UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

"EVALUACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO PARA ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD EN UN SECTOR DEL ACANTILADO DE BALLENITA, PROVINCIA DE SANTA ELENA"

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR (ES):

LAINEZ SUAREZ BRYAN WLADIMIR

VELEZ CRUZ ANTHONY ADAN

TUTOR:

ING. CAMPOVERDE CAMPOVERDE DANIEL ROSENDO, MSc.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2025

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

"EVALUACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO PARA ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD EN UN SECTOR DEL ACANTILADO DE BALLENITA, PROVINCIA DE SANTA ELENA"

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR (ES):

LAINEZ SUAREZ BRYAN WLADIMIR

VELEZ CRUZ ANTHONY ADAN

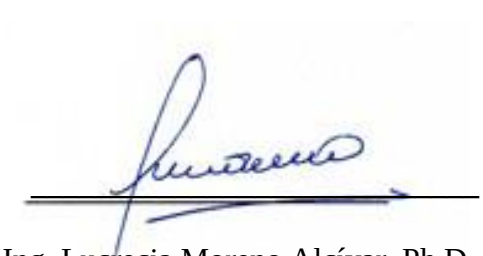
TUTOR:

ING. CAMPOVERDE CAMPOVERDE DANIEL ROSENDO, MSc.

LA LIBERTAD, ECUADOR

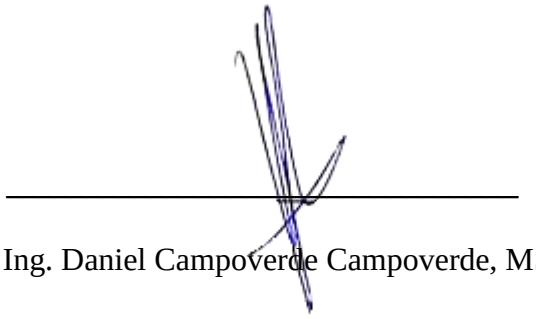
2025

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, Ph.D

DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Daniel Campoverde Campoverde, MSc.

DOCENTE TUTOR

Ing. Luis Pérez Pánchez, MSc.

DOCENTE ESPECIALISTA

Ing. Richard Ramírez Palma, MSc.

SECRETARIO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

El presenta trabajo se lo dedico a mis padres, por ser guías y pilares fundamentales en mi vida, brindándome siempre su apoyo incondicional, sabiéndome inculcar los valores de la responsabilidad y dedicación. A mis hermanos que con ellos aprendí el valor del perdón y la reconciliación. Y a mis amigos con los que aprendí el valor de la lealtad y el compromiso.

Bryan Lainez

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado, en primer lugar a Dios, por permitirme gozar de salud, fortaleza y bienestar, y por guiarme en cada etapa de mi vida. A mis padres, Luis Velez y Liliana Cruz, por su constante apoyo, orientación y sacrificio, pilares fundamentales para alcanzar esta meta profesional y personal. De manera especial, a mi abuelo Adan Cruz, cuyo ejemplo de perseverancia y dedicación ha sido una fuente de inspiración y motivación a lo largo de mi formación.

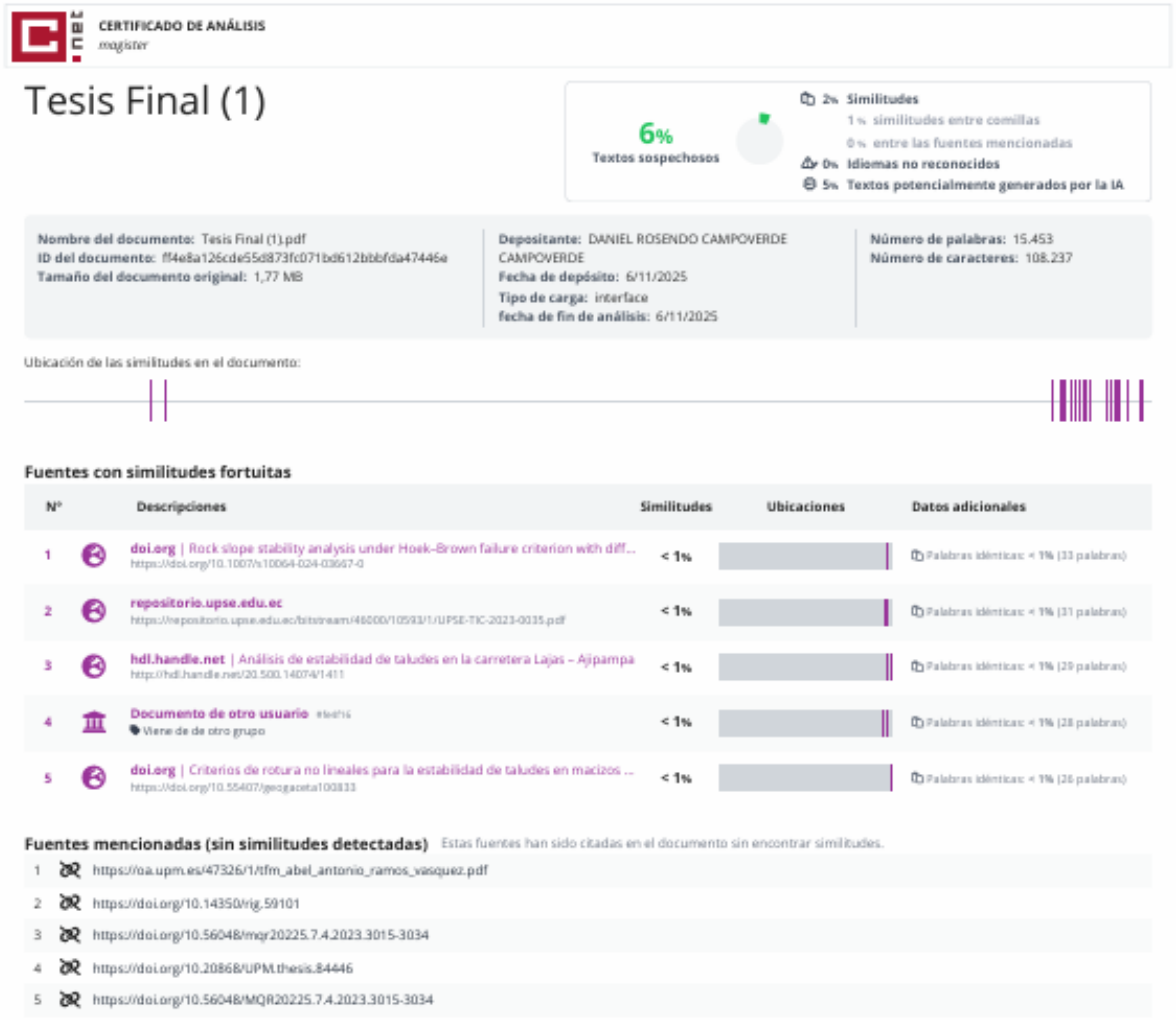
Anthony Velez

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema "**EVALUACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO PARA ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD EN UN SECTOR DEL ACANTILADO DE BALLENITA, PROVINCIA DE SANTA ELENA**" elaborado por los estudiantes **LAINEZ SUAREZ BRYAN WLADIMIR** y **VELEZ CRUZ ANTHONY ADAN**, 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 6% de la valoración permitida.

Ing. Daniel Campoverde Campoverde Msc.
CI.: 0913176541
Docente Tutor

REPORTE SIMILITUD



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Tesis Final (1)

6%
Textos sospechosos

2% Similitudes
1% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
0% Idiomas no reconocidos
5% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: Tesis Final (1).pdf
ID del documento: ff4e8a126cde55d873fc071bd612bbbfda47446e
Tamaño del documento original: 1,77 MB

Depositante: DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE
Fecha de depósito: 6/11/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 6/11/2025

Número de palabras: 15.453
Número de caracteres: 108.237

Ubicación de las similitudes en el documento:

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	doi.org | Rock slope stability analysis under Hoek-Brown failure criterion with diff... https://doi.org/10.1007/s10064-024-03667-0	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
2	repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/10593/1/UPSE-TIC-2023-0035.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
3	hdl.handle.net | Análisis de estabilidad de taludes en la carretera Lajas – Ajipampa http://hdl.handle.net/20.500.14074/1411	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)
4	Documento de otro usuario #be016 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (28 palabras)
5	doi.org | Criterios de rotura no lineales para la estabilidad de taludes en macizos ... https://doi.org/10.55407/geogaceta100833	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1 https://oa.upm.es/47326/1/tfm_abel_antonio_ramos_vasquez.pdf
2 https://doi.org/10.14350/rig.59101
3 https://doi.org/10.56048/mqr20225.7.4.2023.3015-3034
4 https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.84446
5 https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.4.2023.3015-3034

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **LAINEZ SUAREZ BRUYAN WLADIMIR** y **VELEZ CRUZ ANTHONY ADAN** declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado "**EVALUACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO PARA ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD EN UN SECTOR DEL ACANTILADO DE BALLENITA, 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,

Lainez Suarez Bryan wladimir
CI: 0953694197
Autor de Tesis

Velez Cruz Anthony Adan
CI: 2400204927
Autor de tesis

CERTIFICADO DEL TUTOR

Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde MSc.
TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo "**EVALUACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO PARA ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD EN UN SECTOR DEL ACANTILADO DE BALLENITA, PROVINCIA DE SANTA ELENA"**, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, elaborado por el Sr. **BRYAN WLADIMIR LAINEZ SUAREZ** y el Sr. **ANTHONY ADAN VELEZ CRUZ**, 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. Daniel Campoverde Campoverde Msc.
CI.: 0913176541
Docente Tutor

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

CERTIFICO

Que, he revisado el trabajo de Integración Curricular de título: Evaluación geomecánica del macizo rocoso para análisis de estabilidad del talud en un sector del acantilado de Ballenita, provincia de Santa Elena, elaborado por los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Estatal Península de Santa Elena: Lainez Suarez Bryan Wladimir y Velez Cruz Anthony Adan, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Que, he realizado las observaciones pertinentes en los ámbitos de la gramática, ortografía y puntuación del documento, mismas que han sido acogidas proactivamente por los mencionados, corroborando que han sido introducidos los ajustes correspondientes en el trabajo.

Por lo expuesto, autorizo a los peticionarios, hacer uso de este certificado como a bien convengan.

Atentamente,

Lic. Alexi Javier Herrera Reyes
Magíster en Diseño y Evaluación de Modelos Educativos
CC. 0924489255
Registro SENESCYT: 1050-14-86052904
Teléfono: 0962989420

La Libertad, a los 6 días del mes de noviembre de 2025.

X

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por brindarme las fuerzas necesarias para culminar y cumplir con este proceso de titulación, por ser voz y guía frente a adversidades que supieron presentarse en mi vida.

A mis padres, Iván Lainez y Alexandra Suarez, que siempre me supieron apoyar en cada decisión tomada de mi vida, luchando por mi bienestar, mi educación y mi salud, enseñándome a ser honesto, generoso, dedicado y amable, a ellos le debo la vida y agradezco por la clase de persona que soy ahora, espero y anhelo contar con su presencia el resto de mi vida profesional.

A mis hermanos, Ivone Lainez y Raul Suarez, por brindarme fortaleza y motivación de forma incondicional. A mi Primito Yael Suarez, con si inocencia y carisma me ínsita a seguir exigiéndole más a la vida sin importar que difícil sea.

A Ruth Neira, Christyn Mora, Daniel Alava y Joel Rodríguez, por su confianza, lealtad y tiempo brindado en cada momento de mi vida. A las amistades en general que llegue a conocer en cada etapa de la vida.

A mi Tutor, Ing. Daniel Campoverde y al Ing. Gastón Proaño, por compartir sus amplios conocimientos, ser guía y parte de este proyecto con paciencia, dedicación e interés en el tema. A mi Amigo y compañero de Tesis Anthony Velez por ese apoyo y contribución en este importante logro académico.

Bryan Lainez Suarez

AGRADECIMIENTO

A Dios, por permitirme culminar esta etapa de la vida con salud y fortaleza, brindándome la capacidad de superar momentos difíciles y así poder mantenerme firme ante las adversidades presentes en el camino.

A mis padres, Luis Velez y Liliana Cruz, por haberme enseñado el valor del esfuerzo, la perseverancia y la confianza en mis decisiones, por acompañarme con su amor y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

A mis hermanos, Arnold Velez y Karen Velez, por su constante respaldo, compañía y aliento a lo largo de este proceso académico. A mi sobrina Arlette Lindao, por su alegría y cariño, que es una fuente de motivación en los momentos difíciles.

A Tatiana Suárez, mi amiga especial, cuya motivación y entusiasmo inculcaron en mí el interés por seguir la carrera, apoyándome a continuar con determinación y compromiso sin dejarme caer.

Al Ing. Gastón Proaño por su guía, dedicación y paciencia durante el desarrollo del presente trabajo de investigación, así también como a mi compañero y amigo Bryan Laínez con quien compartí este importante logro académico para poder culminar con este proceso.

A Ruth Neira, Micaela Miranda, Nicolle Rodríguez, Gilda Neira y Bianca Tigrero, por su amistad, compañerismo y por todos los momentos compartidos durante nuestra formación universitaria.

Anthony Velez Cruz

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA IV
CERTIFICADO ANTIPLAGIO VI
REPORTE SIMILITUD VII
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....VIII
CERTIFICADO DEL TUTOR IX
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA X
AGRADECIMIENTO XI
INDICE DE FIGURAS..... XVII
INDICE DE TABLAS XVIII
RESUMEN.....XIX
ABSTRACT.....XX
Capítulo I.....21
1. Introducción 21
1.1. Problema de Investigación.....22
1.2. Antecedentes.....24
1.3. Hipótesis 27
1.3.1. Hipótesis General.....27
1.3.2. Hipótesis Especifica.....27
1.4. Objetivos.....28
1.4.1. Objetivos Generales. 28
1.4.2. Objetivos específicos 28
1.5. Alcance 28
1.6. Variables 29
1.6.1. Variables Independientes 29
1.6.2. Variables Dependientes.....29
CAPITULO II 30

2. Marco Teórico 30
2.1. Macizo Rocoso 30
2.1.1. Parámetros 30
2.2. Geología y geomorfología de la zona costera ecuatoriana 31
2.2.1. Geología y geomorfología del sector ballenita 32
2.3. Estabilidad de talud en rocas 33
2.3.1. Factores que Alteran la Estabilidad del Macizo Rocoso 33
2.3.2. Fallas de Taludes en Macizo Rocoso 36
2.4. Caracterización Geomecánica 38
2.4.1. PROPIEDADES 39
2.5. Sistema de clasificación del macizo rocoso 39
2.5.1. Clasificación RMR – Bieniawski 39
2.5.2. Clasificación Q de Barton 40
CAPITULO III 41
3. Metodología 41
3.1. Enfoque Metodológico 41
3.2. Tipo y Nivel de investigación 41
3.2.1. Tipo de Investigación 41
3.2.2. Nivel de Investigación 42
3.3. Localización y Área de Estudio 43
3.3.1. Levantamiento Fotogramétrico 44
3.4. Población y Muestra 44
3.5. Etapas de Estudio 45
3.5.1. Etapa Preliminar 45
3.5.2. Etapa de Campo 46
3.5.3. Interpretación e Integración de Datos 47
3.5.4. Elaboración de Informe 47

3.6. Metodología del OE1: Caracterizar Geológica y Estructural el Macizo Rocoso en el Sector Estudiado Mediante Trabajos de Campo y Análisis de Discontinuidades. 48

3.6.1. Reconocimiento Geológico y Geotécnico.....48

3.6.2. Clasificación y Análisis Geomecánica.....49

3.7. Metodología del OE2: Identificar los Factores Ambientales y la Interacción que Existe con el Macizo Rocoso Relacionando su Influencia en el Proceso de Inestabilidad 50

3.8. Metodología OE3: Valorar Estructuralmente al Macizo Rocoso Mediante un Análisis Geotécnicos, Aplicativos y Modelados para una Adecuada Solución.....51

3.8.1. Software Dips v7.0.....52

3.8.2. Software Rocdata 52

3.8.3. Software Rocplane 53

3.9. Metodología OE4: Proponer Alternativas Técnicas de Estabilización Adecuadas al Entorno Geológico y Ambiental de la Zona Permitiendo Reducir los Riesgos Asociados a la Inestabilidad.....54

3.9.1. Modelado Numérico de Estabilidad.....54

CAPITULO IV:.....55

4. Análisis y Discusión de Resultados 55

4.1. Fase Preliminar 55

4.1.1. Levantamiento Fotogramétrico 55

4.2. Análisis de Resultado OE1: Caracterizar Geológica y Estructuralmente al Macizo Rocoso en el Sector a Estudiar Mediante Trabajos de Campo y Análisis de Discontinuidades.....57

4.2.1. Caracterización C1 58

4.2.2. Caracterización C2 61

4.3. Análisis de Resultado OE2: Identificar los Factores Ambientales y la Interacción que Existe con el Macizo Rocoso Relacionando su Influencia en el Proceso de Inestabilidad. 64

4.3.1. Erosión 64
4.3.2. Subida del Nivel del Mar 65
4.3.3. Factores que Alteran el Perfil Costero 65
4.3.4. Matriz de Riesgo 69
4.4. Análisis de Resultado OE3: Valorar Estructuralmente al Macizo Rocoso Mediante un Análisis Geotécnicos, Aplicativos y Modelados para una Adecuada Solución. 71
4.4.3. Resultados 77
4.5. Análisis de Resultado OE4: Proponer Alternativas Técnicas de Estabilidad Adecuadas con el Contexto Geológico y Ambiental de la Zona que Permite Reducir los Riesgos Asociados a la Inestabilidad 78
4.5.1. Alternativas Principales 78
4.5.2. Alternativas de Apoyo 83
4.5.2.1. Escollera 83
4.5.2.3. Muro de gaviones “malla con recubrimiento” 86
4.5.3. Alternativa de Intervención Inmediata 87
CAPITULO V 89
5. Conclusiones y recomendaciones 89
5.1. Conclusiones 89
5.2. Recomendaciones 90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 92
ANEXOS 97

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Descripción Metodológica del Trabajo de Investigación. 48
Figura 2. Organigrama Metodológica de Caracterización Geológica y Estructural el Macizo Rocoso. 50
Figura 3. Organigrama Metodológico para Modelado 53
Figura 4. Modelo Digital de elevaciones del Área de Estudio. 56
Figura 5. Visualización 3D del acantilado. 56
Figura 6. Formacion rocosa y evidencia de caracterización realizada – Caracterización C1. 58
Figura 7. Formacion Rocosa y Evidencia de Toma de Datos - Caracterización C2. 61
Figura 8. Deterioro del macizo - desprendimiento de bloques y socavación al pie del acantilado. 64
Figura 9. Dirección del Oleaje - Evaluación periodo junio 2024 - mayo 2025 66
Figura 10. Altura de la Ola - Evaluación periodo junio 2024 - mayo 2025 67
Figura 11. Velocidad del viento - Evaluación periodo junio 2024 - mayo 2025. 68
Figura 12. Resgistro fotografico de toma de datos y discontinuidades presentes – Caracterizacion C1. 72
Figura 13. Proyección Estereográfica del Software Dips V7.0 – Caracterización C1 73
Figura 14. Angulo de Fricción del Software Rocdata. 73
Figura 15. Modelación Factor de Seguridad Software Rocplane. 74
Figura 16. Registro fotográfico de toma de datos y discontinuidades presentes – Caracterización C2. 75
Figura 17. Proyección Estereográfica del Software Dips V7.0 – Caracterización C2. 76
Figura 18. Angulo de Fricción del Software Rocdata. 76
Figura 19. Modelación Factor de Seguridad Software Rocplane. 77
Figura 20. Modelación de alternativas para mejorar su FS Software Rocplane de la Caracterización C1. 80
Figura 21. Modelación de alternativas para mejorar su FS Software Rocplane de la Caracterización C1. 81
Figura 22. Referencia de alternativa del uso de Hormigón Proyectado. 83
Figura 23. Referencia de alternativa de escollera. 84
Figura 24. Referencia de alternativa muro ciclópeo 85
Figura 25. Referencia de Alternativa Muro de Gaviones. 87
Figura 26. Ventajas y desventajas del uso de muro de Gaviones 87
Figura 27. Referencia de Solución de Intervención Inmediata 88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros del Macizo Rocoso..... 31

Tabla 2. Factores que Alteran la estabilidad del Talud..... 35

Tabla 3. Sistemas de Clasificación. 38

Tabla 4. Propiedades del Macizo Rocoso 39

Tabla 5. Sistema de Clasificación RMR 40

Tabla 6. Sistema de Calificación Q de Barton 40

Tabla 7. Método RMR Bieniaswki - Caracterización C1. 59

Tabla 8. Método Q de Barton - Caracterización C1. 60

Tabla 9. Método RMR Bieniawski - Caracterización C2. 62

Tabla 10. Clasificación Q de Barton - Caracterización C2. 63

Tabla 11. Dirección del Oleaje - Valor máximo, mínimo y promedio. 66

Tabla 12. Altura de la Ola - Valor máximo, mínimo y promedio..... 67

Tabla 13. Velocidad del Viento - Valor máximo, mínimo y promedio. 68

Tabla 14. Matriz de Riesgo 70

Tabla 15. Buzamientos extraídos de la Caracterización C1..... 72

Tabla 16. Buzamientos extraídos de la Caracterización C2..... 75

Tabla 17. Tabla de comparativa de selección. 79

Tabla 18. Caractacteristicas de anclajes según modelación..... 80

Tabla 19. Caractacteristicas de anclajes según modelación..... 81

Tabla 20. Ventajas y Desventajas del uso de escollera..... 84

Tabla 21. Ventajas y Desventajas del uso del hormigón ciclópeo. 86

“EVALUACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO PARA ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD EN UN SECTOR DEL ACANTILADO DE BALLENITA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”.

Autor: Lainez Suarez Bryan Wladimir; Velez Cruz Anthony Adan.

Tutor: Ing. Campoverde Campoverde Daniel Rosendo MSc.

RESUMEN

Este estudio tiene como finalidad evaluar los factores geomecánicos que alteran la estabilidad del macizo rocoso en un sector determinado del acantilado de Ballenita, provincia de Santa Elena, la litología presente en el lugar está compuesta por unidades geológicas de la formación el azúcar, lo que nos permitió seleccionar dos puntos representativos basándonos en criterios técnicos y visuales que dicho acantilado presenta. Para obtener los resultados se utilizaron los métodos de clasificación geomecánica, RMR propuesta por Bieniaswki y Q de Barton, en el método RMR los valores obtenidos están entre 44 a 60, mientras que en Q de Barton se consiguen valores de 5.24 a 6.67 dando como resultados una calificación Media en ambos métodos aplicados. En el análisis estructural los softwares Dips, RocData y Rocplane, nos permitió identificar mecanismo de falla de tipo planar con factores de seguridad críticos por debajo de los estándares según la NEC. En el análisis de los factores ambientales nos muestra que la erosión marina, la acción de las olas y la socavación progresiva son agentes principales frente al efecto de desestabilización, se proponen alternativas técnicas frente a estos fenómenos permitiendo demostrar una mejoría en el factor de seguridad adecuada para mitigar los efectos desestabilizadores.

Palabras clave: Caracterización Geomecánica, Macizo Rocoso, Erosion costera, Anclaje Activos,

“GEOMECHANICAL EVALUATION OF THE ROCK MASSFOR SLOPE STABILITY ANALYSIS IN A SECTOR OFTHE BALLENITA CLIFF, SANTA ELENA PROVINCE”.

Author: Wladimir Lainez Suarez; Anthony Velez Cruz

Supervisor: Daniel Rosendo Campoverde Campoverde MSc.

ABSTRACT

The purpose og this study isto evaluate the geomechanical factors that alter the stability of the rock mass in specific sector of the Ballenita cliff in the province of Santa Elena. The lithology present at the site is composed of geological units from the El Azúcar formation, which allowed us to select two representative points based on technical and visual criterio present by the cliff. To obtain the results, we used the geomechanical classification methods RMR proposed by Bieniaswki and Q by Barton. In the RMR Method, the values obtained range from 44 to 60, while in Q by Barton, values range from 5.24 to 6.67, resulting in an average rating un both methods applied. In the structural análisis, the Dips, RocData and Rocplane, software allowed us to idenify a planar failure mechanism with critical safety factors below the NEC standards. The Analysis of evironmental factors show that marineerosion, wave action and progressive scouring are the main agents of destabilization. Technical alternatives to these phenomena are proposed, demonstrating an improvement in the safety factor adequate to mitigate the destabilizing effects.

Keywords: geomechanical characterization, rock mass, coastal erosión, active anchors.

Capítulo I

1. Introducción

La estabilidad de los taludes en entornos costeros constituye un componente fundamental dentro de la planificación territorial, especialmente en zonas sujetas a eventos geológicos y climáticos complejos. Según Vanneschi et al., (2022), los taludes de roca natural necesitan una caracterización geológica detallada para evaluar sus condiciones de estabilidad. Estudios recientes en ambientes costeros ecuatorianos han demostrado la degradación agresiva de los taludes rocosos cuya razón obedece a mecanismos combinados debido a la pérdida de resistencia por meteorización, erosión basal diferencial generada por el oleaje y a la activación de planos de debilidad existentes durante períodos lluviosos.

La erosión costera y el retroceso de la línea de costa representan amenazas significativas para las comunidades e infraestructuras situadas en las zonas cercanas a nivel global, especialmente en la costa ecuatoriana. Como dicen Mayra Lucia et al., (2021) los impactos asociados con la morfodinámica de la línea de costa experimentan variaciones significativas en su magnitud debido a cambios en diversos agentes, afectando el desarrollo sostenible de las comunidades cercanas al nivel del mar. La gestión integrada de las zonas marinas y costeras, junto con su caracterización es fundamental para proporcionar las bases técnicas necesarias que apoyen la formulación de políticas públicas y programas específicos destinados a la protección y manejo sostenible de las áreas costeras (Casarín et al., 2014).

Teniendo en cuenta a Cedeño & Méndez, (2022), la erosión costera y el retroceso de la costa constituyen una de las mayores amenazas para las comunidades asentadas en diferentes sectores del litoral ecuatoriano. El análisis del macizo rocoso en Ballenita mediante la determinación de sus características geológicas y parámetros adversos tienen como finalidad diseñar soluciones de estabilidad adecuadas.

El estudio abarcará trabajo de campo y análisis computacionales, con la finalidad de obtener resultados óptimos para evitar la degradación eminente del lugar y proponer soluciones que favorezcan a la comunidad y sus construcciones cercanas.

Para lograr esto, se plantean varios objetivos que abordan diferentes aspectos esenciales del problema. La finalidad de esta investigación es obtener un diagnóstico preciso del estado actual del macizo rocoso situado en Ballenita, identificando las principales causas de inestabilidad y las áreas de mayor riesgo.

Se plantea desarrollar propuestas de mitigación que podrán ser implementadas para mejorar la seguridad y la sostenibilidad de las infraestructuras de la zona. Con el objetivo de caracterizar la calidad del estado macizo rocoso, se aplicarán dos sistemas de clasificación reconocidos, el método Rock Mass Rating (RMR) propuesto por Bieniaswki que permite analizar el comportamiento de las rocas, su composición; y el método Q desarrollado por Barton.

1.1. Problema de Investigación

El Problema de la investigación surge de la incertidumbre cuantitativa respecto al comportamiento mecánico del macizo rocoso en el sector de Ballenita, donde el análisis de estabilidad de taludes rocosos exige como base fundamental la caracterización geomecánica detallada para definir parámetros de resistencia representativa y así modelar los modos de fallos potenciales que se encuentren presentes. La estabilidad del talud está determinada por factores geométricos “altura e inclinación”, factores geológicos estructurales, factores hidrogeológicos y factores geomecánicos relacionados con el comportamiento mecánico del macizo rocoso. Rezky et al., (2021) menciona que, la inestabilidad de una pendiente resulta de la interacción de condiciones geotécnicos inertes y agentes externos desencadenantes.

En la provincia de Santa Elena, específicamente en los sectores costeros, se presentan evidencias morfológicas de procesos de inestabilidad que suelen incluir grietas tensiónales, bloques desprendidos desde su base y una notable sobre excavación basal causada por sus factores ambientales en especial por la acción del oleaje y los eventos sísmicos ocasionales. Briones-Dávila et al., (2023) indica en su artículo que, el retroceso de acantilados y la erosión de la franja litoral en la costa central del Ecuador, constituyen una amenaza crítica para la seguridad de las poblaciones costeras.

En el artículo publicado por Cedeño & Méndez, (2022), indica que, el retroceso diferencial en distintos sectores de la provincia es el resultado de la conjugación de factores físicos y factores condicionantes intrínsecos al macizo rocoso. La erosión en acantilados representa un peligro significativo a través del desprendimiento de rocas pequeñas y eventos de deslizamiento de tierras más extensos; donde la socavación al pie del acantilado se remite por la acción de las olas, las cuales constituyen aún mecanismo principal por el cual los acantilados costeros experimentan procesos de erosión.

Los acantilados presentan sistemas geomecánicos complejos cuya estabilidad está controlada por la interacción entre la estructura geológica del macizo rocoso, las propiedades mecánicas de los materiales constitutivos y los esfuerzos actuantes sobre ello. El efecto de estas fuerzas promueve inestabilidades dinámicas en la corona del banco, dicho proceso se evidencia mediante la formación de grietas en la capa superficial y puede culminar en fallas catastróficas como deslizamientos o desprendimientos de Tierra (Silva et al., 2022).

El sector de Ballenita constituye un caso representativo, donde las combinaciones de estos factores generan un escenario de potencial inestabilidad que requiere una cuantificación rigurosa desde la perspectiva geotécnica. La caracterización geomecánica del macizo rocoso, mediante sistemas de clasificación como (Rock Mass Rating) RMR de Bieniaswki y Método Q de Barton determinaran la calidad del macizo, estos análisis deben ser complementados con

metodologías de análisis numérico y análisis probabilísticos para modelaciones en software y así poder evaluar de alguna manera su estabilidad y denotar posibles riesgos que podrían existir.

La carencia de estudios geotécnicos específicos en el sector de los acantilados de Ballenita, que junto a ellos se combinan la creciente importancia turística y el crecimiento poblacional de la zona, ponen en evidencia la necesidad urgente de desarrollar una evaluación integral que permite caracterizar al macizo rocoso identificando los mecanismos de falla predominantes y generar un criterio técnico para la gestión sostenible de tales recursos costeros, garantizando la seguridad de la estructura ante los procesos de factores que ayudan a procesar su inestabilidad.

1.2. Antecedentes

En el ámbito internacional en Venezuela, de acuerdo con la investigación de Bongiorno et al., (2015), titulado "Evaluación del Riesgo en Desprendimiento y Caracterización Geomecánica de los Taludes Rocosos en el Sector Quebrada del Diablo, Estado Mérida" donde se realizó una evaluación de riesgo de desprendimientos y caracterización geomecánica en taludes rocosos del sector de la quebrada del diablo estado de Mérida empleando métodos empíricos y analíticos para determinar factores de seguridad y establecer medidas preventivas.

Los estudios comparativos han evaluado métodos empíricos aplicados a taludes rocosos, integrando aspectos geológicos y ambientales para mejorar la precisión y explicar la habilidad de diferentes contextos. En su finalidad el siguiente trabajo provee bases metodológicas para evaluar la calidad del macizo rocoso mediante los ensayos metódicos de Bieniawski y Q, impulsa la aplicación de nuevas tecnologías y análisis dinámicos para una mejor comprensión en la estabilidad del talud.

Internacionalmente en el Sur de Italia Daniela et al., (2020) en su investigación titulada "Evaluación de la estabilidad de los acantilados marinos de toba integrando estudios geológicos

y teledetección. Caso práctico de la isla de Ventotene (sur de Italia)" se desarrolló un enfoque integrado para la caracterización geomecánica del acantilado costero realizando investigaciones geotécnicas tradicionales directas y de telecomunicación mediante escáner láser terrestre (TLS) y el procesamiento de datos fotogramétricos proporcionando un modelado tridimensional (3D). Este estudio demanda la importancia de un análisis cualitativo y cuantitativo cuidadoso de la estabilidad del acantilado y así nos permitan de alguna manera abordar mejor la planificación costera y las posibles estrategias de protección de la costa. La información destaca la importancia de aplicar metodologías de análisis geomecánicos que integran observaciones de campo, ensayos de laboratorio y modelados numéricos.

A ámbito nacional Chunga et al., (2020) mediante su investigación titulada "Caracterización geomecánica de taludes de roca basáltica en la costa sur de Ecuador", Indica que la caracterización mecánica de los taludes rocosos basálticos en la costa sur del país específicamente en el cerro San José de cantón Daule donde se evaluaron resistencias universales, discontinuidades y factores de seguridad que sugirieron la necesidad de modificar pendientes para garantizar la estabilidad. El estudio consideró un corte de talud de 32 m dónde se midió la resistencia a la compresión uniaxial de la roca analizando las discontinuidades mediante técnicas de proyección estereográfica y estimación de aceleración sísmica específica para la zona, los parámetros geotécnicos evaluados bajo criterios de Mohr-Coulomb y Hoek-Brown indicaron su ángulo de fricción, su cohesión, la resistencia de la roca intacta y su velocidad de onda P. El análisis mostró que el ángulo actual del talud interactúa de manera desfavorable con las discontinuidades existentes clasificando los taludes como parcialmente estables lo que conllevó a modificar las pendientes del talud, lo que ayuda a incrementar el factor de seguridad y reducir la probabilidad de falla.

En el ámbito local según Malavé & Méndez, (2021) mediante la tesis titulada "Análisis del macizo rocoso por los métodos de Barton y Bieniawski en los acantilados de Ancón"

mencionan que su trabajo incluyó actividades de campo para la obtención de muestras y la caracterización de las propiedades mecánicas del suelo y rocas, complementó sus datos con ensayos de laboratorio realizados según las normas ASTM. La calidad del macizo rocoso fue evaluada mediante los métodos geométricos reconocidos Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski y Q de Barton, Sus resultados indicaron que según su RMR la calidad del macizo rocoso es media, calificándola dentro de la clase III, mientras que el análisis por el método Q de Barton determinó una calidad regular. Para el análisis cinemático de las discontinuidades y la evaluación potencial de deslizamiento se utilizaron software de Rocscience “Dips, RocData y Swedge”, estos que permitieron crear modelos digitales a partir de datos obtenidos en campo facilitando el reconocimiento de posibles mecanismos de falla, así como sus deslizamientos dentro del macizo rocoso.

Las informaciones generadas de la localidad, refuerza la pertinencia al transcurso de esta investigación, orientando la caracterización geotécnica del macizo rocoso y su evaluación de la estabilidad de talud. Los estudios técnicos referente al tema son limitados, debido a la diversas zonas geográficas que la provincia presenta y origina brechas de conocimiento que dificultan la planificación territorial y a la vez la implementación de medidas preventivas ante cualquier riesgo, esta investigación orientada en la caracterización geotécnica del macizo rocoso y la evaluación de estabilidad de talud no sólo permitirá diseñar alternativas de estabilización sino también servirá como referencia para futuras investigaciones enfocadas a sectores cercanos con similitudes geográficas dentro de la provincia

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis General

La caracterización del macizo rocoso costero en Ballenita, basada en la determinación de características geológicas y parámetros ambientales que afecten al talud, permitirá diseñar soluciones efectivas para su estabilidad.

1.3.2. Hipótesis Especifica

HE1: La determinación de las características geológicas y estructurales del macizo rocoso mediante trabajos de campo y análisis de discontinuidades se podrán identificar las condiciones internas que determinan los mecanismos de inestabilidad en el acantilado.

HE2: La consideración de alternativas de estabilización adaptadas al contexto geológico y ambiental permitirán aportar las posibles soluciones para poder reducir los riesgos asociados a la inestabilidad del talud.

HE3: Determinar con exactitud los factores ambientales y las interacciones frente al macizo rocoso nos permitirá establecer la influencia en el proceso de inestabilidad haciendo relevante comprender el grado de fragilidad que existen en la cantidad teniendo en cuenta los agentes externos.

HE4: La evaluación estructural del macizo rocoso mediante análisis geotécnicos, aplicativos y modelados nos permitirá definir soluciones técnicas más precisas y coherentes en referencia a su geografía.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivos Generales.

Analizar los factores geotécnicos y ambientales que podrían incidir en el macizo rocoso en un sector determinado del acantilado de Ballenita con el propósito de reconocer condiciones de inestabilidad y así poder proponer medidas técnicas para su estabilización.

1.4.2. Objetivos específicos

OE.1: Caracterizar geológica y estructuralmente al macizo rocoso En el sector estudiado mediante trabajos de campo y análisis de discontinuidades.

OE.2: identificar factores ambientales y la interacción que existe con el macizo rocoso Relacionando su influencia en el proceso de inestabilidad.

OE.3: Valorar estructuralmente al macizo rocoso mediante un análisis geotécnico, aplicativos y modelados para una adecuada solución.

OE.4: Proponer alternativas técnicas de estabilización adecuadas al entorno geológico y ambiental de la zona permitiendo reducir los riesgos asociados a la inestabilidad.

1.5. Alcance

El estudio se enfocará en la evaluación de la estabilidad estructural del macizo rocoso costeros en Ballenita, provincia de Santa Elena, llevando a cabo la caracterización geológica, estructural y geotécnica del acantilado, así como el análisis de factores ambientales para diseñar soluciones de estabilidad adecuadas. Se realizará un mapeo geológico detallado para identificar las formaciones rocosas y se caracterizará geotécnicamente, junto con la evaluación de

parámetros ambientales que interactúen con el macizo como mareas, precipitaciones y viento para comprender su influencia en la estabilidad. Así mismo se aplicarán técnicas de análisis estructurales empíricos como numéricos para la identificación y evaluación de posibles mecanismos de falla para poder desarrollar propuestas de estabilización.

La investigación se limita al área del acantilado seleccionada como sector de estudio debido a la geografía del lugar, comparada con toda la franja costera de la provincia, los resultados del levantamiento y análisis de datos nos permitirá elaborar posibles técnicas de estabilidad acordes a las condiciones geologías y ambientales del lugar.

1.6. Variables

1.6.1. Variables Independientes

Características estructurales, geológicas y ambientales del macizo rocoso.

1.6.2. Variables D*ependientes*

Estabilidad de talud en el sector del acantilado de Ballenita.

CAPITULO II

2. Marco Teórico

2.1. Macizo Rocoso

El macizo rocoso está constituido por la matriz rocosa y su sistema de discontinuidades, presenta un carácter heterogéneo y un comportamiento mecánico discontinuo y anisótropo (Ferrer & González de Vallejo, 2007). El macizo rocoso de un acantilado actúa como un sistema complejo cuya resistencia y estabilidad depende no sólo de la propiedad intrínseca de la roca sino también de las condiciones externas como la actividad sísmica ya la actividad hidrometeorológica.

El macizo rocoso es un tema central en la geotecnia ya que las fallas en taludes rocosos suelen estar asociadas a la orientación y características de las discontinuidades más que a la resistencia intacta de la roca, el estudio implica una comprensión profunda tanto de su comportamiento geotécnico del material rocoso como de las condiciones ambientales que pueden alterar su resistencia y equilibrio (Ramírez & Monge, 2004).

2.1.1. ***Parámetros***

Los parámetros del macizo rocoso incluyen propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y cohesión, la interacción entre discontinuidades y material sólido define su desempeño estructural, el comportamiento mecánico depende tanto de las propiedades intrínsecas del material como la disposición y características de estas discontinuidades. (Huang et al., 2024) considera que la determinación correcta de los parámetros propios de la mecánica de roca es un prerrequisito esencial para una evaluación confiable de la calidad del macizo rocoso otorgando así una base técnica sólida para el diseño y la práctica en la geotecnia.

Tabla 1.
Parámetros del Macizo Rocoso

COMPONENTES	PROPIEDADES
El macizo rocoso principalmente incluye a la roca intacta y las discontinuidades que lo atraviesan, cada sección posee propiedades físicas y mecánicas particulares que influyen en su comportamiento.	Comprender la resistencia a la compresión simple, el módulo de elasticidad, la porosidad y el grado de meteorización, nos ayudará a determinar la capacidad de carga y la estabilidad frente a los esfuerzos propios o inducidos.

2.2. Geología y geomorfología de la zona costera ecuatoriana

La región costera del Ecuador se extiende desde la frontera colombiana en la provincia Esmeralda hasta el límite con Perú en la provincia de El Oro, abarcando las provincias de Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Guayas y el Oro. La zona costera este técnicamente activa debido a la cercanía con la zona de subducción de la placa de nazca y la placa Sudamericana lo que influye es su geología, en su relieve y en el peligro geodinámico.

La zona costera ecuatoriana se caracteriza por la presencia de fragmentos de la meseta oceánica caribeño, solidificados al perfil sudamericano durante Cretácico y el Eoceno (Kerr et al., 2002). También se suelen encontrar materiales consolidados, así como materiales no consolidados lo cual es crucial para el análisis de estabilidad de taludes costeros, los sedimentos marinos terciarios en la etapa de oligoceno y mioceno son las areniscas, limonitas, margas y arcillas calcáreas.

Geomorfológicamente el litoral ecuatoriano presenta una diversidad de ambientes que incluyen planicies, sistemas estuarios, terrazas marinas elevadas y acantilados activos. Nativí-Merchán et al., (2021) indican que los procesos activos de la erosión costera, los deslizamientos

y la redistribución de sedimentos y algunas áreas experimentan un retroceso significativo debido a factores naturales y antrópicos.

La deformación vertical en las costas ecuatorianas está asociadas a un proceso de convergencia entre las placas de nazca y sudamericana las cuales vinculan a la subducción de irregularidades topográficas submarinas por la concurrencia de la cordillera submarina de nazca, Carnegie y cocos (Gutscher et al., 1999). Se han identificado fallas geológicas locales debido al desplazamiento limitado, así como fracturas sub verticales asociadas a esfuerzos tectónicos previos en estas estructuras rocosas influye en la infiltración de agua la formación de planos de debilidad y la evolución geomorfológica de los acantilados.

2.2.1. Geología y geomorfología del sector Ballenita

En el sector Ballenita provincia de Santa Elena presenta una geología caracterizada por formaciones sedimentarias marinas y continentales predominante del mioceno al pleistoceno, su estratigrafía incluye areniscas, lupitas, limonitas, conchuelas y rocas biotécnicas tal como se describe en la formación tablazo-pleistoceno compuesta por areniscas calcáreas de grano fino a medio con grava asociadas a terrazas marinas (Instituto Geográfico Militar (IGM), 2012).

Hoy la geomorfología de la roca en el acantilado de Ballenita se pueden visualizar retrocesos localizados, plataformas de abrasión y nichos erosivos. Las características observables en las mesas marinas y planicies costeras suelen ser formados por la erosión marina junto a acantilados afectados por la socavación y erosión vertical en áreas como playa rosada y punta petróleo (Collot et al., 2009).

2.3. Estabilidad de talud en rocas

La estabilización de talud dependerá del equilibrio entre las fuerzas que mantiene la roca dependiendo su fuerza resistente y aquellas que tienden a desplazar el material bajo presiones desestabilizadoras. Cuando las fuerzas superan a las resistencias se producirá una falla del talud lo que puede generar un deslizamiento o un colapso. La influencia de esta se puede clasificar en diversos factores los cuales suelen ser estos naturales o antrópicos y en casos excepcionales muchas veces estas fuerzas actúan de forma combinada.

La estabilidad de taludes dependerá de la interacción compleja entre múltiples factores, dado que pueden comprender y analizar los elementos dentro del contexto geológico, ambiental y social, fundamentales para predecir el comportamiento del terreno y proponer soluciones eficaces para la disminución y el control de riesgos (Rodriguez, 2025).

La investigación considera el equilibrio entre fuerzas estabilizadoras como el peso propio del material, la cohesión del suelo y las fuerzas desestabilizadoras como el empuje de agua, vibraciones o cargas externas, el análisis en la estabilidad de taludes no sólo reside en la importancia técnica sino también social y económica al ser evaluados proponiendo medidas de mitigación (Gonzalez, 2015).

2.3.1. Factores que Alteran la Estabilidad del Macizo Rocoso

Los acantilados son estructuras geológicas complejas en los que interactúan diversos factores internos como externos, en particularidad los acantilados presentan un alto riesgo de fallas geotécnicas, las cuales se encuentran sometidas a una combinación de factores naturales y antrópicos que alteran su equilibrio estructural. Alcántara Ayala, (2000) menciona que el

constante monitoreo, el análisis y la gestión adecuada de estos factores permitirán prevenir y mitigar el riesgo de fallas en laderas.

Los factores más influyentes son los geológicos los cuales dependen de las propiedades Litológicas y estructurales del terreno, los factores climáticos relacionados con la variabilidad de precipitaciones y temperaturas, los factores hidrológicos asociadas a la infiltración del agua y el cambio del nivel freático, los factores antrópicos resultantes de la actividad humana la cual modifica la naturalidad del terreno (Sobarzo et al., 2011).

La identificación y análisis de los factores que alteran la estabilidad de los taludes se convierten en un componente esencial de cualquier estudio geotécnico y así también de la gestión de riesgos geológicos, la comprensión de esta interacción es clave para diseñar estrategias de mitigación efectivas que no sólo reduzcan los riesgos de desastres naturales, sino que también promuevan una gestión sostenible del territorio costero (Borja Bernal, 2024).

Tabla 2.
Factores que Alteran la estabilidad del Talud.

FACTORES	TIPOS	COMPOSICION
Intrínsecos	Geológicos	- Mitología, mineralogía, discontinua geológica, meteorización.
	Geomorfológico	- Pendiente y altura de talud, forma del talud y morfología del terreno.
	Hidrológico	- Presión de poros, infiltración prolongada o mal, fracturación del nivel freático, socavación hídrica.
Extrínsecos	Climáticos y ambientales	- Precipitaciones intensas, variabilidad térmica, erosión marina.
	Sísmico	- Sismicidad costera.
	Antrópico	- Deforestación, mal drenaje, construcciones zona en riesgo, excavación ilegal.

2.3.2. ***Fallas de Taludes en Macizo Rocoso***

Debido a su geografía, las fallas en esta zona se producen cuando la resistencia de la roca y sus discontinuidades son superadas por los esfuerzos actuales, generando desprendimientos o desplazamientos de la masa, este proceso suele estar asociado a condiciones geológicas, geométricas, hidrológicas y ambientales que alteran al macizo (Melentijević et al., 2024).

Las discontinuidades como diaclasas, fracturas y planos de estratificación son las principales condiciones de la estabilidad, orientando su estructura con respecto al talud determinan los posibles modos de falla. Estas se producen principalmente debido a una serie de factores geológicos, climáticos, hidrológicos y antrópicos que afectan la estabilidad del terreno. Los acantilados costeros son principalmente vulnerables debido a la acción constante del oleaje, la erosión marina, los cambios climáticos, fallas o zonas sísmicas y la actividad humana.

La inestabilidad de los acantilados en la zona costera es un fenómeno complejo que involucra múltiples factores de riesgo de magnitud naturales o antrópicos, el análisis de sus factores debe ser realizado bajo una perspectiva integral, considerando tanto las características geológicas y las geomorfológicas del terreno debido a que su estudio de las condiciones climáticas es crucial, implementando monitoreos constantes y modelados predictivos que permitan anticipar posibles fallas (Rahman et al., 2023).

2.3.2.1. ***Rotura en Cuña***

Este tipo de rotura ocurre cuando dos o más discontinuidades se intersecan y forman un bloque prismático que puede deslizarse a lo largo de su línea de intersección, la estabilidad dependerá de la inclinación de la línea de encuentro respecto a la pendiente del talud, dado que

este tipo de fallas es más común en un macizo fracturado con sistemas de diaclasas bien definidos (Melentijevic, 2005).

Estas rupturas pueden presentarse en sectores donde la intersección de grietas y planos de estratificación suelen orientarse hacia el mar facilitando el movimiento del prisma hacia el frente del acantilado.

2.3.2.2. Rotura Planar

Esta condición se produce cuando una masa rocosa se desliza sobre un plano de discontinuidad paralelo o su paralelo a la pendiente del talud, debido a que la pendiente del talud es mayor a su ángulo de fricción de la superficie de discontinuidad, lo que reduce su factor de seguridad y favorece al desplazamiento (Navarro et al., 2024).

Este proceso es relevante en sectores donde la estratificación sedimentaria se dispone en dirección similar al talud facilitando el desprendimiento de capas enteras de roca, debido a su resistencia al corte a lo largo del plano y de su inclinación con respecto a la horizontal.

2.3.2.3. Rotura por Volcamiento

Esta ruptura se caracteriza por el giro o inclinación progresivo del bloque rocoso hacia adelante dada a la disposición de las discontinuidades sub verticales, estas suelen producirse cuando el centro de gravedad del bloque se desplaza fuera de la base de apoyo, favorecido por cargas externas como vibraciones sísmicas o a la erosión en la base del acantilado (Vázquez, 2017).

Este proceso es común en taludes con diaclasas abiertas o debilitadas por un proceso de meteorización, dado que este representa un riesgo significativo en los tramos donde los bloques

sedimentarios se encuentran fracturados y en posición superficial, lo que facilita su inestabilidad frente a la acción de oleaje.

2.4. Caracterización Geomecánica

La caracterización Geomecánica es el proceso de obtención, análisis e interpretación de datos sobre las propiedades físicas, mecánicas y estructurales del macizo rocoso, este proceso integra la observación y toma de datos in situ y al análisis de antecedentes geológicos para poder seguir un patrón y entender el comportamiento del macizo, utiliza métodos como clasificación RMR y GSI (Mandaglio, 2024).

La correcta caracterización del macizo rocoso nos permitirá seleccionar diseños de sostenimiento y medidas preventivas frente a deslizamientos o colapsos, lo que aumenta el riesgo debido a su proximidad al mar y la acción de la erosión marina acelera la degradación del macizo rocoso, la aplicación de técnica geofísicas completa la caracterización, mejorando a precisión en entornos complejos (Noori et al., 2023).

Tabla 3.
Sistemas de Clasificación.

METODOLOGIA	DESARROLLADO	CARACTERÍSTICA
Rock Quality Designation	Deer, 1967	Mide la calidad de un macizo a través de a fracturación.
Rock Mass Rating	Bieniawski 1973	Asigna índice que refleja la calidad de la roca.
Índice Q	Barton, Lien y Lunde, 1974	Clasifica y evalúa la calidad la masa de la roca.
Índice GSI	Evert Hoek 1994	Evalúa la resistencia y deformabilidad de la roca

2.4.1. ***Propiedades***

El siguiente criterio permitirá identificar su litológica para poder obtener los parámetros pertinentes como la resistencia, su deformabilidad, su permeabilidad y el grado de alteración existente. Este indicador permitirá dar forma a la base para evaluar la estabilidad frente a esfuerzos naturales o inducidos.

Tabla 4.
Propiedades del Macizo Rocoso

PROPIEDADES	
Físicas	- Densidad, porosidad, grado de meteorización y contenido de humedad.
Mecánicas	- Resistencia a la compresión, resistencia al corte y módulo de elasticidad.
Estructurales	- Espaciamiento de diaclasas, persistencia, apertura, relleno y rugosidad.

2.5. Sistema de clasificación del macizo rocoso

2.5.1. *Clasificación RMR – Bieniawski*

El sistema de clasificación (Rock Mass Rating) RMR, desarrollado por Bieniawski en 1973 y modificada en 1976, 1979, 1984 y 1989, evalúa la calidad y la estabilidad del macizo rocoso relacionando el índice de calidad con los parámetros geotécnicos presentes (Alvarado, 2020).

El índice RMR clasifica la calidad de la roca, los califica dependiendo de la sumatoria final, determinándola desde muy mala hasta muy buena (0-100), esta se realiza mediante los parámetros como: la Resistencia a la compresión, Índice RQD, espaciamientos entre juntas, condiciones de la diaclasas y condiciones hidrogeológicas.

Tabla 5.
Sistema de Clasificación RMR

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

Tomada de (Ramírez & Alejandro, 2004)

2.5.2. ***Clasificación Q de Barton***

Este sistema desarrollado por Barton, Lien y Lunde en 1974, determina la calidad del macizo mediante el valor Q estimado desde un mapeo superficial, hasta una excavación posterior, basándose en la cantidad y tamaño de las fracturas presentes, la rugosidad y alteraciones en sus discontinuidades, cambio y disponibilidad de agua subterránea. Los valores para su clasificación van desde excepcionalmente mala hasta excepcionalmente buena (0.001 – 1000)

Tabla 6.
Sistema de Calificación Q de Barton

Clasificación	Valores Q
Excepcionalmente Malo	0.001 – 0.01
Extremadamente Malo	0.01 – 0.1
Muy Malo	0.1 – 1
Malo	1 - 4
Medio	4 – 10
Bueno	10 – 40
Muy Bueno	40 – 100
Extremadamente Bueno	100 – 400
Excepcionalmente Bueno	400 – 100

Tomado de (Ramírez & Alejandro, 2004)

CAPITULO III

3. Metodología

3.1. Enfoque Metodológico

Empleando herramientas de clasificación geotécnica y métodos de análisis cinemáticos con el fin de determinar las condiciones de estabilidad del macizo rocoso en una zona específica del acantilado de Ballenita.

- El modelo empírico se basa en la observación directa hacia el macizo rocoso y la recolección de datos tomados in situ.
- El modelo analítico suele implicar el manejo y el análisis te datos que se obtienen mediante la medición realizada en campo.

3.2. **Tipo y Nivel de investigación**

El principio de la investigación es crucial dado que ayuda a definir desde un inicio qué tipo de estudios que se realizará y hasta qué nivel se profundizará, esta decisión no es solo un formalismo académico, sino que determina como se aborda el problema de estudio y valora sus variables.

3.2.1. ***Tipo de Investigación***

La investigación es aplicada debido a que no se limita en generar conocimiento, sino que resume un problema concreto “la inestabilidad además rocosa en el acantilado de Ballenita”, y permitirá que los resultados no se quedarán en el ámbito teórico, sino que tendrán aplicaciones prácticas en propuestas de estabilización.

Su propósito busca utilizar los conocimientos técnicos y teóricos para así poder resolver un problema practico como la evaluación del macizo rocoso y la relación existente frente a la estabilidad. Busca enfocar la generación de teorías que tienen como fin brindar soluciones concretas que puedan ser utilizadas en planes de mitigación, obras de estabilización o manejo de riesgos geológicos en la zona de estudio.

Desde el punto de vista de su enfoque la investigación combina un componente cuantitativo presente en el uso de clasificación geomecánica, así mismo como un componente cualitativo asociado al análisis de la litología, su estructura geológica, sus condiciones de meteorización geometría de alta luz y su mecanismo de falla.

3.2.2. ***Nivel de Investigación***

El nivel de esta investigación es descriptivo y aplicativo, dado que caracterizará las propiedades litológicas, estructurales y ambientales frente al macizo, se establecerá una relación entre los factores internos y externos que afectan la estabilidad del talud, permitiendo comprender los mecanismos de falla y proponer soluciones fundamentadas.

De acuerdo con la profundidad del análisis y sus variables empleadas que estén alineadas con las investigaciones técnicas de alto rigor que no sólo buscan entender el problema sino también ofrecer resultados que puedan aplicarse en la práctica y los objetivos planteados, éste se ubica en nivel descriptivo y explicativo, asegurando que cada etapa desde la recolección de datos hasta su análisis cumpla con los estándares necesarios para que las conclusiones sean confiables y útiles.

3.2.2.1. Nivel Descriptivo

Busca incluir descripciones litológicas, condiciones estructurales, propiedades mecánicas, clasificación y determinación del parámetro geotécnico dado que es fundamental para documentar el estado actual del talud y el tipo de macizo que lo compone.

3.2.2.2. Nivel Explicativo

En esta fase se aplicarán análisis cinemáticos y modelos teóricos que permiten inferir mecanismos de falla y proponer medidas de estabilización, el entorno explicativo relaciona el comportamiento mecánico del macizo rocoso y la interacción con los factores geomorfológicos y climáticos del entorno.

3.3. Localización y Área de Estudio

El área de estudio de la presente investigación se localiza en un tramo específico del acantilado de Ballenita, ubicado dentro del cantón Santa Elena de la región litoral del Ecuador, esta zona es reconocida por su geografía costera accidentada y caracterizada por la presencia de acantilados rocosos que emergen abruptamente desde el nivel del mar, las cuales conforman un sistema natural de taludes verticales o semi verticales que bordean gran parte del perfil costero, el sitio ha sido seleccionado estratégicamente debido a su importancia geotécnica y geodinámica así como por su cercanía a zonas urbanas y turísticas lo que potencializa el riesgo asociado a inestabilidades del terreno.

Desde el punto de vista geológico el área forma parte de la unidad geológica denominada formación El Azúcar, la cual aflora ampliamente en el sitio estudiado. Esta formación compone predominantemente de rocas sedimentarias de origen marino incluyendo Areniscas, conglomerados y lutitas.

3.3.1. Levantamiento Fotogramétrico

Te levantamiento fotogramétrico integra una herramienta moderna para la obtención de información precisa del relieve y la geometría del acantilado. La aplicación en este estudio permite complementar los datos estructurales y geotécnicos mediante la generación de modelos digitales que presentan fielmente la morfología y el estado actual del macizo rocoso.

El levantamiento se realiza mediante vuelos programados con un dron DJI tipo multirrotor, equipado con una cámara de alta resolución, se planifican trayectorias de vuelo longitudinales a una altura de 60 m garantizando una cobertura completa de la superficie del acantilado, las imágenes que se obtienen serán geo referenciadas. Combinan precisión geométrica, registro visual y análisis espacial, elementos indispensables para una evaluación geotécnica integral del macizo rocoso.

3.4. Población y Muestra

La población de ese estudio está constituida por el conjunto de unidades geológicas que conforman el macizo rocoso de la cantidad de Ballenita, incluyendo tanto los materiales litológicos visibles en superficie como aquellos que se extienden en profundidad y que intervienen estructuralmente en la conformación del talud en este sentido la población incluye en todas las formaciones litológicas presentes.

Dentro de esta población geológica se ha definido una muestra representativa que corresponde a un tramo delimitado del acantilado, cuya selección ha sido realizada bajo criterio técnico, fue elegido debido a la presencia de afloramientos rocosos bien expuestos y la facilidad de acceso para la ejecución de levantamiento de campo y muestra, pues contiene los elementos litológicos, estructurales y morfo dinámicos que gobiernan la estabilidad del conjunto del acantilado. Su estudio permite proyectar inferencias razonables sobre el comportamiento de

otros sectores similares dentro del perfil costero con el fin de proponer medidas de mitigación y planificación territorial sustentadas en datos geotécnicos confiables.

3.5. Etapas de Estudio

La metodología que se emplea detalla las etapas, procedimientos y enfoques aplicados en el desarrollo de la investigación, garantizando la coherencia entre los objetivos, sus hipótesis y resultados que se espera obtener. Su descripción metodológica se sustenta mediante el enfoque cuantitativo descriptivo y explicativo, orientando al análisis de las condiciones geológicas, geotécnicas y ambientales que influyen en la estabilidad del macizo rocoso del acantilado en Ballenita.

El estudio se desarrolló bajo un diseño no experimental debido a que los datos fueron obtenidos en un período determinado sin manipular las variables de forma directa limitándose a la observación y análisis de las condiciones naturales del terreno.

3.5.1. ***Etapa Preliminar***

La primera etapa de esta investigación corresponde a la fase preliminar, la cual comprende una serie de actividades esenciales para garantizar el cumplimiento de los objetivos propuestos, esta fase busca recopilar, analizar y organizar la información necesaria que permita establecer una base sólida para el desarrollo metodológico posterior.

Se realizará una revisión de información existente relacionada al estudio referente al tema de investigación asociada con la caracterización geotécnica y la estabilidad de taludes costeros en la provincia de Santa Elena. Este análisis símil facilitara la identificación de metodologías que podrían ser aplicadas y que podría contribuir a la optimización del alcance de los objetivos ya definidos.

Paralelamente, se planifican visitas técnicas de reconocimiento al área de estudio, las cuales permiten una visión general de las condiciones geológicas, ambientales y de accesibilidad del terreno. Dada la influencia de las mareas y el limitado tiempo de ingreso a esta zona costera se organizó un levantamiento fotogramétrico preliminar con el propósito de realizar un reconocimiento visual detallado y seleccionar puntos estratégicos para la toma de datos estructurales y geotécnicos.

Finalmente, la elaboración de un cronograma de actividades, se establecen las fases dl trabajo que se realizarán en campo, los instrumentos técnicos necesarios y las posibles fechas tentativas para cada actividad. La planificación nos permite asegurar un desarrollo de la investigación ordenado y eficiente para el proyecto, optimizando el uso del tiempo y garantizando el seguimiento entre las fases preparatorias junto a las etapas posteriores de evaluación, modelación y resultados.

3.5.2. ***Etapa de Campo***

En esta parte de la investigación se realizaron recorridos in situ para poder observar detalladamente la calidad del acantilado, en las visitas se recopilaron dato en puntos estratégicos con la finalidad de verificar las características geotécnicas y geomecánicas del macizo. Durante el recorrido se identificaron las unidades litológicas predominantes, sus estructuras internas y las discontinuidades que condicionan la estabilidad del talud. Se hizo uso de instrumentos de medición como la brújula geológica tipo Brunton, GPS, Esclerómetro, herramientas de medición y la libreta de campo.

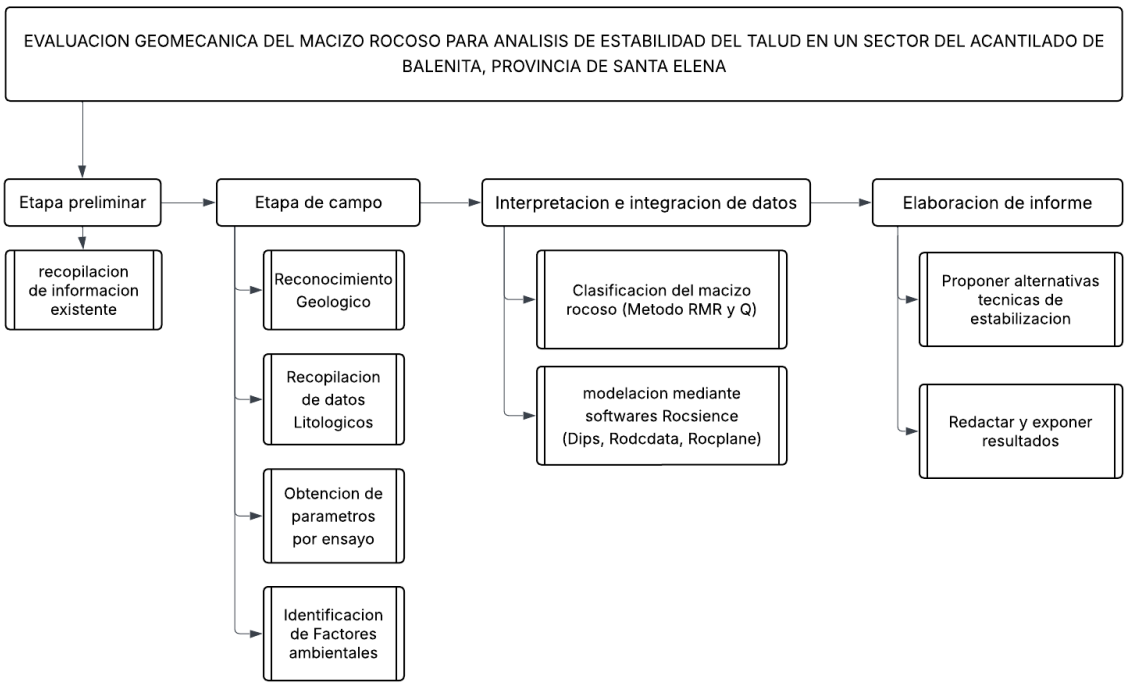
3.5.3. ***Interpretación e Integración de Datos***

Aplicando metodologías de clasificación geomecánica reconocidas como el ensayo RMR (Rock Mass Rating) y el sistema Q, permiten cuantificar la calidad del macizo rocoso. Los parámetros obtenidos fueron utilizados en los softwares de Rocscience (Dips, Rocdata, Rocplane), para poder modelar las posibles fallas presentes mediante la obtención de datos recopilados en campo. Esta evolución permite determinar los factores de seguridad y para poder establecer el nivel de estabilidad general talud.

3.5.4. Elaboración de Informe

Se integrarán los resultados de las anteriores fases para poder elaborar un diagnóstico integral sobre la estabilidad del macizo rocoso, se correlacionaban los factores estructurales, no los factores ambientales y los factores de geotécnicos, este análisis nos permitirá validar las hipótesis planteadas generando conclusiones que sirvan como base para la gestión y la mitigación de los riesgos geológicos presentes.

Figura 1.
Descripción Metodológica del Trabajo de Investigación.



3.6. Metodología del OE1: Caracterizar Geológica y Estructural el Macizo Rocoso en el Sector Estudiado Mediante Trabajos de Campo y Análisis de Discontinuidades.

La recolección de datos constituye la fase fundamental para evaluar la estabilidad del macizo rocoso ya que ésta proporcionará la información necesaria para los análisis posteriores. El proceso de esta fase se estructura en trabajo de campo que incluye la caracterización geológica y geotécnica in situ.

3.6.1. ***Reconocimiento Geológico y Geotécnico***

Esta parte de la geología nos permite conocer las condiciones generales del macizo rocoso iniciando esta fase del estudio, permitiendo reconocer la naturaleza física y los elementos que condicionan su comportamiento mecánico, la metodología del estudio inicia con un mapeo geológico detallado que incluye la identificación de las unidades litológicas

predominantes como Conglomerado, Areniscas y Lutitas, su relación de contacto y presencia de estructuras tectónicas, todo esto datos dependerá de su distribución y relación presente en el área de estudio.

La identificación de estructuras geológicas, como fallas y estratificación son cruciales ya que estas discontinuidades pueden controlar la estabilidad del macizo, mediante la observación directa en su recorrido sistemático se registran sus buzamientos, dirección de diaclasas, separación de diaclasas, persistencia y relleno de discontinuidades si llegase a tener, se emplea el uso de instrumentos de medición mediante una brújula geológica tipo Brunton, Cinta métrica y GPS, los datos obtenidos se registraran en una libreta de campo o con fotografías geo referenciales que documenten las características principales del macizo rocoso.

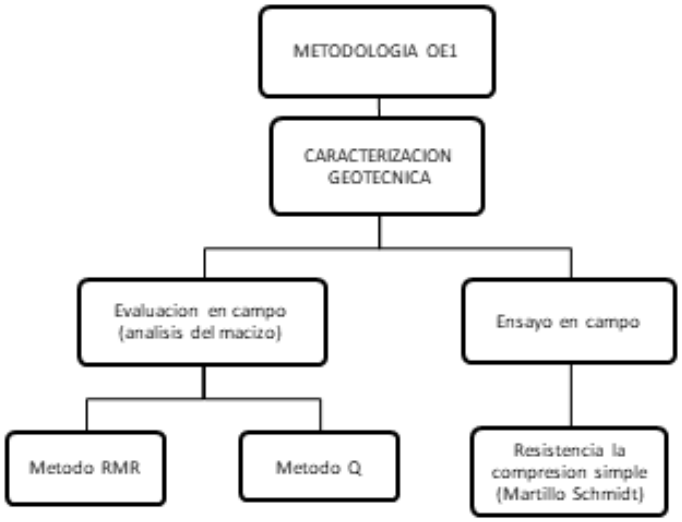
Los datos estructurales obtenidos permitirán inferir en los posibles mecanismos de inestabilidad del talud proporcionando una base para su evaluación geotécnica y modelados posteriores.

3.6.2. ***Clasificación y Análisis Geomecánica***

Completada la fase de reconocimiento geológico y su obtención de datos, se procederá a una evaluación geomecánica integral del macizo rocoso, mediante sistema de clasificación, ampliamente utilizados en las geotécnica RMR (Rock Mass Rating), el método más empleado ya que permite clasificar la calidad del macizo rocoso en función de 5 parámetros principales. Complementariamente se aplicará el sistema de clasificación y calificación Q de Barton, que ayudará suministrando una evaluación más detallada sobre la calidad del macizo rocoso en contextos con las excavaciones subterráneas y taludes. Este método considera el sistema Rock Quality Designation (RQD) que cuantifica el grado de fracturamiento de la roca.

Las mediciones in situ de propiedades mecánicas mediante el uso de un esclerómetro ayudara a estimar la resistencia a compresión simple de la roca a través del rebote de un embolo, así como el grado de meteorización mediante inspecciones visuales y pruebas de dureza utilizando escalas como la propuesta por la ISRM.

Figura 2.
Organigrama Metodológica de Caracterización Geológica y Estructural el Macizo Rocoso.



3.7. Metodología del OE2: Identificar los Factores Ambientales y la Interacción que Existe con el Macizo Rocoso Relacionando su Influencia en el Proceso de Inestabilidad

Este análisis comprende la incidencia de los factores ambientales sobre el proceso de inestabilidad del macizo rocoso considerando su influencia directa e indirecta en la estabilidad estructural del talud. El propósito es comprender la interacción dinámica entre las condiciones climáticas, oceánicas y geomorfológicas del entorno, también busca entender su repercusión en la integridad física y geotécnica del macizo rocoso.

La metodología planteada integra de manera complementaria la recopilación sistémica de información ambiental, la observación técnica de campo y el procesamiento analítico de datos climáticos y oceanográficos. Esta combinación permite establecer una correlación

objetiva entre los factores ambientales predominantes como el oleaje, la velocidad del viento, la altura de las olas y la constante evaluación del nivel del mar frente a las propiedades geotécnicas y estructurales indicando el nivel de incidencia sobre Los mecanismos de erosión meteorización y socavación.

El enfoque metodológico aplicado adoptó un carácter descriptivo - analítico orientado a la identificación, descripción e interpretación de los factores que condicionan la estabilidad del acantilado. Presenta además un carácter correlacional ya que busca determinar la relación funcional entre la acción del oleaje, su dirección, la velocidad del viento y la variación del nivel del mar.

Este método permitirá comprender con mayor precisión como la dinámica ambiental y marina actúa como agente detonante o acelerador de la inestabilidad del acantilado permitiendo aportar información fundamental para el diagnóstico de la vulnerabilidad costera y posterior el planteamiento de las medidas de estabilidad del macizo.

3.8. Metodología OE3: Valorar Estructuralmente al Macizo Rocoso Mediante un Análisis Geotécnicos, Aplicativos y Modelados para una Adecuada Solución.

La evaluación estructural del macizo rocoso, siguiendo la metodología de clasificación geomecánica en la toma de datos con ayuda de una brújula geológica tipo Brunton, permitirá obtener información necesaria tal como como el buzamiento, su dirección y su grado de inclinación, datos necesarios para, por medio de software considere mediante criterios, una viabilidad técnica te estabilización. La información recaudada en campo, nos permitirá realizar un modelado numérico mediante programas de análisis geotécnicos como los softwares de Rocscience (Dips, Rocdata y Rocplane), los cuales ayudarán simulando diferentes condiciones y escenarios de falla.

La interpretacion de los resultados nos permitirá identificar el tipo de fallas presentes en el macizo rocoso y así poder definir las zonas más críticas del acantilado, a este proceso se le sumará la información estructural y geotécnica para que pueda establecer un diagnóstico técnico y confiable frente a la estabilidad del macizo.

3.8.1. ***Software Dips v7.0***

Nos ayudará mediante un análisis cinemático de las discontinuidades imposibles deslizamientos encontrados mediante la toma de datos que existen en el macizo rocoso. Se registran datos estructurales que se encuentren presente en el macizo rocoso como la inclinación y dirección de buzamiento, estratos, fallas, dirección e inclinación del talud, las discontinuidades y el ángulo de fricción que se obtiene mediante el uso del software rocdata, colocada la información su procesamiento numérico nos permite determinar los posibles puntos críticos mostrando el tipo de escenario de falla que podría estar presente con los datos recopilados.

3.8.2. ***Software Rocdata***

Permitirá determinar los parámetros geotécnicos, basando su modelación tanto como Mohr Coulomb también con Hoek - Brown mediante la necesidad de parámetros como la resistencia a la comprensión simple la cual se la obtiene mediante el su ensayo del mismo nombre el cual es obtenido usando el instrumento Esclerómetro (martillo Smith), el índice de resistencia (GSI) permitiendo obtener el software por medio de una tabla de valoración que interpreta las condiciones estructurales del macizo mediante sus discontinuidades y la relación entre ellas, su constante de roca intacta dependerá del tipo de roca y su textura, su factor de

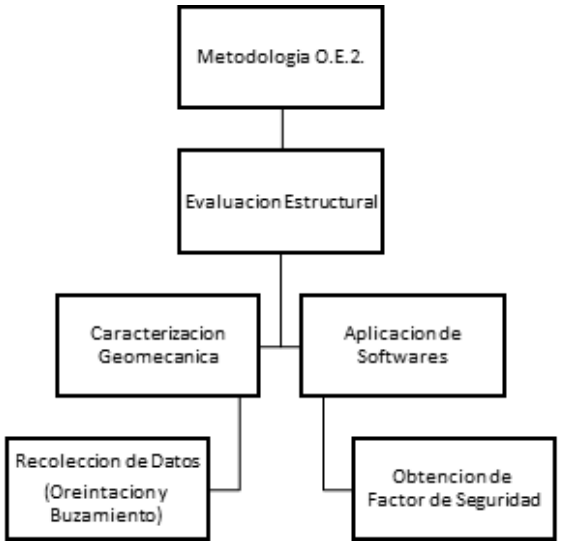
disturbancia se empleara, dependiendo lo que estemos estudiando en este caso taludes y su relación si es natural.

3.8.3. ***Software Rocplane***

Establece la geometría mediante el análisis de taludes de roca podrían presentar fallas planares, este cuenta con dos tipos de modelos analíticos: el probabilístico, que nos permite manejar datos ya conocidos por otras variables aleatorias, y el determinístico que nos va a permitir conocer el factor de seguridad de manera más precisa. Este también facilita la creación, modificación y ejecución de los modelados del talud visualizándolos en 2 D y 3D de manera rápida y eficaz.

El resultado de un análisis de este software se expresa en términos de un factor de seguridad (FS) que representa la relación entre la fuerza resistentes y las fuerzas desestabilizadoras. De acuerdo con la NEC-SE-CM 2013, el factor de seguridad para taludes con agua subterránea normal y coeficiente sísmico de diseño se atribuye un FS mínimo a 1.

Figura 3. *Organigrama Metodológico para Modelado*



3.9. Metodología OE4: Proponer Alternativas Técnicas de Estabilización Adecuadas al Entorno Geológico y Ambiental de la Zona Permitiendo Reducir los Riesgos Asociados a la Inestabilidad.

Esta etapa corresponde a la fase propositiva del estudio donde los datos obtenidos de la caracterización el análisis ambiental la evaluación geotécnica y el uso de los softwares convergen para definir soluciones técnicas de estabilización. Las propuestas se seleccionarán considerando criterios de viabilidad, sostenibilidad y factibilidad adaptando las condiciones geológicas del área de estudiada.

El proceso metodológico incluirá la comparación de los métodos más utilizados en estabilidad de taludes costeros, estas alternativas serán evaluadas en función a su eficacia, durabilidad y niveles de impacto

3.9.1. ***Modelado Numérico de Estabilidad***

Para el software Rocplane V2.0 para el análisis de estabilidad por planear poco, este programa permite modelar la geometría del talud calcular el factor de seguridad (FS) inicial bajo condiciones estáticas y evaluar el impacto de medida de estabilización. La optimización se realizó interactivamente en software Rocplane ajustando los parámetros para minimizar la capacidad requerida mientras se alcanza un factor de seguridad objetivo de por lo menos 1.5 considerando el contexto marino.

CAPITULO IV:

4. Análisis y Discusión de Resultados

4.1. Fase Preliminar

Durante esta fase se realizaron actividades de planificación, levantamiento de información secundaria y reconocimiento visual del sitio estudiar, estas acciones permitieron establecer una visión general de la morfología costera, las condiciones de acceso, la distribución de unidades rocosas y el reconocimiento de los sectores con indicios de inestabilidad. La recopilación de información referente a caracterizaciones geomecánicas junto con observaciones in situ, permitieron definir un marco de referencia adecuado para el desarrollo de las siguientes fases metodológicas. Esta etapa posibilitó identificar los puntos estratégicos donde se concentraron las mediciones estructurales y la forma de registros fotogramétricos optimizando los recursos técnicos y logísticos.

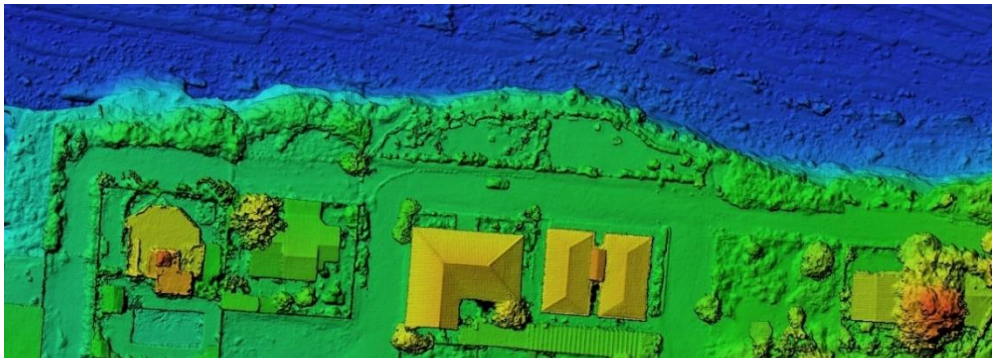
4.1.1. ***Levantamiento Fotogramétrico***

Con las imágenes obtenidas del levantamiento fotogramétrico, se elaboraron modelos 2D y 3D que se representan con alta fidelidad las características geomorfológicas del acantilado. Con la ayuda de un Drone DJI de Rotores cuadricóptero fue posible la obtención del perfil del acantilado, el desarrollo de obras civiles en la parte superior y la geografía del perfil litoral observada en la ***Figura 4.***

El modelo 2D permitió obtener perfiles topográficos, transversales y longitudinales útiles para la estimación del ángulo de inclinación altura del talud y geometría costera en general. A partir de esto se identificaron variaciones en las inclinaciones del talud, zonas de erosión y la geometría general del macizo rocoso. Los perfiles obtenidos revelan pendientes

variables entre 65° y 85°, características de un talud escarpado con evidencias de procesos erosivos activos. Además, se delimitaron los sectores con mayor facturación y desprendimientos lo cual permitió priorizar los puntos críticos para el posterior análisis geotécnicos observables en la imagen ***Figura 5.***

Figura 4.
Modelo Digital de elevaciones del Área de Estudio.



Por su parte el modelado 3D proporcionó una reconstrucción tridimensional realista del macizo rocoso lo que facilita la interpretación espacial de las discontinuidades y la identificación de sectores con mayor susceptibilidad a falla. Este modelado no sólo sirvió como herramienta de diagnóstico sino también como base para proponer alternativas de estabilización permitiéndonos observar el impacto sobre la geometría natural del acantilado.

Figura 5.
Visualización 3D del muro acantilado.

Las fotografías fueron procesadas por el software QTModeler generando nubes de punto, modelos digitales de la superficie y orto mosaicos de alta resolución, este proceso brinda

una visualización integral del talud identificando grietas y zonas de erosión que no son fácilmente observables desde el nivel del terreno.

En la **Figura 5**, se puede observar mediante su proyección los sitios donde se desarrolló la erosión marina de manera agresiva, formando cuevas profundas al pie de la base, se puede diferenciar por las sombras que se generan lo que representa como factores una deformación de caída de materiales, ubicado de la parte superior y lo que representa inestabilidad para las construcciones existentes.

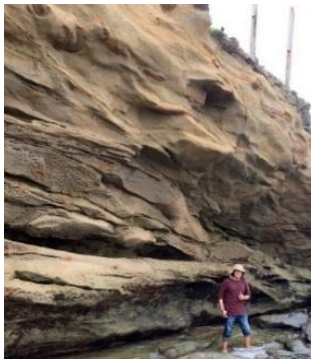
4.2. **Análisis de Resultado OE1: Caracterizar Geológica y Estructuralmente al Macizo Rocoso en el Sector a Estudiar Mediante Trabajos de Campo y Análisis de Discontinuidades**

El análisis de los datos geológicos y estructurales observables determinaron que el macizo rocoso del acantilado en Ballenita está compuesta principalmente por conglomerados, areniscas y lutitas, estas litologías muestran discontinuidades bien definidas que condicionan el comportamiento del talud, sus mediciones estructurales mostraron la presencia de 3 familias principales de discontinuidades con rumbos dominantes y buzamientos variantes, sus orientaciones favorecen a la formacion de fallas planares hacia el frente del acantilado.

4.2.1. ***Caracterización C1***

Con coordenadas UTM WGS84 Zona 17: Norte 688842N; 9757011E, sitio donde se realizó la primera caracterización determinada como punto estratégico dentro de la zona estudiada, el análisis arrojo los siguientes datos que se utilizaron para la calificación del macizo mediante los métodos RMR de Bieniawski y Q de Barton: (Resistencia de la matriz rocosa 22Mpa, RQD 47%, Espaciamiento entre juntas “80 - 90 cm”, Continuidad “4m”, Abertura “15 – 20 mm”, Rugosidad “rugosa Ondulada”, Relleno “N/E”, Grado de Meteorización “más de la mitad descompuesto”, Presencia de agua “Húmedo”).

Figura 6.
Formacion rocosa y evidencia de caracterización realizada – Caracterización C1.



Para la evaluación geomecánica del macizo rocoso, se empleó el método de clasificación propuesto por Bieniawski RMR – Rock Mass Rating, el cual nos permitirá definir de forma sistemática la calidad del macizo rocoso a partir de parámetros estructurales y geotécnicos observados en campo. El resultado obtenido de la caracterización realizada se presenta en la ***Tabla 7***, donde la aplicación de este método proporciona una base cuantitativa confiable para definir la clase de calidad del macizo.

Tabla 7.
Método RMR Bieniaswki - Caracterización C1.

Parámetro de clasificación	Clasificación	Descripción	Puntuación
Resistencia a la compresión simple (MPa)	*5 - 25*	*Blanda*	*2*
Índice RQD (%)	*25 - 50*	*Mala*	*8*
Espaciamiento entre discontinuidades (cm)	*60-200*	*separado*	*15*
continuidad (m)	*3 - 10*	*Continuidad media*	*2*
Abertura	*10 - 100*	*Muy Ancha*	*0*
Rugosidad	*3*	*Rugosa, ondulada*	*3*
Relleno		*nada*	*6*
Grado de meteorización	*Muy meteorizado*	*Mas de la mitad descompuesto*	*1*
Estado general	*0.1 – 0.2*	*Húmedo*	*7*
	∑		*44*

Valoración RMR 44 – "Índice RMR 41-60, Clase III, Calidad Media"

Además, se aplica la clasificación Q de Barton lo que permite evaluar de forma más detallada la calidad del macizo en función de sus parámetros recogidos en campo. El resultado del análisis correspondiente se presenta en la **tabla 8**.

Tabla 8.
Método Q de Barton - Caracterización C1.

Parámetro de clasificación	**Descripción**	**Puntuación**
Índice de la calidad de la roca RQD	*Pobre*	*50*
Índice de diaclasas (Jn)	*Tres familias de diaclasas*	*9*
Rugosidad (Jr)	*Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares*	*3*
Alteración de las fisuras (Ja)	*Planos de discontinuidades inalterados, superficie ligeramente manchada*	*1*
Factor de reducción por agua (Jw)	*Excavaciones secas o pequeñas afluencias inferiores a 5 1/min, de forma localizada*	*1*
Condiciones tensionales de la roca, SRF	*Zonas débiles aislada conteniendo rocas desintegradas químicamente (profundidad de excavación >50m)*	*2.5*
	$Q = \frac{RQD}{Jn} * \frac{Jr}{Ja} * \frac{Jw}{SRF}$	*6.67*

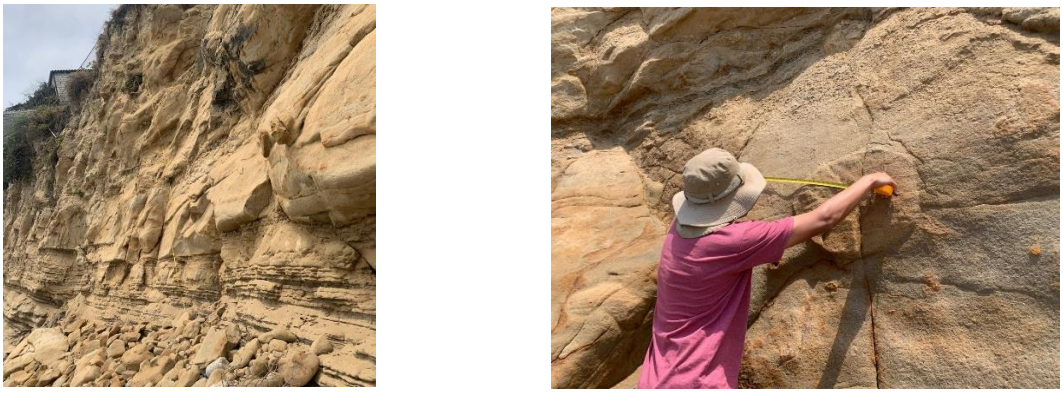
Valoración Q de Barton 6.67 – "4-10 Media"

La caracterización geológica y estructural del macizo rocoso determinó una calidad media, en los métodos RMR de Bieniawski como en el método Q de Barton, muestran coherencias entre ambas clasificaciones. Este resultado indica que el macizo rocoso presenta condiciones estructurales moderadamente estables pero vulnerables ante la acción de agentes erosivos y factores que afecten su estabilidad**.**

4.2.2. ***Caracterización C2***

Con coordenadas UTM WGS84 Zona 17: Norte 688842N; 9757011E sitio donde se realizó la primera caracterización determinada como punto estratégico dentro de la zona estudiada, el análisis arrojo los siguientes datos que se utilizaron para la calificación del macizo mediante el método RMR de Bieniawski y el método Q de Barton. Resistencia a la comprensión simple 26Mpa, RQD 59%, espaciamiento entre juntas “60-98cm”, continuidad “2.5m”, la abertura “0.1 mm”, la rugosidad “suave Ondulada”, relleno “N/E”, Grado de Meteorización “más de la mitad descompuesto”, Presencia de agua “Ligeramente Húmedo”

Figura 7.
Formacion Rocosa y Evidencia de Toma de Datos - Caracterización C2.



En la segunda parte del macizo rocoso se aplique igualmente el método de clasificación RMR de Bieniawski para evaluar las condiciones geomecánicas del macizo considerando sus factores obtenidos en campo, el resultado obtenido se muestra en la T***abla9***.

Tabla 9.
Método RMR Bieniawski - Caracterización C2.

Parámetro de clasificación	Clasificación	Descripción	Puntuación
Resistencia a la compresión simple (MPa)	*25 - 50*	*Moderadamente dura*	*4*
Índice RQD (%)	*50 - 75*	*Regular*	*13*
Espaciamiento entre discontinuidades (cm)	*60-200*	*separado*	*15*
continuidad (m)	*1-3*	*Baja continuidad*	*4*
Abertura	*0.1 – 0.25*	*Cerrada*	*5*
Rugosidad	*2*	*Suave ondulada*	*2*
Relleno		*nada*	*6*
Grado de meteorización	*Muy meteorizado*	*Mas de la mitad descompuesto*	*1*
Estado general	*<0.1*	*Ligeramente húmedo*	*10*
	∑		*60*

Valoración RMR 60 – "Índice: 41-60, Clase: III, Calidad: Media"

Mediante la clasificación Q de Barton se termina su categoría mediante la toma de datos obtenidas in situ, reflejara de calidad del macizo, su calificación resultante se presenta en la ***Tabla* 10**.

Tabla 10.
Clasificación Q de Barton - Caracterización C2.

Parámetro de clasificación	**Descripción**	**Puntuación**
Índice de la calidad de la roca RQD	*Medio*	*59*
Índice de diaclasas (Jn)	*Tres familias y alguna diaclasa aleatoria*	*12*
Rugosidad (Jr)	*Diaclasas onduladas, lisas*	*2*
Alteración de las fisuras (Ja)	*Discontinuidad cerrada, sin reblandecimiento*	*0.75*
Factor de reducción por agua (Jw)	*Excavaciones secas o pequeñas afluencias inferiores a 5 1/min, de forma localizada*	*1*
Condiciones tensionales de la roca, SRF	*Zonas débiles aislada conteniendo rocas desintegradas químicamente (profundidad de excavación >50m)*	*2.5*
	$Q = \frac{RQD}{Jn} * \frac{Jr}{Ja} * \frac{Jw}{SRF}$	*5.24*

Valoración Q de Barton 5.24 – "Valores Q: 4-10, Calidad de la roca: Media"

Los resultados de la caracterización C2, confirman la consistencia entre ambos métodos aplicados, destacando que tanto el sistema de Bieniawski como el de Barton coinciden en clasificar al macizo con una calidad media. Esto indica que el talud posee una resistencia estructural aceptable, aunque requiere la implementación de medidas de control de erosión y refuerzo estructural para garantizar su estabilidad.

4.3. Análisis de Resultado OE2: Identificar los Factores Ambientales y la Interacción que Existe con el Macizo Rocoso Relacionando su Influencia en el Proceso de Inestabilidad.

El análisis ambiental evidencia que la estabilidad del acantilado está fuertemente influenciada por la acción combinada de los factores climáticos, oceanográficos y antrópicos.

4.3.1. ***Erosión***

La erosión es uno de los procesos más significativos que incide en la inestabilidad de un acantilado, el impacto constante del oleaje sobre la base del talud genera una socavación progresiva que reduce el soporte natural y provoca el colapso de los estratos superiores. La composición litológica del macizo predominante en la parte baja de la cimentación lo hace altamente susceptible a la erosión, a medida que las olas impactan la base se produce un proceso de su excavación que debilita las capas superiores y promueven deslizamientos localizados, este proceso se ve identificado por la infiltración del agua salina en las fracturas presentes en el macizo lo que acelera su disolución.

Figura 8.
Deterioro del macizo "desprendimiento de bloques y socavación al pie del acantilado".

El análisis visual evidencia zonas de desprendimiento activo donde la erosión ha generado taludes verticalizados y bloques inestables que presentan un riesgo potencial evidenciado en la ***Figura 8***.

4.3.2. ***Subida del Nivel del Mar***

El ascenso progresivo del nivel del mar representa una amenaza creciente para los acantilados del perfil costero, en Ballenita esta tendencia se traduce en una mayor frecuencia durante mareas altas o tormentas. El aumento del tiempo de exposición al oleaje incrementa la saturación de las fracturas reduciendo la fricción interna y facilitando los procesos de deslizamiento, el aumento del nivel del mar modifica el equilibrio dinámico de la costa desplazando zonas de rompiente hacia Tierra y sometiendo nuevas secciones del acantilado a la acción erosiva.

4.3.3. ***Factores que Alteran el Perfil Costero***

Un análisis que combina la dirección del oleaje, la altura de las olas y la velocidad del viento permite identificar los mecanismos de interacción entre los factores marinos y el comportamiento estructural. Estos resultados demuestran que la carga dinámica inducida por la acción marina no sólo erosiona la base del talud sino también modifica el estado de esfuerzo afectando la estabilidad general del sistema rocoso. Estos factores constituyen variables críticas en la evaluación estructural del macizo y su correcta presentación en los análisis garantiza la fiabilidad de los resultados y la efectividad de las soluciones técnicas propuestas para la estabilidad del acantilado.

4.3.3.1. Dirección del Oleaje

La dirección del origen es uno de los parámetros más influyentes en la evaluación estructural del macizo rocoso ya que determina el punto de impacto y la distribución de esfuerzos dinámicos de la ola sobre la base del acantilado. En el sector de Ballenita el oleaje

predominante proviene del sureste el ángulo de impacto según datos obtenidos de Copernicus Sentinel-2 (200° - 245°).

Esta orientación genera una concentración de energía cinética en la zona promoviendo el proceso de socavación y pérdida de confinamiento estructural en la parte inferior de la cantidad, su análisis evidencia la necesidad de incorporar elementos de refuerzo basal presenta las energías en esta zona para poder reducir la acción erosiva en la parte baja de la estructura.

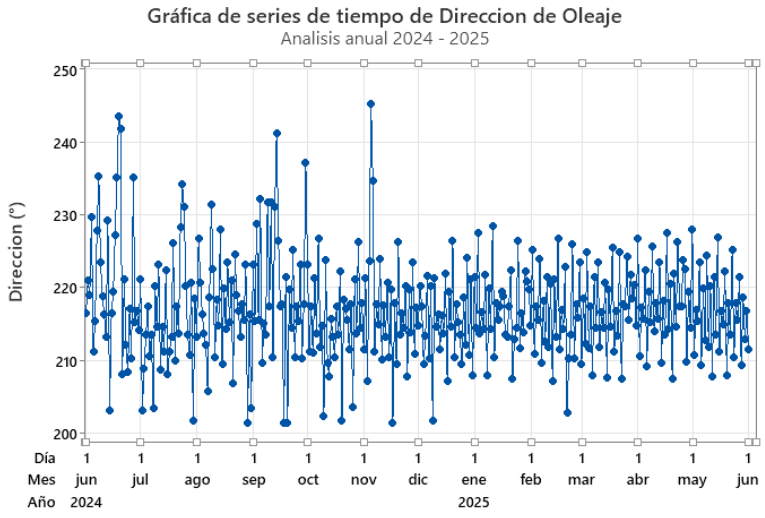
Tabla 11.
Dirección del Oleaje - Valor máximo, mínimo y promedio.

Promedio	Mínimo	Máximo
217°	**201°**	**245°**

Nota: Valores procesadores mediante el uso de Software Minitab V18

Figura 9.

Dirección del Oleaje - Evaluación periodo junio 2024 - mayo 2025



Datos obtenidos del sistema satelital Copernicus Sentinel - 2 y procesados por el software Minitab V18.

4.3.3.2. Altura de la Ola

La altura significativa de las olas constituye un parámetro crítico en el análisis estructural pues definen la magnitud de la fuerza de impacto que actúa sobre el acantilado, en el sector de Ballenita se registraron alturas que van desde 1m alcanzando valores máximos de

casi 4m durante condiciones críticas como aguajes, estos datos fueron obtenidos de Copernicus Sentinel-2 en un ciclo de 365 días para poder obtener un valor promedio.

El impacto de la ola favorece a la propagación de micro fisuras y la apertura de discontinuidades existentes, especialmente en el contacto entre estratos presentes en la estructura. Esto confirma que la altura de la ola es un factor desencadenante de inestabilidad por lo que se recomienda implementación de barreras de mitigación para absorción de energía que reduzcan la presión.

Tabla 12.

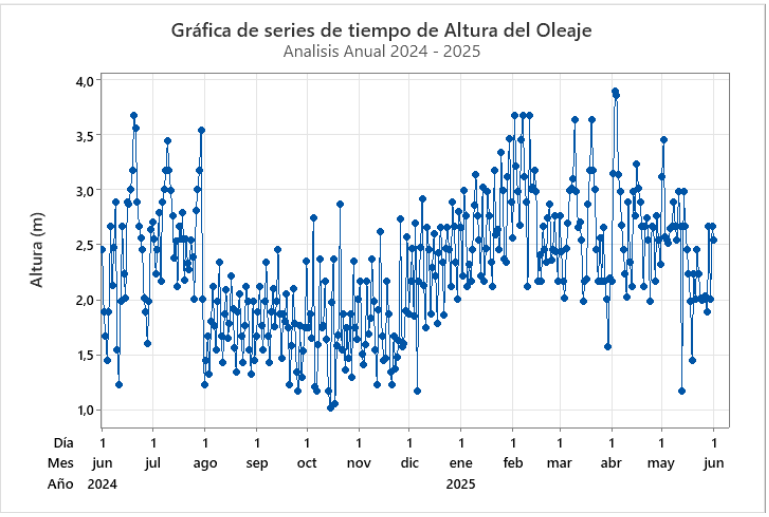
"Altura de la Ola" - Valor máximo, mínimo y promedio.

Promedio	Mínimo	Máximo
2.29 m	1.01 m	3.89 m

Nota: Valores procesadores mediante el uso de Software Minitab V18

Figura 10.

Altura de la Ola - Evaluación periodo junio 2024 - mayo 2025



Datos obtenidos del sistema satelital Copernicus Sentinel - 2 y procesados por el software Minitab V18.

4.3.3.3. Velocidad del Viento

La velocidad del viento frente a la estructura no es coadyuvante, pero actúa de manera indirecta en la inestabilidad estructural del macizo rocoso pues condiciona la formación y energía del oleaje que impacta en el talud, en el sector de Ballenita los vientos dominantes presentan velocidades variantes que van desde 4 m/s hasta casi 8 m/s, datos recopilados de

Copernicus Sentinel-2 durante un periodo 365 días para poder obtener un valor promedio de este.

La velocidad del viento es un componente que refuerza el efecto de la ola y ayuda a promover su erosión mediante el efecto de salpicadura marina. Esta condición sugiere la necesidad de proteger la mayor parte de la superficie expuesta del talud mediante el uso del hormigón proyectado pues limita la disgregación del material y minimiza el efecto de las salpicaduras marinas.

Tabla 13.

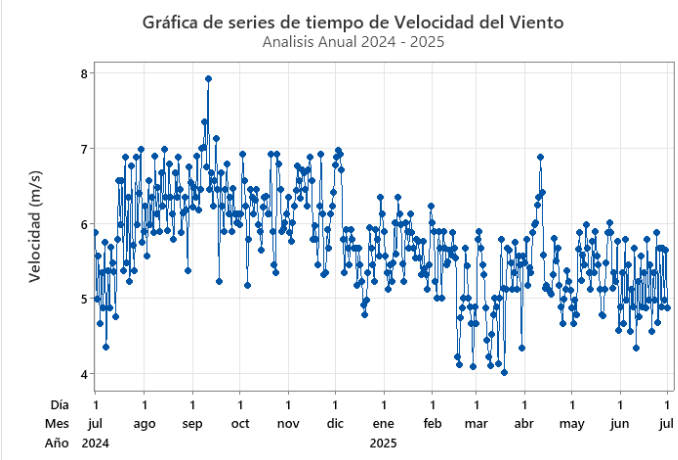
Velocidad del Viento - Valor máximo, mínimo y promedio.

Promedio	Mínimo	Máximo
5.72 m/s	4.01 m/s	7.91 m/s

Nota: *Valores procesadores mediante el uso de Software Minitab*

Figura 11.

Velocidad del viento - Evaluación periodo junio 2024 - mayo 2025.



Datos obtenidos del sistema satelital Copernicus Sentinel - 2 y procesados por el software Minitab V18

4.3.4. ***Matriz de Riesgo***

La matriz de riesgo tiene como propósito identificar y evaluar los principales factores ambientales y geotécnicos que influyen en la estabilidad del macizo rocoso los cuales determinan el grado de amenaza y vulnerabilidad del talud. Cada factor fue analizado mediante parámetros mediables y observaciones de campo lo que permite definir el tipo de riesgo asociado tal como se muestra en la ***Tabla 14***.

En conjunto los análisis realizados de muestran que la disposición estructural del macizo influye directamente en su comportamiento geotécnico y la evolución de los procesos de la erosión costera validando la efectividad del enfoque geotécnico aplicado para la evaluación estructural y la propuesta de soluciones técnicas adaptadas a las condiciones del acantilado.

Este instrumento analítico nos ayudara a clasificar las amenazas por su grado de influencia frente al talud, destacando que la erosión y la meteorización sin los mayores culpables de la inestabilidad. Los resultados de esta matriz confirman que es esencial adoptar soluciones estructurales para poder mitigar sus riesgos asociados, asumiendo un seguimiento continuo que garantice que las propuestas sean efectivas ante su problemática latente.

Tabla 14.
Matriz de Riesgo

Factores de riesgo	Parámetro	Tipo de Riesgo	Medida de mitigación
Litología	Rocas sedimentarias de la formación azúcar estratificadas	Susceptibilidad a la erosión.	Se espera actuar de manera inmediata sobre el acantilado con un recubrimiento de Shotcrete, con la colocación de un sistema de Anclaje activo y la construcción de un muro de gaviones como defensa para minimizar la energía del impacto de Ola sobre el acantilado y así esperar mitigar la meteorización del mismo.
Estructura	3 familias de fracturas	Perdida de estabilidad y caída de bloque.	
Erosión	Remisión progresiva en los materiales de grano fino “Areniscas y lutitas”	Erosión agresiva y pérdida de la masa del talud.	
Caída de bloque	Presencia de fracturas y estratificación	Desprendimiento de material rocoso.	
Subida del nivel del mar	Corriente incidente en la cara del talud con dirección de 217° aumenta formación de las cuevas	Incremento de la erosión marina.	
Altura de la ola	Incrementa la energía de impacto acelerando su erosión	Hidrodinámica en la base, impacto en fracturas y desgastamiento de roca.	
Velocidad del viento	Causa efecto salpicadura marina y aumenta la abrasión superficial	La generación del oleaje favorece a la meteorización física y efecto salpicadura marina	

Mediante el análisis se pudo evidenciar que los sectores más críticos en el sector corresponden a la erosión marina, la subida del nivel del mar y la estructura del macizo rocoso. Estos elementos actúan de manera conjunta acelerando los procesos de socavación en la base del acantilado y favoreciendo la pérdida de soporte en los estratos superiores. Estos resultados confirman que la litología de calidad media y la presencia de discontinuidades desfavorecen aumentando la susceptibilidad a fallar.

4.4. Análisis de Resultado OE3: Valorar Estructuralmente al Macizo Rocoso Mediante un Análisis Geotécnicos, Aplicativos y Modelados para una Adecuada Solución.

El presente análisis presenta una evaluación estructural del macizo rocoso utilizando herramientas de análisis geotécnico y de moldeado numérico que permitirán determinar las condiciones de estabilidad del talud y cuantificar su Factor de Seguridad (FS). Para este propósito se integraron datos obtenidos en campo los cuales fueron procesados mediante los programas de Rocscience (Dips, Rocdata y Rocplane), softwares ampliamente usados en la ingeniería geotécnica para el análisis estructural y la estabilidad de taludes.

4.4.1. Caracterización C1

Se efectuó el estudio del talud para analizar posibles deslizamientos, el talud presenta una dirección de buzamiento de 353° y un buzamiento de 83°, se proyectan diaclasas con ángulos notables mostrado a continuación en la ***Tabla15.***

Figura 12.
Resgistro fotografico de toma de datos y discontinuidades presentes – Caracterizacion C1.

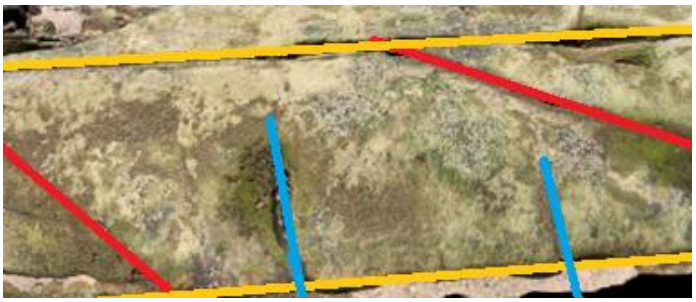


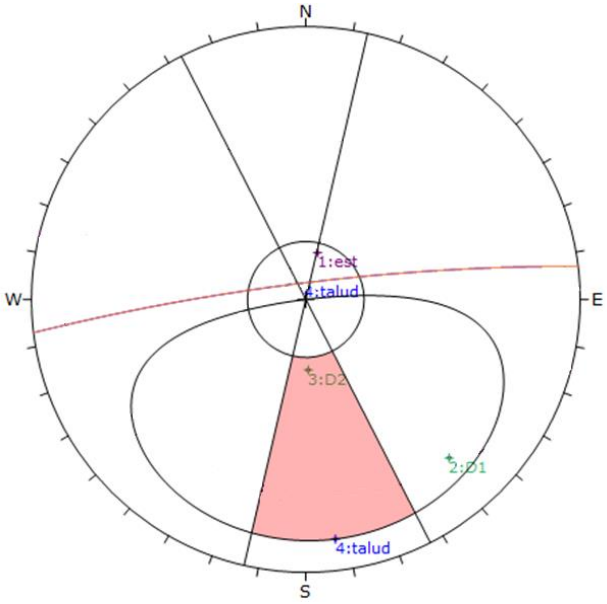
Tabla 15.
Buzamientos extraídos de la Caracterización C1.

Descripción	DIP Dirección	DIP
Talud	353	83
Diaclasa 1	194	20
Diaclasa 2	318	76
Diaclasa 3	358	29

En la ***Figura 13,*** se observan los resultados del software Dips donde el tratamiento de redes estereográfico con los datos estructurales proyecta que los planos de fractura inciden en una falla potencial de tipo planar donde la diaclasa 3 (358/29) es la comprometida generando el tipo de falla.

Se muestra en la ***Figura 14,*** un ángulo de fricción de 26° siento un dato primordial para la proyección y delimitación de la estereografía de la zona no segura mostrada en el software Dips, los parámetros requeridos del programa como GSI dependió de la valoración RMR, mi depende de la textura y tipo de roca, factor de disturbancia se utiliza como talud.

Figura 13.
Proyección Estereográfica del Software Dips V7.0 – Caracterización C1



Symbol	Feature
◇	Pole Vectors

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	83
Slope Dip Direction	353
Friction Angle	25°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	2	4	50.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	4 (4 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figura 14.
Angulo de Fricción del Software Rocdata.

Hoek-Brown Classification
intact uniaxial compressive strength = 20 MPa
GSI = 43 mi = 21 Disturbance factor = 0.7

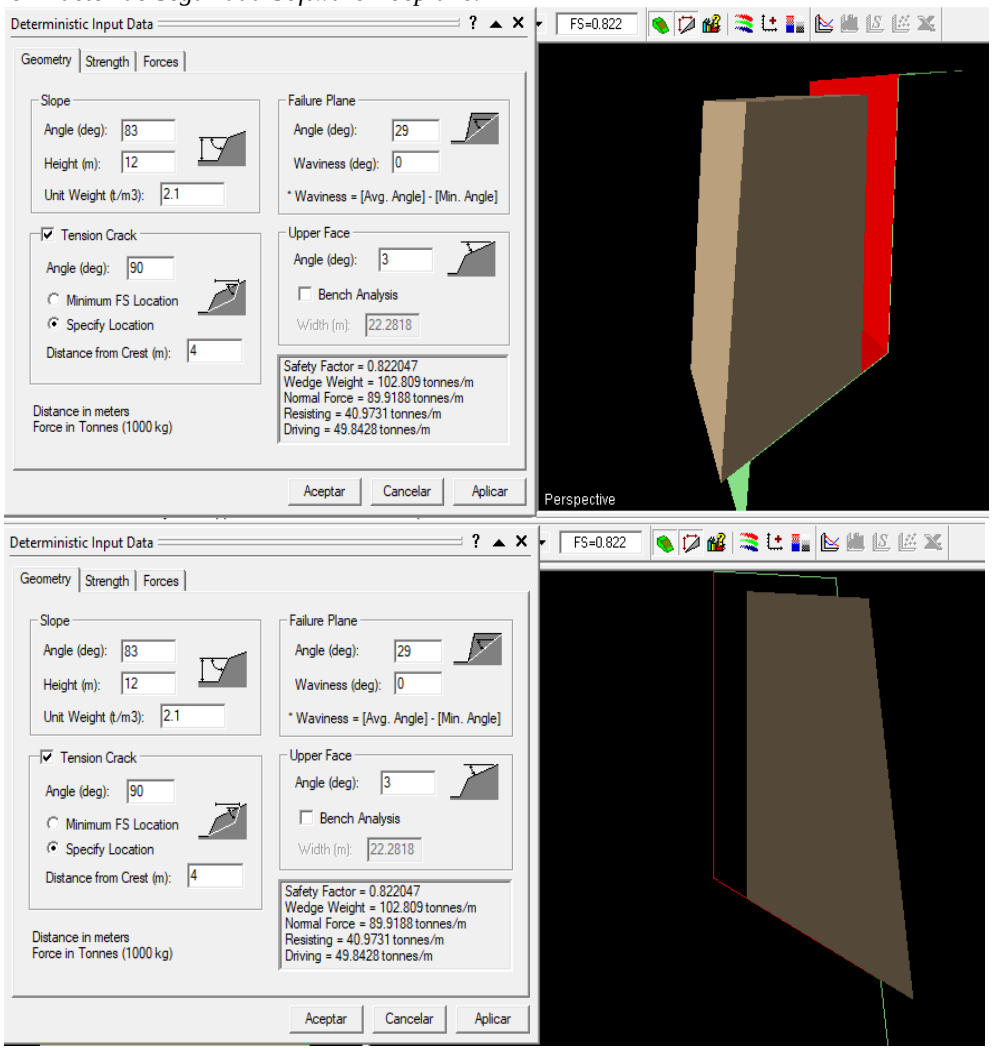
Hoek-Brown Criterion
mb = 0.916 s = 0.0003 a = 0.509

Mohr-Coulomb Fit
cohesion = 0.773 MPa friction angle = 25.61 deg

Rock Mass Parameters
tensile strength = -0.006 MPa
uniaxial compressive strength = 0.298 MPa
global strength = 2.457 MPa
modulus of deformation = 1942.80 MPa

En la ***Figura 15,*** demuestra que el talud presenta deslizamiento de tipo planar al inducir los datos donde el plano de fractura que se compromete es la Diaclasa 3; Se obtiene un F.S.= 0.82 determinando así el riesgo de deslizamiento del 50% presente que se demuestra en la ***Figura 13.***

Figura 15.
Modelación Factor de Seguridad Software Rocplane.



Nota: El Talud Presenta Falla planar con un FS: 0.82

4.4.2. Caracterización C2

Efectuado el estudio del macizo rocoso para analizar posibles deslizamientos, el talud presenta una dirección de buzamiento de 15° y un buzamiento de 71°, se proyectan las diaclasas presentes con ángulos notables mostrado a continuación en la ***Tabla #16***

Figura 16.
Registro fotográfico de toma de datos y discontinuidades presentes – Caracterización C2.

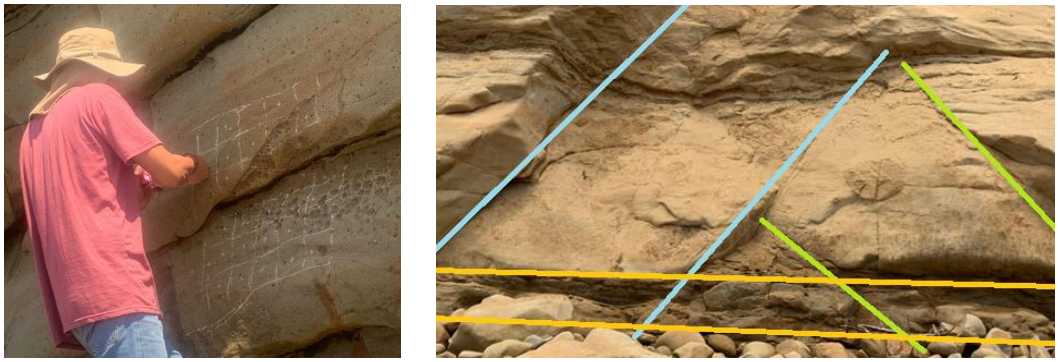


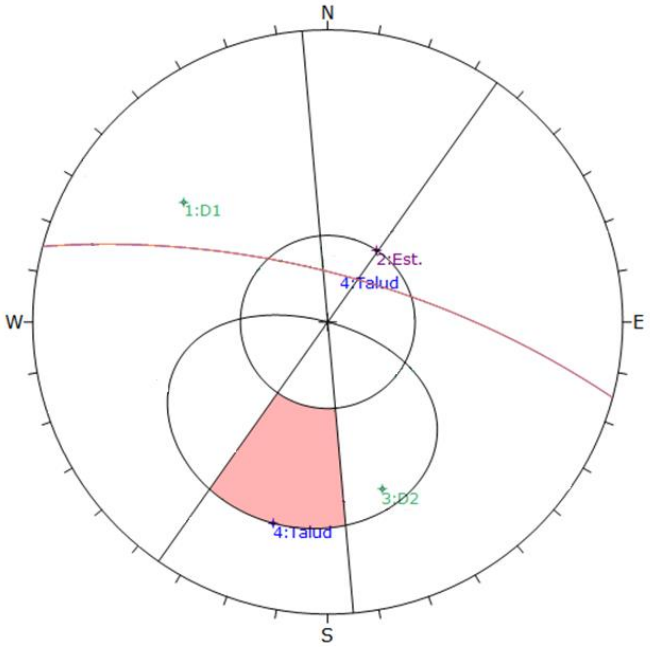
Tabla 16.
Buzamientos extraídos de la Caracterización C2.

Descripción	Dip Dirección	Dip
Talud	15	71
Diaclasa 1	214	33
Diaclasa 2	130	65
Diaclasa 3	342	62

En la ***Figura 17,*** se observan los resultados del programa Dips, donde el tratamiento de redes estereográfico con los datos estructurales proyecta que el plano de fractura incide en una falla potencial de tipo planar donde la diaclasa 3 (342/62) es la comprometida generando el tipo de falla.

Se muestra en la ***Figura 18,*** el ángulo de fricción estimado por el programa es de 33° siento un dato primordial para la proyección y delimitación de la estereografía de la zona no segura mostrada en el software Dips, los parámetros requeridos del programa como GSI dependió de la valoración RMR, mi depende de la textura y tipo de roca, Factor de disturbancia se utiliza como talud.

Figura 17.
Proyección Estereográfica del Software Dips V7.0 – Caracterización C2.



Symbol	Feature
◇	Pole Vectors

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	71
Slope Dip Direction	15
Friction Angle	33°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	1	4	25.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	4 (4 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figura 18.
Angulo de Fricción del Software Rocdata.

Hoek-Brown Classification
intact uniaxial compressive strength = 26 MPa
GSI = 60 mi = 21 Disturbance factor = 0.7

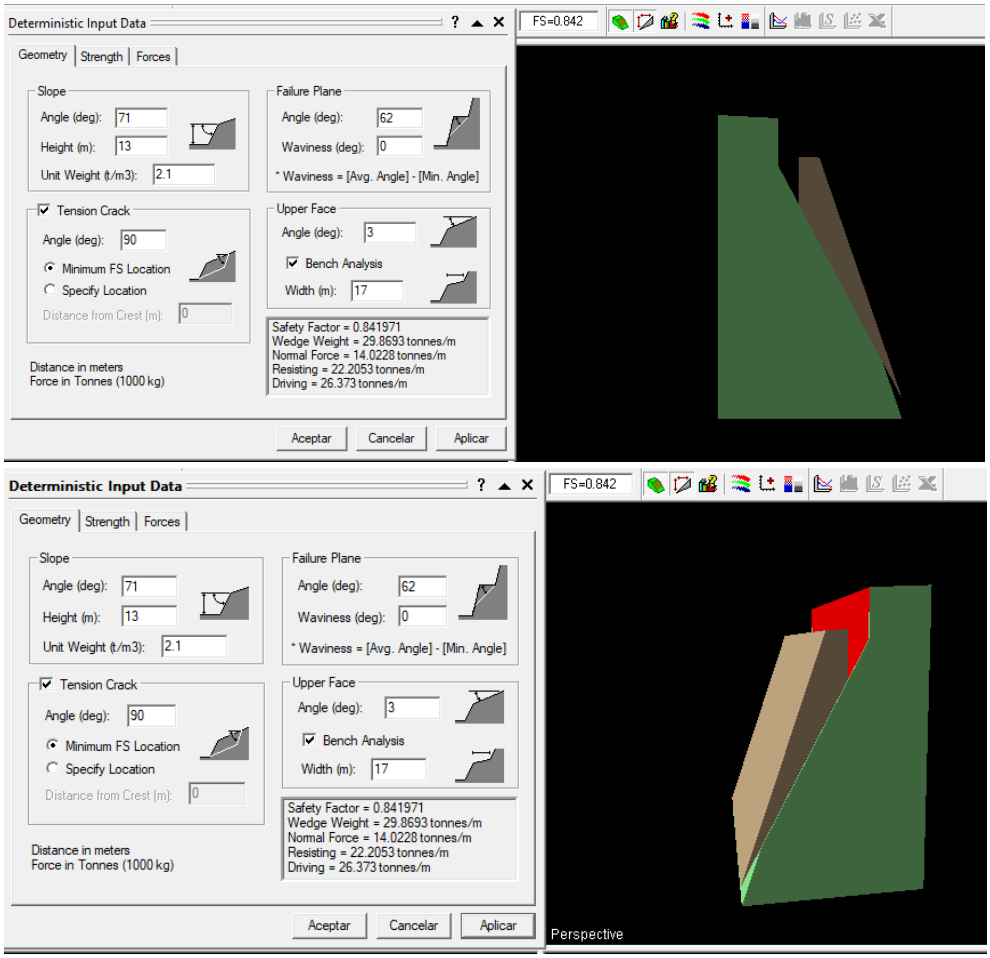
Hoek-Brown Criterion
mb = 2.332 s = 0.0030 a = 0.503

Mohr-Coulomb Fit
cohesion = 1.439 MPa friction angle = 33.33 deg

Rock Mass Parameters
tensile strength = -0.034 MPa
uniaxial compressive strength = 1.409 MPa
global strength = 5.336 MPa
modulus of deformation = 5893.86 MPa

La ***Figura 19,*** demuestra que el talud presenta deslizamiento de tipo planar al inducir los datos donde el plano de fractura que se compromete es la Diaclasa 3; Se obtiene un F.S.= 0.84 determinando así el riesgo de deslizamiento del 26% presente que se demuestra en la ***Figura 17.***

Figura 19.
Modelación Factor de Seguridad Software Rocplane.



Nota: El talud modelado presenta falla planar con un FS=0.84

4.4.3. Resultados

Los resultados obtenidos a partir de los diferentes análisis geotécnicos y aplicativos reflejan una estrecha relación entre la estructura interna del macizo rocoso y los procesos de inestabilidad presentes en el sector de estudio, esto demuestra que la disposición estructural y en familia directamente su comportamiento geotécnico validando la efectividad del enfoque geotécnico aplicando una evaluación estructural y proponiendo soluciones técnicas adaptadas a sus condiciones.

Sus resultados confirman las hipótesis planteadas respecto a la baja estabilidad estructural del macizo y la necesidad de implementar medidas técnicas de control. Estas

simulaciones demuestran la necesidad de anclajes pasivos cuyo uso podría incrementar su factor de seguridad asegurando una mejor estabilidad en el talud.

4.5. Análisis de Resultado OE4: Proponer Alternativas Técnicas de Estabilidad Adecuadas con el Contexto Geológico y Ambiental de la Zona que Permite Reducir los Riesgos Asociados a la Inestabilidad

4.5.1. ***Alternativas Principales***

4.5.1.1. Anclajes Activos

Uso de anclajes activos fue seleccionado como una de las principales alternativas de estabilización estructural del talud, debido a la necesidad de controlar los movimientos potenciales de las masas inestables y mejorar el factor de seguridad. Esta en clase permite transmitir extensiones activas hacia el terreno generando una fuerza de confinamiento que incrementa la resistencia de deslizamientos de las discontinuidades identificadas en el análisis técnico realizado.

El elemento estructural se instala en el macizo rocoso mediate perforación y se tensiona de manera artificial mediante un sistema mecánico o hidráulico aplicando una fuerza predeterminada que se mantiene constante durante su vida útil. Está en clase está compuesto generalmente por cables o barra de acero de alta resistencia, un bulbo de anclaje cementado, una zona libre que permite el tensado y una placa o cabeza de anclaje que transfiere la carga a la superficie del talud.

Tabla 17.

Tabla de comparativa de selección.

Parámetros	Anclaje Activo	Anclaje Pasivo
Mecanismo	Se tensiona mediante previa aplicación con una carga activa de estabilización desde su instalación.	Sólo actúa cuando se produce el movimiento del terreno.
Control de deformaciones	Permite controlar y limitar el desplazamiento antes de que ocurran.	Es incapaz de controlar deformaciones iniciales, actúa una vez iniciada la falla.
Aplicación en zonas inestables	Ideal para zonas con fracturas y zonas debilitadas donde se requiere confinamiento inmediato.	Adecuado para estructuras rígidas y con movimientos lentos.
Durabilidad y monitoreo	Permite medir y reajustar la tensión conforme pase el tiempo.	No se reajusta ni controla fácilmente

Nota: Se selecciono el Anclaje Activo

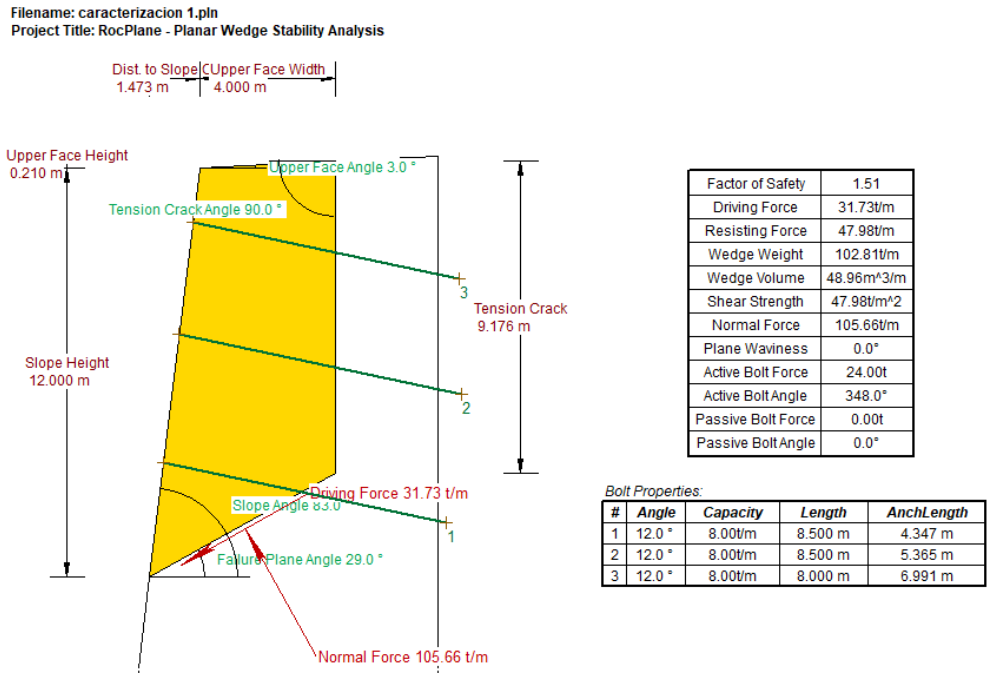
La implementación de anclajes activos de cable tensionado representa una solución técnica eficiente y compatible con el entorno geotécnico del lugar, la capacidad de aplicar fuerza de confinamiento controlada lo convierte en el método más adecuado frente a las condiciones ambientales y estructurales del sitio. Este diseño distribuye las cargas uniformemente con longitudes ancladas óptimas ajustadas aproximadamente a 4 m para el conservadurismo en rocas marinas asegurando su resistencia contra extracción, su conformación será de 3 a 4 cables de acero galvanizado con una resistencia a la tracción superior a 1560 Mpa, que se alojaran es la perforación realizada entre 100 a 150 mm, una inyección de lechada de hormigón de alta resistencia para sostener el anclaje desde el fondo.

Caso 1

El modelado base mostró una FS=0.82 con una fuerza impulsadora de 49.84t/m superior a la resistencia de 40.97t/m confirmando un alto riesgo de falla planar. El deslizamiento con un peso de 102.81 t/m y volumen de 48.96 m3/m, se ve influenciada por la geometría

pronunciada del talud agravada por factores ambientales como la erosión marina que podrían debilitar posteriormente el plano de falla.

Figura 20.
Modelación de alternativas para mejorar su FS Software Rocplane de la Caracterización C1.



La incorporación de 3 anclajes activos resultó en un mejorado FS=1.51 con una fuerza impulsadora reducida a 31.73 t/m y una resistencia incrementada a 47.98 t/m gracias a una fuerza normal efectiva de 105.66 t/m como se muestra en la ***Figura 20.***

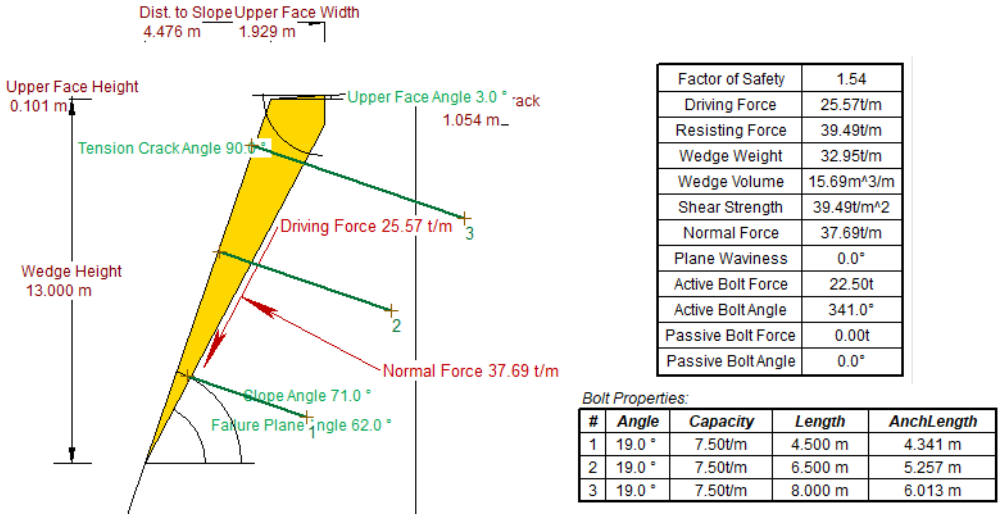
Tabla 18.
Características de anclajes según modelación.

Resultados obtenidos	
Tipo	Anclajes Activos (Pretensados)
Números	3 por fila
Separación	4 metros
Angulo de instalación	12°
Capacidad	8 t/m por fila (24 t)
Longitudes	8m – 8.5m
Longitud de Anclaje	4m – 7m

Caso 2

La modelación de base muestra un FS=0.84 con una fuerza impulsadora de 26.37 t/m superior a la resistencia de 22.21 t/m confirmando un alto riesgo de falla planar. El deslizamiento con un peso de 29.87t/m y volumen de 14.22 m3/m, se ve influenciada por la geometría pronunciada del talud agravada por factores ambientales.

Figura 21.
Modelación de alternativas para mejorar su FS Software Rocplane de la Caracterización C1.



Factor of Safety	1.54
Driving Force	25.57t/m
Resisting Force	39.49t/m
Wedge Weight	32.95t/m
Wedge Volume	15.69m^3/m
Shear Strength	39.49t/m^2
Normal Force	37.69t/m
Plane Waviness	0.0°
Active Bolt Force	22.50t
Active Bolt Angle	341.0°
Passive Bolt Force	0.00t
Passive Bolt Angle	0.0°

Bolt Properties:

#	Angle	Capacity	Length	AnchLength
1	19.0 °	7.50t/m	4.500 m	4.341 m
2	19.0 °	7.50t/m	6.500 m	5.257 m
3	19.0 °	7.50t/m	8.000 m	6.013 m

La incorporación de 3 anclajes activos resultó en un mejorado FS=1.54 con una fuerza impulsadora reducida a 25.57 t/m y una resistencia incrementada a 39.49 t/m gracias a una fuerza normal efectiva de 37.69 t/m como se observa en la ***Figura 19***.

Tabla 19.
Características de anclajes según modelación.

Resultados obtenidos	
Tipo	Anclajes Activos (Pretensados)
Números	3 por fila
Separación	4 metros
Angulo de instalación	19°
Capacidad	7.5 t/m por fila (24 t)
Longitudes	4.5m – 8m
Longitud de Anclaje	4m – 7m

4.5.1.2. Hormigón Proyectado (Shotcrete)

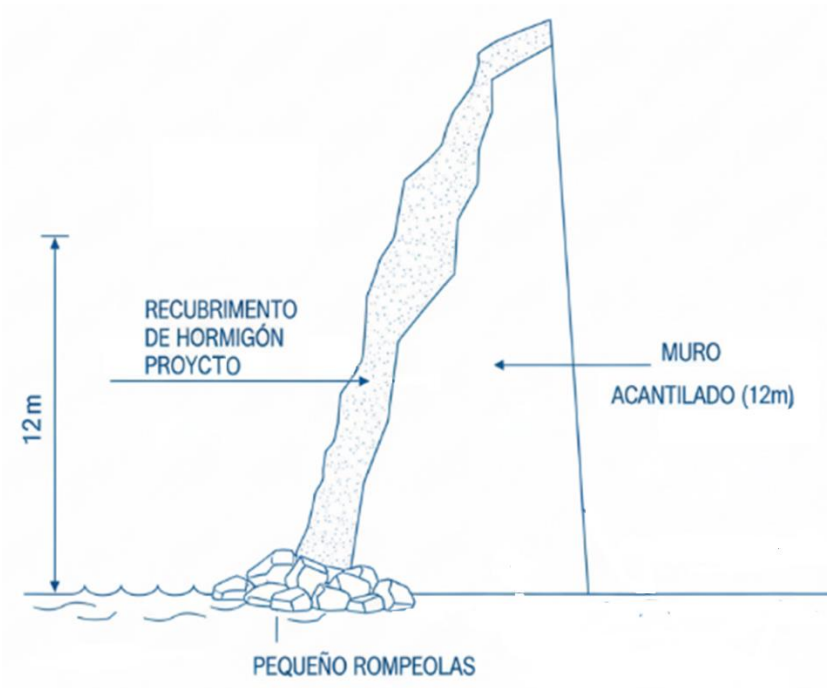
El hormigón proyectado se seleccionó como medida de estabilización debido a su efectividad en los taludes irregulares y ambientes marinos, donde la degradación del macizo se ve acelerada por la acción del oleaje, la salinidad y la meteorización. Esto nos permitirá reducir infiltraciones y distribuir los esfuerzos generados por las discontinuidades actuando de forma complementaria con los anclajes activos para garantizar la estabilidad general del talud.

Esto permitirá mitigar distintos factores que inciden en la inestabilidad del talud como el desprendimiento y caída de bloques lo que haría es formar una barrera estructural que retiene fragmentos sueltos, otro factor la erosión y la meteorización el hormigón nos ayudaría a proteger la superficie del talud frente a la acción del viento y el oleaje.

El diseño del Shotcrete justifica su uso por su alta adherencia, su baja permeabilidad y su fuerza frente al impacto, utilizando una mezcla con una resistencia mínima de 25 a 30 Mpa sumándole el uso de aditivos plastificantes, impermeabilizantes e inhibidores de corrosión que garanticen un comportamiento duradero ante la presencia de cloruros y sulfatos.

Se ha previsto el uso de una malla de fibra sintética conjunto al hormigón proyectado en lugar de una malla electrosoldada expuesta debido a su mayor capacidad de aislamiento frente al agua marina y su resistencia química a la salinidad y abrasión. Esta actúa como una barrera complementaria de sellado evitando la infiltración del agua a través del recubrimiento y prolongando la vida útil del sistema de estabilización.

Figura 22.
Referencia de alternativa del uso de Hormigón Proyectado.



El Shotcrete representa una solución eficaz para mejorar la estabilidad superficial del talud, su función principal será proteger al macizo frente a los procesos de erosión meteorización y caídas de bloque, que actuará de forma conjunta con los anclajes activos garantizando una mayor durabilidad y un comportamiento estructural seguro frente a la dinámica marina y climática de la zona.

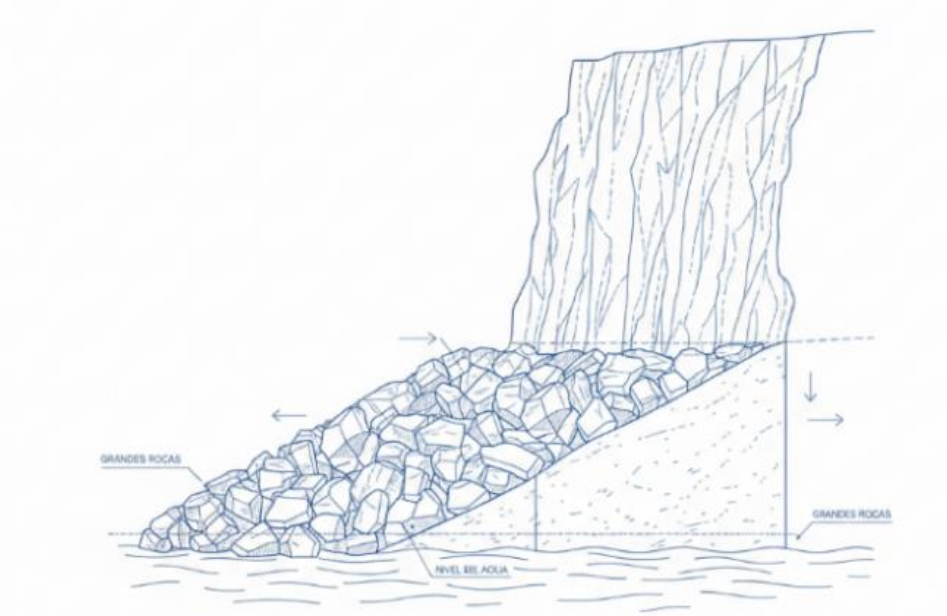
4.5.2. Alternativas de Apoyo

4.5.2.1. Escollera

Estructura de protección costera constituida por bloques o cantos rodados de roca natural de gran tamaño, colocados en una o varias capas sobre la base del talud en la zona de rompientes de ola. Su función principal es disipar la energía del oleaje antes de que impacte directamente en el talud o en las estructuras de recubrimiento “hormigón proyectado” reduciendo así la erosión y la socavación en la base. En contexto a las alternativas principales

la escollera actúa como protección superficial y estructural en la base garantizando que en las olas no socaven el pie del talud ni afecten la estabilidad del recubrimiento.

Figura 23.
Referencia de alternativa de escollera.



El sistema de escolleras disipa la energía del oleaje mediante la fricción y el movimiento relativo de los bloques de roca, esto sucede al ser una estructura porosa y flexible, permitiendo que parte del agua penetre entre los orificios y reduzca la fuerza de impacto, disminuyendo la reflexión del oleaje evitando el arrastre de sedimento y la socavación frontal.

Tabla 20.
Ventajas y Desventajas del uso de escollera

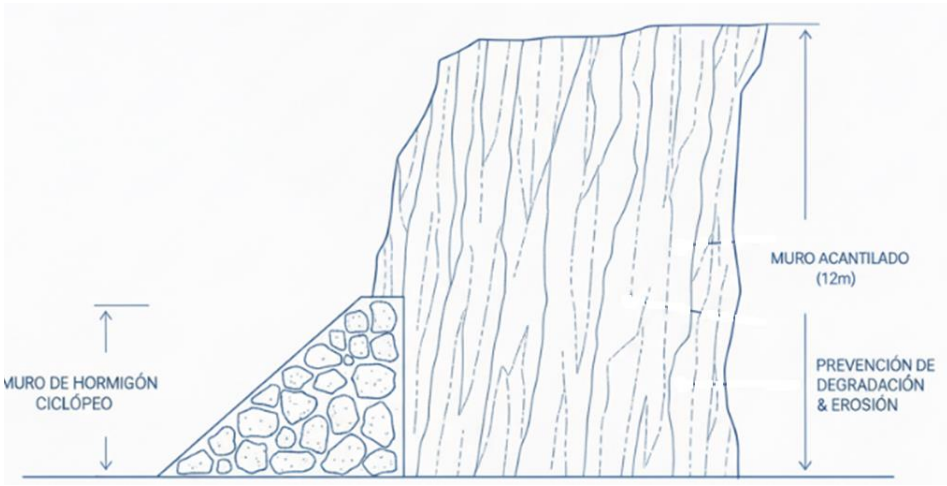
Ventajas	Desventajas
Alta capacidad de disipación de energía.	Requiere gran volumen de material
Flexibilidad estructural.	Difícil control de espesor
Durabilidad.	Riesgo de socavación en la base
Integración ambiental y paisajística.	Mantenimiento frente a oleaje extremos

4.5.2.2. Muro Ciclópeo

Esta estructura se implementa como una estructura de contención y protección costera compuesta por grandes bloques de piedra recubiertas por una matriz de hormigón de alta resistencia, conforma una masa monolítica de gran rigidez y durabilidad. Su finalidad es actuar como una barrera de disipación de energía del oleaje reduciendo el impacto directo de la ola sobre el pie del acantilado y poder evitar la progresión de la socavación en zonas donde la dinámica marina es intensa para garantizar su desempeño estructural y durable frente al ambiente marino se recomienda un hormigón con resistencia mínima de 28 a 30 Mpa a los 28 días con una relación agua cemento < 0.45, incluyendo aditivos impermeabilizantes e inhibidores de corrosión que reducen la penetración de cloruros y aumenta la vida útil del material.

Figura 24.

Referencia de alternativa muro ciclópeo



El muro ciclópeo ofrece gran resistencia al impacto del oleaje pero su rigidez y su alto nivel de reflexión puede generar socavación en la base del talud afectando a largo plazo la estabilidad del conjunto, es ideal cuando se requiera una defensa rígida por razones

estructurales o estéticos pero no es la mejor opción si la prioridad es evitar la meteorización del talud a largo plazo.

Tabla 21.
Ventajas y Desventajas del uso del hormigón ciclópeo.

Ventajas	Desventajas
Alta resistencia estructural	Estructura rígida y poco adaptable
Durabilidad prolongada	Alta reflexión del oleaje
Bajo mantenimiento	Menor capacidad de disipar energía
Adecuado en zonas con fuerte oleaje	

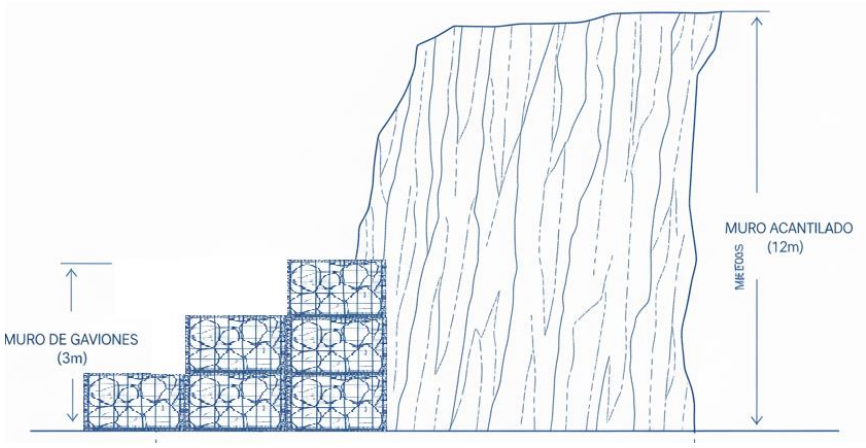
4.5.2.3. ***Muro de gaviones "malla con recubrimiento***"

El muro de gaviones está constituido por cajas o jaulas metálicas "fabricada con malla galvanizada o recubierta con plástico" en su interior rellena de rocas de gran tamaño, su diseño modular y permeable permite adaptarse a la geometría del terreno y absorber deformaciones sin fallar. Su opción más factible al trabajarla con una malla de recubrimiento plástico mejora la resistencia a la corrosión frente a ambientes marinos aumentando la vida útil de la estructura.

En taludes costeros, los muros de gaviones se emplean como estructura de contención flexible y drenando para evitar la erosión superficial y estabilizar la base del talud frente al oleaje moderado, el muro absorbe y disipa la energía del oleaje gracias a la fricción interna entre las piedras y súper mi habilidad.

Figura 25.

Referencia de Alternativa Muro de Gaviones.



El muro de gaviones con malla de recubrimiento plástico, representa una solución flexible, drenando y de rápida ejecución adecuada para sectores con oleaje moderado y de buena accesibilidad, frente a la meteorización su capacidad de drenaje y su protección anticorrosiva contribuye a mantener seco el pie del talud reduciendo la degradación del hormigón proyectado.

Figura 26.

Ventajas y desventajas del uso de muro de Gaviones

Ventajas	Desventajas
Alta Permeabilidad	Menor capacidad de resistencia a impactos muy intensos
Flexibilidad Estructural	Vida útil limitada frente deterioro
Reducción de la Reflexión del oleaje	Posible pérdida de material al deterioro
Fácil y rápida construcción	

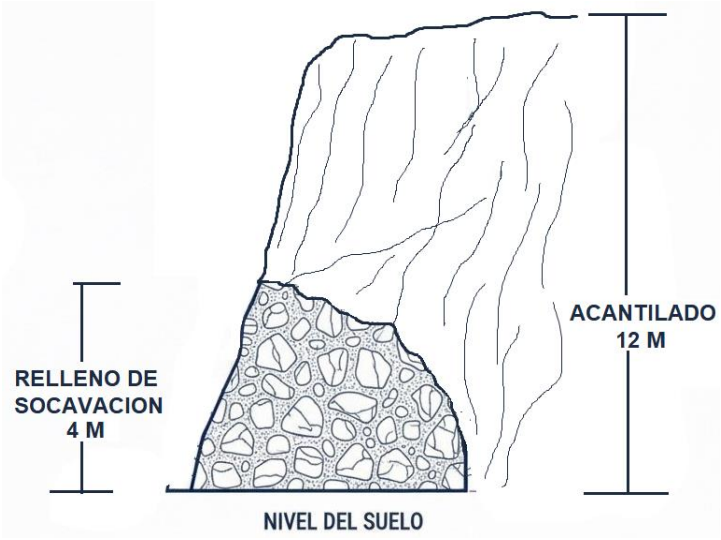
4.5.3. Alternativa de Intervención Inmediata

La alternativa de intervención inmediata consiste en el relleno de la socavación existente mediante la colocación de un hormigón ciclópeo estructural diseñado para restituir el soporte perdido en la base del acantilado y detener el avance de los procesos de meteorización y erosión. Rellenar con hormigón ciclópeo nos ayudará a recuperar la dureza y firmeza en el

pie del talud evitando la progresión, el deterioro y el desprendimiento de bloques que podría desencadenar un efecto de colapso parcial o total de la parte superior del acantilado.

Su uso permite justificar debido a su contenido al formar una gran masa rígida y resistente que permitirá actuar como una barrera sólida frente a la acción del oleaje y así prevenir la degeneración progresiva de la cavidad ya formada por la misma. En ambientes marinos se recomienda la utilizar una mezcla con resistencia mínima de 28 - 30 Mpa con una relación agua/cemento <0.45, Se incorpora aditivos plastificantes e impermeabilizantes que aseguren una baja permeabilidad y una alta durabilidad frente a los agentes salinos, lo que permite que el hormigón actúe no sólo como elemento de relleno sino como un sistema protector e impermeable que refuerce la base.

Figura 27.
Referencia de Solución de Intervención Inmediata



El proceso inicia con una limpieza y retiro del material suelto o meteorizado dentro de la socavación, seguida por una colación por capas del hormigón ciclópeo para garantizar continuidad estructural. Una vez concluido el relleno se debe realizarse un sellado superficial e impermeabilizante, para evitar filtraciones y así obtener una adecuada curación húmeda para asegurar la resistencia final del material.

CAPITULO V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

De acuerdo con el estudio realizado en la zona se determinó la calidad del macizo rocoso del acantilado, su clasificación geomecánica se la determinó mediante 2 métodos y se concluyó que en ambas caracterizaciones se obtuvo una calificación media. En el Sistema Q de Barton la caracterización 1 se consiguió un valor de 6.67 y en la caracterización 2 se alcanzó un valor de 5.24, de acuerdo con la tabla de clasificación de Barton ambos valores están dentro del rango 4 – 10 con una calificación de calidad Media. Aplicando el sistema RMR de Bieniaswki en la caracterización 1 se obtuvo un valor de 44 y caracterización 2 se consigue un valor de 60 que según su tabla de clasificación RMR ambas están dentro del rango 41 – 60, que clasifica al macizo como clase III de calidad Media. Se concluye en conformidad con el objetivo 1 que los resultados obtenidos en ambos sistemas de clasificación es calidad media

El uso conjunto de softwares de Rocscience (Dips, RocData y Rocplane), confirmaron en conformidad con el objetivo 3, la existencia de un Factor de Seguridad (FS) inferior a lo indicado en la NEC sobre taludes con un valor correspondiente a la caracterización 1 y caracterización 2 de (0.82 y 0.84), evidenciando como crítico el evento de deslizamiento tipo planar lo que prácticamente lo clasificaría cómo estructuralmente inestable, su análisis técnico mostró la coincidencia entre las familias de discontinuidades y la dirección del talud evidenciando el tipo de ruptura planar que existe dentro del acantilado. Los parámetros de resistencia determinados reflejan un comportamiento frágil del macizo ante la acción del oleaje y las precipitaciones por lo que se requiere implementar medidas de refuerzo estructural y protección superficial.

El estudio evidencia que la estabilización del acantilado no debe solo a limitarse a la obtención de datos estructurales, sino también deben complementarse con un manejo ambiental integral. En cumplimiento con el objetivo 2, se elaboró una matriz de riesgo la misma que nos permitió identificar los factores de mayor incidencia destacando la erosión costera y el accionar marino como factores de amenaza crítica, su sostenibilidad dependerá de la implementación de un monitoreo continuo y controlando las actividades antrópicas para evitar intervenciones que aceleren el deterioro del acantilado.

Finalmente, en conformidad con el objetivo, la propuesta de estabilización planteada integra el uso de anclajes activos con 3 torones de acero galvanizado de 0.6” en cada perforación y un recubrimiento de hormigón proyectado como alternativas principales y al uso de muro de gaviones como alternativa de apoyo que servirá para mitigar la energía de la ola contra el talud. Los anclajes activos fueron seleccionados por su capacidad de transmitir tensiones de manera inmediata garantizando un control activo del desplazamiento y ofreciendo mayor resistencia estructural adecuada para macizos de calidad media y pendiente pronunciada. El hormigón proyectado constituye un recubrimiento superficial de protección que reduce la erosión y la retención de bloques sueltos. Esta técnica permite incrementar el factor de seguridad y garantizar la estabilidad del talud a largo plazo.

5.2. Recomendaciones

De acuerdo con el análisis geotécnico y geomecánico se debe actuar de manera urgente el acantilado analizado ya que los procesos de inestabilidad que afectan el macizo rocoso fueron comprobados. Se recomienda alas autoridades competentes ejecutar acciones preventivas como rellenar el socavón y construir el muro de gaviones propuesto como acciones primarias.

Se recomienda además extender este tipo de investigaciones a otros sectores del perfil costero en la provincia de Santa Elena con el fin de evaluar su estabilidad mediante análisis geotécnicos y estructurales al nivel local y establecer zonas prioritarias de intervención. Este trabajo nos permitirá prevenir deslizamientos, caídas su bloque y procesos de erosión que podrían comprometer la infraestructura construcciones cercanas e incluso sitios turísticos.

El uso de herramientas numéricas para análisis estructurales como Dips, Rocdata y Rocplane, permitieron identificar que el factor de seguridad obtenido en las 2 caracterizaciones encontradas en el macizo evaluado, están por debajo de los valores mínimos recomendados según la norma ecuatoriana desconstrucción (NEC), por lo tanto en el seguimiento de los parámetros de resistencia obtenidos Se recomienda establecer un programa de monitoreo geotécnico permanente con el objetivo de medir desplazamientos y variaciones en la zona afectada, un seguimiento semestral permitirá detectar temporalmente movimientos activos o progresivos consensuando medidas complementarias a las primarias antes indicadas cine k uso de anclajes y hormigón proyectado antes del colapso del talud.

En relación con la gestión de riesgo se debería adoptar un enfoque holístico que trascienda los aspectos estructurales ya pues la incorporación de la matriz de riesgo permitió resaltar las amenazas críticas argumentando la importancia de un manejo y conocimiento ambiental. Se recomienda el monitoreo continuo y el control de actividades antrópicas en el sitio de inestabilidad comprobadas ya que este tipo de intervenciones puede acelerar aún más el proceso de inestabilidad y degradación del perfil costero de la provincia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abel Antonio ramos Vásquez. (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

Alcántara Ayala, l. (2000). "Deslizamientos o movimientos del terreno definición, clasificaciones y terminología. investigaciones geográficas". 1(41). https://doi.org/10.14350/rig.59101

Bongiorno f, Angulo, & belandria n. (2015). "Evaluación del riesgo en desprendimiento y caracterización geomecánica de los taludes rocosos en el sector quebrada del diablo, estado Mérida." in revista politécnica-septiembre (vol. 36, issue 3).

Borja Bernal, c., Laín, r., Jordán, l., cano, m., Riquelme, a., & Tomás, r. (2023). "Stability assessment of rock slopes using the q-slope classification system: a reliability analysis employing case studies in Ecuador". applied sciences, 13(13), 7399. https://doi.org/10.3390/app13137399

Borja Bernal, c. p. (2024). "Análisis comparativo de métodos empíricos para la evaluación de taludes rocosos integrando aspectos geológicos y ambientales". [universidad politécnica de Madrid]. https://doi.org/10.20868/upm.thesis.84446

briones-Dávila, j. g., Hernández Menéndez, a. j., & Méndez-mata, w. j. (2023). "Factores y procesos geomorfológicos que controlan el retroceso de acantilados litorales en rocas sedimentarias clásticas de la costa central de ecuador". mqrinvestigar, 7(4), 3015–3034. https://doi.org/10.56048/mqr20225.7.4.2023.3015-3034

Casarín, r. s., la Couture, m. m. v., ramos, f. j., Daniela, d., Páez, p., Ortiz Pérez, m. a., Mendoza Baldwin, e. g., delgadillo calzadilla, m. a., del, m., escudero, c., angélica,

c., delgado, f., & salinas, a. c. (2014). “Caracterización de la zona costera y planteamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable” (unamisbn: 978-607-02-6287-6, ed.). universidad nacional autónoma de México (instituto de ingeniería).

Cedeño, f., & Méndez, w. (2022). “Acantilados litorales del pacífico sur de ecuador (provincia santa elena) como marcadores geomorfológicos de susceptibilidad a la erosión litoral. geociencias = geociências”, 41(1), 255–272. https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i1.16317

chunga, k., stay coello, d., Quiñónez macias, m., cahuana, n., salinas baquero, i., & Villacreses Viteri, c. (2020). “Caracterización geomecánica de taludes de roca basáltica en la costa sur de ecuador: implicaciones en su estabilidad”. revista técnica de la facultad de ingeniería universidad de la zulia, ve2020(2), 62–68. https://doi.org/10.22209/rt.ve202020n2a09

Collot, j.-Yves., sallares, Valentí., & Pazmiño, nelson. (2009). “Geología y geofísica marina y terrestre del ecuador: desde la costa continental hasta las islas galápagos. comisión nacional del derecho del mar”.

Daniela, r., ermanno, m., Antonio, p., Pasquale, r., & marco, v. (2020). “Assessment of tuff sea cliff stability integrating geological surveys and remote sensing. case history from ventotene island (southern italy)”. remote sensing, 12(12), 2006. https://doi.org/10.3390/rs12122006

Fernández canino, a., & Díaz Valdés, k. (2023). “Geomohr: software para la aplicación del criterio de fallo de Mohr en la geotecnia. revista cubana de transformación digital”. https://rctd.uic.cu/rctd/article/view/223/154

González de vallejo Luis i, & Ferrer Gijón, mercedes. (2007). “Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos”. instituto geológico y minero de España.

Gutscher, m.-a., Malavieille, j., Lallemand, s., & Collot, j.-y. (1999). “Tectonic segmentation of the north andean margin: impact of the carnegie ridge collision. earth and planetary science letters”, 168(3–4), 255–270. https://doi.org/10.1016/s0012-821x(99)00060-6

Hoek, e., & Bray, j. d. (1981). “Rock slope engineering. crc press.” https://doi.org/10.1201/9781482267099

huang, r., seiki, t., dong, q., yamaoka, s., & aydan, ö. (2024). “Parameter identification of rock mass in the time domain. scientific reports”, 14(1), 24214. https://doi.org/10.1038/s41598-024-74850-2

instituto geografico militar (igm). (2012). cantón guayaquil geomorfología i memoria técnica “generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional” geomorfología.

Kerr, a. c., aspden, j. a., tarney, j., & pilatasig, l. f. (2002). “The nature and provenance of accreted oceanic terranes in western ecuador: geochemical and tectonic constraints. journal of the geological society”., 159(5), 577–594. https://doi.org/10.1144/0016-764901-151

Malavé Gómez, a. d., & Méndez mantuano, j. m. (2021). "Análisis de la calidad del macizo rocoso por los métodos de Barton y Bieniaswki en los acantilados de ancón del cantón santa elena". (“Análisis de la calidad del macizo rocoso por los métodos de Barton y ...”) universidad estatal península de santa elena.

Mandaglio, m. c. (2024). “Geomechanical characterization of the rock mass along a deep vertical borehole.” geotechnics, 4(1), 209–228. https://doi.org/10.3390/geotechnics4010011

Mayra lucia, v.-á., Kervin Arturo, c.-m., & Iván enrique, z.-m. (2021). “Evaluation of the vulnerability of the coastline to support the sustainable developments of coastal towns in manabí, ecuador”. revista cientifica multidisciplinaria arbitrada yachasun, 51–66. https://doi.org/10.46296/yc.v5i8edespab.0095

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://doi.org/10.20868/upm.thesis.722

Melentijević, s., berisavljević, z., berisavljević, d., & marañón, c. o. (2024). “Rock slope stability analysis under Hoek–Brown failure criterion with different flow rules. bulletin of engineering geology and the environment”., 83(5), 181. https://doi.org/10.1007/s10064-024-03667-0

Nativí-merchán, s., caiza-quinga, r., saltos-andrade, i., martillo-bustamante, c., andrade-García, g., Quiñonez, m., cervantes, e., & cedeño, j. (2021). “Coastal erosion assessment using remote sensing and computacional numerical model. case of study: libertador bolivar, ecuador. ocean & coastal management, 214, 105894.” https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105894

Noori, k. m. g., alshkane, y. m. a., & rashed, k. a. (2023). “Geotechnical and geophysical investigations of estimating rock mass properties. the iraquí geological journal, 39–64.” https://doi.org/10.46717/igj.56.2d.4ms-2023-10-10

Rahman, a. u., Zhang, g., a. alqahtani, s., janjuhah, h. t., hussain, i., rehman, h. u., & shah, l. a. (2023). “Geotechnical assessment of rock slope stability using kinematic and

limit equilibrium analysis for safety evaluation." water, 15(10), 1924. https://doi.org/10.3390/w15101924

Ramírez Oyanguren, p., & Alejandro Monge, l. (2004). "Mecánica de rocas: fundamentis e ingeniería de taludes. journal of chemical information and modeling", 145–146. https://oa.upm.es/14183/1/mecanica_de_rocas_1.pdf

rezky, d. m., irwan, a. g., & saptono, s. (2021). "The effect of rock mass characterization on slope stability assessment. aip conf. Proc"., 030017. https://doi.org/10.1063/5.0061098

silva, r. f. e., zingano, a. c., lima, r. r., silva, j. p. da, & holanda, c. c. (2022). "Influence of geomechanical analysis on the stability of ornamental rock slopes. journal of south american earth sciences"., 116, 103859. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103859

Sobarzo, v., villalobos, f., & King, r. (2011). "Estudio de la estabilidad de taludes en roca meteorizada de la formación Quiriquina. obras y proyectos, 9, 38–48. https://doi.org/10.4067/s0718-28132011000100005

úcar navarro, r., Arlegui crespo, l., Belandria Rodríguez, n., & Toro Mora, r. (2024). "Criterios de rotura no lineales para la estabilidad de taludes en macizos rocosos con deslizamiento plano." ("Criterios de rotura no lineales para la estabilidad de taludes en ...") geogaceta, 75, 99–102. https://doi.org/10.55407/geogaceta100833

Vanneschi, c., rindinella, a., & salvini, r. (2022). "Hazard assessment of rocky slopes: an integrated photogrammetry–gis approach including fracture density and probability of failure data". remote sensing, 14(6), 1438. https://doi.org/10.3390/rs14061438

wyllie, d. c.., mah, c. w.., & hoek, evert. (2004). "Rock slope engineering: civil and mining. spon press".

ANEXOS

Ensayo comprensión simple (Martillo Schmidt)

Ensayo resistencia a la comprension con con Martillo Schmidt				
Tema	EVALUACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO PARA ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD EN UN SECTOR DEL ACANTILADO DE BALENITA, PROVINCIA DE SANTA ELENA			
Tesistas	Lainez Suarez BryanWladimir Velez cruz Anthony Adan			
Lugar	Ballenita Acantilado		Caracterizac	1
Coordenadas	UTM WGS84 Zona 17 688842N; 9757011E		Angulo Fecha	0° 24/8/2025

Ensayo resistencia a la comprension con con Martillo Schmidt				
Tema	EVALUACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO PARA ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD EN UN SECTOR DEL ACANTILADO DE BALENITA, PROVINCIA DE SANTA ELENA			
Tesistas	Lainez Suarez BryanWladimir Velez cruz Anthony Adan			
Lugar	Ballenita Acantilado		Caracterizac	2
Coordenadas	UTM WGS84 Zona 17 688842N; 9757011E		Angulo Fecha	0° 45896

Golpe	medicion		promedio	
1	27	Mpa	26	Mpa
2	28	Mpa		
3	29	Mpa		
4	25	Mpa		
5	23	Mpa		
6	23	Mpa		
7	26	Mpa		
8	27	Mpa		
9	25	Mpa		
10	24	Mpa		
11	27	Mpa		
12	26	Mpa		
13	24	Mpa		
14	26	Mpa		
15	25	Mpa		
16	24	Mpa		
17	25	Mpa		
18	27	Mpa		
19	24	Mpa		
20	25	Mpa		
21	24	Mpa		
22	23	Mpa		
23	29	Mpa		
24	27	Mpa		
25	27	Mpa		
26	25	Mpa		
27	24	Mpa		
28	26	Mpa		
29	27	Mpa		
30	23	Mpa		

Golpe	medicion		promedio	
1	20	Mpa	22	Mpa
2	21	Mpa		
3	18	Mpa		
4	21	Mpa		
5	22	Mpa		
6	24	Mpa		
7	19	Mpa		
8	23	Mpa		
9	18	Mpa		
10	24	Mpa		
11	21	Mpa		
12	22	Mpa		
13	25	Mpa		
14	24	Mpa		
15	21	Mpa		
16	20	Mpa		
17	24	Mpa		
18	25	Mpa		
19	21	Mpa		
20	23	Mpa		
21	20	Mpa		
22	21	Mpa		
23	21	Mpa		
24	19	Mpa		
25	22	Mpa		
26	24	Mpa		
27	22	Mpa		
28	24	Mpa		
29	20	Mpa		
30	25	Mpa		

Índice RQD con Palmström

Caracterización 1

$$Jv = \frac{1}{0.17} + \frac{1}{0.14} + \frac{1}{0.15} = 19.68$$

$$RQD = 115 - 3.3(19.68)$$

$$RQD = 50\%$$

Caracterización 2

$$\text{Jv} = \frac{1}{0.25} + \frac{1}{0.15} + \frac{1}{0.16} = 16.92$$

$$\text{RQD} = 115 - 3.3(16.62)$$

$$\text{RQD} = 59.19 \approx 59\%$$

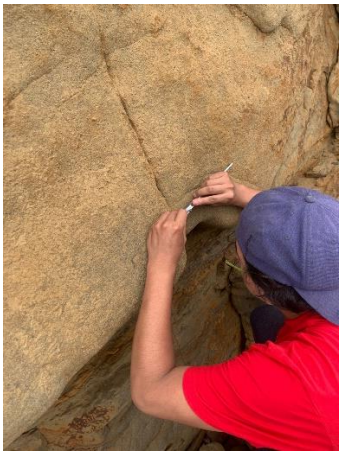
ESPACIAMIENTO ENTRE JUNTAS

Caracterización 1	Caracterización 2
D1.: 0.75 m	**D1.: 0.85 m**
D2.: 0.80 m	**D2.: 0.75 m**
D3.: 0.89 m	**D3.: 0.83 m**

CONTINUIDAD

Caracterización 1	Caracterización 2
D1.: 4 m	D1.: 1.8m
D2.: 3 m	D2.: 2 m
D3.: 3.5 m	D3.: 2.5 m

ABERTURA



Caracterización 1	Caracterización 2
D1.: 17 mm	D1.: cerrada
D2.: 15mm	D2.: 0.1 mm
D3.: 16 mm	D3.: cerrada

RUGOSIDAD

Caracterización 1	Caracterización 2
D1.: Rugosa Ondulada	D1.: Suave Ondulada
D2.: Rugosa Ondulada	D2.: Suave Ondulada
D3.: Rugosa Ondulada	D3.: Suave Ondulada