



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**“CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESTABILIDAD
DE TALUD DE MACIZOS ROCOSOS EN EL CERRO ZAPOTAL
PROVINCIA DE SANTA ELENA”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

DOMÍNGUEZ RICARDO SABRINA DOMÉNICA
SUÁREZ SUÁREZ NATHALY MERCEDES

TUTOR:

ING. FREDDY HUAMÁN MARCILLO, Mg.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2023

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

“CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUD DE MACIZOS ROCOSOS EN EL CERRO ZAPOTAL PROVINCIA DE SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

DOMÍNGUEZ RICARDO SABRINA DOMÉNICA

SUÁREZ SUÁREZ NATHALY MERCEDES

TUTOR:

ING. FREDDY HUAMÁN MARCILLO, Mg.

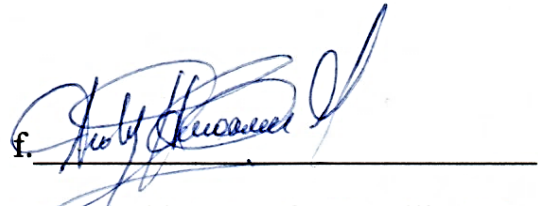
LA LIBERTAD – ECUADOR

2023

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

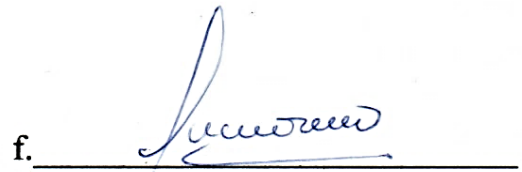
Ing. Jonny Villao Borbor MSc.
DIRECTOR DE CARRERA

f. 

Ing. Freddy Huamán Marcillo, Mg.
DOCENTE TUTOR

f. 

Ing. Daniel Campoverde MSc.
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar PhD.
DOCENTE UIC

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a Dios por otorgarme la fortaleza necesaria para culminar este importante proyecto. A mis padres por ser el motor y pilar fundamental en mi vida. A mis hermanos por siempre apoyarme y a Oddie por su compañía incondicional.

Sabrina Domínguez

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a Dios por no dejar que me rinda y ser mi guía para culminar este importante proyecto de mi vida.

A mi abuelo Evaristo que está en el cielo, que ha sido mi acompañante, me ha cuidado y me ayudaba en todos los aspectos de mi vida estudiantil. A mis padres y hermanas por ser el pilar fundamental en mi vida.

Nathaly Suárez

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUD DE MACIZOS ROCOSOS EN EL CERRO ZAPOTAL PROVINCIA DE SANTA ELENA”** elaborado por las estudiantes **DOMÍNGUEZ RICARDO SABRINA DOMÉNICA** y **SUÁREZ SUÁREZ NATHALY MERCEDES**, estudiantes de la carrera de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración la presente tesis, se encuentra con un 5% de la valoración permitida.



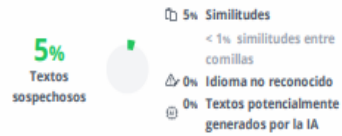
Ing. Freddy Huamán Marcillo, Mg.

CI: 0910539667

DOCENTE TUTOR



TESIS FINAL CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN



Nombre del documento: TESIS FINAL CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN.pdf
ID del documento: c713f045c899ae377dbffd69fce128d7661eebd6
Tamaño del documento original: 4,06 MB

Depositante: FERNANDO FREDDY HUAMAN MARCILLO
Fecha de depósito: 1/12/2023
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 1/12/2023

Número de palabras: 21.380
Número de caracteres: 151.990

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.upse.edu.ec Análisis de la calidad del macizo rocoso por los métodos... 2 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (311 palabras)
2	repositorio.upse.edu.ec Caracterización geotécnica y propuesta de una metodol... 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (141 palabras)
3	repositorio.upse.edu.ec Modelación y caracterización de los deslizamientos del ... 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (99 palabras)
4	repositorio.upse.edu.ec Repositorio Universidad Estatal Peninsula de Santa Elen... 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (95 palabras)
5	www.pdpse.espol.edu.ec 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (75 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.upse.edu.ec Análisis de estabilidad de taludes a partir de la evaluaci... 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
2	repositorio.upse.edu.ec 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
3	repositorio.espe.edu.ec Simulación y análisis experimental de un sistema híbrid... 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
4	oa.upm.es Estabilidad de taludes en macizos rocosos con criterios de rotura no li... 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
5	dspace.unl.edu.ec 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11541/4/IV_FIN_11
- <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8046794>
- https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/2272/LUGO_ALV
- <https://repository.unilivre.edu.co/bitstream/handle/10901/22510/MD0081.pdf?seq>
- <https://repository.unilivre.edu.co/bitstream/handle/10901/7116/AriasTorresBenja>

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotras, **DOMÍNGUEZ RICARDO SABRINA DOMÉNICA** y **SUÁREZ SUÁREZ NATHALY MERCEDES** declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “**CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUD DE MACIZOS ROCOSOS EN EL CERRO ZAPOTAL PROVINCIA DE SANTA ELENA**”, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, Carrera de INGENIERÍA CIVIL, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedemos los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



Domínguez Ricardo Sabrina Doménica

C.I. 240034422-8

AUTOR DE TESIS



Suárez Suárez Nathaly Mercedes

C.I. 240016590-4

AUTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Freddy Huamán Marcillo, Mg.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo **“CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUD DE MACIZOS ROCOSOS EN EL CERRO ZAPOTAL PROVINCIA DE SANTA ELENA”**, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, elaborado por la Srta. **SABRINA DOMÉNICA DOMÍNGUEZ RICARDO** y la Srta. **NATHALY MERCEDES SUÁREZ SUÁREZ**, estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.



Ing. Freddy Huamán Marcillo MSc.

CI: 0910539667

DOCENTE TUTOR

CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA

Certificación de Gramatología

Lic. MARIANA MEDINA SUÁREZ

*Magíster En Docencia Y Evaluación
De Modelos Educativos*

La Libertad, noviembre 30 del 2023.

Certifica:

Que después de revisar el contenido del trabajo de titulación en opción al título de INGENIERA CIVIL de: DOMÍNGUEZ RICARDO SABRINA DOMÉNICA & SUÁREZ SUÁREZ NATHALY MERCEDES, cuyo tema es: "CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUD DE MACIZOS ROCOSOS EN EL CERRO ZAPOTAL PROVINCIA DE SANTA ELENA", me permito declarar que el trabajo investigativo se encuentra idóneo y puede ser expuesto ante el jurado respectivo para la defensa del tema en mención.

Es todo cuanto puedo manifestar en honor a la verdad.



Lic. Mariana Medina Suárez, MSc.

Docente de Español: Literatura

Cel: 0986380800

e-mail: marianoem1@hotmail.com

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios por darme la oportunidad de completar el proceso y cumplir esta meta tan gratificante que es obtener el título de Ingeniero Civil, gracias por brindarme la sabiduría para superar los retos académicos y encontrarme hoy en la etapa final de la carrera.

Luego el agradecimiento es hacia mis padres Gerson Domínguez y María Ricardo, quienes han sido mi apoyo y guía a lo largo de la vida, anhelo contar siempre con su presencia por el resto de mi vida profesional. A mis hermanos Gerson y Jennifer por darme la motivación necesaria en este proyecto.

A todos los docentes que han sabido compartir sus valiosos conocimientos conmigo en esta carrera universitaria. Y a todas las personas que de una u otra manera estuvieron a mi lado, me enseñaron y me dieron ánimos. Gracias a todos.

SABRINA DOMÉNICA DOMÍNGUEZ RICARDO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme sabiduría, ser mi guía durante toda mi etapa estudiantil por no dejarme rendir y ser mi fortaleza para seguir adelante.

A mi abuelo Evaristo por haberme apoyado durante mi etapa estudiantil, sé que no está en la vida terrenal, pero lo llevo presente en mi corazón. A mis padres y hermanas que siempre me han apoyado y nunca me han dejado sola, en especial a Mayra Suárez, mi mamá, que ha hecho lo posible por verme feliz, triunfante.

A mi familia, tíos y primo/as por el apoyo incondicional que me brindaron, por darme ánimos y haber confiado en mí desde el principio de mi vida académica.

Al personal docente que han compartido sus conocimientos para poder formarnos como profesionales, a mis amigos de la universidad por ser pacientes, colaboradores y orientarnos en la formación en la facultad de ingeniería.

NATHALY MERCEDES SUÁREZ SUÁREZ

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.2 ANTEDECENTES	4
1.3 HIPÓTESIS	7
1.3.1 Hipótesis General.....	7
1.3.2 Hipótesis Específicas.	7
1.4 OBJETIVOS.....	7
1.4.1 Objetivo General.	7
1.4.2 Objetivos Específicos.....	8
1.5 ALCANCE	8
1.6 VARIABLES	8
1.6.1 Variable Dependiente.....	8
1.6.2 Variables Independientes.....	8
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. BASES TEÓRICAS	9
2.1.1 Talud.....	9
2.1.2 Matriz Rocosa, Macizo Rocoso, Discontinuidad.	17
2.1.3 Resistencia y Deformabilidad de Macizos Rocosos.	22
2.2. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS	
23	
2.2.1 Métodos de Clasificación.	23
2.2.2 Descripción de Métodos.	23
2.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	27
2.3.1 Localización.....	27
2.3.2 Accesibilidad.	28
2.3.3 Clima y Meteorología.....	29
2.3.4 Temperatura.	29
2.3.5 Precipitación Pluvial.	30

2.4.	GEOLOGÍA REGIONAL.....	31
2.4.1	Geología que Influye en el Área de Estudio.....	31
2.5.	GEOLOGÍA LOCAL	35
2.5.1	Litología.....	37
2.6.	TECTÓNICA.....	38
2.7.	SISMICIDAD	39
CAPITULO III: METODOLOGÍA		40
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	40
3.1.1.	Tipo de Investigación.	40
3.1.2.	Nivel de Investigación.....	41
3.2.	MÉTODO, ENFOQUE, DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	41
3.2.1.	Método.....	41
3.2.2.	Enfoque.....	42
3.2.3.	Diseño de Investigación.....	42
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO.....	42
3.3.1.	Población.	42
3.3.2.	Muestra.....	43
3.3.3.	Muestreo.....	43
3.4.	DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA	43
3.4.1.	Etapas Preliminares.	43
3.4.2.	Investigaciones de Campo.....	44
3.4.3.	Análisis e Interpretación de Datos.	44
3.4.4.	Elaboración de Informe.	44
3.5	METODOLOGÍA OBJETIVO ESPECÍFICO 1: DEFINIR LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE RMR, MEDIANTE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR DE BIENIAWSKI PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA, ÍNDICE RQD, ESTADO DE DISCONTINUIDADES	46
3.5.1.	Geotecnia.....	46
3.5.2.	Estimación de Caracteres y Parámetros de las Discontinuidades.	46

3.6	METODOLOGÍA OBJETIVO ESPECÍFICO 2: EVALUAR EL MACIZO ROCOSO MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE DE ROSCIENCE: DIPS, ROCDATA, SWEDGE PARA CONOCER EL POSIBLE RIESGO DE DESLIZAMIENTO EN TALUDES CORRESPONDIENTES A CADA CARACTERIZACIÓN EN EL MACIZO ROCOSO DEL CERRO ZAPOTAL	49
3.6.1.	Software Dips v7.0.....	50
3.6.2.	Software RocData.....	50
3.6.3.	Software Swedge.....	52
3.7	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	53
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		54
4.1.	ETAPA PRELIMINAR.....	54
4.1.1.	Características Generales del Macizo Rocos.	55
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBJETIVO ESPECÍFICO 1: DEFINIR LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE RMR, MEDIANTE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR DE BIENIAWSKI PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA, ÍNDICE RQD, ESTADO DE DISCONTINUIDADES.	57
4.2.1.	Caracterización 1.....	57
4.2.2.	Caracterización 2.....	59
4.2.3.	Caracterización 3.....	62
4.2.4.	Caracterización 4.....	64
4.2.5.	Caracterización 5.....	66
4.2.6.	Caracterización 6.....	69
4.2.7.	Falla Representativa del Macizo Rocos.	71
4.2.8.	Pliegue Representativo en el Macizo Rocos.	72
4.2.9.	Deslizamiento Representativo del Macizo Rocos.....	72
4.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS OBJETIVO ESPECÍFICO 2: EVALUAR UTILIZANDO SOFTWARE DE ROSCIENCE: DIPS, ROCDATA, SWEDGE, EL POSIBLE RIESGO DE DESLIZAMIENTO EN TALUDES CORRESPONDIENTES A CADA	

CARACTERIZACIÓN EN EL MACIZO ROCOSO DEL CERRO ZAPOTAL.	73
4.3.1. Análisis Determinístico de Deslizamiento para la Caracterización 1 usando software Dips 7.0, RocData.....	73
4.3.2. Análisis Determinístico de Deslizamiento para la Caracterización 2 usando software Dips 7.0, RocData, Swedge.	75
4.3.3. Análisis Determinístico de Deslizamiento para la Caracterización 3 usando software Dips, 7.0, RocData.....	79
4.3.4. Análisis Determinístico de Deslizamiento para la Caracterización 4 usando software Dips, 7.0, RocData, Swedge	81
4.3.5. Análisis Determinístico de Deslizamiento para la Caracterización 5 usando software Dips, 7.0, RocData, Swedge.	84
4.3.6. Análisis Determinístico de Deslizamiento para la Caracterización 6 usando software Dips, 7.0, RocData.....	87
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	89
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
5.1. CONCLUSIONES.....	93
5.2. RECOMENDACIONES.....	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXOS.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 <i>Nomenclatura de talud artificial y talud natural</i>	9
Figura 2 <i>Deslizamiento del cerro Zapotal provincia Santa Elena,2023</i>	11
Figura 3 <i>Esquema de rotura planar de un talud</i>	13
Figura 4 <i>Esquema de rotura en cuña de un talud</i>	14
Figura 5 <i>Esquema de rotura circular de un talud</i>	15
Figura 6 <i>Macizo rocoso, cerro Zapotal provincia de Santa Elena 2023</i>	19
Figura 7 <i>Macizo rocoso y estructura</i>	20
Figura 8 <i>Métodos de clasificación de macizos rocosos</i>	23
Figura 9 <i>Provincia de Santa Elena</i>	27
Figura 10 <i>Ruta de acceso al cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	28
Figura 11 <i>Detalle de acceso al cerro Zapotal provincia Santa Elena</i>	29
Figura 12 <i>Histograma de precipitación, provincia de Santa Elena</i>	30
Figura 13 <i>Histograma de precipitaciones mensuales</i>	30
Figura 14 <i>Mapa geológico</i>	31
Figura 15 <i>Columna estratigráfica de la Cuenca Progreso</i>	36
Figura 16 <i>Unidades morfotectónicas provincia de Santa Elena</i>	38
Figura 17 <i>Zonas sísmicas para propósitos de diseño</i>	39
Figura 18 <i>Descripción de metodología</i>	45
Figura 19 <i>Medición de espacios de discontinuidades en el cerro Zapotal</i>	47
Figura 20 <i>Recolección de información de relleno en las discontinuidades en el cerro Zapotal provincia Santa Elena</i>	49
Figura 21 <i>Metodología de objetivo 1</i>	49
Figura 22 <i>Reconocimiento geológico en el cerro Zapotal</i>	51
Figura 23 <i>Uso de brújula para toma de datos de buzamiento y dirección de buzamiento en taludes del cerro Zapotal</i>	51
Figura 24 <i>Recorrido de afloramientos para la caracterización geomecánica</i>	54
Figura 25 <i>Reconocimiento del afloramiento en el cerro Zapotal</i>	56
Figura 26 <i>Croquis de caracterización 1, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	57

Figura 27 <i>Caracterización 1, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	58
Figura 28 <i>Croquis de caracterización 2, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	60
Figura 29 <i>Caracterización 2, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	60
Figura 30 <i>Croquis de caracterización ,3 cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	62
Figura 31 <i>Caracterización 3, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	63
Figura 32 <i>Croquis de caracterización 4, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	64
Figura 33 <i>Caracterización 4 cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	65
Figura 34 <i>Croquis de caracterización 5, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	67
Figura 35 <i>Caracterización 5, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	67
Figura 36 <i>Croquis de caracterización 6, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	69
Figura 37 <i>Caracterización 6, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	70
Figura 38 <i>Falla presente en el macizo rocoso, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	71
Figura 39 <i>Pliegue presente en el macizo rocoso, cerro Zapotal</i>	72
Figura 40 <i>Deslizamiento presente de material en el macizo rocoso, cerro Zapotal</i>	72
Figura 41 <i>Proyección estereográfica en software Dips, caracterización 1</i>	74
Figura 42 <i>Angulo de fricción obtenido del software RocData</i>	75
Figura 43 <i>Resultados de software Dips</i>	75
Figura 44 <i>Proyección estereográfica en software Dips, caracterización 2</i>	76
Figura 45 <i>Ángulo de fricción obtenido mediante el software RocData</i>	77
Figura 46 <i>Resultados de Software Dips</i>	77
Figura 47 <i>Factor de seguridad mediante software Swedge</i>	78
Figura 48 <i>Proyección estereográfica en software Dips, caracterización 3</i>	79
Figura 49 <i>Ángulo de fricción obtenido por el software RocData</i>	80
Figura 50 <i>Resultado de software Dips</i>	80
Figura 51 <i>Proyección estereográfica en software Dips, caracterización 4</i>	81

Figura 52 <i>Ángulo de fricción obtenido por el software RocData</i>	82
Figura 53 <i>Resultados de Software Dips</i>	83
Figura 54 <i>Factor de seguridad mediante software Swedge</i>	83
Figura 55 <i>Proyección estereográfica en el software Dips, caracterización 5</i>	85
Figura 56 <i>Ángulo de fricción obtenido del software RocData</i>	85
Figura 57 <i>Resultados de software Dips</i>	86
Figura 58 <i>Factor de seguridad mediante Swedge</i>	86
Figura 59 <i>Proyección estereográfica en software Dips, caracterización 6</i>	87
Figura 60 <i>Ángulo de fricción obtenido del programa RocData</i>	88
Figura 61 <i>Resultados de software Dips</i>	88

ÍNDICE DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 <i>Propiedades de la matriz rocosa</i>	18
Tabla 2 <i>Parámetros de la calidad tunelera "Q"</i>	25
Tabla 3 <i>Parámetros de evaluación del índice RMR</i>	26
Tabla 4 <i>Clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR)</i>	26
Tabla 5 <i>Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada</i>	39
Tabla 6 <i>Operacionalización de Variables</i>	53
Tabla 7 <i>Ubicación de área de estudio</i>	55
Tabla 8 <i>Datos de campo</i>	56
Tabla 9 <i>Ubicación geográfica C1</i>	58
Tabla 10 <i>Clasificación geomecánica RMR, C1, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	59
Tabla 11 <i>Ubicación geográfica C2</i>	60
Tabla 12 <i>Clasificación geomecánica RMR, C2, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	61
Tabla 13 <i>Ubicación geográfica C3</i>	62
Tabla 14 <i>Clasificación geomecánica RMR, C3, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	63
Tabla 15 <i>Ubicación geográfica C4</i>	65
Tabla 16 <i>Clasificación geomecánica RMR, C4, cerro Zapotal, Provincia Santa Elena</i>	66
Tabla 17 <i>Ubicación geográfica C5</i>	67
Tabla 18 <i>Clasificación geomecánica RMR, C5, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	68
Tabla 19 <i>Ubicación geográfica C6</i>	69
Tabla 20 <i>Clasificación geomecánica RMR, C6, cerro Zapotal provincia de Santa Elena</i>	70
Tabla 21 <i>Ángulos de estructuras notables</i>	73
Tabla 22 <i>Ángulos de estructuras notables</i>	76
Tabla 23 <i>Ángulos de estructuras notables</i>	79

Tabla 24 <i>Ángulos de estructuras notables</i>	81
Tabla 25 <i>Ángulos de estructuras notables</i>	84
Tabla 26 <i>Ángulos de estructuras notables</i>	87
Tabla 27 <i>Resultados de clasificación RMR - Caracterización 1</i>	89
Tabla 28 <i>Resultados de clasificación RMR - Caracterización 2</i>	90
Tabla 29 <i>Resultados de clasificación RMR - Caracterización 3</i>	90
Tabla 30 <i>Resultados de clasificación RMR – Caracterización 4</i>	91
Tabla 31 <i>Resultados de clasificación RMR - Caracterización 5</i>	91
Tabla 32 <i>Resultados de clasificación RMR - Caracterización 6</i>	92

“CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUD DE MACIZOS ROCOSOS EN EL CERRO ZAPOTAL PROVINCIA DE SANTA ELENA”

Autores: Domínguez Ricardo Sabrina Doménica
Suárez Suárez Nathaly Mercedes

Tutor: Ing. Freddy Huamán Marcillo, Mg.

RESUMEN

Conocer las propiedades geomecánicas del macizo rocoso es esencial para garantizar la estabilidad de un proyecto y mitigar riesgos potenciales. Para ello existen diversos métodos que cuantifican propiedades y predicen el comportamiento. En este proyecto de titulación se han utilizado datos de estudios precedentes, referencias bibliográficas, observaciones en campo, ensayos simples en la matriz rocosa del cerro Zapotal provincia de Santa Elena para conocer la calidad del macizo y modelar taludes con la finalidad de observar la estabilidad o las posibles fallas presentes. Para la obtención de resultados se utilizó la clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR) propuesta por Bieniawski donde se establecen los parámetros de las discontinuidades y mediante el uso de esclerómetro se determinó la resistencia a la compresión uniaxial de la matriz rocosa. Para conocer la estabilidad en taludes presentes en el cerro Zapotal se usó los softwares de Roscience: Dips, RocData y Swedge para la proyección de datos geográficos obtenidos en campo, con la brújula de geólogo del macizo para cada caracterización realizada. Dando como resultado, macizos rocosos de calidad media, clase III con intervalo (41-60) en valoración RMR y en el programa Swedge se determinó el factor de seguridad para cada talud que presenta posibilidades de deslizamiento tipo cuña, de acuerdo con resultados del software Dips, considerando un factor de seguridad (FS) = 1 para taludes de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

PALABRAS CLAVE: macizo rocoso, calidad, estabilidad, talud, RMR,

“CHARACTERIZATION AND MODELING OF THE SLOPE STABILITY OF ROCK MASSIFS IN CERRO ZAPOTAL, SANTA ELENA PROVINCE”

Autores: Domínguez Ricardo Sabrina Doménica
Suárez Suárez Nathaly Mercedes

Tutor: Ing. Freddy Huamán Marcillo, Mg.

ABSTRACT

Knowing about the geomechanical properties of rock masses is essential to guarantee the stability of a project and mitigate potential risks. For this, there are different methods that quantify properties and predict behavior. In this degree project, data from previous studies, bibliographic references, field observations, and simple tests on the rock matrix of Cerro Zapotal, province of Santa Elena, have been used to know the quality of the massif and model slopes with the purpose of observing the stability or the possible faults present. To obtain results, the geomechanical Rock Mass Rating (RMR) classification proposed by Bieniawski was used, where the parameters of the discontinuities were established, and using a sclerometer, the uniaxial compression resistance of the rock matrix was estimated. To know the stability of slopes, present on Cerro Zapotal, Roscience software has been used: Dips, RocData and Swedge for the projection of geographic data obtained in the field, with the geologist's compass of the massif for each characterization carried out. Resulting in rock masses of medium quality, class III with interval (41-60) in RMR assessment and in the Swedge program, the safety factor was determined for each, slope that presents possibilities of wedge-type sliding, according to software results. Dips, considering a security factor (FS) = 1 for slopes according to the Ecuadorian Construction Standard.

KEYWORDS: rock mass, quality, stability, slope, RMR.

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

La geotecnia se basa en el estudio y la determinación de características importantes en suelos y rocas, es una de las ramas más relevantes dentro de la ingeniería civil y minería, se utiliza en el diseño de cimentaciones, taludes, control de las capas freáticas, diseño de túneles, estructuras de contención y otros (Ramos, 2017). Para el estudio de rocas que presentan múltiples características debido a los extensos rangos de variación composicional, textural y estructural, las propiedades de cada uno pueden determinar sus campos variables de aplicación (Giordani & Lanzone, 2018). El análisis de propiedades en la roca intacta y macizo rocoso es importante para asegurar la estabilidad de una obra civil y atenuar las posibilidades que existan riesgos geológicos (Villarreal, 2020).

El empuje constante de material rocoso a niveles más bajos debido a la acción de la gravedad es un problema de estabilidad de taludes tanto en excavados como en taludes naturales y es estudiado con especial atención en la ingeniería civil. El deslizamiento de rocas es un inconveniente presente frecuentemente en regiones con accidentes geográficos, donde también están involucrados los factores climáticos, y por supuesto la intervención del hombre (Chimal, 2012). La caracterización del material rocoso disminuye incidentes por derrumbe provocados de forma artificial o natural, controla y garantiza la estabilidad de las rocas y permite conocer algún tipo de sostenimiento con el fin de brindar una operación segura y de calidad (Aliaga & Huincho, 2022).

Caracterizar es el proceso de describir la condición del objeto y asignarle una clase a los diferentes aspectos que presenta (Ortega, 2019). La caracterización geomecánica de macizos rocosos se fundamenta en la observación, descripción del afloramiento, el estudio de la matriz rocosa, proceso conocido como la primera fase en el estudio porque permite conocer las características específicas que actúan en el comportamiento del macizo frente a posibles procesos de desestabilización que podrían modificar su estado inicial (Encalada, 2018).

Un macizo rocoso se constituye por un ambiente discontinuo que básicamente se compone de bloques sólidos que se encuentran separados por discontinuidades. La heterogeneidad de las rocas que forman los macizos rocosos involucra el comportamiento ante la estabilidad de taludes (Instituto Geológico y Minero de España, 1986). Los parámetros básicos de la roca intacta, las discontinuidades, la composición estructural del macizo, la familia de discontinuidades existentes, el espaciado medio de los planos de discontinuidad y las características geológicas básicas, son datos que se requieren para la caracterización del macizo rocoso (Ramírez & Alejano, 2004).

Para determinar la caracterización se debe realizar la representación general de los aspectos y parámetros observables en varias zonas más o menos homogéneas basándose en la litología, estructura tectónica para luego describir y caracterizar los componentes de las diferentes zonas del macizo y sus propiedades; a partir de todos los datos obtenidos se procede a clasificar el macizo rocoso. La caracterización de cada zona a analizarse debe ser imparcial e individual.(González de Vallejo, 2002).

En el presente trabajo de titulación se describen las posibles fallas o deslizamientos del talud natural en el cerro Zapotal del cantón Santa Elena provincia del mismo nombre, por lo cual, se determina la caracterización geomecánica Rock Mass Rating (RMR) propuesta por Bieniawski que es el estudio que permite evaluar el comportamiento de rocas, conocer la composición estructural, propiedades presentes en el macizo rocoso, los parámetros que se obtienen en el sitio de estudio son datos muy relevantes para la toma de decisiones en proyectos civiles donde se debe proporcionar la calidad del macizo en su conjunto para apoyar el análisis final de los datos geomecánicos obtenidos, posibles deslizamientos y resultados detallados.

1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El comportamiento de un talud sea natural o artificial es un componente predominante de reconocer previo a la ejecución de una obra de infraestructura sobre laderas o taludes artificiales, este componente se obtiene mediante estudios geológicos, geotécnicos, determinaciones para conocer los factores físicos y

antropogénicos que suelen ser las causas para iniciar una posible inestabilidad que podría provocar problemas parciales o totales, representando un riesgo inminente a la localidad donde se encuentra ubicado el talud (Catuto & Elizalde, 2019).

Los problemas presentes en obras civiles se descubren con la inestabilidad de la masa rocosa que podría crear desprendimiento, exponiendo de manera insegura a trabajadores y otros que podrían provocar el colapso. Hay que saber que la inestabilidad de la masa rocosa repercute en los altos costos de sostenimiento (Aliaga & Huincho, 2022). Los desprendimientos son el principal riesgo en movimientos y cortes de macizos rocosos, este problema es común que se presente en terrenos montañosos (Chimal, 2012).

En este caso de estudio, la estructura del macizo rocoso se compone de rocas sedimentarias, los estratos compuestos por lutita, lutita laminar y arenisca; consolidación de sedimentos que frente a la inexistencia de conexiones fuertes de las partículas en su estructura permiten el origen de macizos con discontinuidades y las rocas al parecer débiles se deformarán y se deslizarán siendo un peligro al momento de aplicar el material, sin antes realizar la clasificación geomecánica. (Guamán & Mendieta, 2013).

La provincia de Santa Elena consta de una geomorfología variable dando la iniciativa para la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el cerro Zapotal debido a la falta de datos geológicos, geotécnicos, físicos, mecánicos que determinen el comportamiento de este macizo rocoso, mediante la metodología de caracterización Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawsky se presenta la posibilidad de utilizar los resultados de la investigación como base para estudios de voladura, estabilidad de taludes, cimentaciones y túneles.

En el presente documento se evaluará a través de técnicas de observación y métodos experimentales el macizo rocoso presente en el cerro Zapotal en la provincia de Santa Elena, área donde se realiza el estudio, además de contar con los equipos necesarios que permitan determinar las propiedades del macizo rocoso, su clasificación y las características que permitan identificar la calidad del material rocoso. Se tomará en cuenta todos los parámetros como resistencia del material

intacto, resistencia compresión simple MPa, resistencia del material intacto índice RQD, espaciamiento entre discontinuidades, condiciones de diaclasas, persistencia, abertura, rugosidad, relleno, grado de meteorización, condición de humedad para el respectivo análisis de estabilidad de taludes.

El presente estudio plantea la siguiente interrogante general: ¿Se obtendrá suficiente información del estudio geomecánico del macizo rocoso en el cerro Zapotal para determinar los parámetros de la metodología Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski y la modelación en software para la estabilidad de talud y ver los posibles riesgos críticos de deslizamientos que existen? y las interrogantes específicas: ¿La obtención de la calidad de la roca mediante la metodología Bieniawsky definirá el comportamiento del macizo rocoso?, ¿De los datos obtenidos en software de Roscience del material rocoso en cada caracterización se determinará los posibles riesgos de deslizamientos presentes en el talud?

1.2 ANTEDECENTES

La modificación del macizo rocoso a lo largo del tiempo puede provocar que se alteren las características mismas del material que dependiendo de la composición, propiedades y con la exposición que tienen al medio ambiente, factores que podrían perjudicar o no la obtención de los parámetros a estudiar, relevantes en la toma de decisiones para proyectos, se han implementado métodos y sistemas de clasificación que consideran la calidad de roca para poder obtener predicciones de acuerdo a las características presentes en el macizo rocoso.

En el ámbito internacional en la Patagonia Argentina, de acuerdo con la investigación de Celli & Falcioni (2021), basado en la “Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la formación Santa Cruz aflorante en la zona de Condor Cliff, río Santa Cruz, Patagonia Argentina”. La caracterización del macizo rocoso ha permitido valorar el comportamiento ante las fuerzas que actúan. En conjunto a ensayos de campo y pruebas de laboratorio ejecutados en los materiales rocosos críticos que permiten determinar una caracterización precedente del macizo rocoso sedimentario. Se han empleado datos recopilados anteriormente y los estudios de referencias bibliográficas e imágenes satelitales, se ha llevado a cabo

una operación geológico – geotécnica, donde se tomaron muestras de la matriz rocosa y se realizaron ensayos simples de campo cuya finalidad ha sido estimar la resistencia a la compresión uniaxial de la matriz rocosa. También se llevó a cabo un estudio estadístico en las discontinuidades presentes y sobre las muestras se realizaron ensayos de laboratorio. En los resultados obtenidos, se usaron clasificaciones geomecánicas como: RMR, SMR y GSI para conocer la calidad del macizo rocoso que permiten evaluar los parámetros de resistencia y deformabilidad.

Internacionalmente, en Huancavelica Perú se puede resaltar el estudio presentado por Ortega (2019), acerca de “Factor de seguridad y análisis de estabilidad del talud en Roca, en la carretera Sarhua – Porta Cruz, Progresiva km 35+000 – 2018”. Se observó la necesidad de resolver la inestabilidad presente en este tramo específico, cuyo objetivo se basa en valorar la calidad del macizo rocoso a partir de las clasificaciones geomecánicas, RMR y SMR; para determinar la clase a la que pertenece este macizo rocoso en estudio, identificando los tipos de fallas estructuralmente que podrían ser controlados en el talud rocoso y determinar el factor de seguridad en condición estática y el factor de seguridad en condición pseudo – estático. La complicación de inestabilidad de taludes en el sector del km 35+00 se han generado por la realización de excavaciones y una voladura impropia. La solución que se ha propuesto para controlar este problema es la construcción de banquetas. Los ensayos directos a la matriz rocosa y a los planos de discontinuidades aportaron los valores de la cohesión del macizo, ángulos de fricción y la resistencia compresiva uniaxial.

En el ámbito nacional, de acuerdo a la tesis de Flores & Pineda (2015), que fue basada en la “Aplicación al Diseño de Taludes mediante Análisis Cinemático y Clasificación Geomecánica - Slope Mass Rating - Cantera BORCONS en el km 6 ½ de la Av.del Bombero, Guayaquil, Guayas, Ecuador”. Se han efectuado constantes estudios para caracterizar los macizos rocosos presentes en la cantera BORCONS, la misma que pertenece al sector San Eduardo del cantón Guayaquil, cuyas investigaciones dieron como resultado del estudio, una representación y proyección sobre la estabilidad de los taludes de la cantera BORCONS, conforme a la situación de fase actualizada del macizo rocoso

En Ecuador también se puede resaltar la tesis, a cerca de “Caracterización del macizo rocoso ubicado en el sector Ingamullo II, km 11, proyecto: reconstrucción de la carretera Gualaceo-Limón Indanza, tramo: Gualaceo-Plan de Milagro”. Este proyecto permitió la caracterización del macizo rocoso que se encuentra localizado en el sector Ingamullo II - km 11; estudio realizado con una metodología basado en la preparación de probetas y/o muestras de material rocoso presente en el campo de estudio, cuyo objetivo permite el estudio de variables in situ como: el comportamiento de los afloramientos y la descripción de propiedades del macizo rocoso. Los resultados exhiben la situación actualizada del macizo rocoso que se encuentra compuesto por roca metamórfica sólida con resistencia a la compresión promedio de 31,74 MPa, su índice RQD fluctúa entre 80 y 90% lo que se representa según el tipo como un macizo de buena calidad. (Jiménez, 2022).

En el ámbito local, según el proyecto de Catuto & Elizalde (2019), acerca de “Caracterización geotécnica y propuesta de una metodología para estabilizar talud en el sector 2 de febrero de la parroquia Anconcito – provincia de Santa Elena”. La tesis tuvo como objetivo caracterizar geotécnicamente el talud por medio de ensayos in situ. Se realizaron las proyecciones estereográficas para obtener sistema de fallas. Luego de detallar las características geotécnicas, grados de meteorización de la estructura del macizo puede proponer la estabilización con muro de gaviones considerando el método de Bishop proporcionando un factor de seguridad resistente al vuelco y al posible deslizamiento de la estructura de contención.

Localmente en la provincia de Santa Elena, se puede resaltar la tesis de (Malavé & Méndez, 2021), acerca de “Análisis de Calidad del Macizo Rcoso por los Métodos de Barton y Bieniawski en los Acantilados de Ancón del Cantón Santa Elena”. En este proyecto se determina la calidad del macizo rocoso, por medio de estudios en campo se conoce las propiedades de las rocas usando la clasificación RMR y Q, Se determinó la calidad de la roca, según el primer método, la calidad es Media, índice RMR (57 – 60), clase III y según el método Q de Barton se obtuvo una calidad del macizo, regular, con valores Q, (5.24 - 7.86). Con el uso de los softwares de Rocscience; Dips, RocData y Swedge, se obtuvieron proyecciones digitales para analizar la cinemática de las discontinuidades y las posibles actividades de deslizamientos planares o en cuña que puedan existir en el macizo rocoso.

Para conocer el comportamiento del talud rocoso del cerro de Zapotal es importante detallar las características geológicas, conocer las zonas de debilidad, anisotropía del macizo rocoso, planos de estratificación, parámetros de discontinuidades que provocan las posibles fallas y las características geotécnicas que se obtienen con visitas de campo al talud rocoso para obtener las fallas presentes o estabilidad y el posible uso que se le dará luego de realizar el estudio.

1.3 HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis General.

Los parámetros del macizo rocoso que se obtienen mediante la metodología Bieniawsky permitirán conocer la calidad del material en estudio y con la modelación del talud rocoso se logrará conocer la estabilidad o los riesgos de deslizamiento presentes en el cerro Zapotal Provincia de Santa Elena.

1.3.2 Hipótesis Específicas.

H.E.1: La obtención de la resistencia de la matriz rocosa, índice RQD, estado de discontinuidades definirán la calidad del material mediante la metodología de Bieniawsky en el cerro de Zapotal provincia de Santa Elena.

H.E.2: Los datos obtenidos en softwares de Roscience determinarán los posibles riesgos de deslizamientos presentes en el talud estudiado.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General.

Determinar los parámetros del macizo rocoso aplicando la metodología Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski para establecer la calidad del material y modelar taludes para conocer la estabilidad o riesgos de deslizamiento presentes en el cerro Zapotal de la provincia de Santa Elena.

1.4.2 Objetivos Específicos.

O.E.1: Definir la calidad del macizo rocoso en función del índice RMR, mediante la clasificación geomecánica RMR de Bieniawski para determinar la resistencia de la matriz rocosa, índice RQD, estado de discontinuidades.

O.E.2: Evaluar el macizo rocoso mediante el uso de software de Roscience: Dips, RocData, Swedge para conocer el posible riesgo de deslizamiento en taludes correspondientes a cada caracterización en el macizo rocoso del cerro Zapotal.

1.5 ALCANCE

Este estudio está orientado a la caracterización geomecánica de macizos rocosos presente en el cerro Zapotal mediante visitas de campo para el muestreo y detallar en sitio los datos visibles que permiten obtener los parámetros del material rocoso, a través de la metodología RMR de Bieniawski y determinar la calidad del macizo de acuerdo a propiedades de discontinuidades, al estado de las diaclasas identificadas por los parámetros de persistencia, apertura, rugosidad, relleno, alteración de la junta, comportamiento, calidad de la roca y la resistencia para soportar cargas estimada a partir del rebote del martillo de Schmidt, orientación de las discontinuidades. El estudio se llevará a cabo entre agosto y octubre del 2023.

1.6 VARIABLES

1.6.1 Variable Dependiente.

Calidad de macizos rocosos.

1.6.2 Variables Independientes.

Parámetros geomecánicos de macizos rocosos: característica físicas y mecánicas del macizo rocoso.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. BASES TEÓRICAS

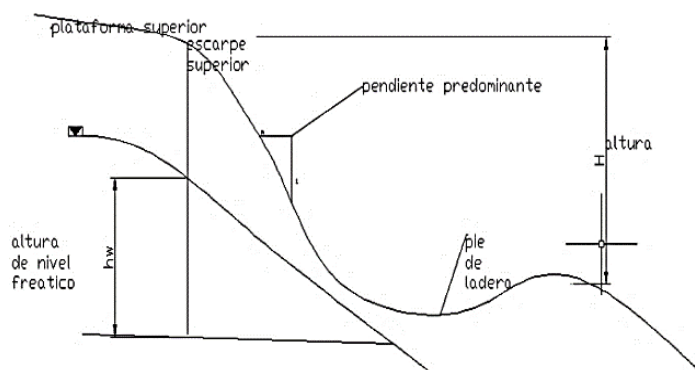
Dentro de este apartado, se desarrolla el marco teórico que describe la información concerniente a la estabilidad de taludes y caracterización de macizos rocosos para este proyecto de titulación realizado en el cerro Zapotal, comuna del mismo nombre, de la provincia de Santa Elena por lo que a continuación se describen los siguientes términos técnicos.

2.1.1 Talud.

Cualquier superficie inclinada con relación a la horizontal que respeta la estructura de la tierra en forma natural o como consecuencia de la acción del hombre, pueden ser naturales o artificiales. Un talud se compone de material rocoso o estratos de suelo depositados en forma compacta, hallados comúnmente en relieves y morfologías de diferentes zonas, se determina como la zona vertical o inclinada de la superficie en contacto con el aire y/o agua; puede originarse con cortes, rellenos del material (García, 2020; Alvarez & Emel, 2018).

Figura 1

Nomenclatura de talud artificial y talud natural.



Nota: Adaptado de Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, (p. 12), por Suarez, 1998, UIS.

A continuación, se explica brevemente los elementos que forman parte del talud o ladera, expuestos en la figura 1:

- ✓ Altura. – en taludes artificiales es distancia vertical entre el pie y la cabeza, mientras que, en laderas o taludes naturales es difícil cuantificar porque no son accidentes topográficos marcados (Catuto & Elizalde, 2019).
- ✓ Pie. - pertenece al área de cambio de pendiente en la parte más baja.
- ✓ Cabeza o escarpe. - corresponde al área de cambio evidente de pendiente en la parte más alta (Yagual, 2019).
- ✓ Altura de nivel freático. - trayecto vertical a partir del pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.
- ✓ Pendiente. - medida de inclinación del talud.

2.1.1.1. Deslizamiento.

Movimiento que involucra un desplazamiento ocasionado por la superación de la resistencia corte del material, la deforestación y otros, a lo largo de una o varias superficies, esto puede producir la inestabilidad de la zona.

En forma breve se puede entender que un deslizamiento es aquel fenómeno que conlleva la tendencia a moverse de un gran volumen de masa de tierra, esto es causado por la inestabilidad del suelo de determinada zona o en su defecto por la acción de la naturaleza tales como los sismos que remueven grandes masas de tierra (Alvarez & Emel, 2018).

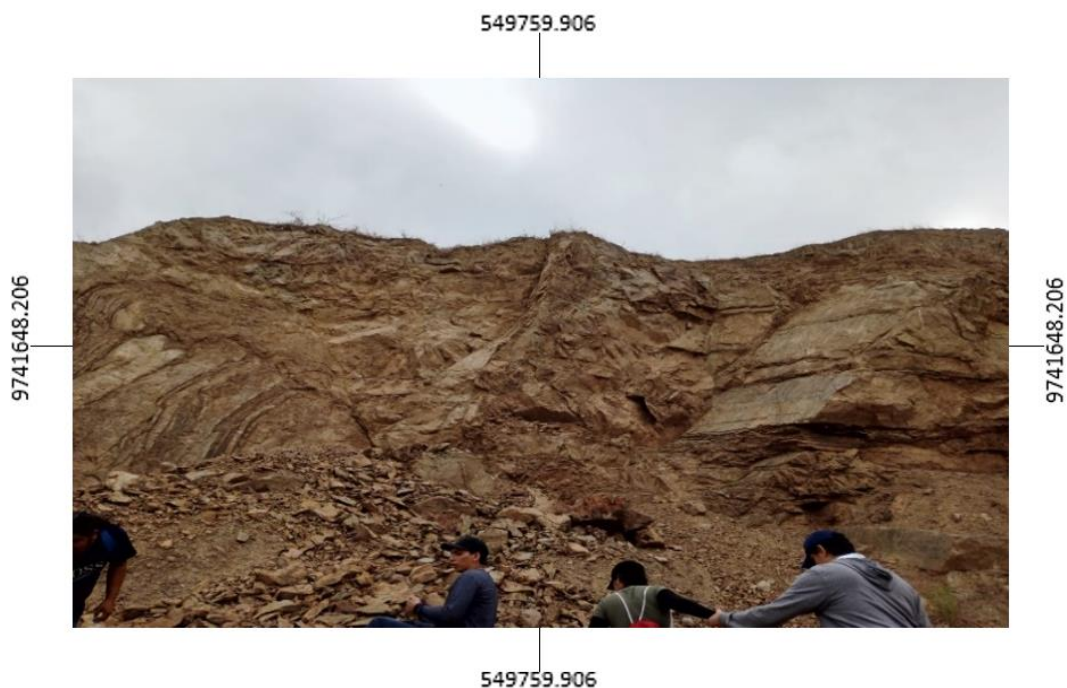
Los efectos de los deslizamientos son importantes en el territorio, debido a las características morfológicas y al relieve accidentado que se presenta en la zona estudiada. Son fenómenos que inducen en la paralización total o parcial de las obras, altos costos de rehabilitación y detención del desarrollo socioeconómico. La erosión provoca inestabilidad por pérdida de características fisicoquímicas del

material, los residuos, aumento de riesgo, son problemas para la ejecución de proyectos (Arias, 2012).

Las superficies de deslizamientos del cerro Zapotal en la comuna del mismo nombre, pueden verse mediante la observación y visita de campo realizada como parte importante del presente proyecto de titulación, representada en la figura 2, que se muestra a continuación.

Figura 2

Deslizamiento del cerro Zapotal provincia Santa Elena, 2023



Nota: Coordenadas UTM 549759.906 E - 9741648.206 N

2.1.1.2. Tipos de rotura o deslizamiento.

Es común que los taludes en suelos rompan a favor de superficies curvas, condicionadas por la morfología y estratigrafía. Por el contrario, las roturas en rocas están restringidos por el grado de fracturación del macizo rocoso, orientación, distribución de las discontinuidades, donde la estabilidad es definida por los parámetros de discontinuidades y de la roca intacta. En masas rocosas sólidas y resistentes, las posibles roturas están determinadas por la situación de las discontinuidades. Las formaciones rocosas blandas también juegan un papel

importante en la generación de estos planos y en el mecanismo de rotura (González de Vallejo, 2002).

Probar la estabilidad del talud incluye determinar varios comportamientos y establecer un factor de seguridad de deslizamiento. Las obras civiles en áreas de alto o moderado riesgo de deslizamiento del material pueden colapsar durante los eventos sísmicos (Oporta & Flores, 2019).

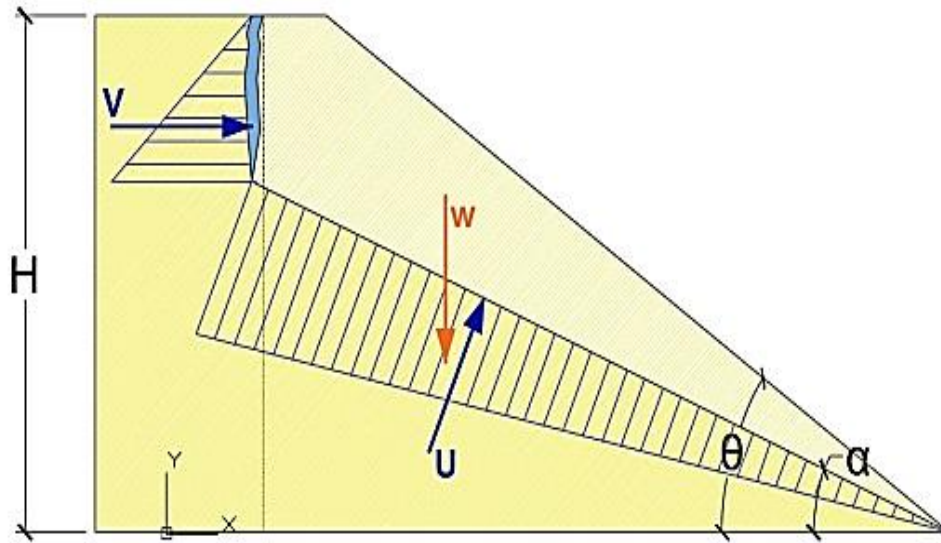
En este proyecto se describen los principales tipos de rotura en taludes: deslizamientos planares, formación de cuñas presentadas y descritas a continuación:

- a) **Rotura planar o falla.** Las fallas planas son el mecanismo de rotura en taludes rocosos, provocando que los bloques de roca se muevan en zonas que favorecen el plano definido por la discontinuidad presente en el macizo. La rotura plana es un tipo común de inestabilidad de taludes que ocurre cuando una masa rocosa se desliza con el resto del macizo a través de una discontinuidad que ocurre en el exterior del talud (Garzón & Echarri, 2019). Estos fenómenos ocurren comúnmente en áreas geológicas formadas por sedimentos de capas resistentes y débilmente estratificados, afectando tanto a bloques individuales como a macizos rocosos, provocando movimientos del material con posibles resultados catastróficos (Instituto Geológico y Minero de España, 1986).

La rotura plana de taludes tiene lugar en macizos rocosos formados por rocas de resistencia media o alta, afectadas por fallas y diaclasas. Implica el movimiento o deslizamiento de masa rocosa a lo largo del plano de discontinuidad expuesto por la cara del talud (Ramírez & Alejano, 2004). Depende de la cohesión y del ángulo de fricción interna. Para que se produzca esta rotura, el ángulo de inclinación del talud debe ser mayor que el ángulo de inclinación de las diaclasas, el rumbo del plano de discontinuidad sea muy similar al rumbo del plano del talud, la desviación máxima es de 20 grados y la falla se produce cuando las fuerzas tangenciales que actúan en la superficie de rotura del talud superan las fuerzas resistentes del mismo (Ramos, 2017).

Figura 3

Esquema de rotura planar de un talud



Nota: Adaptado de *Esquema de rotura planar de un talud*, de Ramos, 2017, *Análisis de Estabilidad de Taludes en Rocas. Simulación con Ls-Dyna y comparación con Slide*.

El caso más común pertenece al mecanismo simple con una zona de rotura plana. Se puede observar el esquema en la figura 3 y para que ocurra este tipo de falla de rotura plana deben cumplirse las siguientes condiciones cinemáticas y mecánicas descritas a continuación, por Hoek & Bray (1981):

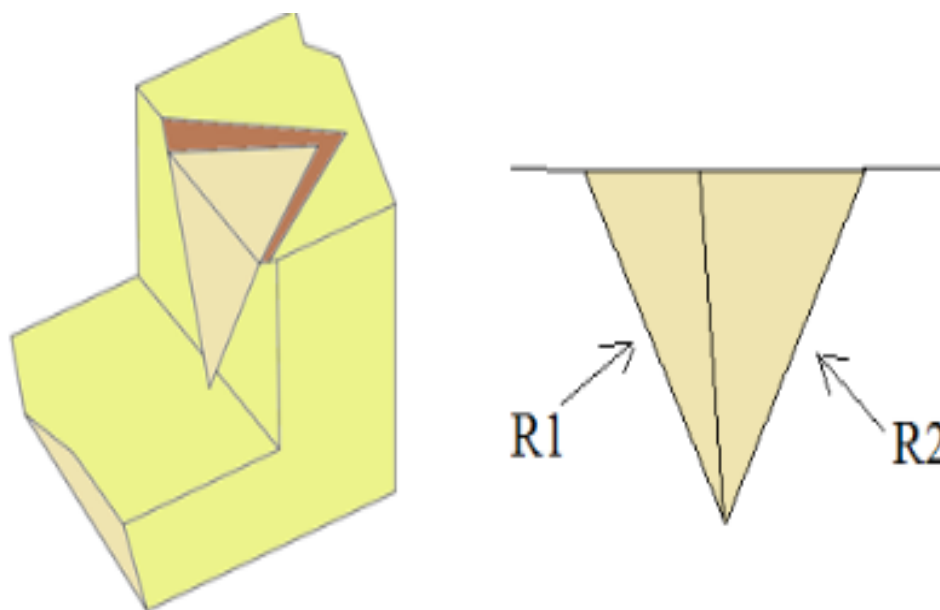
- ✓ Superficie de rotura es el plano continuo que ha de tener el rumbo paralelo o casi paralelo a la superficie del talud.
- ✓ La superficie de rotura debe buzarse hacia el exterior del talud y salir por la superficie vista del desmonte.
- ✓ El buzamiento de la superficie de rotura debe ser mayor que el ángulo de rozamiento de este plano.
- ✓ Las superficies laterales que separan el plano deslizante han de tener una resistencia despreciable frente al conjunto.

b) **Rotura en cuña.** Mientras que bloque desplazado sea el resultado de dos o tres juntas, se trata de una falla en cuña, lo que significa que los taludes cortados por dos superficies de discontinuidades, no paralelas, de modo que la intersección del plano emerge en el talud y buza en sentido negativo. Las roturas se limitan a cuatro superficies de discontinuidad, la superficie de la roca y, a veces, un plano de fractura por tracción (Melentijevic, 2005).

Ramos (2017), menciona que la rotura en cuña se considera como un caso particular puesto que requiere la existencia de dos discontinuidades convergentes para formar bloques tetraédricos, esta rotura suele ocurrir comúnmente en macizos estables con discontinuidades definidas. En la figura 4 se observa cómo es el esquema de este tipo de rotura.

Figura 4

Esquema de rotura en cuña de un talud



Nota: Adaptado de *Esquema de rotura en cuña de un talud*, de Ramos, 2017, *Análisis de Estabilidad de Taludes en Rocas. Simulación con Ls-Dyna y comparación con Slide.*

En la tesis “Métodos de Cálculo de Taludes en Roca considerando la Dilatancia” presentada por Hueicha (2017), la geometría de la cuña para el análisis básico del

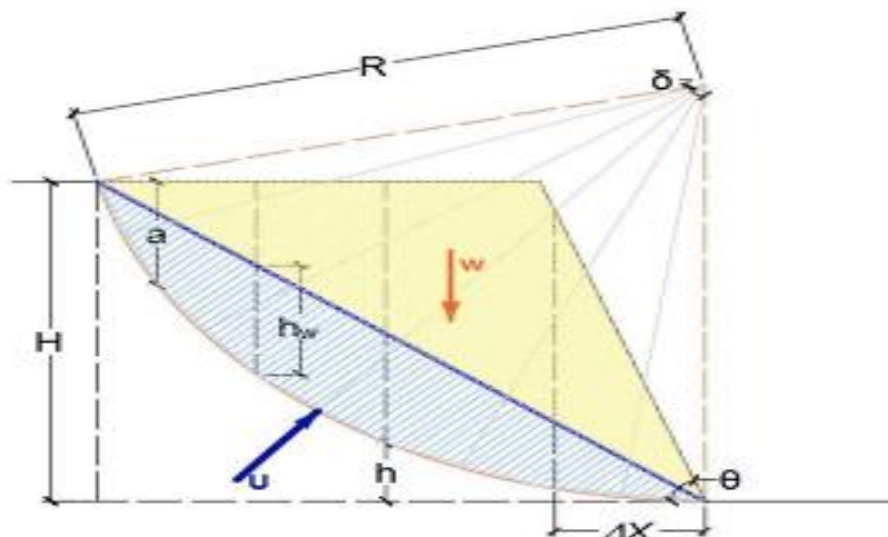
mecanismo de deslizamiento presenta las siguientes condiciones básicas para la falla por cuña:

- ✓ Dos planos se intersecan siempre en una línea.
- ✓ El buzamiento de intersección será más plano que la cara del talud y más anguloso que los ángulos de fricción de los deslizamientos planos.
- ✓ La inclinación del talud corresponde al ángulo derecho de intersección.

c) **Rotura circular de un talud.** En mecánica de macizos rocosos este fenómeno ocurre a menudo en pendientes de gran elevación donde la masa rocosa reduce la tensión creando una superficie de falla. La rotura es producida por las características geológicas donde se encuentra el talud y la naturaleza de deslizamiento ha dividido el macizo rocoso en una masa discontinua. En tales casos, el área de falla su suele definir por una o más de una discontinuidad. Sin embargo, en rocas con juntas muy unidas o altamente meteorizadas, no existe ningún patrón que controle el modo de falla (Hueicha, 2017).

Figura 5

Esquema de rotura circular de un talud



Nota: Adaptado de *Esquema de rotura circular de un talud*, de Ramos, 2017, *Análisis de Estabilidad de Taludes en Rocas. Simulación con Ls-Dyna y comparación con Slide.*

Los deslizamientos rotacionales son más habituales en suelos cohesivos. La rotura superficial o profunda, se apoya en superficies curvas o en forma de cuchara como se observa en la figura 5. Una vez que comienza la inestabilidad, la masa inicia con una rotación, se puede observar que es dividida en varios bloques que se deslizan unos sobre otros y formando escalones con superficie inclinadas hacia la pendiente y con grietas de tracción ranuradas (González de Vallejo, 2002).

2.1.1.3. Metodología para Análisis de Estabilidad de Taludes.

En la mayoría de los casos, el estudio de la inestabilidad de taludes no se ejecuta a nivel general, sino que se analiza cada talud por separado porque la inestabilidad de taludes se encuentra relacionada con la presencia de discontinuidades concretas con orientaciones específicas. La estabilidad del talud suele estar determinada por la presencia de agua, ya que este es un factor importante porque los coeficientes de seguridad varían según si hay taludes excavados con material rocoso completamente seco o saturado (Ramírez & Alejano, 2004).

En los taludes rocosos, la inestabilidad es causada por las propiedades geomecánicas del macizo, el estado de conservación del propio talud y las condiciones de intrusión de agua. Los diferentes tipos de falla dependen del grado de fractura del macizo, la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud, mientras que la estabilidad está determinada por los parámetros de resistencia de las discontinuidades y de la matriz de la roca, es necesario desarrollar medidas de estabilización y protección para solucionar los problemas identificados arco.

Los casos de rocas sanas sin fracturas son anormales y el material rocoso se ve como un tejido de bloques de roca intacta, limitados en tres dimensiones por las discontinuidades. Las discontinuidades pueden ser caóticas o repetitivas como grupos de discontinuidades, este sistema menudo se denomina fábrica estructural de la masa de roca y puede ser de orientación de diaclasas, estratificación, juntas, foliaciones y otras discontinuidades de la roca. En muchos casos, los parámetros ingenieriles de la roca fracturada: resistencia, permeabilidad y deformaciones dependen más de la naturaleza de la estructura que de las propiedades de la roca

intacta. Para realizar el análisis, se debe determinar las siguientes propiedades de la fábrica estructural: orientación, persistencia o continuidad, espaciamiento, propiedades de discontinuidad, relleno (Suarez, 1998).

Una desventaja en taludes es la capacidad para evitar las posibles fallas debido a la compleja disposición del estado de las discontinuidades. Cabe señalar que las fallas permanecen cinemáticamente inestables debido a la resistencia por fricción que se produce entre las paredes de las discontinuidades adyacentes. Las fuerzas dinámicas provocadas por sismos y otros factores como la presión de columnas de aguas infiltradas pueden alterar el estado de equilibrio de las estructuras cinemáticamente peligrosas (Instituto Geológico y Minero de España, 1986).

2.1.2 Matriz Rocosa, Macizo Rocoso, Discontinuidad.

2.1.2.1. Matriz Rocosa.

Es aquella que presenta discontinuidades nulas o es posible que sea la parte ubicada justo en entre dos o más discontinuidades presentes en el macizo rocoso. La roca matriz también se la conoce como roca intacta y las propiedades que presenta son las que determinan el comportamiento (Bolcatto, 2020).

Cuerpos de roca continuos compuesto por asociaciones de una varias o más especies minerales, pueden tener las siguientes propiedades: homogéneos, heterogéneos, isótropos, anisotrópicos (Barletta, 2011). Según González de Vallejo (2002), nos muestra las propiedades de identificación, clasificaciones mecánicas de la matriz rocosa: peso específico, porosidad, velocidad sísmica, durabilidad, resistencia, permeabilidad, mineralogía, deformabilidad, humedad; descritas en la tabla 1 a continuación:

Tabla 1*Propiedades de la matriz rocosa*

	Propiedad	Información
IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN	Peso específico	Peso por unidad de volumen, los valores varían considerablemente en rocas.
	Porosidad	Cantidad de huecos que tiene la matriz rocosa. Junto con la densidad informan sobre el grado de alteración
	Durabilidad	Estabilidad química y física de la roca.
	Mineralogía	Mineralogía de la roca y su compacidad
	Humedad	Cantidad de agua presente en el material.
	Permeabilidad	Informa respecto a poros y fisuras interconectadas de la roca matriz. Es muy complejo su ensayo por lo que no se considera de manera general en el análisis de propiedades índice.
MECÁNICAS	Deformabilidad	Altera la forma como consecuencia de las fuerzas que actúan.
	Resistencia	Evalúa cuantitativamente el comportamiento de la roca. Es imprescindible en cualquier estudio de mecánica de rocas.
	Velocidad de onda sónicas	Sola o junto con la descripción petrográfica permite determinar el grado de alteración y fisuración. Predice el comportamiento mecánico.

2.1.2.2. Macizo Rocosos.

Es la apariencia que se presentan las rocas en la naturaleza, constituida por una o más rocas afectadas por la escasa homogeneidad en discontinuidades o superficies débiles; mecánicamente distinguidos también en medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos.(González, 2018).

Los macizos rocosos se caracterizan por la forma y tamaño de bloques separados por discontinuidades donde existen aspectos que pueden describirlos, como las características físicas y mecánicas de la roca.

- a) **Anisotropía.** Es la orientación de los esfuerzos que se ejercen sobre materiales rocosos, pero también se describen el comportamiento mecánico que se produce en diferentes direcciones. Considerando solamente la anisotropía, no es correcto decir que todos los macizos rocosos con familias de discontinuidades son anisótropos. Dependiendo del número y orientación de las familias se puede diferenciar un comportamiento anisótropo del isótropo. Además de la anisotropía del macizo debido a las discontinuidades, es posible considerar que hay tipos de rocas más propensos por su historia de formación, resultando que su respuesta sea macro o microscópica (Alonso et al., 2012).
- b) **Heterogeneidad.** Teniendo en cuenta, la heterogeneidad se puede definir como la variación de una propiedad específica, Zonas de litología, meteorización, contenido de agua, y otros sean diferentes. En la tesis de Martínez & Osorio (2013), señala que todo entorno es heterogéneo, si algún parámetro establecido varía, en caso de no variar, el medio será homogéneo.

Figura 6

Macizo rocoso, cerro Zapotal provincia de Santa Elena 2023



Nota: Coordenadas UTM 549759.906 E - 9741648.206 N

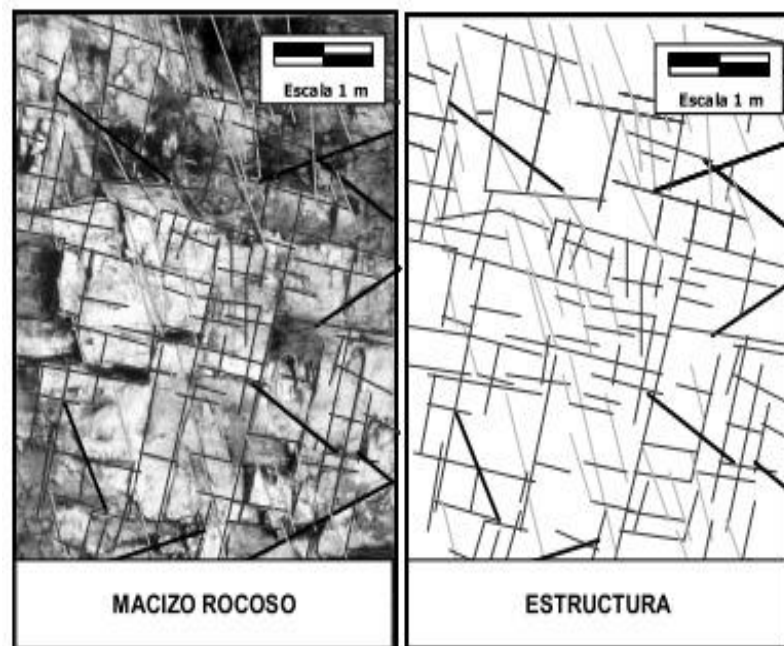
Los macizos rocosos se caracterizan por tener una gran variedad de componentes, como se observa en el macizo de la figura 6 por lo que es necesario realizar diversos estudios que determinen el comportamiento que permitirá alcanzar determinados

objetivos en función de las características y propiedades que posee. El proceso de clasificación de macizos rocosos es fundamental para establecer las propiedades básicas y evaluar su potencial comportamiento o adaptabilidad (Alzate et al., 2020).

- c) **Estructura y dominio estructural.** Al conjunto de fallas, diaclasas, pliegues y demás rasgos característicos geológicos de una región determinada se le denomina estructura del macizo rocoso, como se puede ver en la figura 7. En ingeniería de rocas, se considera que la estructura del macizo rocoso formada por los tipos de roca existentes en el interior (Ramírez & Alejano, 2004).

Figura 7

Macizo rocoso y estructura



Nota: Tomado de *Concepto de macizo rocoso y estructura*, de Ramírez & Alejano, 2004, *Mecánica de Rocas: Fundamentos e ingeniería de Taludes*.

2.1.2.3. Discontinuidad.

Las discontinuidades son cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de la matriz rocosa dentro de un macizo rocoso. Es común que tengan resistencia a la tracción nula o baja, la resistencia al corte caracteriza su comportamiento mecánico (Bolcatto, 2020).

En término general, para distinguir las diaclasas, fallas, estratificación, esquistosidad que tienen origen desigual y como consecuencia características desiguales, la descripción de las familias de discontinuidades presentes en el macizo rocoso abarcan las características y parámetros geométricos descritos a continuación:

- a) **Orientación.** Establecida en base a valores estadísticos que permitan una visión general de geométrica del macizo rocoso, la orientación de la diaclasa en el espacio depende de su buzamiento y de la dirección de buzamiento (Bolcatto, 2020).
- b) **Buzamiento.** El ángulo formado por el plano horizontal y la recta de mayor pendiente que se encuentra contenida en el plano de la discontinuidad. Si la dirección en la que se prueba el plano no es perpendicular se considera un ángulo menor, los valores se expresan de cero grados a noventa grados (Barletta, 2011).
- c) **Dirección del buzamiento.** Ángulo entre el norte magnético y la línea obtenida de la intersección del estrato inclinado del plano horizontal, el rumbo generalmente se expresa por el valor del ángulo relativo al norte, es decir, la línea de dirección está orientada al este desde el norte (Escobar & Duque, 2017).
- d) **Relleno.** Material entre paredes de discontinuidad, suele ser más blando que el macizo rocoso y tiene un efecto muy significativo para evaluar la estabilidad (Catuto & Elizalde, 2019).
- e) **Abertura.** Distancia perpendicular entre las paredes de diaclasas que se pueden encontrar sin algún tipo de relleno en el macizo rocoso se observan cerradas o abiertas, éstas se denominan fisuras o grietas que podrían tener presencia de agua.
- f) **Espaciamiento.** Distancia perpendicular entre discontinuidades de una misma familia (Flores & Pineda, 2015).

- g) **Persistencia.** Longitud de traza de una discontinuidad en un afloramiento, este parámetro garantiza el flujo de agua en masa rocosa.
- h) **Rugosidad.** Desempeña un papel importante como material de soporte cuando se aplica en macizos rocosos, especialmente cuando se trata de juntas cerradas, cuanto mayor es la rugosidad, mayor resistencia al corte de los macizos, lo que en conjunto ayuda a la cohesión para mantenerse en un sitio de trabajo sin la posibilidad de deslizarse (Escobar & Duque, 2017).
- i) **Tamaño de bloques.** Cuantificado con metodologías específicas, identifica bloques críticos debido a tamaños finitos y que podrían desprenderse (Duque, 2016).
- j) **Número de familias.** Indica el grado de fracturamiento, depende de los tipos de esfuerzos, dirección. Tiene mínimo tres números de familias con características distintas (Duque, 2016).
- k) **Flujo.** Presencia libre o en movimiento de agua en la discontinuidad, fluye a favor del área de discontinuidades en caso de ser permeable.

2.1.3 Resistencia y Deformabilidad de Macizos Rocosos.

La resistencia de macizos rocosos está función de la resistencia de la matriz rocosa o roca intacta, variando ampliamente la distribución de las discontinuidades, dependiendo también de las condiciones geoambientales a las que está expuesto el macizo, como pueden ser las tensiones naturales y las condiciones hidrogeológicas. La presencia de zonas tectonizadas, alteradas o de diferente composición litológica, implica zonas débiles y anisotrópicas con diferentes comportamientos y características resistentes. Las discontinuidades pueden afectar y debilitar la resistencia del macizo, que depende de la fricción y el confinamiento de planos. Estos casos determinan una alta complejidad en la evaluación de la resistencia de los macizos rocosos.

2.2. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS

2.2.1 Métodos de Clasificación.

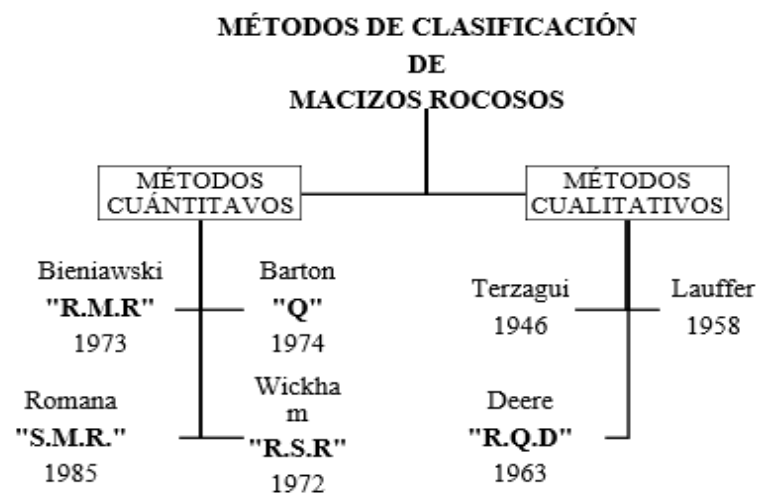
Se emplean diferentes métodos para conocer la calidad del macizo rocoso, que en la actualidad se basan en las clasificaciones geomecánicas, porque han tenido gran difusión. Los criterios utilizados están basados en parámetros cualitativos y cuantitativos, dando como resultado diferentes métodos de evaluación y valoración (Guamán & Mendieta, 2013). Los sistemas de clasificación de macizos rocosos constituyen una parte integral en el diseño de obras civiles. Se utilizan tradicionalmente para agrupar áreas de características geomecánicas similares y proporcionan una guía para el rendimiento de estabilidad y la selección del soporte adecuado (Milne et al., 2017).

2.2.2 Descripción de Métodos.

En la figura 8 se pueden observar los diversos métodos cuantitativos y cualitativos que existen para la clasificación de macizos rocosos y han sido los más relevantes en la geotecnia y a continuación se describe brevemente cada uno de ellos.

Figura 8

Métodos de clasificación de macizos rocosos



2.2.2.1. Métodos de Carga en Rocas.

Este método fue innovador debido a la aplicación de un sistema semicuantitativo para conocer las características del macizo rocoso se clasificaba el área para dividirla en categoría. Fue desarrollado por Terzagui en el año 1946 y es una clasificación descriptiva de tipos de roca diferentes, cuyo objetivo era valorar la carga resistía la roca con los de acero que soportaba un túnel edificado con operaciones tradicionales. Fue la base para conocer los distintos sistemas de clasificación de masas rocosas (González & Martínez, 2017).

2.2.2.2. Método Rock Quality Designation “R.Q.D”.

Este método es desarrollado por Deere en el año de 1963. Cuantifica la calidad del macizo rocoso en comparación a núcleos de perforación, método que debe ser meticuloso con la fractura del núcleo (Betancur & López, 2019). La clasificación sólo emplea categorías distintas del índice de calidad del macizo: muy mala, mala, regular, buena, excelente; detalladas en función de las discontinuidades, sin tener en cuenta las fracturas, ni las propiedades mecánicas, entre otros (Vega, 2018).

Bieniawski sugiere que RQD es índice rápido, pero no determina adecuadamente la calidad, No obstante, Bieniawski utiliza el índice RQD como factor. El Grupo de Trabajo Ingenieril de la Sociedad Geológica de Gran Bretaña en 1970, mantuvo el RQD como un índice de calidad. Barton, Lien y Lunde en 1974 incorporan el RQD en su índice de calidad “Q” (Murphy, 1985).

2.2.2.3. Método Índice de Calidad Tunelera de la Roca “Q”.

Este sistema de clasificación fue desarrollado por Barton, Lien y Lunde en el año de 1974, describe el macizo basándose en fracturas, presencia de agua subterránea y establece sistemas de sostenimiento de túneles y cavernas. Método que determina la calidad del macizo con el valor Q, variando sobre la escala logarítmica desde 0.0001 para macizos muy pobres hasta 1.000 para macizos muy buenos, el valor está determinado por parámetros descritos en la tabla 2 a continuación:

Tabla 2*Parámetros de la calidad tunelera "Q"*

Primer cociente $\frac{RQD}{Jn}$	Segundo cociente $\frac{Jr}{Ja}$	Tercer cociente $\frac{Jw}{SRF}$
Medida del tamaño de bloques.	Resistencia al corte entre los bloques.	Esfuerzo activo.

2.2.2.4. Método Slone Mass Rating "S.M.R".

Este índice de clasificación de macizos rocosos fue desarrollado por Romana en el año de 1985, evaluando estabilidad de taludes basándose en el contenido de agua, orientación, resistencia y es una adaptación al Rock Mass Rating (RMR), incluye un factor de naturaleza empírica, sobre una muestra de más de 90 taludes, obteniéndose una relación entre la estabilidad real y la predicha por el SMR. Se ajusta la geometría de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso y que afectan en la resistencia de taludes. Los resultados muestran buena coincidencia entre los métodos de protección sugeridos y los aplicados para la realidad (González & Martínez, 2017).

2.2.2.5. Método Rock Mass Rating "R.M.R".

Este método geomecánico para la clasificación de macizos rocosos fue desarrollado por Bieniawski en el año de 1973, en el que se determina el índice de calidad del macizo rocoso con relación al componente de estudio puede ser: túnel, talud o cimentación. Este método se usa hasta la actualidad debido a la precisión y calidad de los resultados, mismos que pueden oscilar desde 15 hasta 100 puntos. Cuanto mayor sea el valor Rock Mass Rating (RMR), mejor es la calidad y la estabilidad de formación rocosa, lo que involucra menores riesgos y más posibilidades de éxito para la excavación y trabajo subterráneo en los taludes (Hamasur, 2023). El índice RMR se evalúa a partir de los siguientes parámetros mostrados en la tabla 3 y de la tabla 4 se obtiene la valoración de calidad del macizo rocoso:

Tabla 3*Parámetros de evaluación del índice RMR*

Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Compresión Simple	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	<1
Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25 %		
Puntuación		20	17	13	6	3		
Separación entre diaclasas		> 2m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	< 0,06 m		
Puntuación		20	15	10	8	5		
	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
	Puntuación	6	4	2	1	0		
	Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
	Puntuación	6	5	3	1	0		
Parámetros de las discontinuidades presentes en el macizo	Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
	Puntuación	6	5	3	1	0		
	Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
	Puntuación	6	4	2	1	0		
	Meteorización	Sin meteorización	Ligeramente meteorizada	Moderadamente meteorizada	Muy meteorizada	Altamente meteorizada		
	Puntuación	6	5	3	1	0		
Agua freática	Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación	15	10	7	4	0		

Nota: De la sumatoria de puntuaciones de cada parámetro resulta el índice RMR

Tabla 4*Clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR)*

CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Media	Mala	Muy Mala
VALORACIÓN RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
COHESIÓN (kg/cm²)	>4	3 - 4	2 - 3	1 - 2	< 1
ÁNGULO DE ROZAMIENTO (°)	>45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

2.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

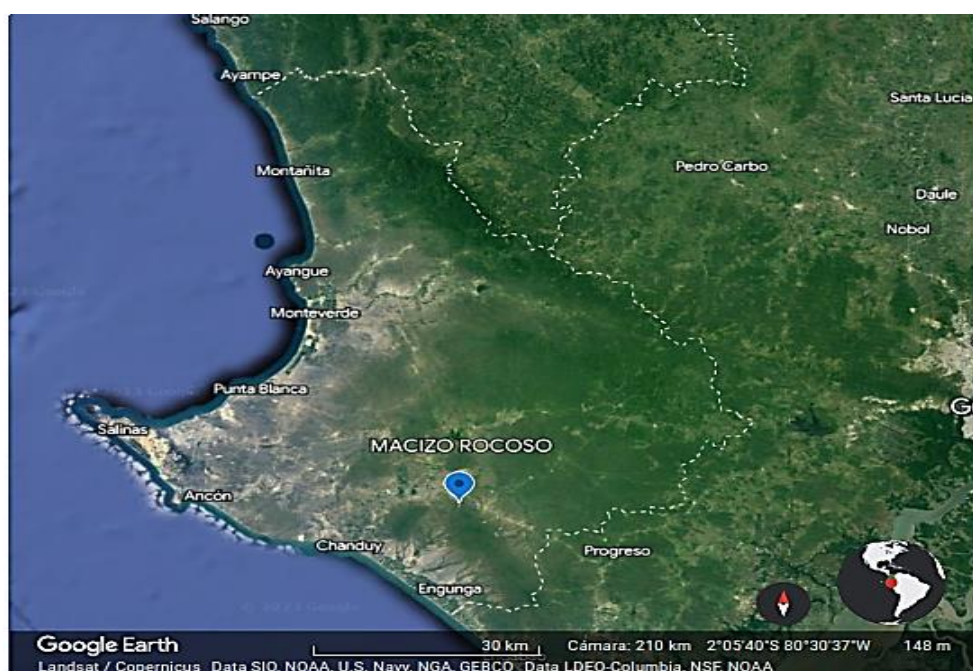
2.3.1 Localización.

La Península de Santa Elena se encuentra ubicada en el suroeste del Ecuador, al oeste de Guayaquil son una superficie de 6000 kilómetros cuadrados, entre una longitud ($80^{\circ} - 81^{\circ}$) y (2° y 3°) latitud sur. Limita al norte con la provincia de Manabí, al sur con el Golfo de Guayaquil y el estero Salado, al este con el río Guayas y al oeste y noreste con el Océano Pacífico (Marín, 1999).

En la comuna de Chanduy se encuentra Zapotal, zona sur del cantón Santa Elena en la provincia de Santa Elena donde se realizaron los estudios sobre la caracterización del macizo rocoso en el cerro Zapotal, está ubicado en un desvío de la carretera, kilómetro 48 de la vía Salinas – Guayaquil, pero de la vía Guayaquil-Salinas se ubica en el sector Buenos Aires. Zapotal está limitando al norte con la comuna El Azúcar, al sur con la comuna Tugaduaja, al este con la comuna Sacachún y al oeste de la comuna San Rafael, el cerro Zapotal se encuentra ubicado a 88km de la zona central del cantón Santa Elena como se observa en la figura 9.

Figura 9

Provincia de Santa Elena



Nota: Tomada de Google Earth, noviembre 2023

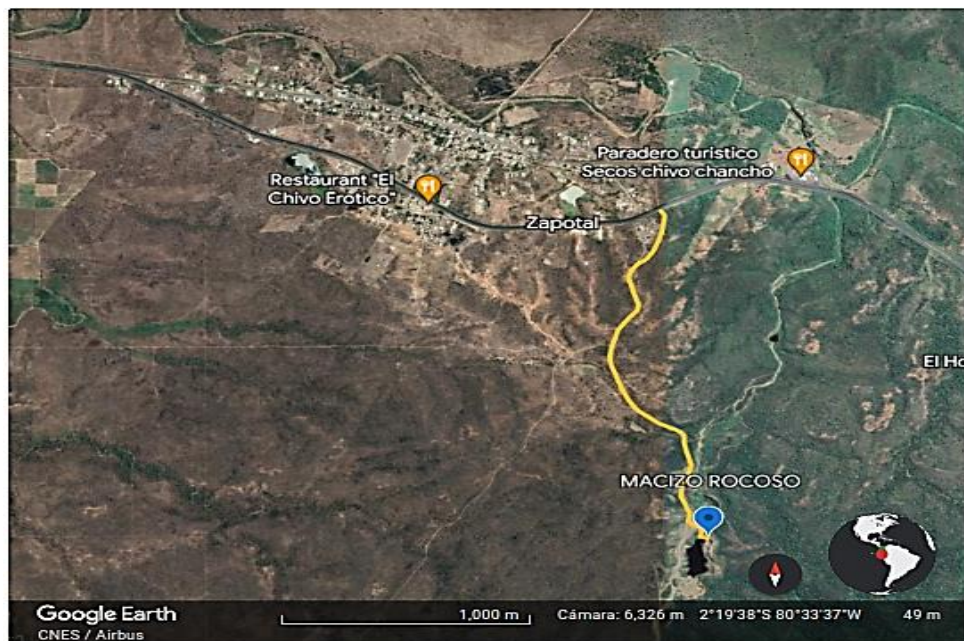
El macizo rocoso mencionado en el presente estudio se encuentra la comuna Zapotal, mismo que se encuentra ubicado en la vía a la costa en las siguientes coordenadas 549759.906 E, 9741648.206 N. El lugar de estudio está simbolizado con el punto azul, en la figura 9 para un mejor reconocimiento del lector de este proyecto para una correcta ubicación y localización del macizo rocoso en el cerro de Zapotal provincia de Santa Elena para llegar al lugar hay que desviarse en una entrada que se encuentra a 0,8 kilómetros de la Unidad Educativa Vicente Rocafuerte, e ingresar 2 kilómetros aproximadamente.

2.3.2 Accesibilidad.

Para tener una correcta visualización del macizo rocoso en el cerro Zapotal, provincia de Santa Elena, la siguiente figura número 10, detalla con color amarillo el trazado para llegar al lugar de estudio en este proyecto considerando un punto de inicio estratégico en la vía Guayaquil – Salinas para la correcta orientación.

Figura 10

Ruta de acceso al cerro Zapotal provincia de Santa Elena

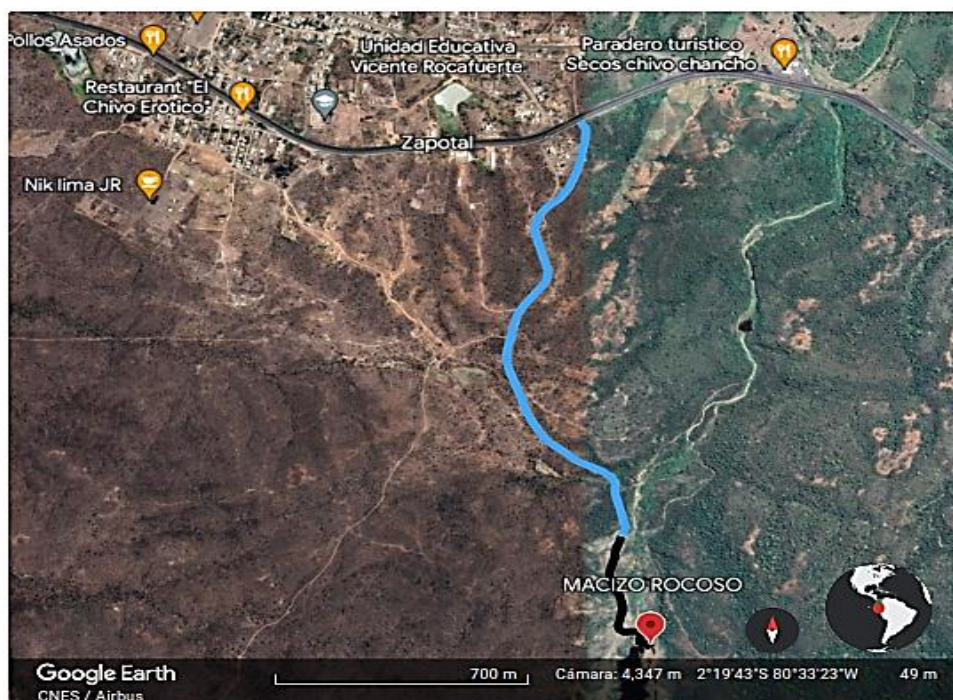


Nota: Tomada de Google Earth, noviembre 2023

Es una vía de acceso fácil, los primeros 1.59 kilómetros representados en la figura 11 con color azul, se pueden transitar en automóvil, los 0.45 kilómetros restantes, representados en color negro se deben ingresar caminando hasta llegar al macizo rocoso del cerro Zapotal.

Figura 11

Detalle de acceso al cerro Zapotal provincia Santa Elena



Nota: Tomada de Google Earth, noviembre 2023

2.3.3 Clima y Meteorología.

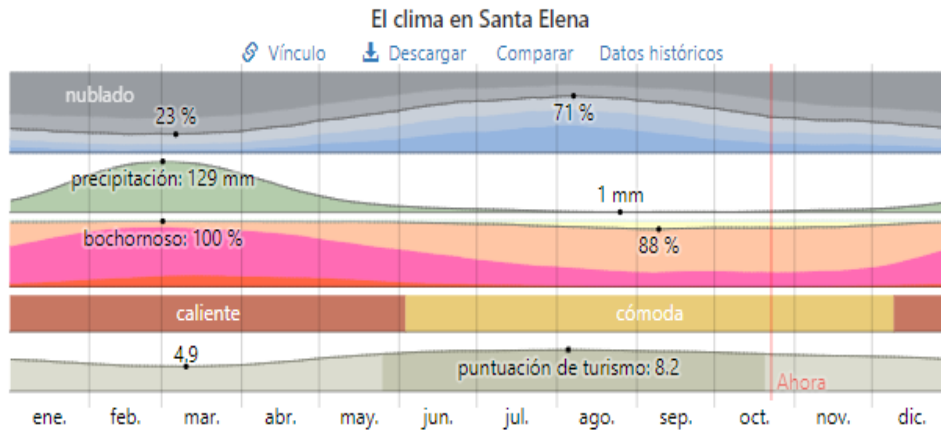
En la provincia de Santa Elena desde la zona de Punta Blanca y el sector sur hasta la comuna Engunga le corresponde un clima semiárido, las temporadas de lluvias se caracterizan por ser calientes y nubladas, las temporadas de escasas de lluvia son cómodas y está caracterizada por los vientos leves y se nubla parcialmente, situación que se muestra en la figura 12 a continuación.

2.3.4 Temperatura.

En la provincia de Santa Elena el mes más cálido del año es marzo, tiene una temperatura máxima y mínima promedio de 28°C y 24°C respectivamente; el período templado tiene una duración de 3,2 meses aproximadamente. El mes más frío del año en Santa Elena es agosto con temperatura mínima de 18°C y máxima promedio de 21°C, el período fresco dura 4,1 meses aproximadamente.

Figura 12

Histograma de precipitación, provincia de Santa Elena



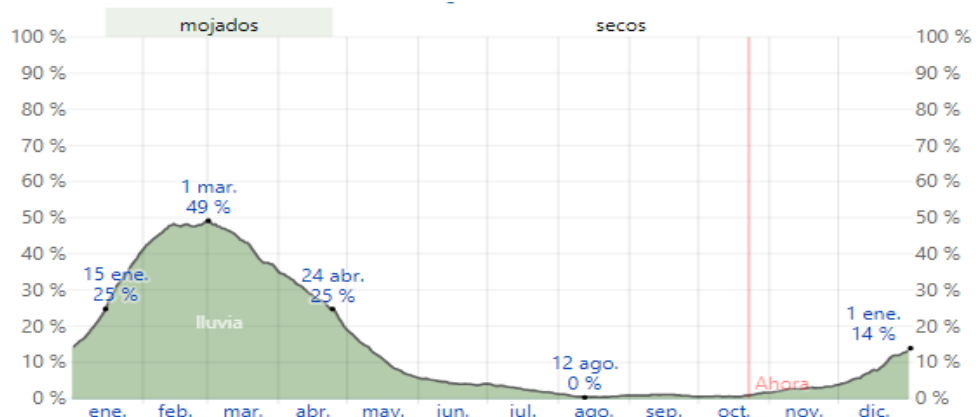
Nota: Tomada del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INHAMI)

2.3.5 Precipitación Pluvial.

Santa Elena tiene cuatro meses aproximadamente de lluvias que van desde mediados de enero hasta fines de abril, como se observa en el histograma de la figura 13, el mes con más días de lluvias es febrero y tiene un promedio de 13 de días con mínimo un milímetro de precipitación, de acuerdo a datos estadísticos del INHAMI, la temporada seca dura poco menos de nueve meses empieza desde fin de abril y termina a mediados de enero, el mes más seco es agosto y tiene promedio de 0,2 días con mínimo un milímetro de precipitación.

Figura 13

Histograma de precipitaciones mensuales



Nota: Tomada del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INHAMI)

2.4. GEOLOGÍA REGIONAL

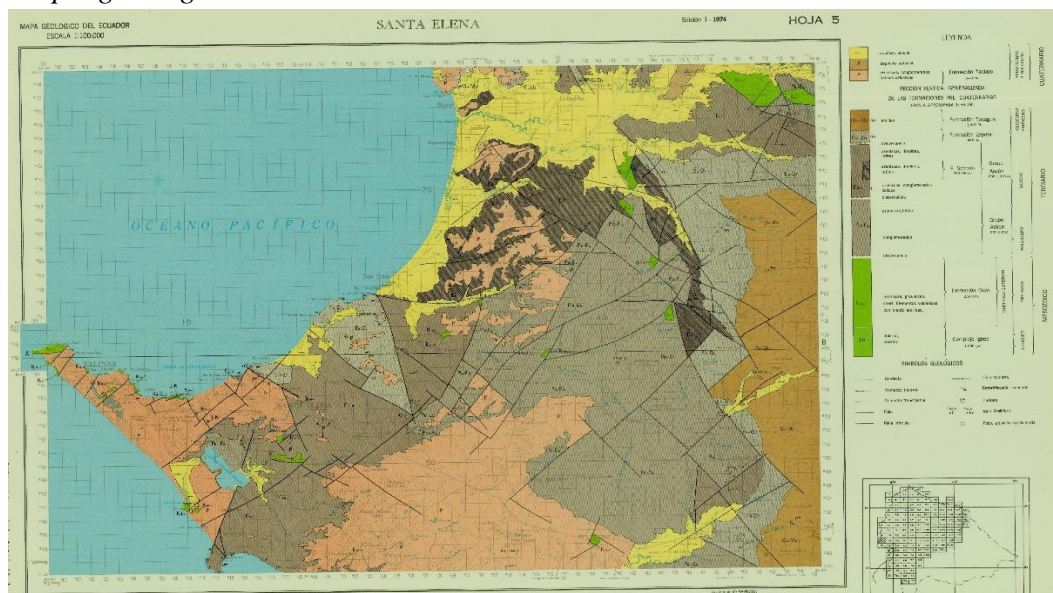
La orografía la denomina la Cordillera Chongón - Colonche que va al oeste por Guayaquil y gira hacia el norte cerca del mar, paralela a la costa del Pacífico. Las vertientes drenan al Golfo de Guayaquil y al Estero Salado, al Océano Pacífico y a la Cuenca Suroeste del Río Daule. La cordillera alcanza los 900m sobre el nivel del mar al NW. Geológicamente, las formaciones en Santa Elena son rocas sedimentarias marinas de la Era Terciaria caracterizadas por lutitas, areniscas, limolitas y conglomerados tectonizados y meteorizados (Marín, 1999).

2.4.1 Geología que Influye en el Área de Estudio.

El relieve es relativamente suave hay aluviones finos muy erosionables, orientados en abanico hacia el suroeste y al noroeste, forman planicies de aproximadamente 10 metros de espesor que desaguan hacia el Océano Pacífico, al Golfo y al manglar al sur y sureste o a planicies del Río Daule al noroeste. Los taludes están representados por conglomerados, areniscas cementadas, areniscas calcáreas y otros; poseen drenajes naturales de gradientes altos, erosión leve causada por las lluvias en inviernos de poca precipitación, pero erosión alta durante las lluvias abundantes como las ocurridas en el presente año 2023 (Marín, 1999).

Figura 14

Mapa geológico



A continuación, se describe la geología presente en las Formaciones Geológicas que afloran en el cuadrante de los cantones de la provincia de Santa Elena, expuestas gráficamente en la figura 14 y que influyen en el área de estudio para este presente proyecto de tesis:

2.4.1.1. Formación Piñón (Cretácico Inferior – Cenomaniano).

Nombre relacionado al río Piñón, es una serie volcánica con variaciones dependiendo de la zona, se distingue por la presencia de finas diabasas cristalinas de color verde claro consecuencia de la meteorización esférica en la parte alta de la formación; los pequeños afloramientos se suelen confundir con rocas volcánicas básicas. Las formaciones cercanas a Guayaquil muestran flujos de diabasas de forma almendrada más pequeñas; se pueden observar tobas y areniscas tobáceas entrelazadas con diabasas. El afloramiento contiene segregaciones de granodiorita alrededor de las cuales se podrían encontrar especularitas (Núñez del Arco, 2003).

Según Luzieux et al. (2006), la formación Piñón conforma el basamento costero del Ecuador y está compuesto de almohadilla de lavas, gabro y microgabro. Las investigaciones han demostrado el origen de este afloramiento. A partir de análisis fósiles $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, se obtuvo una edad de $88,8 \pm 1,6$ Ma del gabro cerca del afloramiento, resultando una edad isócrona invertida indistinguible y un contenido atmosférico inicial de ^{40}Ar .

2.4.1.2. Formación Cayo (Cretácico superior: Senoniense - Maestrichtiense).

Los flujos de turbiditas y detritos en la formación Cayo tienen un espesor de 2000 – 3000 metros aproximadamente que tienden a ser angostos en la parte superior. Debido a la serie volcanoclástica que se acumulaba en arcos sucesivo su origen se ha relacionado con el arco insular. Aunque no hay claros registros de acciones dentro del arco hasta el final de esta formación, los flujos de detritos gruesos en la base de la formación pueden haber estado sincronizados con la actividad volcánica (Luzieux et al., 2006). El afloramiento está localizado en la parte sur de la bahía Cayo al suroeste de Cayo, avanzando a la cordillera Chongón – Colonche hasta las

cercanías de Guayaquil (Baldock, 1982). Consta de litología alternante de rocas sedimentarias y volcánicas donde predominan lutitas silíceas, tobas finas, intercalando areniscas tobáceas y lutitas silíceas (Ordóñez et al., 2006). Miembros de la Formación Cayo: Miembro Calentura de 150 metros de grosor aproximadamente, formado por areniscas, lutitas calcáreas y tobas blancas; rocas sedimentarias tipo flysch con aparición de brechas sedimentarias, fragmentos verdes y grauvacas pardo verdosas que corresponde con la aparición de sills andesíticos contemporáneos. Miembro Cayo de 1950 metros de grosor aproximadamente, formada de roca sedimentaria tipo flysch, conformado de brechas sedimentarias y hay fragmentos de andesita, arenisca gruesas y finas verdosa, intercalada de lutita fina silificada. Miembro Guayaquil de 600 metros de grosor aproximadamente formado de argilitas silificadas, tobáceas, areniscas finas y lutitas silificadas con vetas de cuarzo (Núñez del Arco, 2003).

2.4.1.3. Formación Tablazo (Pleistoceno Holoceno).

Denominan Tablazo a las terrazas marinas de las costas ecuatorianas muy similares a las terrazas que se encuentran en las costas peruanas. La formación Tablazo se encuentra ubicada en dirección opuesta a las rocas del grupo Ancón y está constituida por la siguiente litología: calizas de concha, areniscas, afloramiento de lutitas, areniscas y conglomerados con espesores que llegan a ser centimétricos a métricos en la parte basal del afloramiento (Ordóñez et al., 2006). Consta de tres a cuatro horizontes en diferentes altitudes: a 80 metros sobre el nivel del mar se halla el horizonte más alto, consiste en lumaquelas y areniscas calcáreas, depositadas en playas abiertas; a 35 metros aproximadamente sobre el nivel del mar, el horizonte intermedio contiene niveles de arena fina, conglomerática y arcillosa, con nódulos calcáreos y conchas, de aguas someras; el tercer nivel de 2 a 10 metros sobre el nivel del mar, contiene arenas pardas con fragmentos de conchas, de playas abiertas; a 60 metros, se hallan niveles de fracturas múltiples, grosor de lumaquelas, integradas por grandes conchas, y una calcarenita gruesa de estratificación cruzada con conchas y niveles negros centimétricos de magnetita titanífera (ESPOL, 2013).

2.4.1.4. Formación Subibaja (Mioceno inferior tardío).

Distingue a los siguientes miembros: Miembro Progreso su espesor varía entre 40 metros y 800 metros y en algunos lugares alcanza espesores de 1000 metros, está compuesto de areniscas de tamaños finos y medios regularmente tobáceas, café amarillento, lutitas y arcillas gris verdosa o rojizas producto de la alteración, con lentes y capas de arenisca coquinoidales. Los sedimentos superficiales poco profundos y salobres se repiten en una sucesión de conchas que muestran las fluctuaciones del nivel del mar. Miembro Bellavista espesor aproximado de 50 metros, se encuentran areniscas calcáreas blandas y los gruesos bancos de calizas que están fragmentados y también deslizados (Núñez del Arco, 2003).

2.4.1.5. Formación Tosagua (Oligoceno superior – Mioceno inferior).

Distinguida de los siguientes miembros: Miembro Dos Bocas, tipo de roca presenta capas intermedias de lutitas color chocolate laminadas con concreciones calcáreas y limolitas que contienen yeso en la base. Los relieves de esta Formación se encuentran en el sector de Pueblo Nuevo, El Rosal y en Dos Bocas. Miembro Villingota está conformado por lutitas diatomáceas blancas algo calcáreas. Este miembro se ubicada al este del cantón, en los sectores La Matanza y Sube y Baja compuesto por relieves colinados medios (SENPLADES et al., 2012).

2.4.1.6. Grupo Azúcar (Paleoceno – Eoceno inferior).

Al sur de la cordillera Chongón Colonche, donde se puede encontrar un notable cambio de facies entre conglomerados cuarcíticos y un microconglomerado de areniscas macizas al pie del talud y que ha sido nombrado Formación Chanduy que se conoce como la parte superior de este grupo y las facies de lutitas se reconocen en un profundo abanico marico, mismas que han sido depositadas al pie de talud a través de canales, en una sólo formación que se integran en una facie conocida como Estancia, siendo ésta la parte más profunda de este grupo (Núñez del Arco, 2003).

2.4.1.7. Grupo Ancón (Eoceno medio y superior).

Las rocas blandas con deformación dúctil a plástica que incluyen lutitas, limolitas y areniscas con matriz de arcilla expansiva y de alta plasticidad. Aflora hacia el este

de Punta Carnero. Compuesto por los miembros: Clay Pebble Bed, Socorro y Seca (ESPOL, 2013). Miembro Clay Pebble Bed es una brecha sedimentaria que contiene arcillas de color gris verdoso, se encuentran afloramientos en la quebrada Socorro y acantilados de Ancón. Miembro Socorro de 700 metros de espesor aproximadamente, las deformaciones las provocan deslizamientos y fallas, presentas estrechas capas de areniscas finas intercalada de lutitas gris verdosa. Miembro Lutita Seca se deposita un flysch distal que contienen arenisca y lutita de color pardo amarillento en capas gruesas. Miembro Punta Ancón compuesta de arenisca grauvaca macizas de capas arcillosas, lutitas interestratificadas, conglomerados ligníticos, lentes calcáreos con turritelas (Núñez del Arco, 2003).

2.4.1.8. Aluviales Cuaternarios

Los sedimentos cuaternarios marinos y de estuario (arena, lodos) están dispersos en los esteros y cauces de los sistemas de drenaje actuales. Al observar la distribución de las formaciones geológicas que tienen influencia al nivel regional en el área de la provincia de Santa Elena (Proaño, 2017).

2.5. GEOLOGÍA LOCAL

La formación Zapotal está constituido por lutitas alternas que reflejan variaciones en el ambiente de depósitos sedimentarios donde ha estado una vez en superficie y otra bajo el agua. Los estratos de la formación Zapotal afloran alrededor del pueblo del mismo nombre, limitados hacia el Oeste por las fallas que han servido al movimiento deslizador. En la figura 15 se observa el detalle de la columna estratigráfica de la cuenca Progreso donde se observa la formación Zapotal compuesta predominantemente de conglomerado de cuarcita y areniscas duras, intercaladas con capas de arenisca de grano grueso, porosa, quebradiza y capas de piedra pómez fina y consolidada. Además, se intercalan capas de arcilla estratificada laminar con capas delgadas de arenisca, donde es frecuente encontrar restos de plantas silicificadas. La formación ofrece el aspecto de facies de agua salobre-semidulce y las capas intermedias pocos resistentes a la descomposición han sido erosionados de modo que las rocas duras y muy consistentes forman altos barrancos escarpados y se levantan frecuentemente sobre las colinas de arcillosa ondulantes de la formación (Sauer, 1965).

Figura 15

Columna estratigráfica de la Cuenca Progreso

ÉPOCA	FORMACIÓN	SIMBOLOGÍA	AMBIENTE
CUATERNARIO	TABLAZO		MARINO SOMERO
PLIOCENO	PUNÁ		ESTUARINO - DELTAICO ?
MIOCENO	PROGRESO		MARINO SOMERO A ESTUARINO
			MARINO SOMERO
	SUBIBAJA (SAIBA) VILLINGOTA DOS BOCAS		MARINO AGUAS CALIDAS PLATAFORMA EXT. A TALUD CONT.
OLIGOC.	ZAPOTAL		FLUVIAL A MARINO SOMERO
EOCENO	GRUPO ANCÓN PUNTA ANCÓN SECA SOCORRO CLAY PEBBLE BED		PLATAFORMA EXTERNA
PALEOCENO	GRUPO AZÚCAR ESTANCIA CHANDUY ENGABAO		ABISAL

Nota: Tomado de, Cuenca Progreso de Ordóñez et al. (2006), Datos Bioestratigráficos Paleoecológicos de las cuencas: Graben de Jambelí, Progreso, Oriente; y de las Cordilleras Chongón Colonche, Costera Y Occidental.

2.5.1 Litología.

La litología forma parte de la geología que se ocupa del estudio de las propiedades de las rocas que componen unas determinadas capas correspondientes a la descripción de unidades litoestratigráfica de la superficie del terreno o también se genera la caracterización rocosa a partir de una muestra concreta. Si el talud está formado por varios tipos de roca, el comportamiento geotécnico del conjunto difiere de las propiedades de cada material por separado. Deben estudiarse las características de cada tipo de roca, los parámetros de las discontinuidades presentes y a su vez la interacción de las propiedades y las respectivas diaclasas dentro del conjunto.

Durante el trabajo de campo se observa que en el afloramiento rocoso objeto del presente estudio de tesis hay estratos de arenisca, lutita y pequeñas capas de lodo intercalados, posiblemente debido a los cambios de facies sedimentarias que han ocurrido a través del tiempo geológico, se podría llegar a establecer que esta condición se dio por la formación de la roca que luego se meteorizó porque la exposición al medio ambiente de ese nivel de material rocoso.

En la clasificación geológica general de rocas se detallan las siguientes: rocas metamórficas, rocas ígneas, rocas sedimentarias. En el proyecto de estudio se presentan rocas sedimentarias del basamento oceánico, en la zona sur occidental de las costas ecuatorianas existen diferentes tipos de rocas sedimentarias:

- a) Tipo flysch (Cretácico superior – Eoceno inferior)

Formación Cayo, Grupo Azúcar, Formación San Eduardo, Grupo Ancón o similares San Mateo, Las Masas y Las Delicias, Formación Zapotal.

- b) Tipo molásico (Oligoceno superior – Cuaternario)

Cuenca Progreso, Formaciones terciarias Tosagua, Subibaja y Progreso; siendo las más recientes Puná, Balzar, Tablazo y los depósitos fluviales, estuarios y coluviales.

2.6. TECTÓNICA

Ecuador se encuentra en la región Noroccidental en América del Sur antes de la zona subducción de la Placa Nazca y bajo la Placa Sudamericana, por lo que nuestro territorio se encuentra sujeto a fenómenos de vulcanismo y con actividad sísmica muy activa, a causa del particular arreglo tectónico presente en la zona (Yagual, 2019). El Cinturón del Fuego del Pacífico forma parte de Ecuador y es muy sísmicamente activo. Los registros muestran que en 1906 hubo evento sísmico que alcanzó una magnitud de 8.8 conocido como uno de los sismos más grandes de la historia (Quinde & Reinoso, 2016).

El Riesgo sísmico en Ecuador se origina por dos tipos de fuentes sísmicas, tales como las fuentes de subducción, éstas se dan como interplaca e intraplaca, además de tipos corticales, es decir, fuentes superficiales en las cuales ocurre durante la acumulación y liberación de energía que provoca los movimientos del suelo y sísmicos (Quinde & Reinoso, 2016). En la figura 16 se observa la falla tipo seno La Cruz que influye en el macizo rocoso.

Figura 16

Unidades morfotectónicas provincia de Santa Elena



Nota: Tomado de, Unidades morfotectónicas en el área de estudio de Benítez 1995, de Évolution Géodynamique de la Province Côtière Sudéquatorienne a Crétacé Supérieur

2.7. SISMICIDAD

El territorio ecuatoriano se ha sido clasificado en zonas definidas como se observa en la figura 17 que determina los niveles de amenaza a partir de una aceleración máxima afectiva en la roca. De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015) en su capítulo de peligro sísmico caracteriza a la provincia de Santa Elena con un valor de $Z > 0.50$ lo que concierne que tiene un nivel de peligro sísmico alto de acuerdo con la tabla 3.

Tabla 5

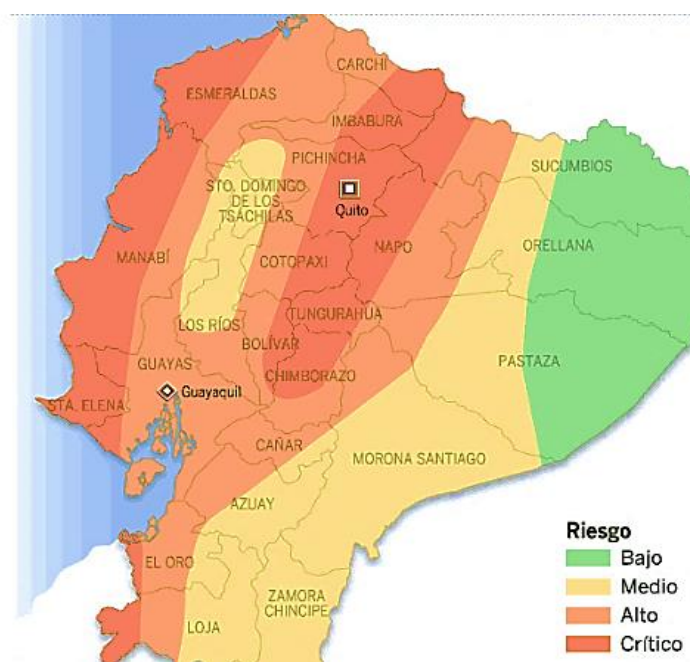
Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	$\geq 0,5$
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Nota: Tomado de la Norma Ecuatoriana de Construcción, (2015)

Figura 17

Zonas sísmicas para propósitos de diseño



Nota: Tomado de, Zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor Z de Norma Ecuatoriana de Construcción,(2015).

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de Investigación.

De acuerdo con Gallardo (2017), esta investigación es de tipo aplicada, puesto que busca una aplicación inmediata, apoyándose en descubrimientos y aportes teóricos, sin embargo, este contribuye de manera práctica a la solución de algún problema que se presente ante la sociedad.

Interpretando los resultados obtenidos, donde los procedimientos epistemológicos tienen como base distinciones tales como “saber y hacer”, “conocimiento y practica”, “explicación y aplicación”, “verdad y acción”, Vargas (2009), el conocimiento de la verdad se obtiene de forma organizada y sistemática, donde intervienen una gran cantidad de estudios tanto de investigación fundamental como de investigación aplicada, porque todo problema involucra problemas teóricos y prácticos.

El propósito de la presente investigación es aplicar teorías existentes en la práctica e involucrar los conocimientos de la ingeniería geotécnica para la descripción del macizo rocoso y el análisis de estabilidad de taludes donde se llevarán a cabo recolección de datos, visitas de campo al lugar donde se localiza el área de estudio que es el cerro de Zapotal en la provincia de Santa Elena, lo que permitirá conocer parámetros, factores físicos y mecánicos del macizo rocoso.

Este tipo de investigación implica el tipo básico o puro, que se encarga de resolver problemas prácticos mediante descubrimientos, hallazgos y soluciones que se plantea en el objetivo de estudio, sin embargo, los alcances que se pueden plantear son explicativos.

3.1.2. Nivel de Investigación.

El estudio concierne a un nivel de investigación explicativo y exploratorio según lo expuesto por Hernández (2014), explicativa basada en identificar y explicar las causas de los fenómenos, generando una comprensión de lo se está estudiado y son estudio exploratorios sumamente estructurados, la investigación de interpretación describe casos donde rara vez se estudian los detalles, indagando desde una perspectiva innovadora el origen de la información por lo que está muy estructurado en un contexto particular. Es más completo porque establece prioridades para investigaciones futuras.

En la investigación las variables tienen relación causal siendo la variable independiente parámetro geomecánico de macizos rocosos que es un indicador para la variable dependiente calidad de macizos rocosos para modelar taludes y conocer la estabilidad o deslizamientos presentes en el cerro de Zapotal de la provincia de Santa Elena, obteniendo como resultado, el nivel más profundo de la investigación.

3.2. MÉTODO, ENFOQUE, DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Método.

El método hipotético-deductivo se usa para el estudio del macizo presente en el cerro Zapotal porque plantea la mejor comprensión y describe el fenómeno de una manera teórica, sometiéndolo a pruebas y comprobaciones de la veracidad o no de las hipótesis iniciales y también permite deducir dicho fenómeno mediante la observación y experimentación. Al respecto, Hernández (2014), menciona que las hipótesis son el centro o eje del método deductivo-cuantitativo.

Con respecto al proyecto de grado para describir la caracterización del macizo se establecieron hipótesis cuya finalidad podría permitir de manera teórica y práctica que las hipótesis se corroboren a través de parámetros geomecánicos, físicos de la metodología Rock Mass Rating (RMR) y se deduzcan los resultados de fallas que serán expuestos en la modelación de taludes en softwares Roscience.

3.2.2. Enfoque.

El estudio tiene un enfoque mixto porque se evalúan variables tanto cualitativas como cuantitativas, donde las variables cualitativas se evaluaron de visualmente a través de las visitas de campo y mediante el uso de herramientas permite conocer ciertas características necesarias para clasificar el macizo rocoso mientras que evaluando las variables cuantitativas se obtienen los resultados de las pruebas experimentales y la recolección de datos para analizar los resultados respecto a la resistencia del macizo rocoso y factor de seguridad que se empleara en la modelación de taludes en softwares Roscience; RocData, Dips, Swedge.

3.2.3. Diseño de Investigación.

Esta investigación presenta un modelo experimental permite que el análisis de las variables se realice a través de procesos experimentales para obtener las propiedades del macizo rocoso, conocer los parámetros de las discontinuidades, resistencia de la matriz rocosa y el deslizamiento presente en taludes.

De acuerdo con Rodríguez (2011), la experimentación es el método que permite manifestar relaciones casuales entre hechos o fenómenos de la realidad con el mayor grado de confianza, razón por la que este tipo de indagación es el nivel más alto de la investigación científica. La experimentación consiste en la obtención de datos en campo y luego conseguir datos a partir de ensayos de campo.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO

3.3.1. Población.

Hernández (2014), al definir como el conjunto de casos que se ajustan a determinadas especificaciones, la población es donde deben identificarse claramente sus características de contenido, lugar y tiempo. Según la teoría expuesta se considera que la población del presente trabajo de investigación es macizos rocosos ubicado en un cerro de Zapotal provincia de Santa Elena.

3.3.2. Muestra.

Hernández (2014), refiere que es un subgrupo de la población de interés para el cual se van a recopilar datos, que deben definirse y categorizarse con precisión de antemano y que debe ser representativo de la población donde el investigador pretende que se generalicen o extrapolen los resultados encontrados en la muestra de la población. El interés es que la muestra sea estáticamente representativa. Según lo mencionado, se ha seleccionado como muestra 3 zonas estratégicas y se realizaron las visitas de campo para la obtención de datos en el cerro Zapotal de la Provincia de Santa Elena, información que nos sirve para establecer las propiedades geomecánicas de las muestras y luego modelar los taludes.

3.3.3. Muestreo.

En este estudio se emplearon muestras del macizo, 6 áreas correspondientes a la roca que sirven como base para el conocimiento previo a la caracterización geomecánica de macizos rocosos del cerro Zapotal en la provincia de Santa Elena.

3.4. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

La metodología empleada para el desarrollo del proyecto de titulación se basa en investigaciones y procesos ejecutados tanto en campo como en oficina. Las actividades necesarias para alcanzar los objetivos delimitados en este estudio se detallan en los siguientes puntos a continuación:

3.4.1. Etapa Preliminar.

Con la aprobación del tema “Caracterización y modelación de la estabilidad de talud de macizos rocosos en el cerro Zapotal provincia de Santa Elena” para obtener el título de ingeniero civil se empezó a revisar y recolectar información de antecedentes que existen de estudios similares, datos relevantes para el caso de

estudio como: cartografía, geología, geomorfología, tectónica, posibles metodologías de clasificación óptimas para alcanzar los objetivos propuestos.

3.4.2. Investigaciones de Campo.

Durante el trabajo de campo se reconoció el área de investigación en el presente proyecto de titulación se lograron identificar los tipos de rocas, las cuales permiten conocer y resaltar los aspectos estructurales, la litología visible y significativa en el área.

A partir del reconocimiento geológico del sitio se seleccionan puntos de muestreo estratégicos para el desarrollo de los objetivos para la determinación de las propiedades físicas, mecánicas y de resistencia, se obtuvo una valoración cuantitativa con el análisis de la roca y siguiendo los respectivos parámetros de la metodología Rock Mass Rating (RMR) propuesta por Bieniawsky.

3.4.3. Análisis e Interpretación de Datos.

Se analizaron los datos y con el respaldo de información recopilada como geología, mapas, cartografía, se interpretó la información disponible siendo el presente documento el resultado final del trabajo.

Con una propuesta de metodología donde se requiere un estudio específico de un modelamiento de software Roscience: Dips, RocData, Swedge en el cual inciden los parámetros geométricos del talud y las discontinuidades para poder cuantificar el grado de inestabilidad que se puede llegar a obtener con los resultados finales.

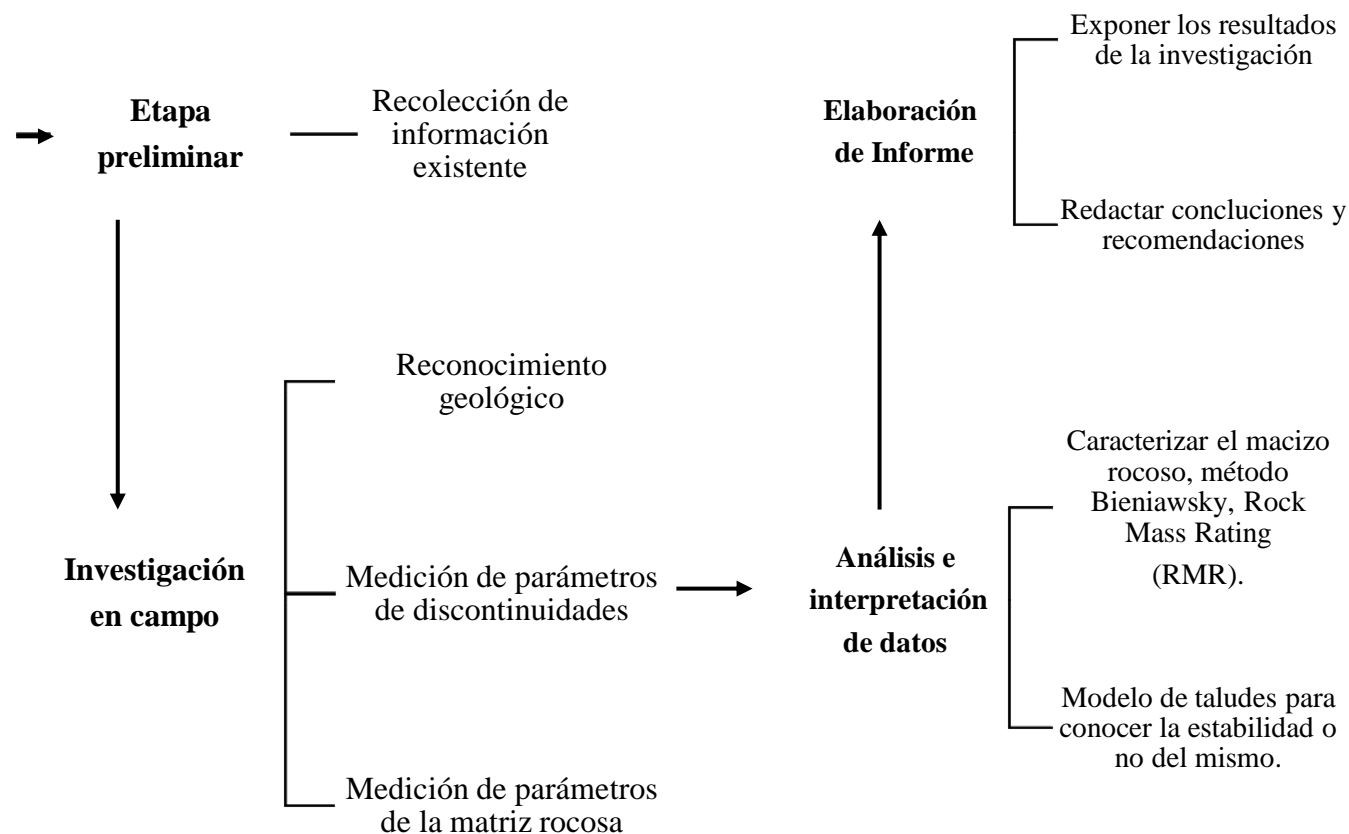
3.4.4. Elaboración de Informe.

Con la información obtenida en campo y la interpretación de datos, se hace la redacción del presente trabajo que contiene características de matriz rocosa, litología, estratigrafía, estructura del macizo rocoso y los parámetros geométricos de las discontinuidades.

Figura 18

Descripción de metodología

**CARACTERIZACIÓN
Y MODELACIÓN
DE LA
ESTABILIDAD DE TALUD
DE MACIZOS ROCOSOS
EN EL
CERRO ZAPOTAL
PROVINCIA DE
SANTA ELENA**



3.5 METODOLOGÍA OBJETIVO ESPECÍFICO 1: DEFINIR LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE RMR, MEDIANTE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR DE BIENIAWSKI PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA, ÍNDICE RQD, ESTADO DE DISCONTINUIDADES

3.5.1. Geotecnia.

3.5.1.1. Análisis de roca.

En el macizo rocoso del cerro Zapotal en la provincia de Santa Elena, se realizó la investigación aplicando la metodología de Bieniawsky para conocer los parámetros del material, se recolectaron datos, el detalle del macizo conforme a la geología, mismo que se forma de roca sedimentaria de la formación Zapotal. Para este estudio fueron necesarias cuatro salidas de campo, en acompañamiento del personal calificado, tutor de tesis y la toma de datos utilizando equipo de laboratorio.

3.5.1.2. Martillo de Schmidt.

También conocido como esclerómetro permite calcular la resistencia a compresión simple del material estudiado en este proyecto mediante el rebote produce que el muelle se aloje en su interior después de un impacto sobre la superficie de la roca. En función de la dureza del macizo rocoso a ensayar, este muelle puede sufrir un mayor o menor rebote, si existe un mayor rebote, mayor es la resistencia de la roca.

3.5.2. Estimación de Caracteres y Parámetros de las Discontinuidades.

En esta parte del proyecto, mediante las salidas de campo se empieza la descripción de la zona de estudio para ejecutar el levantamiento geológico de los

caracteres geomecánicos presentes en el macizo rocoso del cerro Zapotal provincia de Santa Elena, descritos en el capítulo 2. Se procede a limitar las zonas de estudio como muestra la figura 24 y se realiza en 6 áreas las caracterizaciones geomecánicas.

3.5.2.1. Orientación y familia de discontinuidades.

La información tomada en campo refleja los datos que se obtuvieron al estudiar las familias de discontinuidades: se tiene datos de rumbo y buzamiento tomados con la brújula Brunton de manera estratégica en el talud como se observa en la figura 19, cuya finalidad permite tener la información que nos sirve para conocer la orientación de las discontinuidades.

3.5.2.2. Espaciado.

Para conocer el espaciado de las discontinuidades se tuvo que tomar medidas in situ, usando la cinta métrica cómo es posible observa la figura 19. El espaciado de las discontinuidades se ha medido en la superficie del macizo rocoso presente en el cerro Zapotal de la provincia de Santa Elena.

Figura 19

Medición de espacios de discontinuidades en el cerro Zapotal



3.5.2.3. Dimensiones.

Las discontinuidades presentes en la superficie del macizo rocoso tienen diferentes dimensiones que permiten establecer la persistencia, se ejecutó el levantamiento geológico del macizo rocoso en el cerro Zapotal ubicado en la comuna del mismo nombre, estos datos son relevantes para establecer el tamaño de bloques más críticos.

3.5.2.4. Rugosidad.

Los valores de rugosidad se tomaron en las visitas de campo mediante perfiles correlacionados al coeficiente de rugosidad, usando una regla en sentido paralelo a la superficie vertical del talud, tomando como referencia que el macizo en estudio posee una superficie no uniforme, información relevante para conocer si existe expansión o dilatación en las discontinuidades y que puede provocar un desplazamiento cortante.

3.5.2.5. Apertura.

Para conocer los valores de apertura presente en las discontinuidades del macizo rocoso en estudio, se usa la regla graduada en milímetros, ubicada perpendicularmente a la superficie de apertura. Esta apertura está sujeta regularmente a la interacción de agentes atmosféricos por lo que los datos obtenidos pueden variar.

3.5.2.6. Relleno.

Este parámetro de relleno en las discontinuidades es información recolectada en campo como se observa en la figura 20, donde nos encontramos con relleno tipo arcilla, en el cual es un punto importante para las diversas propiedades mecánicas e hidráulicas que presenta el macizo rocoso del cerro Zapotal en la provincia de Santa Elena.

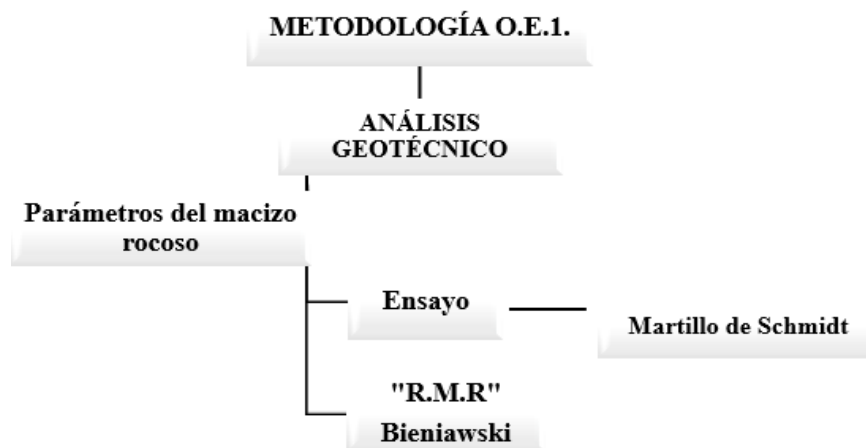
Figura 20

Recolección de información de relleno en las discontinuidades en el cerro Zapotal provincia Santa Elena



Figura 21

Metodología de objetivo 1.



3.6 METODOLOGÍA OBJETIVO ESPECÍFICO 2: EVALUAR EL MACIZO ROCOSO MEDIANTE EL USO DE SOFTWARE DE ROSCIENCE: DIPS, ROCDATA, SWEDGE PARA CONOCER EL POSIBLE RIESGO DE DESLIZAMIENTO EN TALUDES CORRESPONDIENTES A CADA CARACTERIZACIÓN EN EL MACIZO ROCOSO DEL CERRO ZAPOTAL

En la presente investigación se realizó un análisis de la zona de estudio como se observa en la figura 22 y con los datos obtenidos de la caracterización geomecánica Rock Mass Rating (RMR), ensayos in situ, se logra el hallar el factor de seguridad para estabilizar el talud utilizando software Roscience: Dips, RocData, Swedge.

Los softwares Dips, RocData, Swedge son parte del paquete diverso de Roscience son compatibles para Windows y Mac; caracterizados por realizar análisis geotécnicos a partir de datos tomados en campo y datos experimentales son gratuitos durante los primeros 15 días de prueba, pasado este plazo la licencia con garantía de 2 años debe ser pagada para el uso respectivo de cada uno.

3.6.1. Software Dips v7.0.

Este programa nos ayuda a analizar la cinemática de las discontinuidades y los posibles deslizamientos que puedan existir en los macizos rocosos, en el software se deben registrar datos estructurales como la dirección de buzamiento y buzamiento de fallas, estratos, talud, las discontinuidades, además del ángulo de fricción obtenido del software RocData. En cada caracterización realizada se determinará la existencia de puntos críticos e intersección en la zona inestable de la representación estereográfica

3.6.2. Software RocData.

Este software permite determinar parámetros geotécnicos utilizando diversos modelos como son Mohr Coulomb, Hoek - Brown, detallando los siguientes parámetros: la resistencia determinada con el martillo Smith, valores recolectados en campo, el índice de resistencia geológica (GSI) el programa genera una tabla para determinarla que consta de las condiciones de discontinuidad horizontales y verticales, bloques del macizo rocoso o a partir del índice Rock Mass Rating (RMR) de la calificación de parámetros propuesta por Bieniawsky y “mi” que es una constante del modelo de Hoek- Brown que depende del tipo de roca y la textura, el factor de disturbancia “D” que es una constante para analizar túneles o taludes, a este caso le corresponde un valor de 0.7 porque es un talud natural.

A partir de la visita en campo se recopiló toda la información mediante observación como se muestra en la figura 23 y el uso de herramientas como la brújula de geólogo, martillo de Smith, cinta métrica para obtener los datos de la caracterización de macizos rocosos y establecer los parámetros geomecánicos.

Figura 22

Reconocimiento geológico en el cerro Zapotal



Figura 23

Uso de brújula para toma de datos de buzamiento y dirección de buzamiento en taludes del cerro Zapotal



3.6.3. Software Swedge.

Este es un programa que establece la geometría para la estabilidad a partir de deslizamientos por cuña, resultantes de fallas superficiales, cuenta con dos modelos como son el determinístico y probabilístico los que permiten determinar el factor de seguridad para cada talud analizado frente a las roturas o deslizamientos que puedan ocurrir en el macizo rocoso.

En el modelo determinístico se detallan los datos recolectados en campo necesarios para la ejecución como son: el ángulo de buzamiento y dirección de buzamiento, cohesión y ángulo de fricción, los cuales se determinan en los programas detallados anteriormente, el coeficiente sísmico que corresponda al área de estudio, se utilizan también datos como el peso específico, cohesión, ángulo de fricción y otras variables, este nos permite visualizar en 3D las cuñas formadas por dos planos de discontinuidad que se cortan o se intersecan.

De acuerdo con NEC-SE-CM (2013), el factor de seguridad para taludes con condición pseudo estática con agua subterránea normal y coeficiente sísmico de diseño se le atribuye un factor de seguridad (FS) =1.

La tabla de operacionalización de variables que se presenta a continuación nos permite conocer la variable dependiente e independiente que recolecta información del proyecto de investigación a través de un enfoque cualitativo y cuantitativo, donde las variables deben ser objetos de observación y mediciones dependiendo de la metodología que se pondrá en práctica, en este caso se implementa el uso del software Roscience: Dips, RocData, Swedge y herramientas como el martillo Smith, brújula de geólogo, cinta métrica, flexómetro.

Además, se determinan los indicadores como el factor de seguridad, resistencia de la roca, y los parámetros de la metodología Bieniawsky, con su respectiva escala.

3.7 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 6

Operacionalización de Variables

	Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable Independiente	Parámetros de macizos rocosos	Depende de la resistencia a corte, de los caracteres geométricos de las discontinuidades, topografía, de los parámetros hidráulicos (Ing. García, 2020).	Análisis de datos obtenido de la caracterización geomecánica	Software Roscience	Factor de seguridad	Valoración numérica
			Medir la resistencia en el lugar de estudio	Martillo de Schmidt	Resistencia de la roca	Mpa
Variable Dependiente	Calidad de macizos rocosos	La descripción y caracterización en afloramientos es importante porque se reconocen las propiedades y características geotécnicas de los materiales rocosos (Jiménez, 2022).	Descripción de parámetros aplicando la metodología Bieniawsky	Calidad del macizo rocoso	Parámetros de la metodología de Bieniawsky	(0-100) %

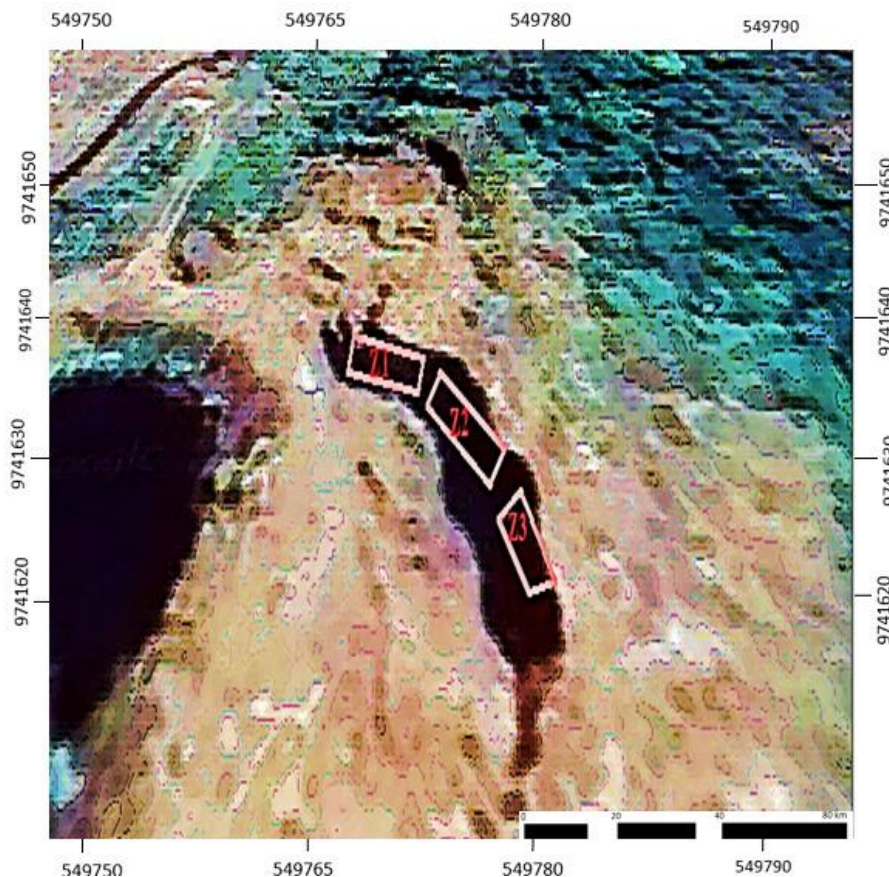
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ETAPA PRELIMINAR

El desarrollo del proyecto inició con observaciones en campo donde se contó con el apoyo de docentes de la carrera, profesionales del área de estudio, para guiarnos en la ejecución de la investigación. Se determinaron sitios estratégicos para el muestreo y exploraciones de parámetros geotécnicos del macizo rocoso mostrados en la figura 24 y en la tabla 7 se detalla la ubicación del mismo.

Figura 24

Recorrido de afloramientos para la caracterización geomecánica.



Nota: Tomada de Google Earth, noviembre 2023.

Tabla 7*Ubicación de área de estudio.*

Punto	COORDENADAS	
	N.	E.
Z1	9741640.907	549769.244
Z2	9741635.500	549775.689
Z3	9741625.561	549779.466

El nombre de la formación geológica que aflora en Zapotal corresponde a la Formación Zapotal comprendida en la Era Oligocénica, mismo que se compone predominantemente de areniscas gruesas macizas, lutitas, conglomerados cuarcíticos, intercaladas por capas de arenisca porosa quebradiza, de grano grueso y capas de fina piedra pómez consolidadas. Además, ocurren estratos de arcilla laminar alternantes con arenisca de capas delgadas, en las cuales se encuentran comúnmente restos de plantas silicificadas.

La formación ofrece el aspecto de facies de agua salobre semidulce, las intercalaciones pocos resistentes a la descomposición han sido erosionados de modo que, en el terreno las rocas duras y muy consistentes forman altos barrancos escarpados y se levantan frecuentemente sobre las ondulantes colinas arcillosas de la formación seca (Sauer, 1965).

4.1.1. Características Generales del Macizo Rocos.

La tabla número 8 describe la caracterización general para macizos rocosos del cerro Zapotal, que se han obtenido en campo como se muestra en la figura 25 para la evaluación de las áreas analizadas en este proyecto de titulación, los parámetros mostrados a continuación son similares para todas las áreas estudiadas.

Figura 25

Reconocimiento del afloramiento en el cerro Zapotal



Tabla 8

Datos de campo.

Parámetros de Clasificación			
Localización geomorfológica	Talud de colina, Estero.	Deformación sedimentaria	Estratificación discontinua, Laminada bandeada.
Tipo	Colina mediana (11m – 50m).	Litología del afloramiento rocoso	
Infraestructura cercana a sitio	Vías no asfaltadas.	Rocas sedimentarias clásticas	Arenisca Lutita Limolita
Geológico	Modelación por erosión fluvial.		

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBJETIVO ESPECÍFICO 1: DEFINIR LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE RMR, MEDIANTE LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR DE BIENIAWSKI PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA, ÍNDICE RQD, ESTADO DE DISCONTINUIDADES.

A continuación, se describen los datos obtenidos del estudio realizado en el año 2023, como visita en campo, refiriéndose a la caracterización geomecánica del macizo rocoso en el cerro Zapotal, comuna del mismo nombre, ubicado en la provincia de Santa Elena.

4.2.1. Caracterización 1.

La caracterización 1 de la zona 1, se ubica estratigráficamente en la Formación Zapotal conformada de estratos sedimentarios de lutitas centimétricas, el paquete se encuentra perforado por la fuerza de deformación, fracturado y también microfracturado, existe una secuencia de facie sedimentaria, depósitos de bajo espesor, es posible ver deslizamiento de material, la ubicación geográfica se observa en la tabla 9 y en la figura 26 el croquis para una mejor orientación.

Figura 26

Croquis de caracterización 1, cerro Zapotal provincia de Santa Elena

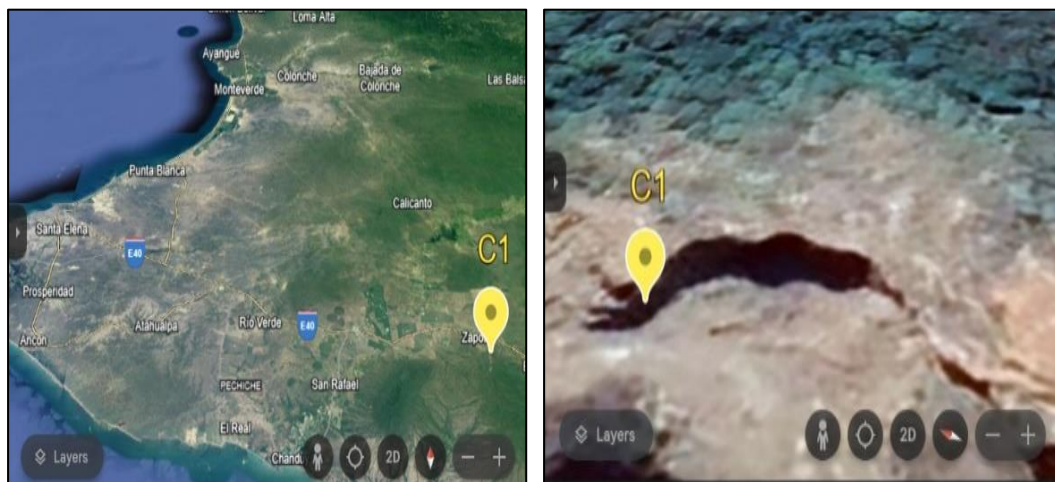


Tabla 9

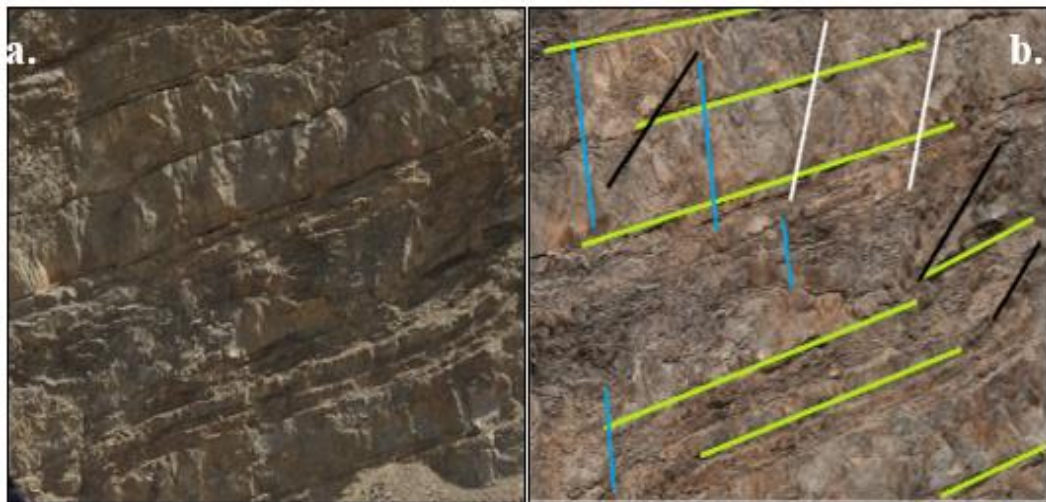
Ubicación geográfica C1.

COORDENADAS	
9741643.451N	549764.463E

La figura 27.a muestra la zona donde se realizó la caracterización geomecánica RMR y la figura 27.b se detalla el infograma de estructuras que presenta del macizo rocoso en el cerro Zapotal.

Figura 27

Caracterización 1, cerro Zapotal provincia de Santa Elena



Nota: La zona corresponde a la estratigrafía de la Formación Zapotal.

El total de la sumatoria para la caracterización 1 se muestra en la tabla 10, dando como resultado la valoración RMR de 41, siendo un macizo rocoso que pertenece a calidad media, clase III de acuerdo a la tabla 4, los parámetros del macizo considerados para llegar a esta calidad fueron la resistencia a la compresión obtenida del ábaco luego de anotar el rebote en campo con el martillo de Schmidt, con un valor de 24 Mpa, el índice RQD de 45% de acuerdo a la fórmula dependiente de discontinuidades presentes, del espaciamiento entre diaclasas se obtiene un valor de 30cm siendo moderadamente junta, una persistencia de baja continuidad, una abertura de 2mm descrita como abierta se puede observar la presencia de relleno blando, con condición rugosa ondulada, roca muy meteorizada, en estado general el macizo se encuentra ligeramente húmedo.

Tabla 10

Clasificación geomecánica RMR, C1, cerro Zapotal provincia de Santa Elena

Parámetro de Calificación	Descripción	Puntuación	
P1. Resistencia del material intacto			
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	5 - 25	Blanda	2
P2. Resistencia del material intacto			
Índice RQD (%)	25 - 50	Mala	6
P3. Espaciamiento entre discontinuidades			
Espaciamiento entre discontinuidades (cm)	30	Moderadamente junto	10
P4. Condiciones de diaclasas			
Persistencia (m)	1 - 3	Baja continuidad	4
Abertura (mm)	2	Abierta	3
Rugosidad		Rugosa Ondulada	3
Relleno		Blando	2
Grado de meteorización	Más de la mitad descompuesto	Muy meteorizado	1
P5. Condición de humedad			
Estado General	0-01	Ligeramente Húmedo	10
Total (P1+P2+P3+P4+P5)			41

4.2.2. Caracterización 2.

La caracterización 2 de la zona 3, se ubica estratigráficamente en la Formación Zapotal conformada de estratos sedimentarios, observamos el macizo a estudiar y tiene conglomerados, areniscas silificada y lutita laminar, consta de una secuencia estratigráfica con depósitos sedimentarios masivos de mayor espesor, al analizar parte de su estructura notamos un alto contenido de sílice además de encontrar fallas en el macizo rocoso, la ubicación geográfica se observa en la tabla 11 y en la figura 28 se observa el croquis para una mejor orientación..

Figura 28

Croquis de caracterización 2, cerro Zapotal provincia de Santa Elena

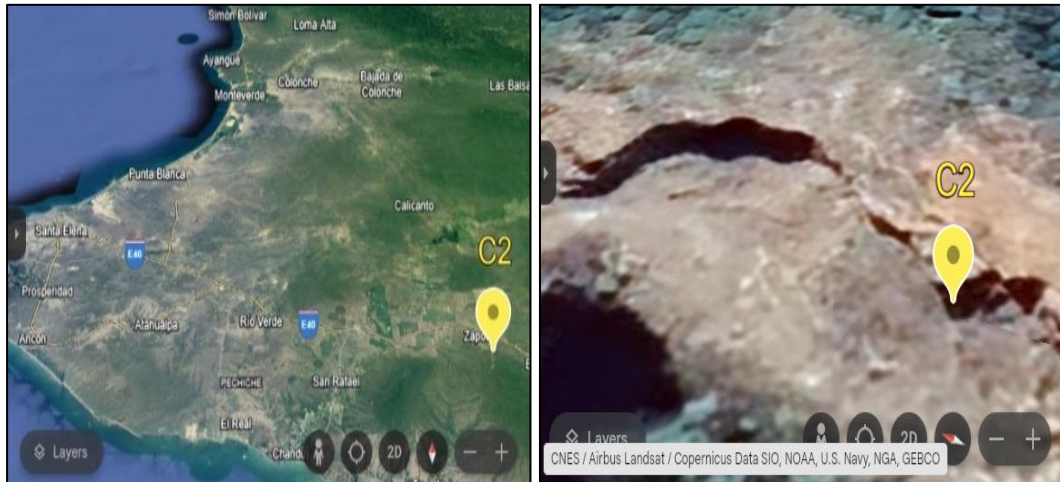


Tabla 11

Ubicación geográfica C2

COORDENADAS	
-------------	--

9741596.695N	549762.447E
--------------	-------------

La figura 29.a muestra la zona donde se realizó la caracterización geomecánica RMR y la figura 29.b se detalla el infograma de estructuras que presenta del macizo rocoso en el cerro Zapotal estratos, diaclasas, fallas.

Figura 29

Caracterización 2, cerro Zapotal provincia de Santa Elena



Nota: La zona corresponde a la estratigrafía de la Formación Zapotal.

El total de la sumatoria para la caracterización 2 se muestra en la tabla 12, dando como resultado la valoración RMR de 60, siendo un macizo rocoso que pertenece a calidad media, clase III de acuerdo a la tabla 4, los parámetros del macizo considerados para llegar a esta calidad fueron la resistencia a la compresión obtenida del ábaco luego de anotar el rebote en campo con el martillo de Schmidt, con un valor de 53 Mpa, el índice RQD de 71% de acuerdo a la fórmula dependiente de discontinuidades presentes, del espaciamiento entre diaclasas se obtiene un valor de 62cm siendo separado, una persistencia de baja continuidad, una abertura de 2mm descrita como abierta se puede observar la presencia de relleno blando, con condición lisa ondulada, roca medianamente meteorizada, en estado general el macizo se encuentra ligeramente húmedo.

Tabla 12

Clasificación geomecánica RMR, C2, cerro Zapotal.

Parámetro de Calificación	Descripción	Descripción	Puntuación
P1. Resistencia del material intacto			
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	50-100	Dura	7
P2. Resistencia del material intacto			
Índice RQD (%)	50 - 75	Regular	13
P3. Espaciamiento entre discontinuidades			
Espaciamiento entre discontinuidades (cm)	62	Separado	15
P4. Condiciones de diaclasas			
Persistencia (m)	1 - 3	Baja continuidad	4
Abertura (mm)	2	Abierta	3
Rugosidad		Lisa Ondulada	3
Relleno		Blando	2
Grado de meteorización	Menos de la mitad descompuesto	Medianament e meteorizado	3
P5. Condición de humedad			
Estado General	0-01	Ligeramente Húmedo	10
Total (P1+P2+P3+P4+P5)			60

4.2.3. Caracterización 3.

La caracterización 3 de la zona 2, se ubica estratigráficamente es en la Formación Zapotal, esta zona se conforma de estratos sedimentarios, observamos lutita, lutita laminar de alta resistencia está medianamente meteorizada de coloración amarillenta, la ubicación geográfica se observa en la tabla 13 y en la figura 30 se observa el croquis para una mejor orientación.

Figura 30

Croquis de caracterización ,3 cerro Zapotal provincia de Santa Elena

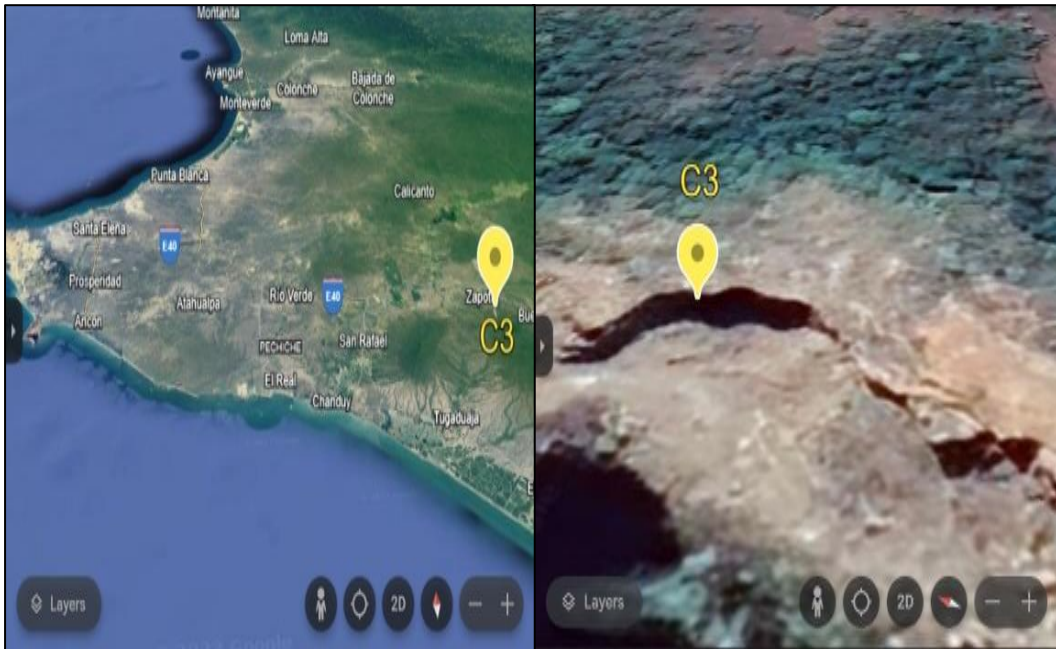


Tabla 13

Ubicación geográfica C3

COORDENADAS	
9741636.374N	549774.245E

La figura 31.a muestra la zona donde se realizó la caracterización geomecánica RMR y la figura 31.b se detalla el infograma de estructuras que presenta del macizo rocoso en el cerro Zapotal estratos, diaclasas.

Figura 31

Caracterización 3, cerro Zapotal provincia de Santa Elena



Nota: La zona corresponde a la estratigrafía de la Formación Zapotal.

El total de la sumatoria para la caracterización 3 se muestra en la tabla 14, dando como resultado la valoración RMR de 52, siendo un macizo rocoso que pertenece a calidad media, clase III de acuerdo a la tabla 4, los parámetros del macizo considerados para llegar a esta calidad fueron la resistencia a la compresión obtenida del ábaco luego de anotar el rebote en campo con el martillo de Schmidt, con un valor de 41 MPa, el índice RQD de 75% de acuerdo a la fórmula dependiente de discontinuidades presentes, del espaciamiento entre diaclasas se obtiene un valor de 30cm moderadamente junto, una persistencia de media continuidad, una abertura de 1mm descrita como abierta se puede observar la presencia de relleno duro, condición lisa ondulada, roca medianamente meteorizada, en estado general el macizo se encuentra ligeramente húmedo.

Tabla 14

Clasificación geomecánica RMR, C3, cerro Zapotal provincia de Santa Elena

Parámetro de Calificación	Descripción	Descripción	Puntuación
P1. Resistencia del material intacto			
Resistencia a la compresión simple (MPa)	25-50	Moderadamente dura	4
P2. Resistencia del material intacto			
Índice RQD (%)	50 – 75	Regular	13

P3. Espaciamiento entre discontinuidades

Espaciamiento entre discontinuidades (cm)	30	Moderadamente Junto	10
---	----	---------------------	----

P4. Condiciones de diaclasas

Persistencia (m)	3 - 10	Continuidad Media	2
Abertura (mm)	1	Abierta	3
Rugosidad		Lisa Ondulada	3
Relleno		Duro	4
Grado de meteorización	Menos de la mitad descompuesto	Medianamente meteorizado	3

P5. Condición de humedad

Estado General	0-01	Ligeramente Húmedo	10
----------------	------	--------------------	----

Total (P1+P2+P3+P4+P5) 52

4.2.4. Caracterización 4.

La caracterización 4 de la zona 3, se ubica estratigráficamente en la Formación Zapotal, esta zona se conforma de estratos sedimentarios, observamos lutita donde presenta dos colores una amarillenta y otro de color gris de manera planar con diaclasas de un relleno de arcilloso, rugosidad lisa escalonada, fallas por cuñas, sin embargo, presenta una escasa meteorización por otro lado se observa que se encuentran rellenos de cuarzo, la ubicación geográfica se observa en la tabla 15 y en la figura 32 se observa el croquis para una mejor orientación.

Figura 32

Croquis de caracterización 4, cerro Zapotal provincia de Santa Elena

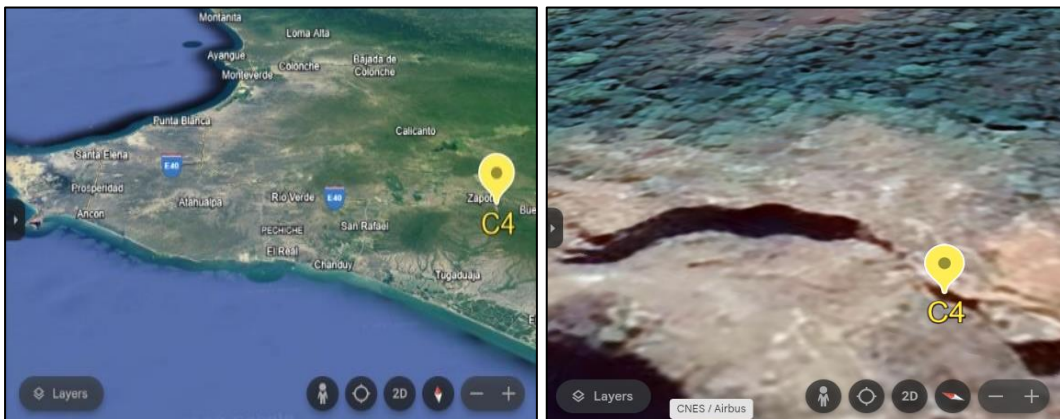


Tabla 15

Ubicación geográfica C4

COORDENADAS	
9741605.426N	549768.787E

La figura 33.a muestra la zona donde se realizó la caracterización geomecánica RMR y la figura 33.b se detalla el infograma de estructuras que presenta del macizo rocoso en el cerro Zapotal estratos, diaclasas, fallas.

Figura 33

Caracterización 4 cerro Zapotal provincia de Santa Elena



Nota: La zona corresponde a la estratigrafía de la Formación Zapotal.

El total de la sumatoria para la caracterización 4 se muestra en la tabla 16, dando como resultado la valoración RMR de 57, siendo un macizo rocoso que pertenece a calidad media, clase III de acuerdo a la tabla 4, los parámetros del macizo considerados para llegar a esta calidad fueron la resistencia a la compresión obtenida del ábaco luego de anotar el rebote en campo con el martillo de Schmidt, con un valor de 51 MPa, el índice RQD de 70% de acuerdo a la fórmula dependiente de discontinuidades presentes, del espaciamiento entre diaclasas se obtiene un valor de 35cm siendo moderadamente junta, una persistencia de baja continuidad, una abertura de 1mm descrita como abierta se puede observar la presencia de relleno blando, con condición lisa escalonada, roca medianamente meteorizada, en estado general el macizo se encuentra ligeramente húmedo.

Tabla 16

Clasificación geomecánica RMR, C4, cerro Zapotal, Provincia Santa Elena

Parámetro de Calificación	Descripción	Descripción	Puntuación
P1. Resistencia del material intacto			
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	50-100	Dura	7
P2. Resistencia del material intacto			
Índice RQD (%)	50 – 75	Regular	13
P3. Espaciamiento entre discontinuidades			
Espaciamiento entre discontinuidades (cm)	35	Moderadamente Junto	10
P4. Condiciones de diaclasas			
Persistencia (m)	1 - 3	Continuidad Baja	4
Abertura (mm)	1	Abierta	3
Rugosidad		Lisa Escalonada	5
Relleno		Blando	2
Grado de meteorización	Menos de la mitad descompuesto	Medianamente meteorizado	3
P5. Condición de humedad			
Estado General	0-01	Ligeramente Húmedo	10
Total (P1+P2+P3+P4+P5)			57

4.2.5. Caracterización 5.

La caracterización 5 de la zona 2, se ubica estratigráficamente en la Formación Zapotal, esta zona se conforma de estratos sedimentarios, secuencia de facie sedimentaria, depósitos de alto espesor. Podemos observar lutita de gran espesor y lutita laminar de poco espesor debido a que estaba sumergido en agua provocando la descomposición y erosión de rocas expuestas en superficie, la ubicación geográfica se observa en la tabla 17 y en la figura 34 se observa el croquis para una mejor orientación.

Figura 34

Croquis de caracterización 5, cerro Zapotal provincia de Santa Elena

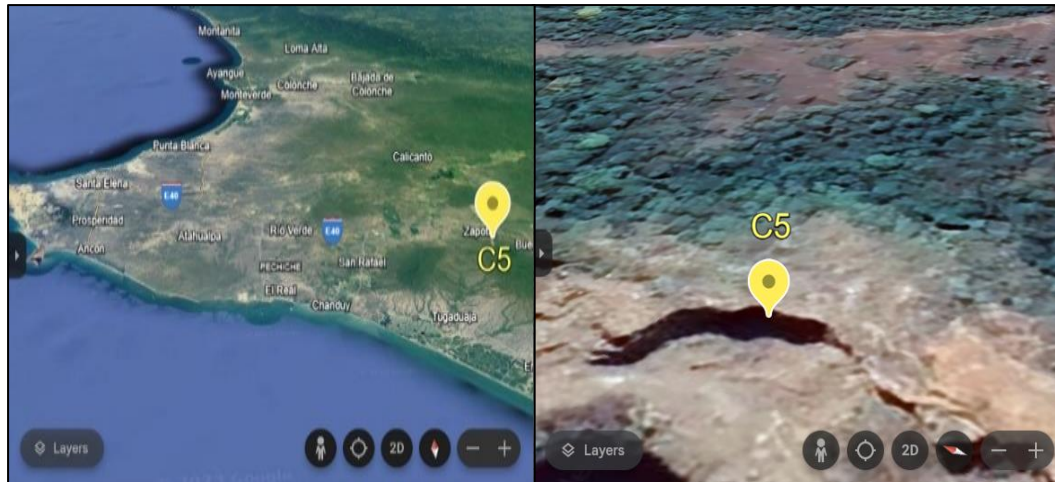


Tabla 17

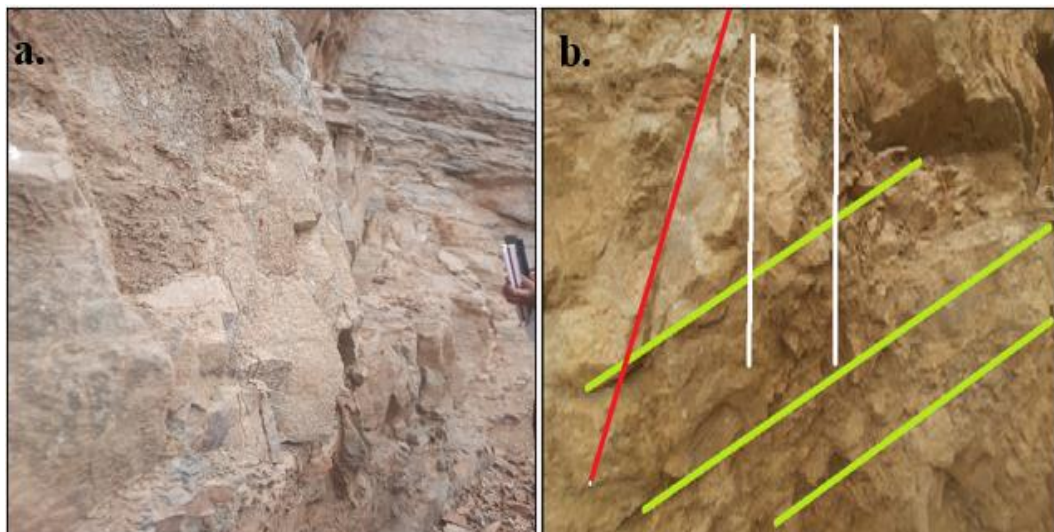
Ubicación geográfica C5

COORDENADAS	
9741628.525N	549776.911E

La figura 35.a muestra la zona donde se realizó la caracterización geomecánica RMR y la figura 35.b se detalla el infograma de estructuras que presenta del macizo rocoso en el cerro Zapotal estratos, diaclasas, fallas.

Figura 35

Caracterización 5, cerro Zapotal provincia de Santa Elena



Nota: La zona corresponde a la estratigrafía de la Formación Zapotal.

El total de la sumatoria para la caracterización 5 se muestra en la tabla 18, dando como resultado la valoración RMR de 54, siendo un macizo rocoso que pertenece a calidad media, clase III de acuerdo a la tabla 4, los parámetros del macizo considerados para llegar a esta calidad fueron la resistencia a la compresión obtenida del ábaco luego de anotar el rebote en campo con el martillo de Schmidt, con un valor de 47 MPa, el índice RQD de 77% de acuerdo a la fórmula dependiente de discontinuidades presentes, del espaciamiento entre diaclasas se obtiene un valor de 23cm siendo moderadamente junta, una persistencia de baja continuidad, una abertura de 0,5mm descrita como parcialmente abierta se puede observar la presencia de relleno blando, con condición lisa ondulada, roca medianamente meteorizada, en estado general se encuentra ligeramente húmedo.

Tabla 18

Clasificación geomecánica RMR, C5, cerro Zapotal.

Parámetro de Calificación	Descripción	Descripción	Puntuación
P1. Resistencia del material intacto			
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	25-50	Moderadamente dura	4
P2. Resistencia del material intacto			
Índice RQD (%)	75 – 90	Buena	17
P3. Espaciamiento entre discontinuidades			
Espaciamiento entre discontinuidades (cm)	23	Moderadamente Junto	10
P4. Condiciones de diaclasas			
Persistencia (m)	3 - 10	Continuidad Media	2
Abertura (mm)	0,5	Parcialmente Abierta	3
Rugosidad		Lisa Ondulada	3
Relleno		Blando	2
Grado de meteorización	Menos de la mitad descompuesto	Medianamente meteorizado	3
P5. Condición de humedad			
Estado General	0-01	Ligeramente Húmedo	10
Total (P1+P2+P3+P4+P5)			54

4.2.6. Caracterización 6.

La caracterización 6 de la zona 2, se ubica estratigráficamente es en la Formación Zapotal, esta zona se conforma de estratos sedimentarios, observamos arenisca centimétricas, lutitas y lutita laminar desintegrada de espesor milimétrico, resultando del análisis como una roca es dura, siendo un material de buena calidad, tiene una secuencia de facie sedimentaria con depósitos de alto espesor. Tiene una coloración gris, los estratos tiene un contenido mínimo de arcilla, la ubicación geográfica se observa en la tabla 19 y en la figura 36 se observa el croquis para una mejor orientación.

Figura 36

Croquis de caracterización 6, cerro Zapotal provincia de Santa Elena

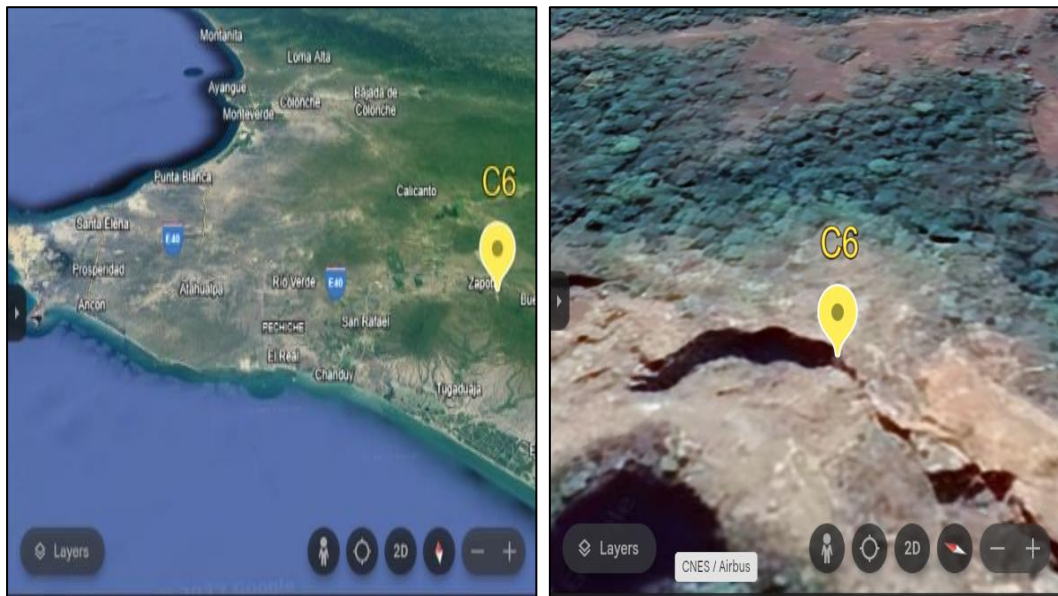


Tabla 19

Ubicación geográfica C6

COORDENADAS

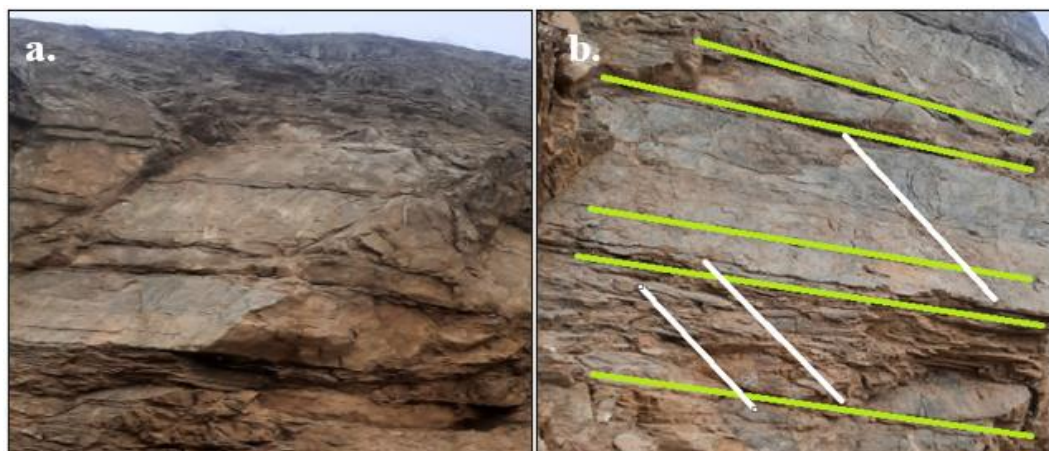
9741618.687N

549776.908E

La figura 37.a muestra la zona donde se realizó la caracterización geomecánica RMR y la figura 37.b se detalla el infograma de estructuras que presenta del macizo rocoso en el cerro Zapotal estratos, diaclasas.

Figura 37

Caracterización 6, cerro Zapotal provincia de Santa Elena



Nota: La zona corresponde a la estratigrafía de la Formación Zapotal.

El total de la sumatoria para la caracterización 6 se muestra en la tabla 20, dando como resultado la valoración RMR de 57, siendo un macizo rocoso que pertenece a calidad media, clase III de acuerdo a la tabla 4, los parámetros del macizo considerados para llegar a esta calidad fueron la resistencia a la compresión obtenida del ábaco luego de anotar el rebote en campo con el martillo de Schmidt, con un valor de 55 MPa, el índice RQD de 69% de acuerdo a la fórmula dependiente de discontinuidades presentes, del espaciamiento entre diaclasas se obtiene un valor de 20cm siendo moderadamente junta, una persistencia de baja continuidad, una abertura de 0,5mm descrita como parcialmente abierta.

Tabla 20

Clasificación geomecánica RMR, C6, cerro Zapotal provincia de Santa Elena

Parámetro de Calificación	Descripción	Descripción	Puntuación
P1. Resistencia del material intacto			
Resistencia a la compresión simple (Mpa)	50-100	Dura	7
P2. Resistencia del material intacto			
Índice RQD (%)	50 – 75	Regular	13
P3. Espaciamiento entre discontinuidades			

Espaciamiento entre discontinuidades (cm)	20	Moderadamente Junto	10
P4. Condiciones de diaclasas			
Persistencia (m)	1 - 3	Continuidad Baja	4
Abertura (mm)	0,5	Parcialmente Abierta	3
Rugosidad		Rugosa Plana	1
Relleno		Duro	4
Grado de meteorización		Algo meteorizado	5
P5. Condición de humedad			
Estado General	0-01	Ligeramente Húmedo	10
Total (P1+P2+P3+P4+P5)			57

4.2.7. Falla Representativa del Macizo Rocoso.

En la figura 38 es posible observar una falla en el macizo rocoso del cerro Zapotal que inicia en las siguientes coordenadas: 9741640.907 N - 549769.244 E. Presente en la zona 1 de acuerdo con la figura 24.

Figura 38

Falla presente en el macizo rocoso, cerro Zapotal provincia de Santa Elena



4.2.8. Pliegue Representativo en el Macizo Rocos.

En la figura 39 es posible observar un pliegue sinclinal de tipo abierto presente en el macizo rocoso del cerro Zapotal. Se encuentra finalizando la zona 1 de acuerdo con la figura 25.

Figura 39

Pliegue presente en el macizo rocoso, cerro Zapotal



4.2.9. Deslizamiento Representativo del Macizo Rocos.

En la figura 40 es posible observar que esta parte del macizo rocoso en el cerro Zapotal se está produciendo deslizamiento notable del material rocoso. Este suceso se encuentra a mitad de la zona delimitada 3 de acuerdo con la figura 20 del presente proyecto de titulación.

Figura 40

Deslizamiento presente de material en el macizo rocoso, cerro Zapotal



4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBJETIVO ESPECÍFICO 2: EVALUAR UTILIZANDO SOFTWARE DE ROSCIENCE: DIPS, ROCDATA, SWEDGE, EL POSIBLE RIESGO DE DESLIZAMIENTO EN TALUDES CORRESPONDIENTES A CADA CARACTERIZACIÓN EN EL MACIZO ROCOSO DEL CERRO ZAPOTAL.

A continuación, se presentan los resultados del análisis determinístico realizado en los taludes pertenecientes a cada una de las caracterizaciones geomecánicas realizada en macizos rocosos del cerro Zapotal, para esto se usaron los softwares de Roscience: Dips, RocData, Swedge.

4.3.1. Análisis Determinístico de Deslizamiento para la Caracterización 1 usando software Dips 7.0, RocData.

El talud de estudio para la posibilidad de un deslizamiento planar, le corresponde una dirección de buzamiento de 245° y un buzamiento de 63°, también se proyectan ángulos de las diaclasas más notables medidas en campo como se muestra a continuación en la tabla 21.

Tabla 21

Ángulos de estructuras notables

	Dip Direction	Dip
Talud	245°	63°
Estrato	271°	17°
Diaclasa 1	297°	76°
Diaclasa 2	163°	79°
Falla 1	303°	72°
Falla 2	126°	73°

En la figura 41 se observa la proyección de dirección de buzamiento y buzamiento del talud 245/63 y otros datos estructurales medidos en campo;

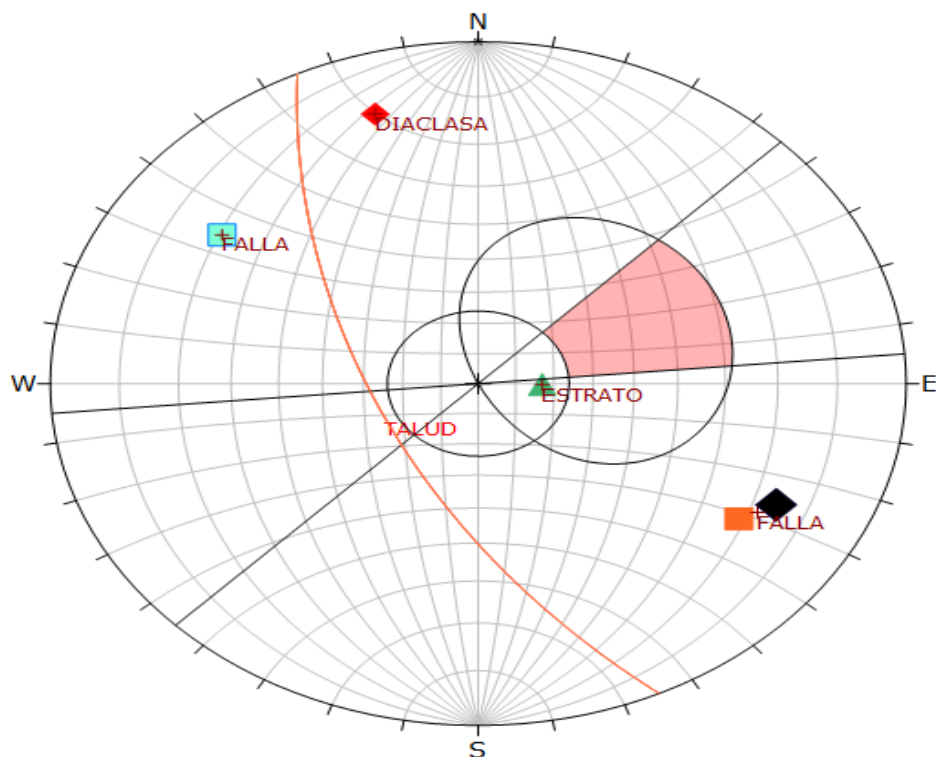
considerando un ángulo de fricción de 24° que se obtuvo mediante el software RocData, con estas delimitaciones se observa la zona inestable del talud.

Se muestra en la figura 42, el ángulo de fricción es de 24° siendo un dato importante para la proyección y delimitación de la zona no segura, se obtiene a partir de otros parámetros como son: GSI que depende de la valoración RMR, “mi” depende de la textura y tipo de roca, el factor de disturbancia para el área de estudio que en este proyecto es un talud.

En la figura 43 se puede observar los resultados del software Dips donde se obtiene que la intersección de los planos de discontinuidad proyectados no se encuentra dentro de la zona inestable del talud, entonces no genera algún tipo de deslizamiento como se puede observar gráficamente en la figura 41 que es la proyección estereográfica de la caracterización 1 en el software.

Figura 41

Proyección estereográfica en software Dips, caracterización 1



Nota: Debe analizarse si la intersección de planos está la zona no segura.

Figura 42

Angulo de fricción obtenido del software RocData

Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 24 MPa
 GSI = 41 mi = 19 Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion
 mb = 0.743 s = 0.0002 a = 0.511

Mohr-Coulomb Fit friction angle = 23.95 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.006 MPa
 uniaxial compressive strength = 0.305 MPa
 global strength = 2.632 MPa
 modulus of deformation = 1896.79 MPa

Nota: El ángulo de fricción se obtuvo mediante la clasificación de Hoek-Brown

Figura 43

Resultados de software Dips

Symbol	ID	Quantity
◆	1	1
◆	2	1
▲	3	1
■	4	1
□	5	1

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	63
Slope Dip Direction	245
Friction Angle	24°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	5	0.00%

Nota: El valor del ángulo de fricción se obtuvo mediante el software RocData

4.3.2. Análisis Determinístico de Deslizamiento para la Caracterización 2 usando software Dips 7.0, RocData, Swedge.

El talud de estudio para la posibilidad de un deslizamiento tipo cuña, le corresponde una dirección de buzamiento de 249° y un buzamiento de 79°, también se proyectan ángulos de las diaclasas más notables medidas en campo como se muestra a continuación en la tabla 22.

Tabla 22

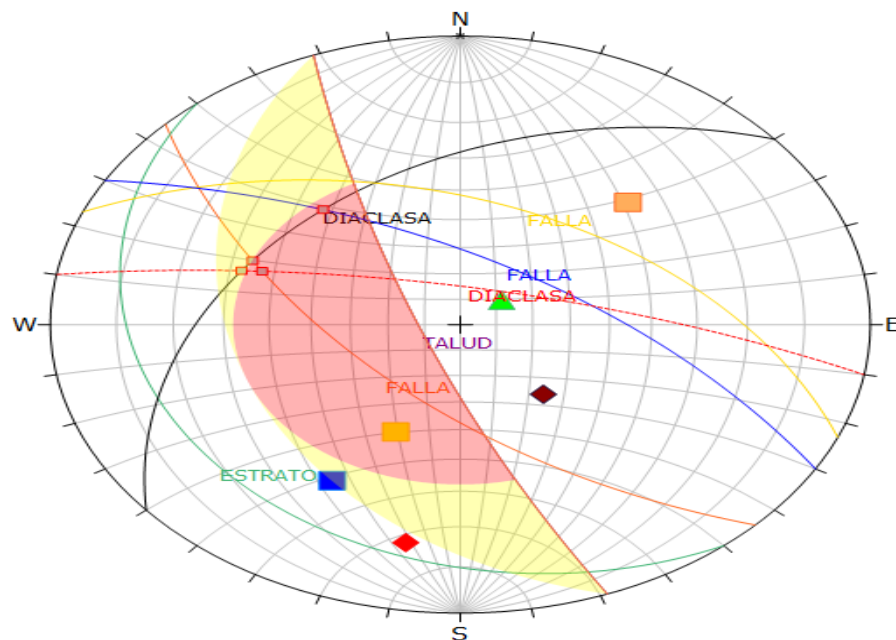
Ángulos de estructuras notables

	Dip Direction	Dip
Talud	249°	79°
Estrato	230°	15°
Diaclasa 1	320°	35°
Diaclasa 2	010°	75°
Falla 1	224°	61°
Falla 2	030°	64°
Falla 3	023°	44°

En la figura 44 se observa la proyección de dirección de buzamiento y buzamiento del talud 249/79 y otros datos estructurales medidos en campo; considerando un ángulo de fricción de 32° que se obtuvo mediante el software RocData, con estas delimitaciones se observa la zona inestable del talud.

Figura 44

Proyección estereográfica en software Dips, caracterización 2



Nota: Se analizó si la intersección de planos que está la zona segura.

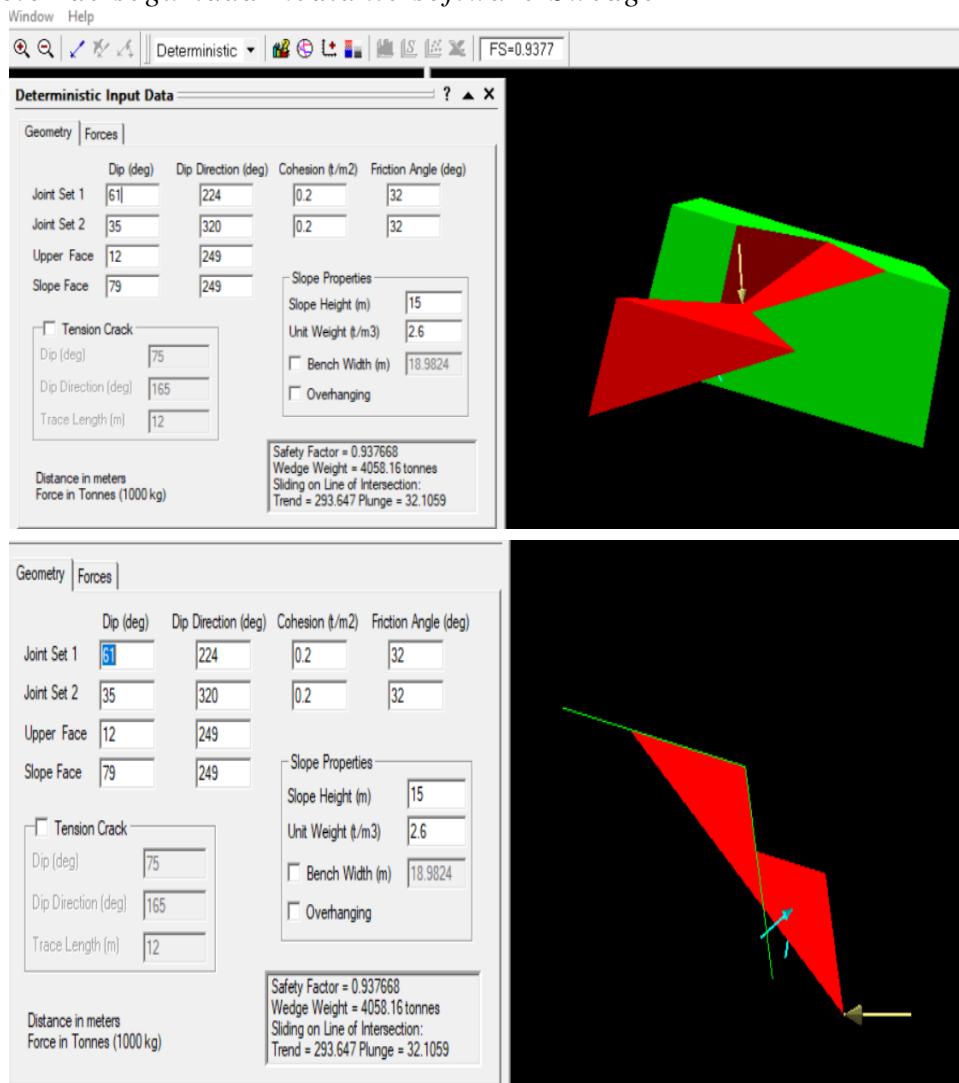
Como se puede observar en la figura 45, el ángulo de fricción es de 32° siendo un dato importante para la proyección y delimitación de la zona no segura, se obtiene a partir de otros parámetros como son: GSI que depende de la valoración

La figura 47 nos muestra resultados del modelo determinístico en el software Swedge donde se demostró que el talud de la caracterización 2 que presenta problemas de deslizamiento, ya que al ingresar los datos como: Dip, Dip direction de planos de discontinuidades se intersecan dentro de la zona inestable del talud, tal es el caso de Diaclasa 1 (320/35) y Falla 1 (224/61).

Los parámetros de resistencia al corte: $c = 0.2 \text{ Mpa}$ y $\phi = 32^\circ$ obtenidos según la clasificación geomecánica RMR, además del registro de las fuerzas sísmicas de Norma Ecuatoriana de la Construcción valor de $Z = 0.5$, el mapa de zona sísmica en la figura 17 para Santa Elena comuna Zapotal, al ingresar los datos nos resulta un factor de seguridad (FS) del talud de 0.93.

Figura 47

Factor de seguridad mediante software Swedge



Nota: Talud en estado de falla

4.3.3. Análisis Determinístico de Deslizamiento para la Caracterización 3 usando software Dips, 7.0, RocData.

El talud de estudio para la posibilidad de un deslizamiento planar, le corresponde una dirección de buzamiento de 249° y un buzamiento de 79°, también se proyectan ángulos de las diaclasas más notables medidas en campo como se puede observar en la tabla 23.

Tabla 23

Ángulos de estructuras notables

	Dip Direction	Dip
Talud	249°	79°
Estrato	260°	8°
Diaclasa 1	213°	87°
Diaclasa 2	184°	89°

En la figura 48 se observa la proyección de dirección de buzamiento y buzamiento del talud 249/79 y otros datos estructurales medidos en campo; considerando un ángulo de fricción de 29° que se obtuvo mediante el software RocData, con estas delimitaciones se observa la zona inestable del talud.

Figura 48

Proyección estereográfica en software Dips, caracterización 3

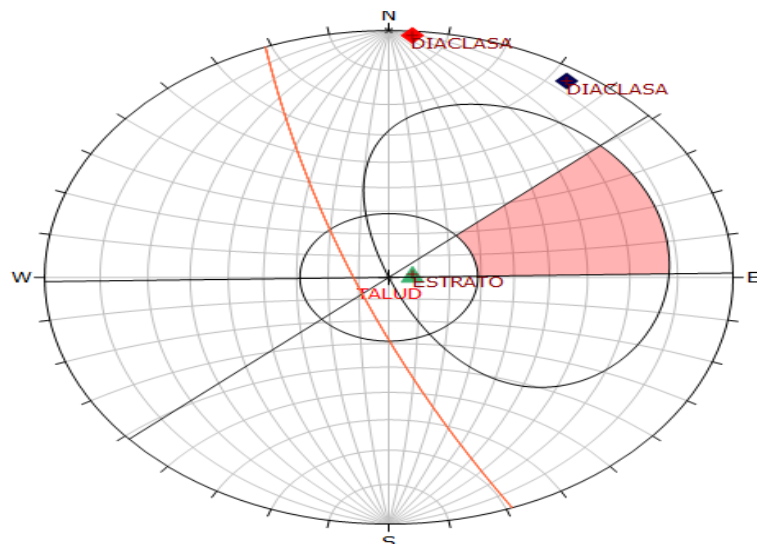


Figura 49

Ángulo de fricción obtenido por el software RocData

Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 41 MPa
 GSI = 52 mi = 19 Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion
 mb = 1.359 s = 0.0010 a = 0.505

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 1.864 MPa friction angle = 28.82 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.029 MPa
 uniaxial compressive strength = 1.222 MPa
 global strength = 6.305 MPa
 modulus of deformation = 4669.88 MPa

Nota: El ángulo de fricción se obtuvo mediante la clasificación de Hoek-Brown

Como se puede observar en la figura 49, el ángulo de fricción es de 29° siendo un dato importante para la proyección y delimitación de la zona no segura, se obtiene a partir de otros parámetros como son: GSI que depende de la valoración RMR, “mi” depende de la textura y tipo de roca, el factor de disturbancia para el área de estudio que en este proyecto es un talud. En la figura 50 se puede observar los resultados numéricos del software Dips donde se obtiene que la intersección de los planos de discontinuidad proyectados no se encuentra dentro de la zona inestable del talud, entonces no se genera algún tipo de deslizamiento cómo es posible observar gráficamente en la figura 48 que es la proyección estereográfica de la caracterización 3 en el software.

Figura 50

Resultado de software Dips

Symbol	ID	Quantity
◆	1	1
◆	2	1
▲	3	1

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	79
Slope Dip Direction	249
Friction Angle	29°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	3	0.00%

4.3.4. Análisis Determinístico de Deslizamiento para la Caracterización 4 usando software Dips, 7.0, RocData, Swedge

El talud de estudio para la posibilidad de un deslizamiento tipo cuña, le corresponde una dirección de buzamiento de 316° y un buzamiento de 66° , también se proyectan ángulos de las diaclasas más notables medidas en campo cómo es posible observar en la tabla 24.

Tabla 24

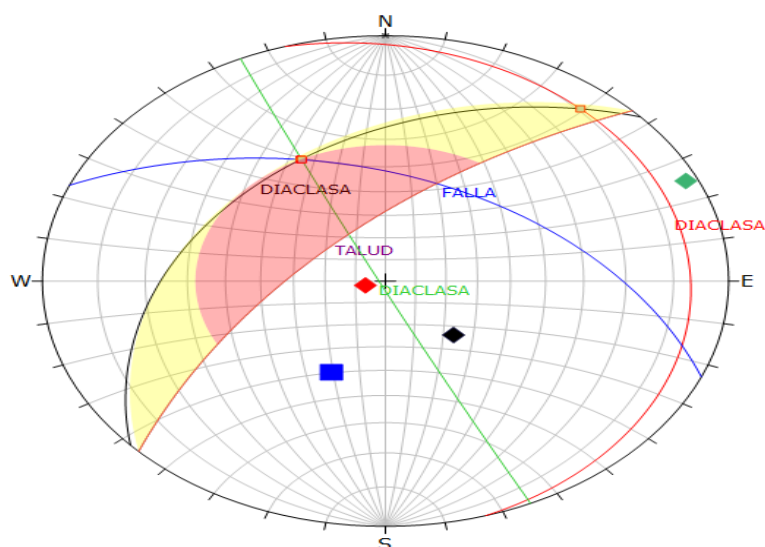
Ángulos de estructuras notables

	Dip Direction	Dip
Talud	316°	66°
Estrato	245°	88°
Diaclasa 1	318°	33°
Diaclasa 2	073°	7°
Falla 1	023°	44°

En la figura 51 se muestra la proyección de dirección de buzamiento y buzamiento del talud $316/66$ y datos estructurales; considerando un ángulo de fricción de 32° con estas delimitaciones se observa la zona inestable del talud.

Figura 51

Proyección estereográfica en software Dips, caracterización 4



Como se puede observar en la figura 52, el ángulo de fricción es de 32° siendo un dato importante para la proyección y delimitación de la zona no segura, se obtiene a partir de otros parámetros como son: GSI que depende de la valoración RMR, “mi” depende de la textura y tipo de roca, el factor de disturbancia para el área de estudio que en este proyecto es un talud.

Figura 52

Ángulo de fricción obtenido por el software RocData

```
Hoek-Brown Classification
  intact uniaxial compressive strength = 51 MPa
  GSI = 57  mi = 19  Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion
  mb = 1.789  s = 0.0020  a = 0.504

Mohr-Coulomb Fit
  cohesion = 2.573 MPa  friction angle = 32.10 deg

Rock Mass Parameters
  tensile strength = -0.056 MPa
  uniaxial compressive strength = 2.212 MPa
  global strength = 9.112 MPa
  modulus of deformation = 6945.42 MPa
```

Nota: El ángulo de fricción se obtuvo mediante la clasificación de Hoek-Brown

En la figura 53 se puede observar los resultados del software Dips donde se obtiene que la intersección de los planos de discontinuidad proyectados se encuentra dentro de la zona inestable del talud, entonces se genera un tipo de deslizamiento en cuña de acuerdo al porcentaje 67% mostrado y que se puede observar gráficamente en la figura 51 que es la proyección estereográfica de la caracterización 4 en el software.

La figura 54 nos muestra resultados del modelo determinístico en el software Swedge donde se demostró que el talud de la caracterización 2 que presenta problemas de deslizamiento, ya que al ingresar los datos como: Dip, Dip direction de planos de discontinuidades se intersecan dentro de la zona inestable del talud, tal es el caso de Diaclasa 1 (318/33) y Falla (23/44).

Los parámetros de resistencia al corte: $c = 0.3$ Mpa y $\phi = 32^\circ$ obtenidos según la clasificación geomecánica RMR, además del registro de las fuerzas sísmicas de Norma Ecuatoriana de la Construcción valor de $Z = 0.5$ observando el

mapa de zona sísmica en la figura 17 para Santa Elena comuna Zapotal, al ingresar los datos nos resulta un valor numérico de factor de seguridad (FS) del talud de 0.72, la NEC describe que para talud el FS = 1 demostrando que la caracterización de esta zona posee fallas de tipo cuña cómo se observa en 3D de la figura 54.

Figura 53

Resultados de Software Dips

Symbol	ID	Quantity
◆	1	1
◆	2	1
◆	3	1
■	4	1

Symbol	Feature
□	Critical Intersection

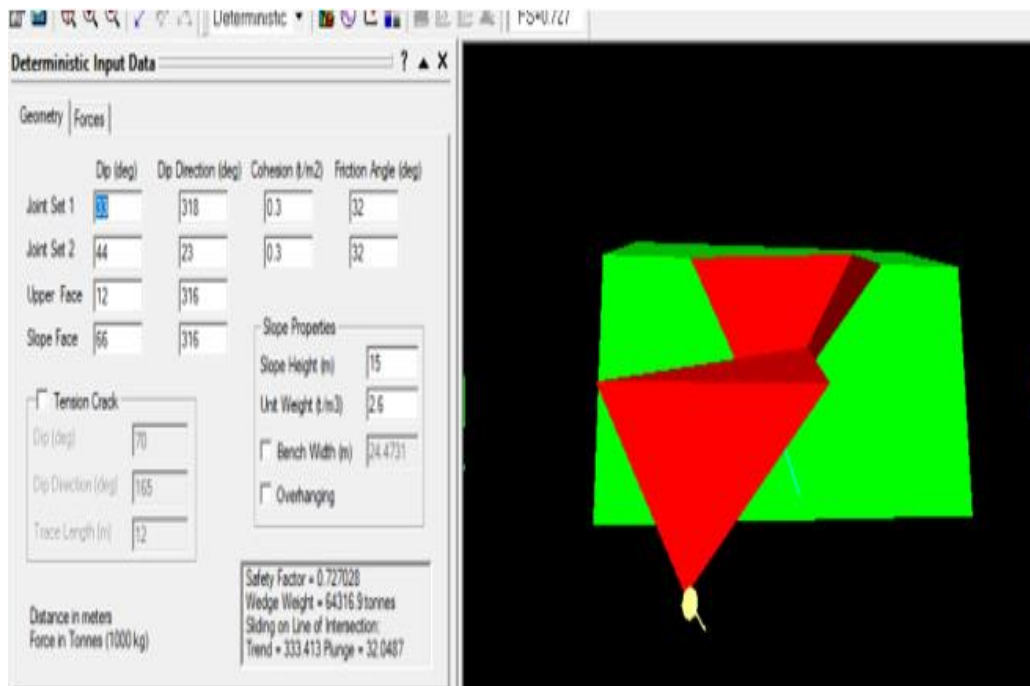
Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	66
Slope Dip Direction	316
Friction Angle	32°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	4	6	66.67%

Nota: El valor del ángulo se obtiene mediante el programa RocData

Figura 54

Factor de seguridad mediante software Swedge



Nota: Talud en estado de falla

4.3.5. Análisis Determinístico de Deslizamiento para la Caracterización 5 usando software Dips, 7.0, RocData, Swedge.

El talud de estudio para la posibilidad de un deslizamiento tipo cuña, le corresponde una dirección de buzamiento de 269° y un buzamiento de 87°, también se proyectan ángulos de las diaclasas más notables medidas en campo como se observa en la tabla 25.

Tabla 25

Ángulos de estructuras notables

	Dip Direction	Dip
Talud	269°	87°
Estrato	295°	8°
Diaclasa 1	219°	78°
Falla 1	337°	64°
Falla 2	189°	71°
Falla 3	337°	74°

En la figura 55 se observa la proyección de dirección de buzamiento y buzamiento del talud 269/87 y otros datos estructurales medidos en campo; considerando un ángulo de fricción de 30° que se obtuvo mediante el software RocData, con estas delimitaciones se observa la zona inestable del talud.

Como se puede observar en la figura 56, el ángulo de fricción es de 30° siendo un dato importante para la proyección y delimitación de la zona no segura, se obtiene a partir de otros parámetros como son: GSI que depende de la valoración RMR, “mi” depende de la textura y tipo de roca, el factor de disturbancia para el área de estudio que en este proyecto es un talud.

En la figura 55 se puede observar los resultados del software Dips donde se obtiene que la intersección de los planos de discontinuidad proyectados se encuentra dentro de la zona inestable del talud, entonces se genera un tipo de

deslizamiento en cuña de acuerdo al porcentaje 40% mostrado y que se puede observar gráficamente en la figura 55 que es la proyección estereográfica de la caracterización 5 en el software.

Figura 55

Proyección estereográfica en el software Dips, caracterización 5

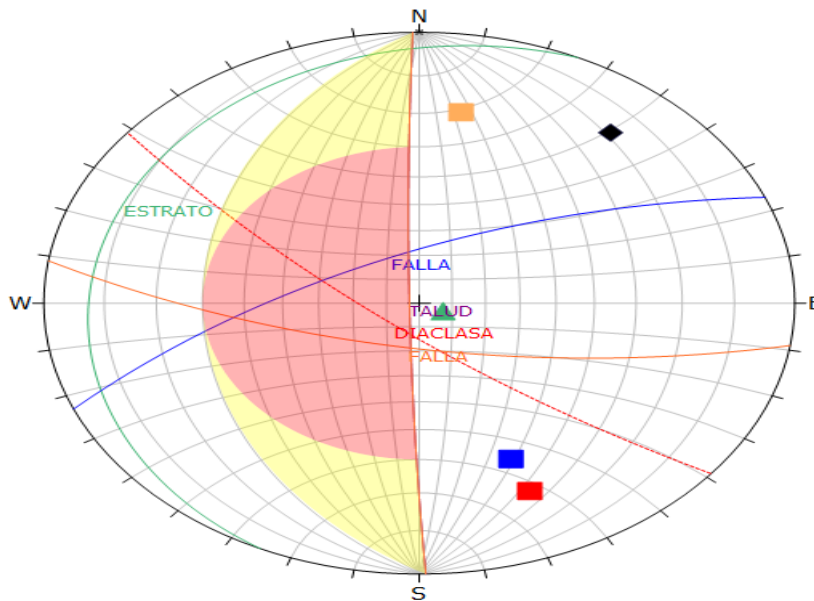


Figura 56

Angulo de fricción obtenido del software RocData

Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 47 MPa
 GSI = 54 mi = 19 Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion
 mb = 1.517 s = 0.0013 a = 0.504






Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 2.228 MPa friction angle = 29.73 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.039 MPa
 uniaxial compressive strength = 1.629 MPa
 global strength = 7.675 MPa
 modulus of deformation = 5609.99 MPa

La figura 58 nos muestra resultados del modelo determinístico en el software Swedge donde se demostró que el talud de la caracterización 5 que presenta problemas de deslizamiento, ya que al ingresar los datos como: Dip, Dip direction de planos de discontinuidades se intersecan dentro de la zona inestable del talud, tal es el caso de Diaclasa 1 (219/78) y Falla (337/69).

Figura 57

Resultados de software Dips

Symbol	ID	Quantity
	1	1
	2	1
	3	1
	4	1
	5	1

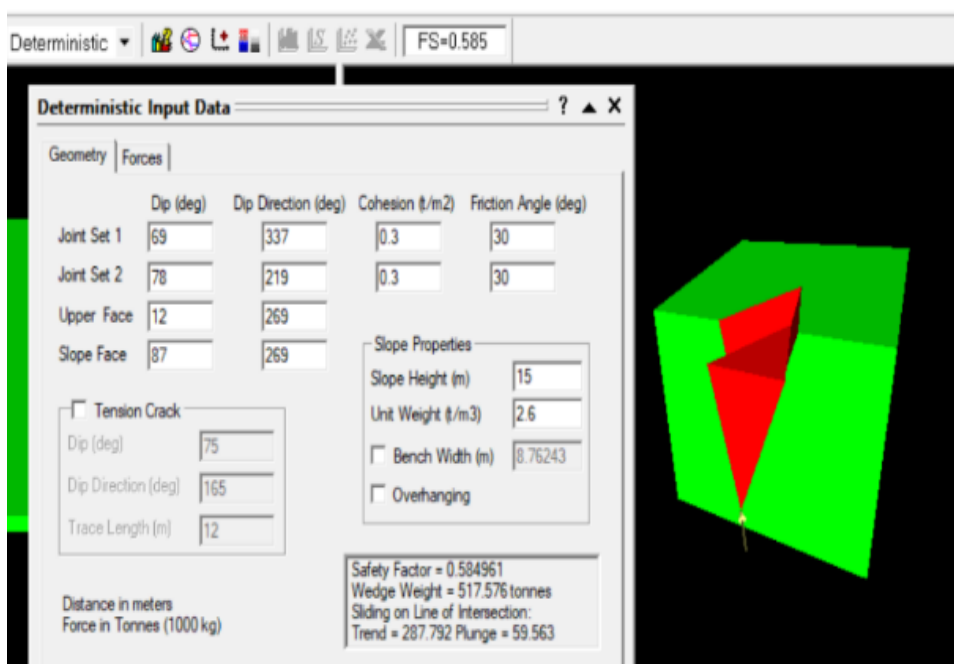
Kinematic Analysis	
Slope Dip	87
Slope Dip Direction	269
Friction Angle	30°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	1	10	10.00%

Los parámetros de resistencia al corte: $c = 0.3 \text{ MPa}$ y $\phi = 30^\circ$ obtenidos según la clasificación geomecánica RMR, además del registro de las fuerzas sísmicas de Norma Ecuatoriana de la Construcción valor de $Z = 0.5$ observando el mapa de zona sísmica en la figura 17 para Santa Elena comuna Zapotal, al ingresar los datos nos resulta un valor numérico de factor de seguridad (FS) del talud de 0.59, la NEC describe que para talud el $FS = 1$ demostrando que la caracterización de esta zona posee fallas de tipo cuña cómo se observa en el dibujo 3D.

Figura 58

Factor de seguridad mediante Swedge



4.3.6. Análisis Determinístico de Deslizamiento para la Caracterización 6 usando software Dips, 7.0, RocData.

El talud de estudio para la posibilidad de un deslizamiento planar, le corresponde una dirección de buzamiento de 335° y un buzamiento de 45°, también se proyectan ángulos de las diaclasas más notables medidas en campo como se observa en la tabla 26.

Tabla 26

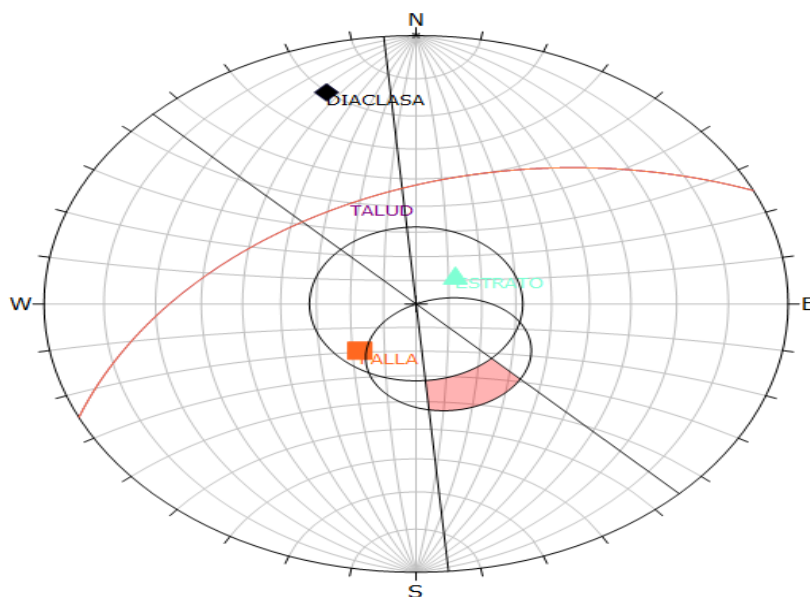
Ángulos de estructuras notables

	Dip Direction	Dip
Talud	335°	45°
Estrato	225°	17°
Diaclasa 1	163°	79°
Falla 1	041°	26°

En la figura 59 se observa la proyección de dirección de buzamiento y buzamiento del talud 335/45 y otros datos estructurales medidos en campo; considerando un ángulo de fricción de 32° que se obtuvo mediante el software RocData, con estas delimitaciones se observa la zona inestable del talud

Figura 59

Proyección estereográfica en software Dips, caracterización 6



Como se puede observar en la figura 60, el ángulo de fricción es de 32° siendo un dato importante para la proyección y delimitación de la zona no segura, se obtiene a partir de otros parámetros como son: GSI que depende de la valoración RMR, el “mi” que depende de la textura y tipo de roca, el factor de disturbancia para el área de estudio que en este proyecto es un talud.

Figura 60

Ángulo de fricción obtenido del programa RocData

Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 53 MPa
 GSI = 60 mi = 19 Disturbance factor = 0.7

Hoek-Brown Criterion
 mb = 2.110 s = 0.0030 a = 0.503

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 2.844 MPa friction angle = 32.48 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.076 MPa
 uniaxial compressive strength = 2.873 MPa
 global strength = 10.363 MPa
 modulus of deformation = 8414.95 MPa

Nota: El ángulo de fricción se obtuvo mediante la clasificación de Hoek-Brown

En la figura 61 se puede observar los resultados del software Dips donde se obtiene que la intersección de los planos de discontinuidad proyectados no se encuentra dentro de la zona inestable del talud, entonces no se genera algún tipo de deslizamiento como se puede observar gráficamente en los resultados de la figura 59 que es la proyección estereográfica de la caracterización 6 del software.

Figura 61

Resultados de software Dips

Symbol	ID	Quantity
◆	1	1
▲	2	1
■	3	1

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	45
Slope Dip Direction	335
Friction Angle	32°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	3	0.00%

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En relación a los estudios de las variables estudiadas se cumple con el objetivo general de este proyecto de titulación que está basado en la caracterización y modelación de la estabilidad de talud de macizos rocosos, llevada a cabo por una metodología de investigación exploratoria donde se establecieron datos de buzamiento y dirección de buzamiento, además de la determinación de parámetros de clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR) propuesta por Bieniawsky y el factor de seguridad para los taludes que presentan deslizamiento.

El estudio se realizó en el cerro zapotal provincia de Santa Elena, donde a partir de zonificaciones se determinó realizar 6 caracterizaciones estratégicas para determinar el índice RMR que permita clasificar y conocer calidad del macizo rocoso, además con los softwares de Roscience: Dips, RocData, Swedge se han obtenido datos como el ángulo de fricción, cohesión y factor de seguridad para cada uno de los taludes analizados.

Tabla 27

Resultados de clasificación RMR - Caracterización 1

RESUMEN DE RESULTADOS		
Valoración RMR	41	
Calidad	Media	Clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski
Clase	III	
Resistencia de matriz rocosa	24 Mpa	Ensayo in situ Esclerómetro
Ø	24°	Clasificación Hoek - Brown Software RocData
Falla	Sin falla	Caracterización 1, los polos proyectados se hallan en la zona estable del talud analizado en el software Dips
Posibilidad de falla	-	
Factor de seguridad	-	

Nota: Análisis en la zona 1 - caracterización 1

Tabla 28*Resultados de clasificación RMR - Caracterización 2*

RESUMEN DE RESULTADOS		
Valoración RMR	60	
Calidad	Media	Clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski
Clase	III	
Resistencia de matriz rocosa	53 Mpa	Ensayo in situ Esclerómetro
Ø	32°	Clasificación Hoek - Brown Software RocData
Falla	Tipo cuña	Caracterización 2, los polos proyectados se hallan en la zona inestable del talud analizado en el software Dips
Posibilidad de falla	27%	Hay intersección de planos de discontinuidades entre diaclasa y falla
Factor de seguridad	0,93	Menor a lo establecido por NEC.

*Nota: Análisis en la zona 3 - caracterización 2***Tabla 29***Resultados de clasificación RMR - Caracterización 3*

RESUMEN DE RESULTADOS		
Valoración RMR	52	
Calidad	Media	Clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski
Clase	III	
Resistencia de matriz rocosa	41 Mpa	Ensayo in situ Esclerómetro
Ø	29°	Clasificación Hoek - Brown Software RocData
Falla	Sin falla	Caracterización 3, los polos proyectados se hallan en la zona estable del talud analizado en el software Dips
Posibilidad de falla	-	
Factor de seguridad	-	

Nota: Análisis en la zona 2 - caracterización 3

Tabla 30*Resultados de clasificación RMR – Caracterización 4*

RESUMEN DE RESULTADOS		
Valoración RMR	57	
Calidad	Media	Clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski
Clase	III	
Resistencia de matriz rocosa	51 Mpa	Ensayo in situ Esclerómetro
Ø	32°	Clasificación Hoek - Brown Software RocData
Falla	Tipo cuña	Caracterización 4, los polos proyectados se hallan en la zona inestable del talud analizado en el software Dips
Posibilidad de falla	67%	Hay intersección de planos de discontinuidades entre diaclasa y falla
Factor de seguridad	0,72	Menor a lo establecido por NEC.

*Nota: Análisis en la zona 3 - caracterización 4***Tabla 31***Resultados de clasificación RMR - Caracterización 5*

RESUMEN DE RESULTADOS		
Valoración RMR	54	
Calidad	Media	Clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski
Clase	III	
Resistencia de matriz rocosa	47 Mpa	Ensayo in situ Esclerómetro
Ø	30°	Clasificación Hoek - Brown Software RocData
Falla	Tipo cuña	Caracterización 5, los polos proyectados se hallan en la zona inestable del talud analizado en el software Dips
Posibilidad de falla	40%	Hay intersección de planos de discontinuidades entre diaclasa y falla
Factor de seguridad	0,58	Menor a lo establecido por NEC.

Nota: Análisis en la zona 2 - caracterización 5

Tabla 32*Resultados de clasificación RMR - Caracterización 6*

RESUMEN DE RESULTADOS		
Valoración RMR	57	
Calidad	Media	Clasificación geomecánica Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski
Clase	III	
Resistencia de matriz rocosa	55 Mpa	Ensayo in situ Esclerómetro
Ø	32°	Clasificación Hoek - Brown Software RocData
Falla	Sin falla	Caracterización 6, los polos proyectados se hallan en la zona estable del talud analizado en el software Dips
Posibilidad de falla	-	
Factor de seguridad	-	

Nota: Análisis en la zona 2 - caracterización 6

En el estudio de Malavé & Méndez (2021), realizada en los acantilados de Ancón provincia de Santa Elena donde la determinación por método RMR Bieniawsky se obtuvieron datos que están en un rango de 57 a 60, con calidad de roca media de clase III, se encontró que en los taludes existen posibilidades de falla por cuña, con factores de seguridad menores a 1, similar a nuestro caso de estudio en el cerro Zapotal con intervalos numéricos que resultan para un macizo rocoso en calidad media clase III y en 6 caracterizaciones realizadas no presentaron casos de deslizamiento planar sin embargo, se presentaron deslizamientos por cuña de acuerdo a la modelación digital en el programa Dips donde es posible observar las intersecciones de los polos proyectados con el uso del programa Swedge se verificó que el talud no cumple con el factor de seguridad que establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

En el macizo rocoso del cerro Zapotal provincia de Santa Elena se realizó un mapeo en 3 zonas del área de estudio donde se han realizado 6 caracterizaciones geomecánicas por medio de la clasificación Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski para determinar la valoración numérica y conocer la calidad de la roca. En los resultados se ha visto reflejada la presencia de roca con calidad media de intervalo (41 – 60) en la valoración RMR, hay que considerar que en la zona 1 la caracterización 1 tiene el valor RMR 41 siendo el más bajo del afloramiento en comparación al más alto de la zona 3 caracterización 2 que tiene un RMR de 60, por este método la roca pertenece a la clase III.

La creación de modelos en software de Roscience: Dips, RocData, Swedge; a partir de datos como el buzamiento y dirección de buzamiento obtenidos en campo ha permitido realizar el análisis cinemático de las diaclasas representativas de cada caracterización geomecánica analizada y las posibles fallas que podrían presentar los taludes de cada zona. Se puede concluir que en la zona 1 – caracterización 1 no existe riesgo de falla en la estructura de acuerdo con los resultados del software Dips, mismos detalles se repiten en la zona 2 - caracterización 3 y caracterización 6; todas con 0% de posibilidad de falla. Caso contrario es para la zona 2 – caracterización 5 de acuerdo con resultados de software Dips tiene un 40% de posibilidad de falla tipo cuña, la zona 3 – caracterización 2 con 27% posibilidad de falla tipo cuña y la caracterización 4 que resulta con 67% posibilidad de falla tipo cuña. A partir de los datos se determinó el factor de seguridad para cada una de las fallas y se comprobó mediante el uso del software Swedge que no cumple con el factor de seguridad establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC, es decir existen riesgos de deslizamientos en zona 3 y parte de la zona 2.

5.2. RECOMENDACIONES

Los parámetros de cohesión y ángulo de fricción se han estimado a partir de la tabla 4, donde interviene la calidad del macizo rocoso en estudio, se recomienda ejecutar los análisis del material in situ a partir de la experimentación para verificar la información expuesta en este proyecto de titulación.

Se recomienda el desarrollo de un trabajo adicional exploratorio para monitorear el comportamiento total del cerro Zapotal puesto que en este trabajo de titulación se caracterizaron sólo las áreas más accesibles y éste se halla en una zona de cambio recurrente debido a los factores influyentes del sitio como: geología, las deformaciones, las fallas y las discontinuidades notables en el macizo rocoso y otros factores que intervienen el movimiento de masa rocosa que puede provocar desde pérdidas económicas hasta pérdidas humanas.

Las medidas que se pueden recomendar para aumentar el factor de seguridad en la caracterización 2, caracterización 4 y caracterización 5; áreas donde se ha evaluado riesgo potencial de falla se debe modificar o rediseñar la geometría del talud, cambiando el ángulo de inclinación del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aliaga, J., & Huincho, J. (2022). *Estimación geomecánica del macizo rocoso para el control de estabilidad zona profundización Unidad Minera Cobriza sector IV* [Universidad Continental].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11541/4/IV_FIN_110_TE_Aliaga_Huincho_2022.pdf
- Alonso, F., Alonso, L., & Vázquez, P. (2012). Hydric properties and anisotropy of porous sedimentary rocks. *Sociedad Geológica España, 13*(Congreso Geológico), 4–5. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8046794>
- Alvarez, L., & Emel, D. (2018). *Combinación de los Métodos Janbú – Spencer en el Análisis de Estabilidad de Taludes para el empleo de Sistemas Flexibles de Alta Resistencia en la Construcción de carreteras*. [Universidad Nacional Federico Villarreal].
https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/2272/LUGO_ALVAREZ_EMEL%20DIEGO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alzate, A., Bermúdez, L., Ceballos, S., Naranjo, E., & Redón, V. (2020). *Evaluación de las Propiedades Mecánicas de Macizos Rocosos que Afloran en el Municipio de Pereira*.
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/22510/MD0081.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arias, B. (2012). *Deslizamientos en Taludes Inducidos por Altas Precipitaciones en Vías Intermunicipales en Colombia* [Tesis, Universidad Libre].
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7116/AriasTorresBenjamin2012.pdf?sequence=1&isAllowed=n>
- Baldock, J. (1982). *Geología del Ecuador: Vol. I*. División de investigación Geológico - Minera.
- Barletta, R. (2011). *Guía Básica para la Identificación de los Principales Tipos de Roca de Aplicación en la Ingeniería*.
- Benítez, S. (1995). *Évolution Géodynamique de la Province Côtière Sudéquatorienne au Crétacé Supérieur: Vol. I* (3ra ed.). Géology Alpine.

- Betancur, B., & López, C. (2019). *Caracterización y Clasificación Geomecánica del Macizo Rocoso en el Nivel Veintiuno de la Mina La Maruja (Distrito Minero De Marmato, Caldas) para estimar las recomendaciones de Estabilidad y Soporte en la Excavación y su Correlación con las Alteraciones Hidrotermales* [Tesis]. Universidad EAFIT.
- Bolcatto, N. (2020). *Geomecánica de minerales y rocas*. <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Geomecanica%20de%20Rocas%20-%202020%20s1.pdf>
- Catuto, F., & Elizalde, R. (2019). *Caracterización Geotécnica y Propuesta de una Metodología para Estabilizar Talud en el sector 2 de febrero de la parroquia Anconcito – Provincia de Santa Elena*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5030?mode=full>
- Celli, A., & Falcioni, F. (2021, August 24). Caracterización geomecánica del macizo rocoso de la formación Santa Cruz aflorante en la zona de Condor Cliff, río Santa Cruz, Patagonia Argentina. *Asociación Geológica Argentina*, 1–2. <https://revista.geologica.org.ar/raga/article/view/640/1589>
- Chimal, L. (2012). *Barreras Dinámicas a base de materiales convencionales para el control de caída de rocas*. [Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2517/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Duque, G. (2016). *Manual de Geología para Ingenieros: Vol. I* (1ra ed.). Universidad Nacional de Colombia. <https://www.coraldeaglobal.org/wp-content/uploads/2016/12/manualgeo.pdf>
- Encalada, F. (2018). *Caracterización de Macizos Rocosos*. universidad-nacional-de-loja/mineria-de-datos/caracterizacion-macizos-rocosos/10619724
- Escobar, C., & Duque, G. (2017). *Geotecnia para el Trópico Andino*. <http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/>
- ESPOL. (2013). *Estudio y Diseño Preeliminar para la Recuperación de la Playa de Salinas*.
- Flores, C., & Pineda, C. (2015). *Caracterización del Macizo Rocoso – Análisis Retrospectivo y Aplicación al Diseño de Taludes mediante Análisis Cinemático y Clasificación Geomecánica - Slope Mass Rating - Cantera BORCONS en el km 6 ½ de la Av.del Bombero, Guayaquil, Guayas, Ecuador* [Escuela Superior

- Politécnica del Litoral].
<https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/30473>
- Gallardo, E. (2017). *Metodología de la Investigación* (M. Córdova, Ed.; 1ra ed.). Universidad Continental. <http://www.continental.edu.pe/>
- García, C. (2020). *Análisis de Estabilidad de Taludes: Vol. I*. <https://www.uteycv.esiaz.ipn.mx/comunidad/geotecnia/apuntes/BARRO%209,%20EST.%20TALUDES%20SUELOS,%2009.05.21.pdf>
- Garzón, J., & Echarri, J. (2019). *Análisis cinemático de la estabilidad de taludes en roca por rotura plana*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/103391/Garz%C3%B3n%3BTorrijo%20-%20An%C3%A1lisis%20cinem%C3%A1tico%20de%20la%20estabilidad%20de%20taludes%20en%20roca%20por%20rotura%20plana.pdf?sequence=1>
- Giordani, C., & Lanzone, G. (2018). Estabilidad de los Macizos Rocosas. In *Geología Aplicada a la Ingeniería Civil y al Medio Ambiente* (pp. 2–3). Universidad Tecnológica Nacional. https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/3_anio/geologia/files/U8-GEOLOG%C3%8DA%20AMBIENTAL%20Y%20RIESGO%20GEOL%C3%93GICO.pdf
- González, A., & Martínez, P. (2017). *Caracterización Geomecánica de Suelos y Rocas*.
- González de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica* (L. González de Vallejo, M. Ferrer, L. Ortuño, & C. Oteo, Eds.; II). PEARSON EDUCACION. https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod_resource/content/1/Livro%202.pdf
- Guamán, V., & Mendieta, F. (2013). *Evaluación Geomecánica del Macizo Rocosos en la cantera de Materiales de Construcción “Las Victorias.”* <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4312/3/Tesina.pdf>
- Hamasur, G. A. (2023). Geological strength index-slope: an adaptation of the geological strength index system for use in the rock slope stability assessment. *Brazilian Journal of Geology*, 53(1), 6–7. <https://doi.org/10.1590/2317-4889202320220044>
- Hernández, S. (2014). *Metodología de la Investigación* (C. Fernández & M. Baptista, Eds.; 6ta ed.). Mc Graw Hill Education.
- Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). *Rock Slope Engineering: Vol. I* (J. Bray & E. Hoek, Eds.; 3ra.). Geotechnics and Foundations from E Y FN SPON.

- Hueicha, L. (2017). *Métodos de Cálculo de Taludes en Roca considerando la Dilatancia* [Universidad Nacional de Educación a Distancia].
https://www.researchgate.net/profile/Luis-Hueicha/publication/334429361_ESTABILIDAD_DE_TALUDES_EN_ROCA_ALTAMENTE_FRACTURADA_CONSIDERANDO_LA_DILATANCIA/links/5d2892c492851cf4407d29da/ESTABILIDAD-DE-TALUDES-EN-ROCA-ALTAMENTE-FRACTURADA-CONSIDERANDO-LA-DILATANCIA.pdf
- Hurtado, J. (2006). *ESTABILIZACIÓN DE TALUDES DE ROCA*.
<https://www.jorgealvahurtado.com/files/Estabilizacion%20de%20Taludes%20de%20Roca.pdf>
- Instituto Geológico y Minero de España. (1986). *Manual de Taludes* (C. De la Heras, R. Portilla, R. Martínez, R. Roldán, & A. López, Eds.; Vol. 1).
https://info.igme.es/SidPDF/065000/075/65075_0001.pdf
- Jiménez, M. (2022). *Caracterización del macizo rocoso ubicado en el sector Ingamullo II, km 11, proyecto: reconstrucción de la carretera Gualaceo-Limón Indanza, tramo: Gualaceo-Plan de Milagro* [Universidad del Azuay].
<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/12379/1/17906.pdf>
- Luzieux, L. D. A., Heller, F., Spikings, R., Vallejo, C. F., & Winkler, W. (2006). Origin and Cretaceous tectonic history of the coastal Ecuadorian forearc between 1°N and 3°S: Paleomagnetic, radiometric and fossil evidence. *Earth and Planetary Science Letters*, 249(3–4), 400–414. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.07.008>
- Malavé, A., & Méndez, J. (2021). *Análisis de Calidad del Macizo Rcoso por los Métodos de Barton y Bieniawski en los Acanilados de Ancón del Cantón Santa Elena* [Tesis, Universidad Estatal Península de Santa Elena].
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6498>
- Marín, L. (1999). *Levantamientos en La Península de Santa Elena, Ecuador durante El Niño 97 – 98*.
- Martínez, B., & Osorio, M. (2013). *Elaboración de un Algoritmo para Generar Mapas de Heterogeneidad a partir de datos Petrofísicos de un Yacimiento*. [Tesis, Universidad Central de Venezuela].
<http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/15276/1/TRABAJO%20ESPECIAL%20DE%20GRADO%20finn.pdf>

- Melentijevic, S. (2005). *Estabilidad de Taludes en Macizos Rocosos con Criterios de Rotura no Lineales y Leyes de Fluencia no Asociada* [Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/722/>
- Milne, D., Hadjigeorgiou, J., & Pakalnis, R. (2017). Rock Mass Characterization for Underground Hard Rock Mines. *The University of British Columbia*, 1–2. <https://www3.nd.edu/~cneal/uwa/RockMassChar.pdf>
- Murphy, W. L. (1985). *Geotechnical Descriptions of Rock and Rock Masses*. NEC. (2015). *Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistentes*.
- Núñez del Arco, E. (2003). *Geología del Ecuador*.
- Oporta, Y., & Flores, E. (2019). *Evaluación de estabilidad de talud en el Mirador de Catarina para el reordenamiento urbano del mirador* [Tesis, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/13669/>
- Ordóñez, M., Jimenez, N., & Suárez, J. (2006). *Datos Bioestratigráficos Paleoecológicos de las cuencas: G Progreso, Oriente; y de las Cordilleras Chongón Colonche, Costera Y Occidental* (G. Ing. Toala, R. Ing. Andrade, M. Anl. Parra, F. Sr. Véliz, & K. Ing. Chunga, Eds.; 1ra ed., Vol. 1). Centro de Investigaciones Geológicas Guayaquil.
- Ortega, D. (2019). *Factor de Seguridad y Análisis de Estabilidad del Talud en Roca, en la carretera Sarhua – Porta Cruz, Progresiva Km 35+000 – 2018* [Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/57e794e3-b5e3-4ae4-8bfd-c2bed889b6e0>
- Proaño, G. (2017). *Estudios de factibilidad y de ingeniería definitivos para el proyecto vial: interconexión corredora vial La Libertad - Salinas de 7.20 Km (incluye alcantarillas) en el cantón Salinas de la provincia de Santa Elena*.
- Quinde, P., & Reinoso, E. (2016). Estudio de Peligro Sísmico de Ecuador y Propuesta de Espectros de Diseño para la Ciudad de Cuenca. *Ingeniería Sísmica, Sismicidad*.
- Ramírez, P., & Alejano, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes* (R. Laín, C. González, I. Álvarez, F. García, M. Díaz, M. Rodríguez, & F. Ariznavarreta, Eds.). 2004. <https://oa.upm.es/14183/>
- Ramos, A. A. (2017). *Análisis de Estabilidad de Taludes en Rocas. Simulación con Ls-Dyna y comparación con Slide*. [Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/47326/1/TFM_ABEL_ANTONIO_RAMOS_VASQUEZ.pdf
- Rodríguez, N. (2011). Diseños Experimentales en Educación. *Revista de Pedagogía*, XXXII(Metodología), 2–3.

- Sauer, W. (1965). *Geología del Ecuador* (1ra ed.). Ministerio de Educación.
- SENPLADES, IEE, & MAGAP. (2012). *Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional*.
- Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales: Vol. I* (Ingeniería de Suelos Ltda., Ed.). UIS.
[https://recordcenter.sgc.gov.co/B23/662_19MemExPI_373_Las_Acacias/Documento/pdf/Anexo1_InveRecoBibl/Su%C3%A1rez%20\(1998\).%20Deslizamientos%20y%20estabilidad%20de%20taludes%20en%20zonas%20tropicales.pdf](https://recordcenter.sgc.gov.co/B23/662_19MemExPI_373_Las_Acacias/Documento/pdf/Anexo1_InveRecoBibl/Su%C3%A1rez%20(1998).%20Deslizamientos%20y%20estabilidad%20de%20taludes%20en%20zonas%20tropicales.pdf)
- Vargas, Z. (2009). La Investigación Aplicada: Una Forma de Conocer las Realidades con Evidencia Científica. *Revista Educación*, 33, 7–9.
- Vega, C. (2018). *Evaluación Numérica del Sistema de Clasificación de Macizo Rocosos “Q” De Barton en Granodiorita* [Tesis]. Universidad de Concepción.
- Villarreal, M. C. (2020). *Caracterización geotécnica de macizos rocosos, a nivel de prefactibilidad, en el área de implantación de presas de laminación de crecidas extraordinarias actuales y proyectadas sitas en la Hoja Tandil 3760-IV* [Universidad Nacional de La Plata].
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/104830/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Yagual, F. (2019). *Caracterización Geotécnica de la Vía alterna Punta Carnero - Salinas* [Tesis, Universidad Estatal Península de Santa Elena].
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5035>

ANEXOS

Anexo 1

Prueba de resistencia a la compresión uniaxial con esclerómetro de la caracterización 1

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL CON ESCLERÓMETRO			
PROYECTO:	"CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUD DE MACIZOS ROCOSOS EN EL CERRO ZAPOTAL PROVINCIA DE SANTA ELENA"		
TESISTAS:	DOMÍNGUEZ RICARDO SABRINA DOMÉNICA SUÁREZ SUÁREZ NATHALY MERCEDES		
LUGAR:	CERRO ZAPOTAL	ANGULO:	0
COORDENADAS:	549640.1	9741954.9	FECHA: 2023/10/28

No.	MEDICIÓN	EQUIVALENCIA		PROMEDIO	243.16 kg/cm ²
1	36	290	kg/cm ²		
2	35	280	kg/cm ²		
3	26	158	kg/cm ²		
4	39	340	kg/cm ²		
5	37	310	kg/cm ²		
6	30	210	kg/cm ²		
7	35	280	kg/cm ²		
8	36	290	kg/cm ²		
9	32	238	kg/cm ²		
10	26	158	kg/cm ²		
11	35	280	kg/cm ²		
12	32	238	kg/cm ²		
13	35	280	kg/cm ²		
14	29	190	kg/cm ²		
15	28	180	kg/cm ²		
16	34	260	kg/cm ²		
17	35	280	kg/cm ²		
18	38	320	kg/cm ²		
19	32	238	kg/cm ²		
20	36	290	kg/cm ²		
21	32	238	kg/cm ²		
22	29	190	kg/cm ²		
23	32	238	kg/cm ²		
24	27	165	kg/cm ²		
25	29	190	kg/cm ²		
26	34	260	kg/cm ²		
27	28	180	kg/cm ²		
28	27	165	kg/cm ²		
29	35	280	kg/cm ²		
30	30	210	kg/cm ²		
31	28	180	kg/cm ²		
32	32	238	kg/cm ²		
33	36	290	kg/cm ²		
34	30	210	kg/cm ²		
35	32	238	kg/cm ²		
36	35	280	kg/cm ²		
37	39	340	kg/cm ²		
38	32	238	kg/cm ²		

Anexo 2

Prueba de resistencia a la compresión uniaxial con esclerómetro de la caracterización 2

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL CON ESCLERÓMETRO			
PROYECTO:	"CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUD DE MACZOS ROCOSOS EN EL CERRO ZAPOTAL PROVINCIA DE SANTA ELENA"		
TESISTAS:	DOMÍNGUEZ RICARDO SABRINA DOMÉNICA		
	SUÁREZ SUÁREZ NATHALY MERCEDES		
LUGAR:	CERRO ZAPOTAL	ANGULO:	0
COORDENADAS:	549640.1	9741954.9	FECHA: 2023/10/28

No.	MEDICIÓN	EQUIVALENCIA	PROMEDIO
1	54	580	540.79 kg/cm ²
2	49	500	
3	50	515	
4	53	565	
5	50	515	
6	53	565	
7	51	530	
8	54	580	
9	53	565	
10	50	515	
11	50	515	
12	54	580	
13	52	550	
14	50	515	
15	54	580	
16	52	550	
17	48	480	
18	53	565	
19	54	580	
20	52	550	
21	50	515	
22	48	480	
23	53	565	
24	53	565	
25	50	515	
26	51	530	
27	52	550	
28	49	500	
29	50	515	
30	52	550	
31	54	580	
32	54	580	
33	49	500	
34	53	565	
35	50	515	
36	52	550	
37	50	515	
38	53	565	

Anexo 3

Prueba de resistencia a la compresión uniaxial con esclerómetro de la caracterización 3

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL CON ESCLERÓMETRO			
PROYECTO:	"CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUD DE MACIZOS ROCOSOS EN EL CERRO ZAPOTAL PROVINCIA DE SANTA ELENA"		
TESISTAS:	DOMÍNGUEZ RICARDO SABRINA DOMÉNICA SUÁREZ SUÁREZ NATHALY MERCEDES		
LUGAR:	CERRO ZAPOTAL	ANGULO:	0
COORDENADAS:	549640.1	9741954.9	FECHA: 2023/10/28

No.	MEDICIÓN	EQUIVALENCIA	PROMEDIO
1	22	110	417.97 kg/cm ²
2	40	350	
3	38	320	
4	42	380	
5	50	515	
6	41	370	
7	44	420	
8	48	480	
9	48	480	
10	42	380	
11	50	515	
12	54	580	
13	46	450	
14	50	515	
15	40	350	
16	34	260	
17	40	350	
18	32	238	
19	45	430	
20	48	480	
21	47	465	
22	48	480	
23	34	260	
24	49	500	
25	38	320	
26	35	280	
27	52	550	
28	44	420	
29	47	465	
30	52	550	
31	48	480	
32	40	350	
33	48	480	
34	53	565	
35	50	515	
36	52	550	
37	45	430	
38	33	250	

Anexo 4

Prueba de resistencia a la compresión uniaxial con esclerómetro de la caracterización 4

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL CON ESCLERÓMETRO			
PROYECTO:	"CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUD DE MACIZOS ROCOSOS EN EL CERRO ZAPOTAL PROVINCIA DE SANTA ELENA"		
TESISTAS:	DOMÍNGUEZ RICARDO SABRINA DOMÉNICA SUÁREZ SUÁREZ NATHALY MERCEDES		
LUGAR:	CERRO ZAPOTAL	ANGULO:	0
COORDENADAS:	549640.1	9741954.9	FECHA: 2023/10/28

No.	MEDICIÓN	EQUIVALENCIA	PROMEDIO
1	54	580	520.39 kg/cm ²
2	49	500	
3	50	515	
4	42	380	
5	50	515	
6	53	565	
7	51	530	
8	48	480	
9	53	565	
10	50	515	
11	50	515	
12	54	580	
13	46	450	
14	50	515	
15	44	420	
16	52	550	
17	48	480	
18	53	565	
19	49	500	
20	52	550	
21	50	515	
22	48	480	
23	53	565	
24	53	565	
25	50	515	
26	51	530	
27	52	550	
28	49	500	
29	47	465	
30	52	550	
31	50	515	
32	54	580	
33	49	500	
34	53	565	
35	50	515	
36	52	550	
37	48	480	
38	53	565	

Anexo 5

Prueba de resistencia a la compresión uniaxial con esclerómetro de la caracterización 5

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL CON ESCLERÓMETRO			
PROYECTO:	"CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUD DE MACZOS ROCOSOS EN EL CERRO ZAPOTAL PROVINCIA DE SANTA ELENA"		
TESISTAS:	DOMÍNGUEZ RICARDO SABRINA DOMÉNICA		
	SUÁREZ SUÁREZ NATHALY MERCEDES		
LUGAR:	CERRO ZAPOTAL	ANGULO:	0
COORDENADAS:	549640.1	9741954.9	FECHA: 2023/10/28

No.	MEDICIÓN	EQUIVALENCIA		PROMEDIO
1	48	480	kg/cm ²	479.61 kg/cm ²
2	40	350	kg/cm ²	
3	50	515	kg/cm ²	
4	42	380	kg/cm ²	
5	50	515	kg/cm ²	
6	53	565	kg/cm ²	
7	44	420	kg/cm ²	
8	48	480	kg/cm ²	
9	48	480	kg/cm ²	
10	42	380	kg/cm ²	
11	50	515	kg/cm ²	
12	54	580	kg/cm ²	
13	46	450	kg/cm ²	
14	50	515	kg/cm ²	
15	40	350	kg/cm ²	
16	52	550	kg/cm ²	
17	40	350	kg/cm ²	
18	49	500	kg/cm ²	
19	45	430	kg/cm ²	
20	48	480	kg/cm ²	
21	47	465	kg/cm ²	
22	48	480	kg/cm ²	
23	53	565	kg/cm ²	
24	49	500	kg/cm ²	
25	48	480	kg/cm ²	
26	51	530	kg/cm ²	
27	52	550	kg/cm ²	
28	44	420	kg/cm ²	
29	47	465	kg/cm ²	
30	52	550	kg/cm ²	
31	48	480	kg/cm ²	
32	40	350	kg/cm ²	
33	48	480	kg/cm ²	
34	53	565	kg/cm ²	
35	50	515	kg/cm ²	
36	52	550	kg/cm ²	
37	45	430	kg/cm ²	
38	53	565	kg/cm ²	

Anexo 6

Prueba de resistencia a la compresión uniaxial con esclerómetro de la caracterización 6

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL CON ESCLERÓMETRO			
PROYECTO:	"CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUD DE MACIZOS ROCOSOS EN EL CERRO ZAPOTAL PROVINCIA DE SANTA ELENA"		
TESISTAS:	DOMÍNGUEZ RICARDO SABRINA DOMÉNICA		
	SUÁREZ SUÁREZ NATHALY MERCEDES		
LUGAR:	CERRO ZAPOTAL	ANGULO:	0
COORDENADAS:	549640.1	9741954.9	FECHA: 2023/10/28

No.	MEDICIÓN	EQUIVALENCIA	PROMEDIO
1	54	580	560.66 kg/cm ²
2	52	550	
3	50	515	
4	53	565	
5	53	565	
6	55	600	
7	51	530	
8	54	580	
9	53	565	
10	55	600	
11	52	550	
12	54	580	
13	52	550	
14	51	530	
15	54	580	
16	52	550	
17	54	580	
18	53	565	
19	54	580	
20	52	550	
21	50	515	
22	52	550	
23	54	580	
24	53	565	
25	52	550	
26	51	530	
27	52	550	
28	52	550	
29	50	515	
30	52	550	
31	54	580	
32	53	565	
33	54	580	
34	53	565	
35	55	600	
36	52	550	
37	54	580	
38	53	565	