 + 300 a 2 + 530; 3 + 170 a 3 + 320; 3 + 635 a 3 + 760; 3 + 940 a 4 + 070; 4 + 360 a 4 + 730; 5+315 a 5 + 400, son el producto de desestabilización del terreno durante la etapa de construcción del emplazamiento de la tubería, asociada al retiro tanto de la cobertura vegetal como el material de la morrena, han provocado que las rocas fracturadas de la formación Napo queden expuestas directamente a la lluvia y por su excesiva fracturación incrementa el volumen de agua subterránea lo que genera exceso de presión de poros.
- Al retirar la cobertura sobre la formación Napo, se ha generado zonas de acuífero libre que sirve de aliviadero a la presión sobre estas rocas, pero como la formación está compuesta por tres litologías con diferente comportamiento hidráulico se generan zonas de diverso comportamiento mecánico muy cercanas unas de otras.

- El exceso de humedad puede provocar el hinchamiento y posterior desecación de la masa arcillosa generando mayor cantidad de grietas que afectan la estabilidad, a más de que las arcillas en presencia de agua incrementan el grado de plasticidad que asociado al componente grafito de las lutitas de la formación Napo favorecen que estas puedan alcanzar el límite de fluidez, disminuyendo así la resistencia al corte del macizo.

CONCLUSIONES

- El levantamiento geológico de campo, determinó la litología predominante en el área de estudio y se estableció que las rocas constituyentes en la zona, pertenecen a rocas sedimentarias de la formación Napo y depósitos flujo – glaciales.
- Se determinó que las comunidades de La Dolorosa y San Bartolo se encuentran emplazadas sobre depósitos coluviales, subyaciendo a rocas de la formación Napo caracterizada por una secuencia rítmica de areniscas, limos y arcillas de color negro, dispuestas de manera laminar a centimétrica, con elevada meteorización y alto fracturamiento.
- El mapa Tectónico, nos indica la existencia de 18 fallas geológicas, que se hallan directamente relacionada con los tres lineamientos tectónicos regionales, el primero que discurre paralelo a la cordillera Real (tendencia NS), otro que discurre por el río Negro y el tercero por los ríos Negro – Namangoza. La presencia de este sistema de fallas ha provocado que el macizo rocoso se encuentre muy fracturado, lo que causa una fuerte disminución en su resistencia.
- Se determino, que debido al retiro de la sobrecarga tanto litológica como vegetal que cubría a la formación Napo ha provocado que esta se ponga en contacto directo con el ambiente lo que genera exceso de agua en la época lluviosa y desecación que fragmenta la roca en la época seca. Este retiro de sobrecarga ha hecho que la formación Napo se transforme en una zona de acuífero abierto por donde circula libremente el agua en forma de vertientes y escorrentía, favoreciendo el movimiento de la masa del suelo.
- Se determino, en base a una clasificación geomecánica que el macizo constituyente en la zona es de Roca Muy Mala, debido a condiciones de alta presencia de agua esta hace que las rocas se hallen sobresaturadas, lo que produce alteración del macizo por meteorización e incremento de la carga puntual de poros que igualmente redundo en una baja de la resistencia del macizo, por lo tanto, es susceptible a procesos de inestabilidad del terreno.

RECOMENDACIONES

- Para la estabilización de las zonas se propone, que las labores de encausamiento de quebradas y la construcción de cunetas sea realizada con el menor daño superficial posible, a fin de disminuir el riesgo de desecación excesiva del suelo; ya que esto da lugar o genera zonas de agrietamiento que incrementarían el volumen del agua subterránea.
- Se debe analizar la posibilidad de implementar un sistema de tablestaca en las zonas deslizadas, a fin de dar soporte al sustrato rocoso, favoreciendo el paso y eliminando el exceso de agua. Este sistema puede hallarse asociado a un sistema de conducción de agua.
- Planificar un cambio del uso del suelo en la zona deslizada, al incorporar vegetación que consuma agua y que además genera un fuerte enraizamiento (bambú); esto ayudaría a sostener la capa deslizable.

BIBLIOGRAFÍA

BALDOCK, J. W. *Geología del Ecuador: Boletín de explicación del mapa geológico de la república del Ecuador, Esc. 1:1,000,000.* Quito-Ecuador: IGM, 1982. pp. 18-21.

BIENIAWSKI, Z. T. *Engineering rock mass classifications.* New York-USA: Wiley, 1989. pp. 32-80.

CARBALLO MORANTE, Fernando Enrique. Las zeolitas de la costa de Ecuador (Guayaquil): geología, caracterización y aplicaciones. Tesis (Doctoral), E.T.S.I Minas, Madrid-España. 2004. pp. 24-26.

COROMINAS DULCET, Jordi; & GARCÍA YAGUÉ, A. *Terminología de los movimientos de laderas, IV simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables.* Granada-España:. 1997. pp. 1051-1072.

CROZIER, M; & GLADE, T. *Landslide hazard and risk: Issues, concepts and approach.* Chichester-England: Jhon Willey & Sons, 2005, pp. 02-40.

CRUDEN, D. M; & Varnes, D. J. *Landslide Types and Processes.* Washington-USA: National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247. 1996, pp. 34-76.

CRUDEN, D. M. "A simple definition of a landslide". *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, vol. 43, nº 1 (1991), (United State of America) pp. 27-29.

DERRUAU, Max. *Geomorfología.* Barcelona-España: Ediciones Ariel, 1966, pp. 17-20.

DUQUE, P. *Breve Léxico Estratigráfico del Ecuador.* Quito-Ecuador: UCP PRODEMINTCA, 2000. pp. 15-45.

GADPC. *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Copal.* Méndez-Ecuador: 2015, pp. 29-35.

GEODINÁMICA. *Estudio Geológico – Geotécnico y Diagnóstico de los procesos de inestabilidad a lo largo de la conducción Informe Final Etapa I.* Quito-Ecuador: 2017. pp. 15-65.

GOODMAN, R. E; & BRAY, J. W. *Toppling of rock slope*. Colorado-USA: Boulder, 1976. pp. 201-234.

GUTSCHER, M; et al. "Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision", *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 168, n° 3 (1999), (United State of America) pp. 255-270.

HUNGR, O; al et. "Review of the classification of landslides of the flow type", *Environmental and Engineering Geoscience*, vol 7, (2001), (Austria) pp. 22-85.

MORA, R; & VAHRSON, W. *Mapa de amenaza de deslizamientos del valle central de Costa Rica*. San José-Costa Rica: CEPREDENAC, 1993. pp. 12

MORA R, 1992. *Macrozonificación de la amenaza de deslizamientos y resultados obtenidos en el área del valle central de Costa Rica - Escala 1:286 000*. San José-Costa Rica: CEPREDENAC, 1992. pp. 10-25.

NICHOL, S; et al. "Large scale brittle and ductile toppling of rock slopes", *Canadian Geotechnical Journal*, vol 39, (2002), (Canadá) pp. 773-788.

PIERSON, T. C. *Hyperconcentrated flow – transitional process between water flow and debris flow*. Heidelberg-Alemania: Springer, 2005. pp. 159-202.

PMA-GCA. *Movimientos en masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas*. Santiago-Chile: Publicación Geológica Multinacional n° 4. ISSN 0717-3733, 2007, pp. 01-30.

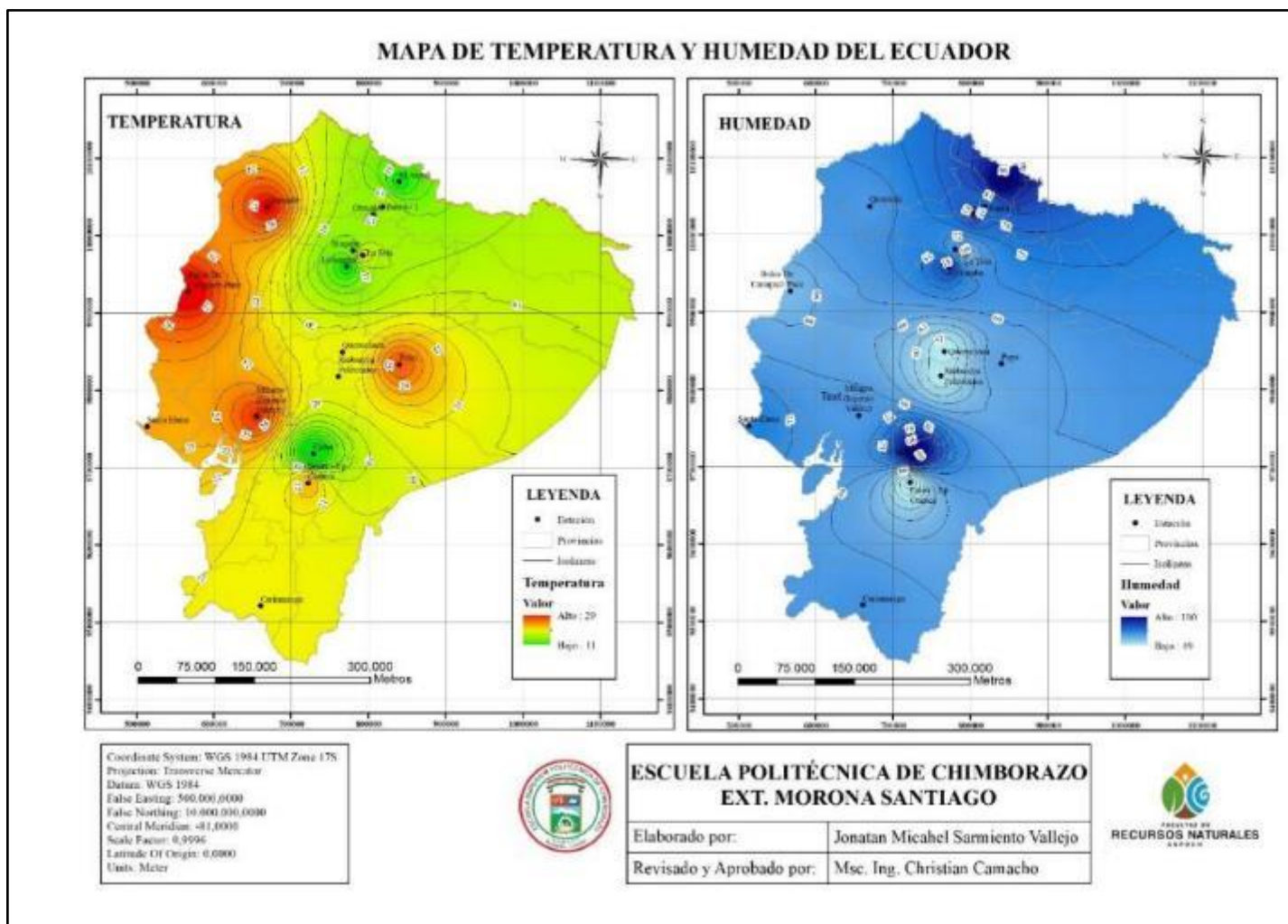
SUÁREZ, D. J. *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga-Colombia: Publicaciones UIS, 1998. pp. 11-23.

VARNES, D. J. "Slope movements types and processes, Landslides: analysis and control". *National Academy of Science*, n° 13 (1978), (United State of America) pp. 9-33.

ZUIDMAN, R. A. *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*. The Hague-Holanda: Smits Publishers, 1986. pp. 441.

ANEXOS

ANEXO A: MAPA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL ECUADOR



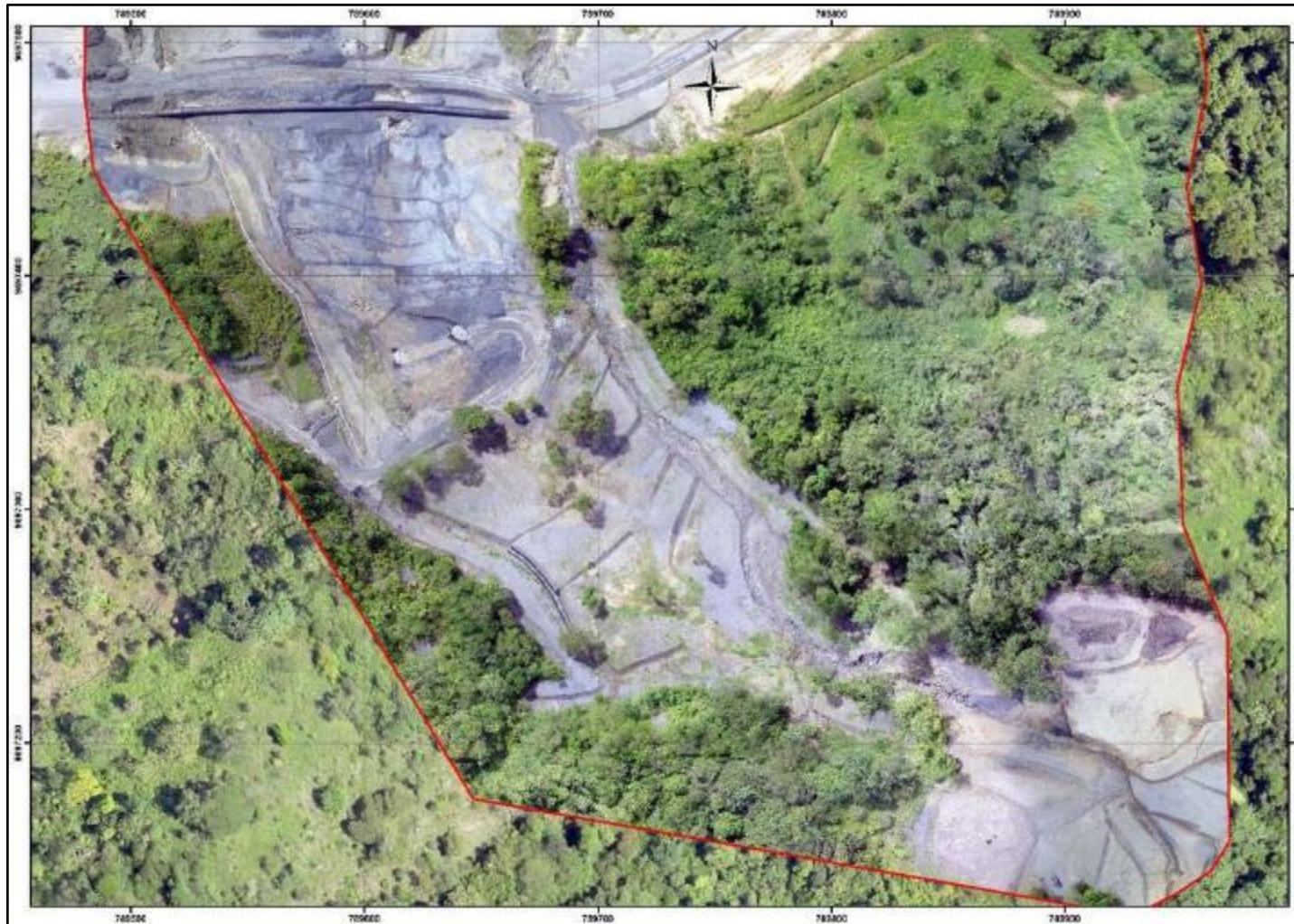
Realizado por: Sarmiento, 2020

ANEXO B: DESLIZAMIENTO ABCISAS 2 + 400



Fuente: GEODINÁMICA, 2017

ANEXO C: DESLIZAMIENTO ABCISA 3 + 200



Fuente: GEODINÁMICA, 2017

ANEXO D: DESLIZAMIENTO ABCSCISA 3 + 600



Fuente: GEODINÁMICA, 2017

ANEXO E: DESLIZAMIENTO ABCISAS 4 + 600



Fuente: GEODINÁMICA, 2017

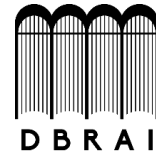
ANEXO F: DESLIZAMIENTO ABCISCA 5 + 300



Fuente: GEODINÁMICA, 2017



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

FECHA DE ENTREGA: 27 / 07 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

NOMBRES – APELLIDOS: JONATAN MICHAEL SARMIENTO VALLEJO

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

FACULTAD: RECURSOS NATURALES

CARRERA: INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y MINAS

TÍTULO A OPTAR: INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

F. ANALISTA DE BIBLIOTECA RESPONSABLE:

Lcda. INÉS ZAPATA ZÚMARRAGA Mgtr.

INES
ZAPATA
ZUMARRAGA

Firmado digitalmente por INES
ZAPATA ZUMARRAGA
DN: cn=INES ZAPATA
ZUMARRAGA, gn=INES c=EC
l=RIOBAMBA ou=Certificado de
Clase 2 de Persona Física EC
e=ineszapataz@hotmail.com
Motivo: Apruebo este documento
Ubicación:
Fecha: 2021-07-27 12:51:05:00



27-07-2021

1217-DBRAI-UPT-2021