

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Análisis de estabilidad de las rocas del borde costero de la zona de La Chicolatera y La Lobería (Salinas) utilizando fotogrametría y clasificación geomecánica de macizos rocosos.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Geólogo

Presentado por:

Jean Paul Cedeño Cedeño

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a mis padres, quienes me dieron apoyo incondicional y nunca dejaron de confiar en mí; a mí amada Sol y a mi hija, Avril, quienes fueron mi motivación diaria para seguir adelante cada día.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, por todo el soporte dado a lo largo de la carrera, sin ellos nada hubiera sido posible.

A mi tutores y guías, Ángel y Peter, ya que con su experiencia y buena voluntad, me enseñaron que la geología es la ciencia más noble y divertida.

A la REMACOPSE y la bióloga Beatriz Ladines, por la apertura brindada para la realización de este proyecto.

A todos los docentes de la carrera, quienes estuvieron siempre prestos a ayudarme.

A todos mis compañeros de carrera, especialmente a Agustín García, Adrián Calle y Byron Ronquillo, quienes me brindaron su apoyo desinteresado durante este trabajo.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me (nos) corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *(nombre de los participantes)* y doy (damos) mi (nuestro) consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Jean Paul Cedeño Cedeño

EVALUADORES

Keila Mishelle Muthre Freire

PROFESOR DE LA MATERIA

Ángel Alberto Valdiviezo Ajila

PROFESOR TUTOR

Peter Stalin Olaya Carbo

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

La Chocolatera y La Lobería son puntos turísticos que se encuentran dentro de la Reserva de Producción de Fauna Marino Costera Puntilla de Santa Elena (REMACOPSE), protege uno de los lugares más frecuentados de la costa central del Ecuador, recibiendo a más de 260000 turistas anualmente. Dentro de esta área se evidencia la formación de cavernas y el desprendimiento de rocas en sus taludes, eventos que pueden provocar un cambio en el hábitat local, con sus respectivas implicaciones ambientales y paisajísticas; y además de representar una amenaza para la seguridad de las personas que visiten la reserva. El presente trabajo presenta la caracterización geomecánica de las rocas (calidad) y la evaluación de estabilidad de taludes que conforman el borde costero comprendido entre La Chocolatera y La Lobería. Se utilizaron las clasificaciones geomecánicas Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski y Slope Mass Rating (SMR) de Romana para estimar la calidad de las rocas y la estabilidad de los taludes en esta zona. A partir de estas clasificaciones, se obtuvieron valores de calidad de roca de media a buena, y estabilidades de normales a estables; se realizó el análisis cinemático utilizando la representación en la red estereográfica y posteriores modelos determinísticos para rotura planar, los cuales estimaron los factores de seguridad bajo diferentes escenarios, concluyendo que los taludes mencionados son inestables al afrontar escenarios dinámicos, presentando factores de seguridad igual a cero.

Palabras Clave: Geotecnia, Geomecánica, SMR, Análisis de estabilidad.

ABSTRACT

La Chocolatera and La Lobería are tourist spots that are located within the Puntilla de Santa Elena Coastal Marine Fauna Production Reserve (REMACOPSE), protects one of the most frequented places on the central coast of Ecuador, receiving more than 260,000 tourists annually . Within this area, the formation of caves and the detachment of rocks on their slopes are evident, events that can cause a change in the local habitat, with their respective environmental and landscape facilities; and in addition to representing a threat to the safety of people who visit the reserve. This paper presents the geomechanical characterization of the rocks (quality) and the stability evaluation of slopes that make up the integrated coastline between La Chocolatera and La Lobería. Bieniawski's Rock Mass Rating (RMR) and Romana's Slope Mass Rating (SMR) geomechanical classifications were used to estimate rock quality and slope stability in this zone. From these classifications, rock quality values were obtained from medium to good, and stabilities from normal to stable; The cinematographic analysis was carried out using the representation in the stereographic network and later deterministic models for planar failure, which estimated the safety factors under different scenarios, concluding that the slopes became unstable when facing dynamic scenarios, presenting safety factors equal to zero.

Keywords: *Geotechnics, Geomechanics, SMR, Stability analysis.*

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Marco geológico regional	3
1.4.2 Marco Tectónico.....	6
1.4.3 Clasificación geomecánica de los macizos rocosos.....	8
1.4.4 Criterio Hoek y Brown	10
1.4.5 Modelos de rotura en macizos rocosos.....	11
1.4.6 Fotogrametría.....	12
1.4.7 Modelo de Análisis Determinista	13
CAPÍTULO 2.....	14
2. Metodología	14

2.1	Recopilación de información bibliográfica.....	15
2.2	Trabajo de campo.....	16
2.3	Topografía.....	17
2.3.1	Fotogrametría.....	17
2.3.2	Modelo Digital de Elevación.....	18
2.4	Geología.....	18
2.4.1	Descripción litológica.....	18
2.4.2	Geología Estructural.....	18
2.5	Geotecnia.....	19
2.5.1	Ensayos de laboratorio.....	19
2.5.2	Clasificación geomecánica.....	21
2.6	Modelo determinístico de estabilidad de taludes rocosos.....	23
2.6.1	RocPlane.....	23
2.6.2	SWedge.....	24
CAPÍTULO 3.....		25
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	25
3.1	Fotogrametría.....	25
3.2	Geología.....	27
3.2.1	Descripción macroscópica de las rocas.....	27
3.2.2	Descripción microscópica de las rocas.....	29
3.3	Geotecnia.....	29
3.3.1	Ensayos de laboratorio.....	29
3.4	Clasificación geomecánica.....	32
3.4.1	Estaciones geomecánicas.....	32
3.4.2	RMR.....	34
3.5	Análisis cinemático.....	36

3.5.1	Representación en la red estereográfica.....	36
3.5.2	Clasificación geomecánica SMR.....	39
3.6	Modelamiento de estabilidad de taludes.....	40
3.6.1	Análisis determinista de rotura planar	40
3.6.2	Análisis determinista de rotura de cuña	45
3.7	Medidas de estabilización sugeridas	49
3.8	Análisis de costos	50
CAPÍTULO 4.....		51
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	51
4.1	Conclusiones	51
4.2	Recomendaciones	52
BIBLIOGRAFÍA.....		53
APÉNDICES		57

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
REMACOPSE	Reserva de Producción de Fauna Marino Costera Puntilla de Santa Elena
RCS	Resistencia a la compresión simple
EG	Estación geomecánica
FICT	Facultad de Ingeniería de Ciencias de la Tierra
CLIRSEN	Centro de Levantamientos Integrador de Recursos Naturales por Sensores Remotos
VANT	Vehículo aéreo no tripulado

SIMBOLOGÍA

km	Kilómetros
m	Metro
cm	Centímetro
mg	Miligramo
MPa	Megapascales
P	Planar
W	Cuña
T	Vuelco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Marco geológico de la Provincia de Santa Elena (Benítez, 1995).	3
Figura 1.2 Mapa geológico de la provincia de Santa Elena (Autor, 2023).	5
Figura 1.3 Mapa estructural de la region del antearco de Ecuador (Daly, 1989).	7
Figura 1.4 Regimen de compresiones del margen Norandino (Pedoja, 2003).	8
Figura 1.5 Talud con rotura plana (Hoek & Bray, 1977).....	11
Figura 1.6 Talud con rotura plana (Hoek & Bray, 1977).....	12
Figura 1.7 Conjunto de bloques en rotura por vuelco (Hoek & Bray, 1977).	12
Figura 2.1 Diagrama de flujo de metodología	15
Figura 2.2 Componentes del VANT DJI® Phantom IV Pro 2.....	18
Figura 2.3 Ensayo de tracción indirecta, método brasileño.	20
Figura 3.1 Ortofoto de La Chokolatera.....	25
Figura 3.2 Modelo digital del terreno (La Chokolatera)	26
Figura 3.3 Lineamientos identificados en el área.....	27
Figura 3.4 Roca brecha de falla.....	28
Figura 3.5 Lutita silicificada.....	28
Figura 3.6 Muestra M_EG04 en nícoles paralelos y nícoles cruzados	29
Figura 3.7 Gráficas de relación entre ensayos realizados.	30
Figura 3.8 Mapa de ubicación de las estaciones geomecánicas (Autor, 2023).	33
Figura 3.9 Croquis de las estaciones geomecánicas.....	34
Figura 3.10 Redes estereográficas de las estaciones geomecánicas	36
Figura 3.11 Diagrama de columna para ocurrencia de modelos de rotura	38
Figura 3.12 Esquema de análisis cinemático-imagen real para EG04.....	38
Figura 3.13 Esquema de análisis cinmetaico-imagen real para LOB01.....	39
Figura 3.14 Gráfica de relación de los distintos factores de seguridad para rotura planar	41
Figura 3.15 Modelo de rotura planar para el talud EG04 (HÚMEDO-ESTÁTICO).....	42
Figura 3.16 Modelo de rotura planar para el talud EG04 (HÚMEDO-DINÁMICO).....	42
Figura 3.17 Modelo de rotura planar para el talud EG04 (SECO-DINÁMICO)	43
Figura 3.18 Modelo de rotura planar para el talud LOB01 (HÚMEDO-ESTÁTICO)...	43

Figura 3.19 Modelo de rotura planar para el talud LOB01 (HÚMEDO-DINÁMICO)...	44
Figura 3.20 Modelo de rotura planar para el talud LOB01 (SECO-DINÁMICO)	44
Figura 3.21 Gráfica de relación de los distintos factores de seguridad para rotura tipo cuña	45
Figura 3.22 Modelo de rotura cuña para el talud EG04 (HÚMEDO-DINÁMICO).....	46
Figura 3.23 Modelo de rotura cuña para el talud EG04 (HÚMEDO-ESTÁTICO).....	46
Figura 3.24 Modelo de rotura cuña para el talud EG04 (SECO-DINÁMICO).....	47
Figura 3.25 Modelo de rotura cuña para el talud LOB01 (HÚMEDO-ESTÁTICO).....	47
Figura 3.26 Modelo de rotura cuña para el talud LOB01 (SECO-DINÁMICO).....	48
Figura 3.27 Modelo de rotura cuña para el talud LOB01 (HÚMEDO-DINÁMICO).....	48
Figura 3.28 Instalación de mallas metálicas en taludes (GEOBRUGG, 2018)	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Calificación del RMR según sus parámetros	9
Tabla 2.1 Bibliografía analizada para la recopilación de información	16
Tabla 2.2 Características a describir en campo	17
Tabla 2.3 Medidas de probetas cilíndricas sometidas a ensayo	20
Tabla 2.4 Sistema de clasificación de macizo rocoso RMR (Bieniawski, 1989).	22
Tabla 2.5 Factor de ajuste por el método de excavación (F4)	23
Tabla 2.6 Porcentaje de exposición al agua de los taludes	24
Tabla 3.1 Resultados de ensayo de Tracción Indirecta	30
Tabla 3.2 Resistencia a la compresión simple de las rocas a partir de ensayo de tracción indirecta.....	30
Tabla 3.3 Resistencia a la compresión simple de las rocas a partir de Miller (1965). 31	
Tabla 3.4 Valores de ángulo de fricción básico hallados mediante tilt test	31
Tabla 3.5 Estimación de ángulos de fricción residual a partir de Barton & Choubey (1977)	31
Tabla 3.6 Parámetros calculados para obtención de la cohesión	32
Tabla 3.7 Estaciones geomecánicas en el área de estudio	32
Tabla 3.8 Valores de RQD hallados a partir de criterio de Priest y Hudson (1981) ...	34
Tabla 3.9 Parámetros para cálculo RMR	35
Tabla 3.10 Clasificación geomecánica RMR de cada estación	35
Tabla 3.11 Dirección de las familias de discontinuidades por cada estación geomecánica.....	37
Tabla 3.12 Porcentajes de ocurrencia de los tipos de rotura	37
Tabla 3.13 Clasificación SMR de las estaciones geomecánicas	40
Tabla 3.14 Factores de seguridad para rotura tipo planar en distintas condiciones de ocurrencia	40
Tabla 3.15 Factores de seguridad para rotura tipo cuña en distintas condiciones de ocurrencia	45
Tabla 3.16 Detalle de precios para elaboración del proyecto	50

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Según el Centro de Investigación sobre Epidemiología de los Desastres, los deslizamientos de tierra son responsables del 17% de las muertes por desastres naturales en el mundo (Lacasse & Nadim, 2009). En este sentido, para reducir el daño de deslizamientos de tierra, varios estudios científicos han buscado predecir la ocurrencia de deslizamientos de tierra y evaluar distancias de descentramiento, como Chae et al. (2017) en su artículo “Landslide prediction, monitoring and early warning: a concise review of state-of-the-art” o Utomo et al. (2017) en su artículo “Landslide Prediction with Model Switching”.

La Chocolatera y La Lobería son puntos turísticos que se encuentran dentro de la reserva marino-costera REMACOPSE, la cual, desde el año 2008 mediante Acuerdo Interministerial No. 1476 entre el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Defensa, es la encargada del manejo de las 52.231,37 Ha de área marina y 203,83 Ha de área terrestre, que incluye: conservación, investigación, manejo sustentable de la flora y fauna, turismo, educación y cultura del área (Ministerio del Ambiente, 2020).

De acuerdo al Reporte Histórico de Visitas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador, en el año 2020 la REMACOPSE recibió a 264.521 visitantes, entre nacionales y extranjeros, equivalente al 16,44% de visitantes a reservas naturales en el país.

En Ecuador, en la provincia de Santa Elena, Cantón La Libertad, a inicios del año 2022 ocurrió el derrumbe del arco natural La Caleta; de acuerdo con relatos brindados por habitantes del sector, se estima que cuando empezó el asentamiento humano en esta franja costera, aquella estructura natural ya existía.

De acuerdo con la Hoja Geológica de Santa Elena (Instituto Nacional de Investigación Geológica, 1974) las formaciones geológicas predominantes tanto en la Caleta, como en La Lobería y La Chocolatera son similares, además son sitios afectados por procesos erosivos, sobre todo debido al oleaje, en donde se han generado cavernas y existe desprendimiento de material rocoso. .

1.1 Descripción del problema

En el año 2022, Coello & Portilla realizaron el proyecto “Estudio del proceso erosivo en la zona comprendida entre La Chocolatera y La Lobería, Salinas”, en donde estimaron tasas de erosión durante el periodo 2000-2019 de 1.05 m/año y 3.15 m/año en época

seca y húmeda, respectivamente, evidenciando de manera cuantitativa el cambio y retroceso de la línea de costa; sin embargo, las autoras recomendaron un análisis geológico - geotécnico, para caracterizar los desprendimientos de rocas y la formación de cavernas en los taludes de la zona de interés.

El borde costero se encuentra en constante erosión debido al oleaje continuo y se han formado cavernas y el desprendimiento de rocas en sus taludes, eventos que pueden provocar un cambio en el hábitat local, con las implicaciones ambientales y paisajísticas; y además de representar una amenaza para la seguridad de las personas que visiten la reserva (Portilla Diaz & Coello Garnica, 2022).

El desconocimiento de las propiedades físicas y mecánicas de las rocas que componen el macizo rocoso de los acantilados y la falta de estudios previos, provocan que las autoridades encargadas del cuidado y preservación de la reserva (REMACOPSE) muestren incertidumbre en la toma de decisiones, limitando el acceso a los turistas en varias áreas por prevención, pero sin respaldo técnico.

1.2 Justificación del problema

Este estudio busca reconocer de forma preliminar las principales características geológicas de las estructuras del borde costero en La Choclatera y La Lobería para ampliar el campo de acción de las autoridades competentes en la gestión de medidas de prevención. Es fundamental realizar una clasificación geomecánica del macizo rocoso del borde costero, debido a que permitirá reconocer el grado de amenazas geológicas en el área y a partir de allí, tomar las acciones que permitan la preservación del turismo y la sostenibilidad de la reserva.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la estabilidad y calidad geomecánica de los acantilados costeros en La Choclatera y La Lobería a partir de análisis geológico-geotécnico y modelos determinísticos.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Clasificar geomecánicamente los puntos de mayor inestabilidad en los taludes rocosos de La Choclatera y La Lobería, utilizando las clasificaciones geomecánicas Rock Mass Rating (RMR) y Slope Mass Rating (SMR)

2. Construir un modelado geomecánico determinístico por el método de límite de equilibrio para el reconocimiento de posibles roturas en el área.
3. Sugerir medidas conceptuales para prevenir el riesgo ante los peligros geológicos en el sitio.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Marco geológico regional

La geología regional según Rodríguez, Velázquez y Guevara (2021) forma un puente esencial entre la geología local y la continental/global. Su propósito debería ser simplificar los datos locales de la superficie y el subsuelo a una escala que ayude a la predicción e ilumine aún más las generalizaciones más amplias implícitas en las síntesis continentales y globales.

La figura 1.1 muestra la distribución espacial de las 12 cuencas sedimentarias del antearco en el Ecuador, las cuales Benítez (1995) denomina como “Cuencas de Antearco Terciarias”. El área de estudio se localiza en la Cuenca Progreso al suroeste del país.

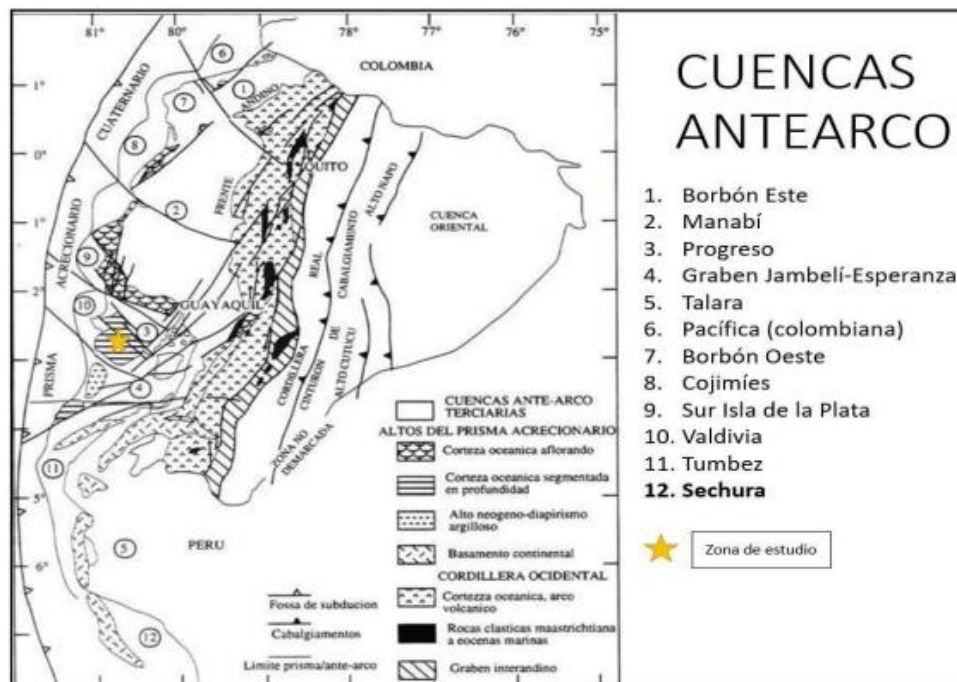


Figura 1.1 Marco geológico de la Provincia de Santa Elena (Benítez, 1995).

De acuerdo con la carta geológica de Santa Elena (Instituto Nacional de Investigación Geológica, 1974) el área de estudio se encuentra sobre la Formación Cayo, la cual está

representada litológicamente por areniscas medias a gruesas y grauvacas (CLIRSEN, 2011). Levantamientos posteriores afectaron a la Península de Santa Elena y a la Cordillera Chongón y Colonche, lo cual provocó la creación de terrazas a distintos niveles, las cuales dieron nombre a la Formación Tablazo, constituida por conglomerados finos y areniscas calcáreas que cubren la Puntilla de Santa Elena en posición subhorizontal entre 50 y 100 m, yaciendo directamente sobre Cayo (Benítez, 1995).

Feininger & Bristow (1983) definió como Wildflysch Olistostrome en la Puntilla de Santa Elena a las capas de lutitas y areniscas silicificadas, con ondulaciones o rizaduras propias de deslizamientos singenéticos, de 185 a 1065 m de espesor, que ocurren entre las formaciones autóctonas subyacentes Piñón y Cayo, y el Grupo Azúcar suprayacente.

Núñez del Arco (1986) define estas capas como un bloque aislado y engolfado por el Grupo Azúcar, habiendo llegado por deslizamientos hacia el SW desde la Cordillera Chongón y Colonche.

Jaillard (1993) la define como la Formación Santa Elena, siendo un equivalente de la Formación Cayo, como capas de lutitas silíceas, blancas a verdosas, con delgadas intercalaciones de lutitas verdes, a menudo con contenido de cherts, a la cual se le ha asignado una edad de Cretácico Tardío, piso Maastrichtiano, alcanzando el Paleoceno en su tope. (Ordóñez et al., 2006)

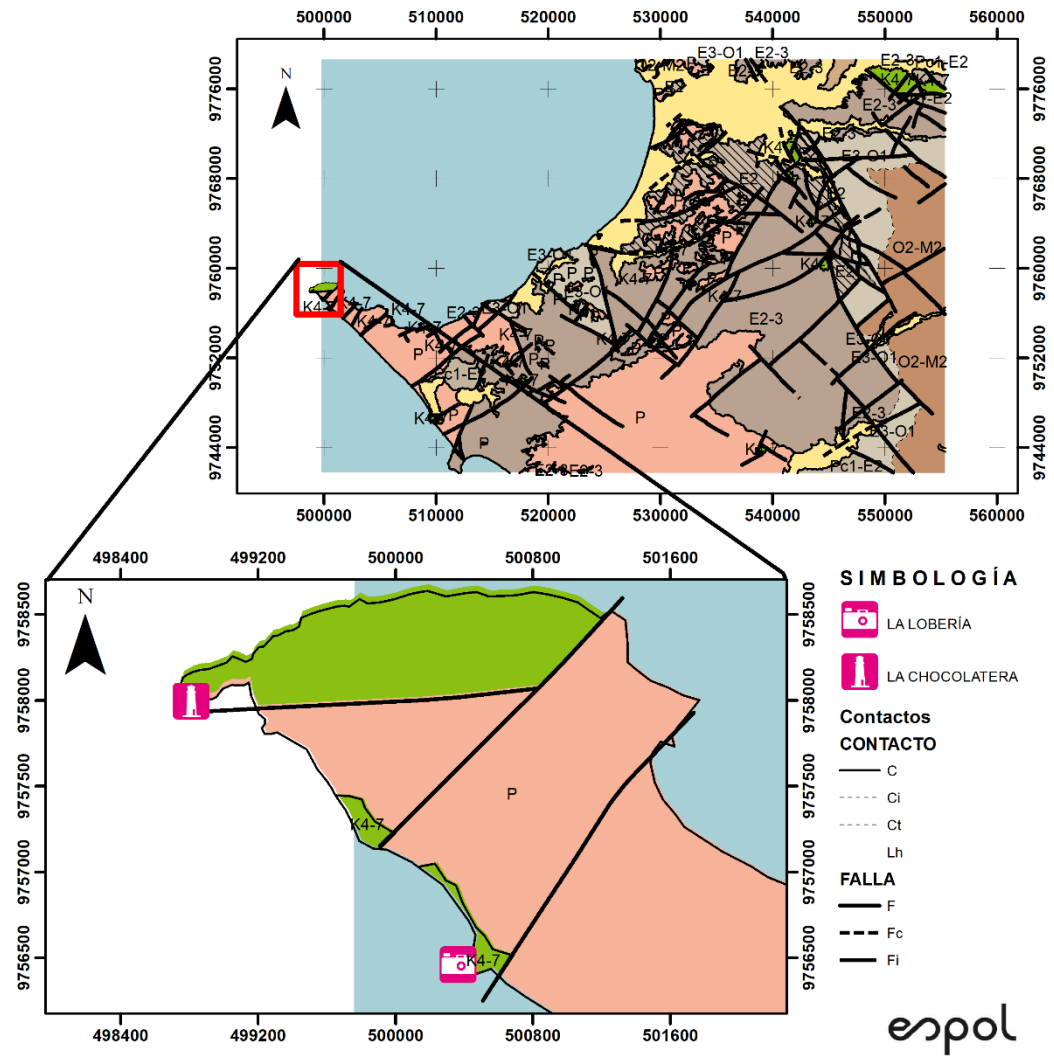
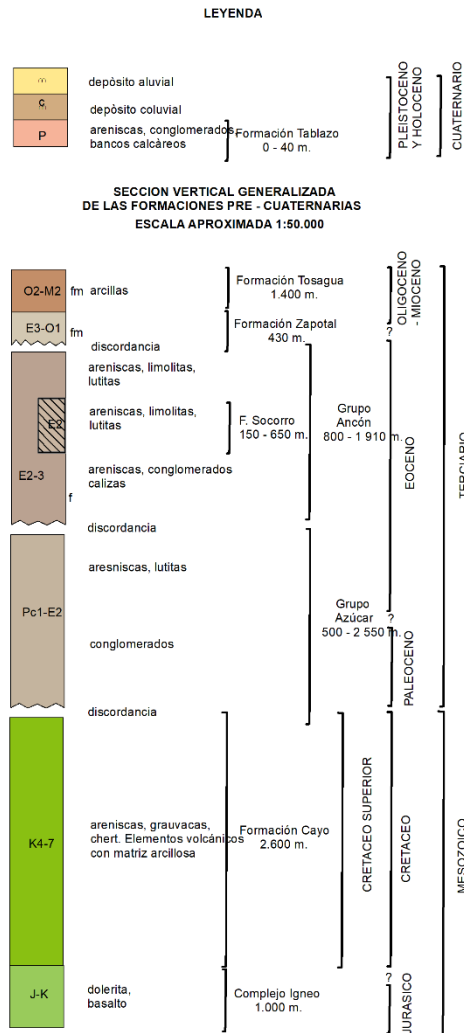


Figura 1.2 Mapa geológico de la provincia de Santa Elena (Autor, 2023).

1.4.2 Marco Tectónico

Daly (1989) en su estudio de la evolución de las cuencas de antearco ubicadas en Ecuador, explica que la configuración estructural que se muestran actualmente en las dichas cuencas, se deben principalmente a su ubicación en el margen activo Andino, y a varios eventos estructurales; entre los que destacan: el fallamiento del basamento de Cayo y Piñón durante Eoceno medio a tardío, lo que produjo fracturas en sentido WNW-ESE, como las fallas Chongón Colonche y La Cruz (Figura 1.3); una fase extensiva en sentido E-W, durante el Oligoceno tardío al Mioceno medio, que se manifiestan con fracturas en sentido NNE-SSW.

Pedoja (2003) en su estudio de sismicidad, régimen de tensiones, deformaciones co-sísmicas mediante el análisis geotectónico de los andes del ecuador y el estudio de los mecanismos focales de los terremotos en el margen del Bloque Norandino propone un régimen de estrés con la dirección de tensión máxima orientada a E-W, correspondiente a la mayor compresión debido a la convergencia de placas (Figura 1.4); lo que sería compatible con la formación de estructuras tensionales en el mismo sentido.

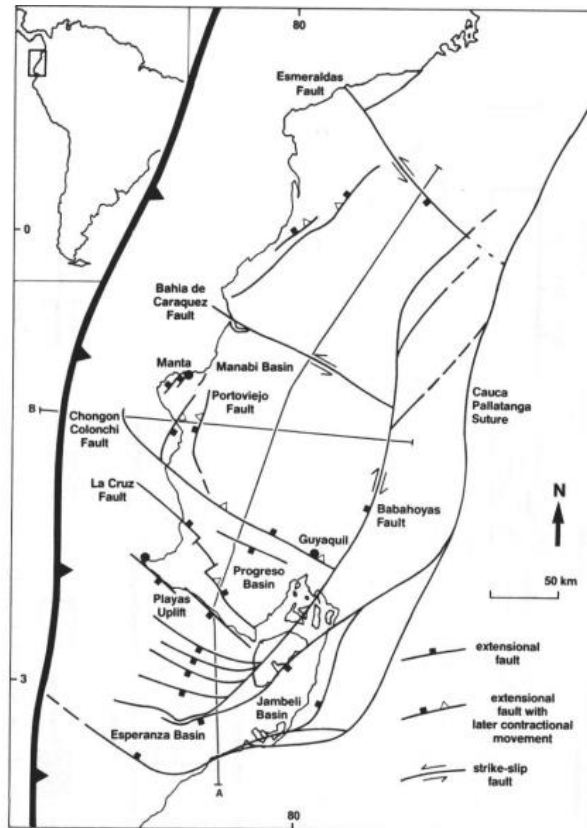


Figura 1.3 Mapa estructural de la region del antearco de Ecuador (Daly, 1989).

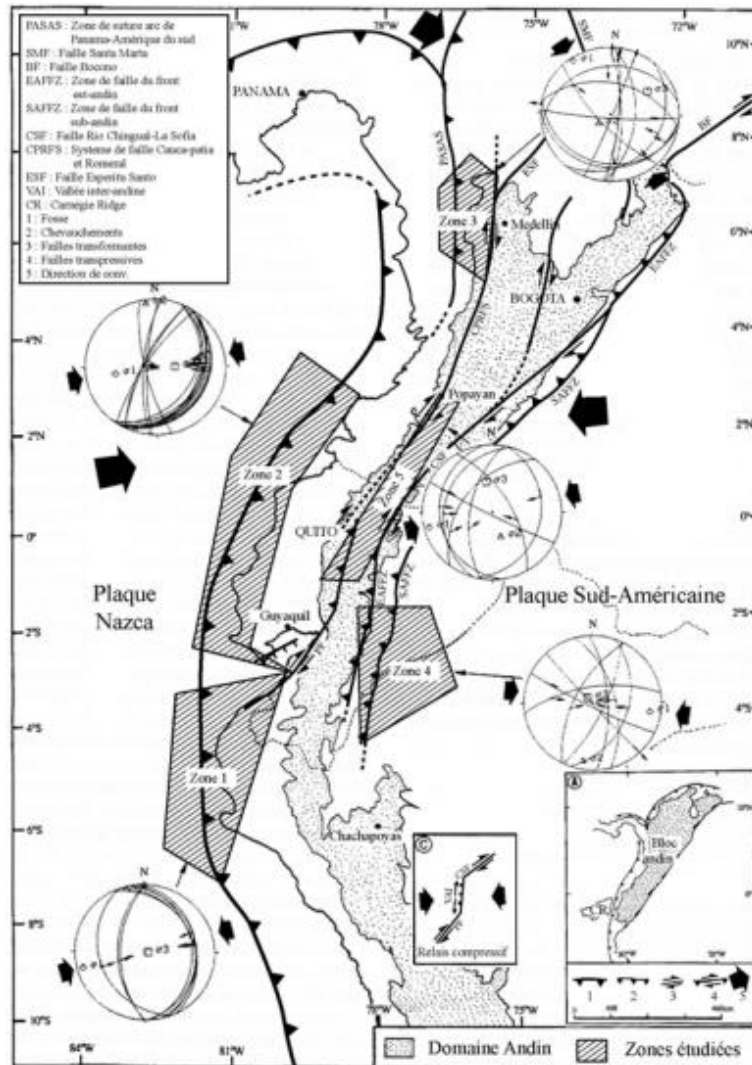


Figura 1.4 Regimen de compresiones del margen Norandino (Pedoja, 2003).

1.4.3 Clasificación geomecánica de los macizos rocosos

Las clasificaciones geomecánicas tienen como objetivo estimar los índices de calidad que se relacionan con las características geomecánicas del macizo y sus condiciones ante el sostenimiento de túneles y taludes, observando las características de los macizos rocosos y realizando ensayos de laboratorio (Ramírez & Alejano, 2008). Para esto, es importante conocer:

- Propiedades y comportamiento geomecánico del terreno
- Tipos de roturas (análisis cinemático)
- Geología, hidrogeología y otros parámetros que influyen en la estabilidad.

1.4.3.1 Clasificación Rock Mass Rating (RMR)

La clasificación propuesta por Bieniawski en 1973, actualizada en 1989, permite relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo para estimar resistencia y deformabilidad del macizo (González de Vallejo, 2002).

En esta clasificación se emplean parámetros como: Resistencia a compresión uniaxial de la matriz rocosa, grado de fracturación de la roca "RQD", espaciado de las discontinuidades, condiciones de las discontinuidades, condiciones hidrogeológicas y orientación de las discontinuidades (Guamán & Mendieta, 2013).

Clase	Valor	Descripción
I	RMR>80	Roca muy buena
II	80<RMR<60	Roca buena
III	60<RMR<40	Roca media
IV	40<RMR<20	Roca mala
V	RMR<20	Roca muy mala

Tabla 1.1 Calificación del RMR según sus parámetros

1.4.3.1.1 Resistencia a la compresión simple

La resistencia a la compresión simple es una característica mecánica que establece la capacidad de un material para soportar cierta carga por unidad de área y es expresada en Mpa.

1.4.3.1.2 Rock Quality Designation (RQD)

El índice de designación de calidad de roca (RQD) fue desarrollado por Deere (1989) para proporcionar una estimación cuantitativa de la calidad del macizo rocoso a partir de registros de núcleos de perforación. Priest y Hudson (1981) sugieren el cálculo del RQD a partir de la fórmula:

$$RQD = 100e^{-0.1(0.1\lambda + 1)}$$

Donde $\lambda=1/X$ y X es el promedio del espaciado de discontinuidades en metros. Esta fórmula permite estimar un valor de RQD al no contar con las condiciones de perforación, y se basa en la frecuencia del espaciado de discontinuidades (λ)

1.4.3.2 Índice Slope Mass Rating (SMR)

Esta clasificación direccionada a taludes, fue propuesta por (Romana, 1997) y es obtenido a partir del RMR definiendo factores de ajustes los cuales toman en cuenta las orientaciones de las discontinuidades y excavaciones. Se formula como:

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

Donde:

- RMR es la ponderación de calidad del macizo rocoso
- F1 es un subfactor de ajuste que varía entre 1,00 y 0,15 y es dependiente del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y la cara del talud, y se establece por métodos empíricos o a partir de la expresión $F1 = (1 - \sin aj - as)^2$, donde aj es el ángulo de dirección de la discontinuidad y as es el ángulo de dirección del talud
- F2 es otro subfactor que depende de la discontinuidad en la rotura tipo planar, y varía entre 1,00 y 0,15. Al igual que F1, se establece de forma empírica o a partir de la expresión $F2 = (\tan^2 bj)^2$, donde bj es el buzamiento de la discontinuidad. F2 será igual a 1,0 para las roturas por volcamiento.
- F3 es la relación entre los buzamientos de la discontinuidad y el talud
- F4 es un factor de ajuste por excavación.

1.4.4 Criterio Hoek y Brown

El criterio generalizado de Hoek-Brown es un criterio de falla empírico que permite evaluar la resistencia y deformabilidad de macizos rocosos fracturados en términos de tensiones principales mayores y menores, en el que predice envolventes de resistencia que concuerdan bien con los valores determinados a partir de pruebas triaxiales de laboratorio de roca intacta y de fallas observadas en macizos rocosos fracturados (Hoek & Brown, 2007).

El criterio generalizado de Hoek-Brown no es lineal y relaciona las tensiones principales efectivas mayor y menor (σ'_1 y σ'_3) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Dónde:

σ'_1 y σ'_3 son las tensiones principales efectivas axial (mayor) y de confinamiento (menor) respectivamente, σ_{ci} es la resistencia a la compresión uniaxial del material rocoso intacto, m_b es un valor reducido (para el macizo rocoso) de la constante material m_i (para la roca intacta) y s son constantes que dependen de las características del macizo rocoso.

Para poder utilizar el criterio de Mohr Coulomb, es importante determinar los ángulos de fricción y cohesión de las rocas partiendo del criterio de Hoek & Brown. La cohesión puede calcularse a partir de la fórmula:

$$c' = \frac{(\sigma_{ci}) \left[2 - \frac{1}{2(m_i)(\sigma'_{3n})} \right] 2 - [1 + (m_i)(\sigma'_{3n})]^{-1/2}}{3,75 \sqrt{1 + 0,8(m_i)[1 + (m_i)(\sigma'_{3n})]^{1/2}}}$$

Donde:

$$\sigma'_{3n} = \frac{\sigma_{3max}}{\sigma_{ci}} \text{ y } m_i = \frac{\sigma_{ci}}{\sigma_t} - \frac{\sigma_t}{\sigma_{ci}}$$

Siendo σ_{3max} el límite superior de la tensión de confinamiento y σ_t la resistencia a la tracción. Es decir, se deben conocer la resistencia a la tracción y compresión simple de las rocas mediante ensayos de laboratorio; sin embargo, Brock (1993) propone la relación media entre las resistencias a compresión y a tracción de las rocas, la cual es de 16 (Ramírez & Alejano, 2008).

1.4.5 Modelos de rotura en macizos rocosos

1.4.5.1 Rotura tipo planar

Para la generación de una rotura planar, la principal condición es la existencia de un conjunto o familia de discontinuidades que estén buzando a favor del talud y con su misma dirección (González de Vallejo, 2002)

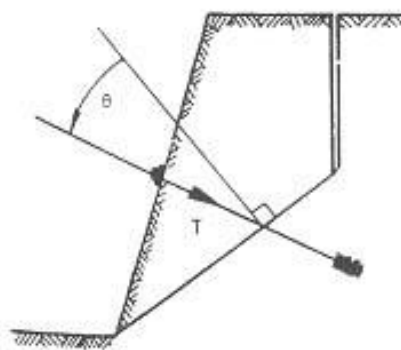


Figura 1.5 Talud con rotura plana (Hoek & Bray, 1977).

1.4.5.2 Rotura tipo cuña

Este tipo de roturas se dan, principalmente, por la formación de dos planos de discontinuidades a favor de su línea de intersección. Las roturas tipo cuña tienden a presentarse en taludes que cuentan con varias familias de discontinuidades. (González de Vallejo, 2002)

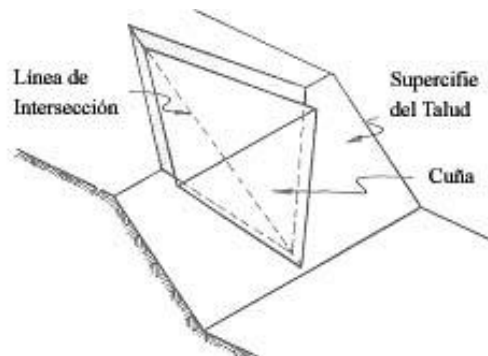


Figura 1.6 Talud con rotura plana (Hoek & Bray, 1977).

1.4.5.3 Rotura tipo vuelco

La rotura por vuelco se da en taludes en los cuales los estratos cuentan con un buzamiento en el sentido opuesto a la inclinación del talud y dirección paralela al mismo. Usualmente se visualizan estratos fracturados en bloques a favor del conjunto de discontinuidades ortogonales entre sí. (González de Vallejo, 2002)

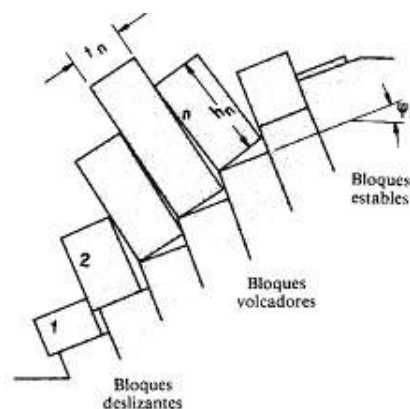


Figura 1.7 Conjunto de bloques en rotura por vuelco (Hoek & Bray, 1977).

1.4.6 Fotogrametría

La fotogrametría es un metodología de trabajo cuyo objetivo es analizar y definir de manera precisa la forma, dimensión y posición de un cuerpo en cualquier espacio, a partir de una o varias tomas fotográficas de dicho cuerpo (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2018).

En lo que corresponde a la geología éste método es utilizado para el análisis general del hundimiento de terrenos en diversas zonas, generando ortofotos, las cuales dan paso a modelos digitalizados de elevaciones, con los que crear perfiles y demás análisis geométricos, para conocer los volúmenes, topografías y altimetrías (Olivares, 2020).

1.4.7 Modelo de Análisis Determinista

Un modelo determinista es un modelo en el cual las mismas entradas generan, sin variación, los mismos resultados (Pacheco, 2017). Para este trabajo se utilizará la metodología de límite de equilibrio, el cual tiene como objetivo estimar los factores de seguridad de cada modelo de acuerdo al escenario planteado.

Para el procesamiento mediante software de análisis de estabilidad de taludes, el análisis determinista requiere de ciertos parámetros de entrada, los cuales son conocidos de forma exacta y a partir de ellos se obtienen factores de seguridad. Estos parámetros son: orientaciones del plano de la cuña, la resistencia al corte, la cohesión, entre otros. A partir de los factores de seguridad obtenidos, es posible realizar la interpretación de la estabilidad de un macizo rocoso partiendo de la relación entre las fuerzas de resistencia y las fuerzas impulsadoras. (RocScience, 2019)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En un aspecto nacional se considera el artículo presentado por Bastidas et al. (2022) titulado “Análisis de Estabilidad de Túneles de Lava en la Isla Santa Cruz (Islas Galápagos, Ecuador) Usando Clasificaciones de Macizos Rocosos: Enfoque Empírico y Modelado Numérico” en el cual se realizó un análisis de estabilidad y determinación de grado de seguridad. La metodología de caracterización utilizada en este artículo se pueden aplicar a casos similares para estimar el grado de estabilidad y riesgo de colapso en los taludes que componen el área de estudio, constando con las siguientes fases: (i) recopilación de información a partir de cartografía geomecánica existente; (ii) clasificación geomecánica del macizo rocoso; (iii) modelado numérico aplicando el criterio de Hoek-Brown; (iv) comparación de metodología y discusión de los resultados.

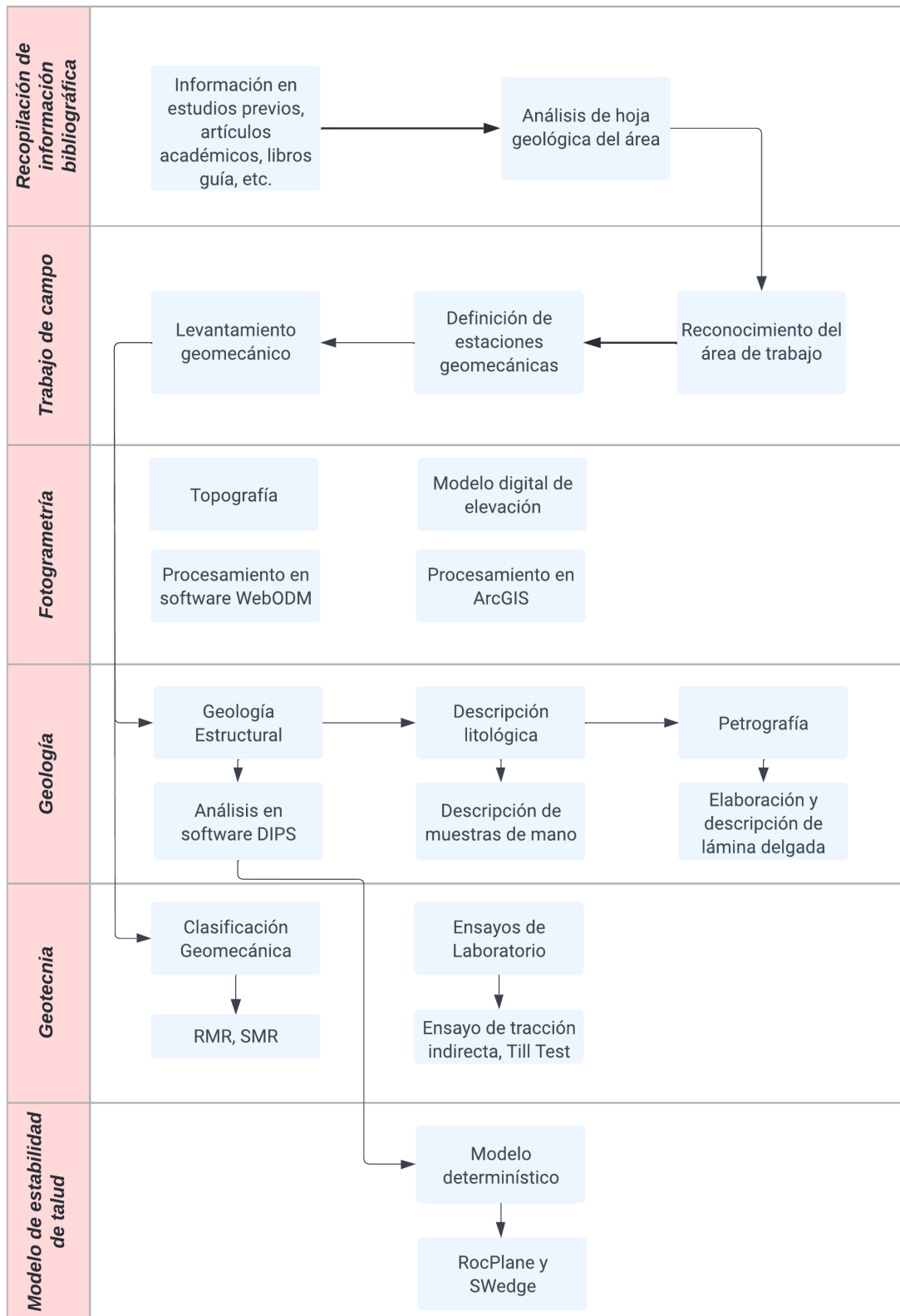


Figura 2.1 Diagrama de flujo de metodología

2.1 Recopilación de información bibliográfica

Para el presente trabajo, se realizó una indagación previa sobre información de la zona y de metodologías aplicables en el presente proyecto, descrita en la Tabla 2.1.

Núm.	Título	Autor(es)	Fuente
1	Análisis de Estabilidad de Túneles de Lava en la Isla Santa Cruz (Islas Galápagos, Ecuador) Usando Clasificaciones de Macizos Rocosos: Enfoque Empírico y Modelado Numérico	(Bastidas, Soria, Mulas, Loaiza, & Jordá, 2022)	Multidisciplinary Digital Publishing Institute https://doi.org/10.3390/geosciences12100380
2	Propuesta metodológica para la aplicación del Slope Mass Rating Continuo (SMR-C) mediante un sistema de información geográfica en los taludes de la vía La Moya-Achupallas	(Valdiviezo, 2014)	Repositorio ESPO http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/32267
3	Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1:25.000. Componente 4: Sistemas productivos. Cantón Salinas.	(Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN), 2011)	Memoria Técnica del Sistema Nacional de Información (SIN)
4	Plan de Manejo de la Reserva de Producción de Fauna Marino Costera Puntilla de Santa Elena	(Ministerio del Ambiente, 2020)	Ministerio del Ambiente https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/Acuerdo-Ministerial-Nro.-MAE-2020-006.pdf
5	Características geomorfológicas y sedimentológicas de la Bahía de Santa Elena	(Soledispa, 2008)	Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/publicaciones/actas-oceanograficas/file/242-caracteristicas-geomorfologicas-y-sedimentologicas-de-la-bahia-de-santa-elena
6	Geomechanical Evaluation of the Olón Cliff for Stabilization pre-design of the Blanca Estrella del Mar Sanctuary, Santa Elene, Ecuador	(Carrión Mero, y otros, 2020)	Google Books, WIT Press eLibrary https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/SDP20/SDP20038FU1.pdf

Tabla 2.1 Bibliografía analizada para la recopilación de información

2.2 Trabajo de campo

Inicia con el reconocimiento al área de interés; donde se establecen estaciones geomecánicas (EG).

Las herramientas requeridas en el levantamiento de fichas geomecánicas para la identificación, descripción y análisis de las características geotécnicas de los macizos rocosos son:

- Brújula geológica tipo Brunton y/o Geobrunton
- Martillo geológico
- Lupa
- Cintas métricas
- Esclerómetro o Martillo de Schmidt

El levantamiento geomecánico fue registrado en un formato de fichas de campo propuesto por González de Vallejo (2002) y modificada por Valdiviezo (2014) (ver apéndice A); en las que se detallan las características geotécnicas de la matriz rocosa y de las discontinuidades presentes en el talud, además del grado de meteorización de la roca; estos datos fueron complementados con la descripción litológica de la roca, toma de muestras (para el ensayo de laboratorio de tracción indirecta).

En la siguiente tabla se detallan las propiedades descritas en campo, recopilados en la fichas de levantamiento geomecánico:

Estructura estudiada	Característica o propiedad	Método
Matriz rocosa	Identificación	Observación en campo
	Meteorización	
	Resistencia de la roca	Ensayo de laboratorio
Discontinuidades	Orientación	Medida con brújula geológica
	Espaciado	Medido con cinta métrica
	Continuidad	
	Rugosidad	Observación en campo
	Resistencia de las paredes	Prueba con esclerómetro o Martillo Schmidt
	Apertura	Medido con cinta métrica
	Relleno Filtraciones	Observación en campo
Macizo rocoso	Familias de discontinuidades	Observación en campo
	Grado de meteorización	
	Grado de fracturación	

Tabla 2.2 Características a describir en campo

2.3 Topografía

2.3.1 Fotogrametría

Para realizar las labores de fotogrametría se utilizó un VANT DJI® Phantom IV Pro 2, el cual cuenta con un peso de 1375g, un diámetro de 350mm, una cámara de 20M de

píxeles efectivos y el cual puede volar cerca de 30 minutos, a una altura propuesta de 60m. El control de vuelo fue comandado a través de la aplicación móvil DJI® Pilot contando con un GPS y un piloto automático.

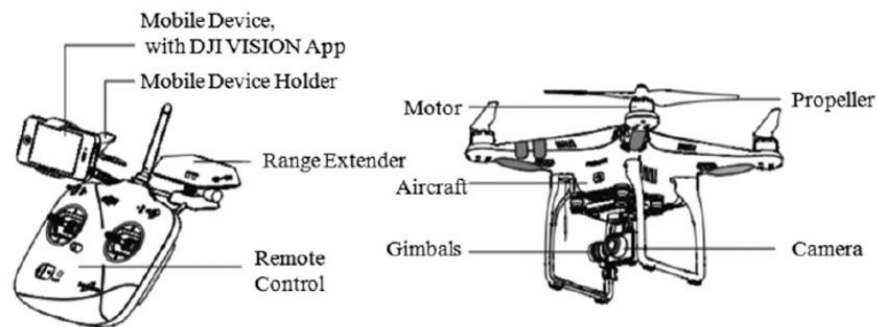


Figura 2.2 Componentes del VANT DJI® Phantom IV Pro 2

2.3.2 Modelo Digital de Elevación

Para realizar el análisis topográfico, se utilizó una ortofoto conseguida a partir del conjunto de fotografías aéreas tomadas por el sobrevuelo con el VANT en el área de La Chocolatera. Luego, fueron procesadas en el software libre WebODM 1.9.12, en el cual se generó automáticamente el modelo digital de elevación y la ortofoto. A partir de estos productos, se procede a realizar con el análisis del terreno y a la elaboración de mapas en el software ArcGIS Pro para representar las estructuras presentes en el área fotografiada.

2.4 Geología

2.4.1 Descripción litológica

Para realizar la descripción litológica de las rocas del área se realizó el reconocimiento en el afloramiento, y se recolectaron muestras de cada litología, para realizar una descripción macroscópica de las rocas y además, elaborar láminas delgadas a un espesor de 0.3μ para la descripción microscópica. La preparación de las láminas delgadas se realizó utilizando los equipos del Laboratorio de Petrografía de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (FICT), en ESPOL.

2.4.2 Geología Estructural

Los datos tomados en la ficha de levantamiento geomecánico son cargados en el software de RocScience, Dips v7.016; son representados en la red estereográfica,

permitiendo conocer las direcciones de las familias de discontinuidades existentes en cada estación y posteriormente serán utilizadas en la estimación de estabilidad a partir de la clasificación geomecánica SMR. Además, utilizando la herramienta de análisis cinemático del software, se realiza la evaluación de probabilidades de ocurrencia de rotura planar, cuña y vuelco, generarán los modelos determinísticos.

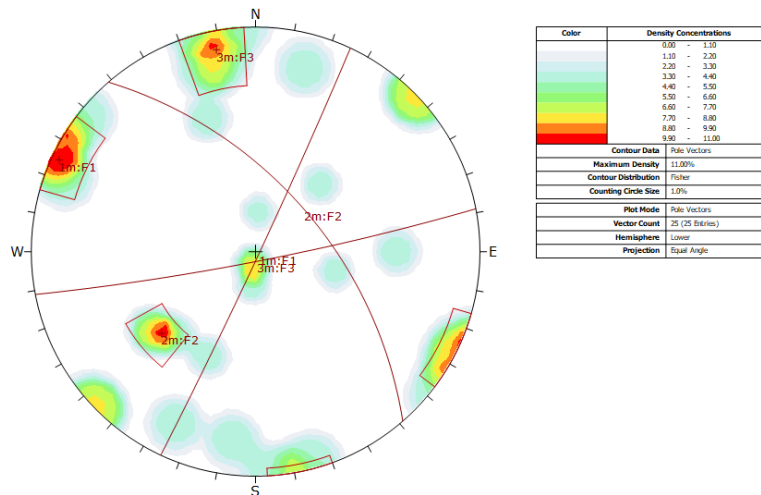


Figura 2.3. Procesamiento de datos para determinación de familias de discontinuidades en Dips.

2.5 Geotecnia

2.5.1 Ensayos de laboratorio

2.5.1.1 Ensayo de Tracción Indirecta (método brasileño)

Este ensayo consiste en someter una probeta cilíndrica de una roca a compresión. Dicho cilindro debe tener una longitud cercana a su radio, siendo comprimido en su diámetro hasta romperse a causa de las tensiones ocasionales en dirección perpendicular al cilindro (Ramírez & Alejano, 2008).

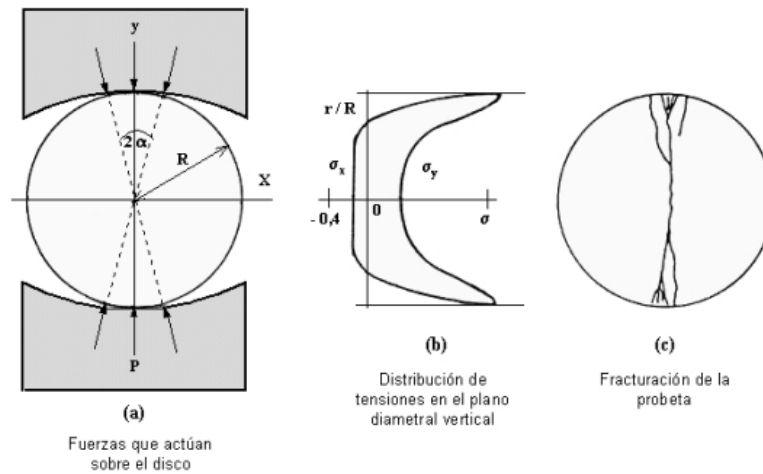


Figura 2.3 Ensayo de tracción indirecta, método brasileño.

Utilizando el concepto de Brock (1993), la cual establece una relación de 16 entre la resistencia a la compresión simple y la tracción de las rocas, se obtuvieron los valores de resistencia a la compresión simple para las muestras ensayadas.

Para realizar este ensayo, se extrajeron 2 muestras de rocas en el área:

- La muestra M_EG04 correspondiente a EG04, en el sector de La Chocolatera, la cual fue extraída de un sitio que presentaba deslizamientos.
- La muestra M_LOB01 correspondiente a LOB01, en el sector de La Lobería, la cual fue extraída del sitio de deslizamiento más reciente en La Lobería.

Las muestras de rocas obtenidas del área fueron sometidas a ensayos en el laboratorio de Geotecnia y Construcción de la Facultad de Ingeniería de Ciencias de la Tierra, en ESPOL. Para realizar el ensayo de resistencia a la tracción indirecta, fue necesario obtener varios testigos de perforación y, a partir de ellos, se obtuvieron 6 probetas cilíndricas, con las siguientes medidas:

Nombre	Diámetro (mm)	Espesor (mm)
EG04_1	54,7	25,35
EG04_2	53,75	30,12
EG04_3	54,55	22,32
LOB01_1	54,62	29,05
LOB01_2	54,7	30,6
LOB01_3	54,75	26,52

Tabla 2.3 Medidas de probetas cilíndricas sometidas a ensayo

Las probetas fueron sometidas al ensayo cumpliendo la norma ISRM 1981.

2.5.1.2 Tilt Test

El tilt test, o también llamado ensayo de inclinación, permite realizar la estimación del ángulo de rozamiento básico. Para medir este parámetro es necesario obtener 3 testigos, los cuales serán colocados en una superficie de apoyo horizontal: dos testigos son colocados paralelamente y juntos mientras que un tercer testigo es puesto encima de ellos. Posteriormente, la superficie en la cual se apoyan los testigos es inclinada hasta que el testigo localizado en la parte superior desliza sobre los otros dos testigos, permitiendo conocer el ángulo de rozamiento básico. (González de Vallejo, 2002)

Para la obtención del ángulo de fricción residual, se trabajará con la expresión de Barton & Choubey (1977):

$$\phi_r = (\phi_b - 20^\circ) + 20 \frac{r}{R}$$

Dónde:

ϕ_b es el ángulo de fricción básico estimado mediante el tilt test, r es el valor de rebote del esclerómetro sobre la superficie de la pared en campo y R el valor del rebote del esclerómetro sobre la superficie de la roca sana y seca. (González de Vallejo, 2002)

2.5.2 Clasificación geomecánica

Para clasificar geomecánicamente los macizos rocosos en el sitio de trabajo, fue necesario tomar datos en campo utilizando una ficha de levantamiento geomecánico (ver apéndice A).

2.5.2.1 Rock Mass Rating (RMR)

Para realizar la clasificación geomecánica RMR, fueron procesados los datos descritos en la ficha de levantamiento geomecánico (ver apéndice C), los cuales incluyen los parámetros requeridos para calificar la calidad del macizo rocoso y, los resultados de los ensayos realizados a las muestras tomadas en campo, para proceder con la calificación del RMR utilizando la Tabla 2.4.

Parámetros		Rango de valores							
1	Resistencia del material rocoso intacto	Índice de carga Puntual (Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	Para valores bajos es preferible el ensayo de compresión uniaxial		
		Resistencia a la compresión uniaxial	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Designación de calidad de roca (RQD)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25			
	Rating	20	17	13	8	3			

3	Espaciado de discontinuidades		>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60mm
	Rating		20	15	10	8	5
4	Condición de discontinuidades	Continuidad	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
		Rating	6	4	2	1	0
		Separación	Ninguna	<0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	>5 mm
		Rating	6	5	4	1	0
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Slickensided
		Rating	6	5	3	1	0
		Relleno		Relleno Duro		Relleno Suave	
			Ninguno	<5 mm	>5 mm	<5 mm	>5mm
		Rating	6	4	2	2	0
		Meteorización	Sana	Algo meteorizada	Med. Meteorizada	Muy meteorizada	Completamente meteorizada
Rating	6	5	3	1	0		
5	Hidrogeología	Flujo en 10 m de longitud de túnel (L/min)	Ninguno	<10	45931	25-125	>125
		Condiciones Generales	Sin presencia de agua	Represado	Húmedo	Goteos	Flujo
	Rating		15	10	7	4	0

Tabla 2.4 Sistema de clasificación de macizo rocoso RMR (Bieniawski, 1989).

2.5.2.1.1 Cálculo RQD:

Priest y Hudson (1981) sugieren el cálculo del RQD a partir de la fórmula:

$$RQD = 100e^{-0.1(0.1\lambda + 1)}$$

Donde $\lambda=1/X$ y X es el promedio del espaciado de discontinuidades en metros. Esta fórmula permite estimar un valor de RQD al no contar con las condiciones de perforación, y se basa en la frecuencia del espaciado de discontinuidades (λ)

2.5.2.1.2 Cálculo resistencia a la compresión simple:

La resistencia a la compresión simple puede ser estimada a partir de la fórmula propuesta por Miller (1965), el cual indica que:

$$\sigma = 10^{0.00088\gamma R + 1,01}$$

Dónde:

R es el promedio de los valores de índice R del esclerómetro tomado en campo, γ es la densidad de la roca y σ es el esfuerzo compresivo máximo que soporta un material rocoso antes de su fracturación (resistencia a la compresión simple) (Armas Zagoya, 2004).

2.5.2.2 Slope Mass Rating (SMR)

Una vez obtenido el RMR, se procede con la obtención del SMR, el cual incluye los factores de ajuste F1, F2, F3 y F4, dependientes de los buzamientos y los ángulos de dirección de las familias de discontinuidades.

- F1 se estima a partir de la expresión $F1=(1 - \sin \alpha_j - \alpha_s)^2$, donde α_j es el ángulo de dirección de la discontinuidad y α_s es el ángulo de dirección del talud.
- F2 se calcula a partir de la expresión $F2=(\tan^2 \beta_j)^2$, donde β_j es el buzamiento de la discontinuidad. F2 será igual a 1,0 para las roturas por volcamiento.
- F3 es la relación entre los buzamientos de la discontinuidad y el talud
- F4 es un factor de ajuste por excavación que se pondera a partir de la siguiente tabla:

Método	Talud Natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o excavación mecánica	Voladura deficiente
F4	+15	+10	+8	0	-8

Tabla 2.5 Factor de ajuste por el método de excavación (F4)

2.6 Modelo determinístico de estabilidad de taludes rocosos

Utilizando el software RocPlane v4.010 y SWedge v7.019 de Rocscience, es posible determinar el factor de seguridad de cada uno de los taludes estudiados en el proyecto.

2.6.1 RocPlane

El software RocPlane v4.010 nos proporciona un factor de seguridad para roturas planares. Para crear un modelo determinista es necesario conocer varios parámetros de entrada como:

- La dirección de la familia de discontinuidades que podría generar la rotura
- La altura del talud
- La dirección del talud
- El peso específico de la roca que compone el talud
- El ángulo de fricción
- La cohesión
- Las fuerzas que puedan afectar el talud, como lo son la exposición al agua y las fuerzas sísmicas.

Para las fuerzas sísmicas, se considera el coeficiente sísmico (factor Z) de 0.5 ya que, de acuerdo a la ubicación geográfica, La Chokolatera y La Lobería se sitúan en una zona sísmica de clase VI, de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2014).

La exposición al agua es estimada visualmente observando el porcentaje del talud que es cubierto por el agua en marea alta (ver tabla 2.6)

Estación geomecánica	Exposición (%)
EG04	20
LOB01	15

Tabla 2.6 Porcentaje de exposición al agua de los taludes

A partir de esto se realizan 3 análisis: estático-seco, dinámico-húmedo y dinámico-seco, entre los cuales se analizan la influencia de las fuerzas al talud y como varía la estabilidad de los mismos.

2.6.2 SWedge

SWedge v7.019 permite estimar el factor de seguridad para roturas tipo cuña a partir de varios parámetros de entrada como:

- La pareja de familia de discontinuidades que podrían generar la cuña
- La altura del talud
- La dirección del talud
- El peso específico de la roca que compone el talud
- El ángulo de fricción
- La cohesión
- Las fuerzas sísmicas y de agua presentes en el área.

A partir de esto se realizan 3 análisis: estático-seco, dinámico-húmedo y dinámico-seco, entre los cuales se analizan la influencia de las fuerzas al talud y como varía la estabilidad de los mismos.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Fotogrametría

Con el vuelo del VANT, se cubrió un área de 86.948,65 m², reconstruyendo 7.386.511 puntos, con un GSD de 2,8 cm/px. Con el procesamiento de esta información se obtuvo la ortofoto, se generó el Modelo Digital del Terreno y el hillshade (mapa de sombras) de La Chicolatera.

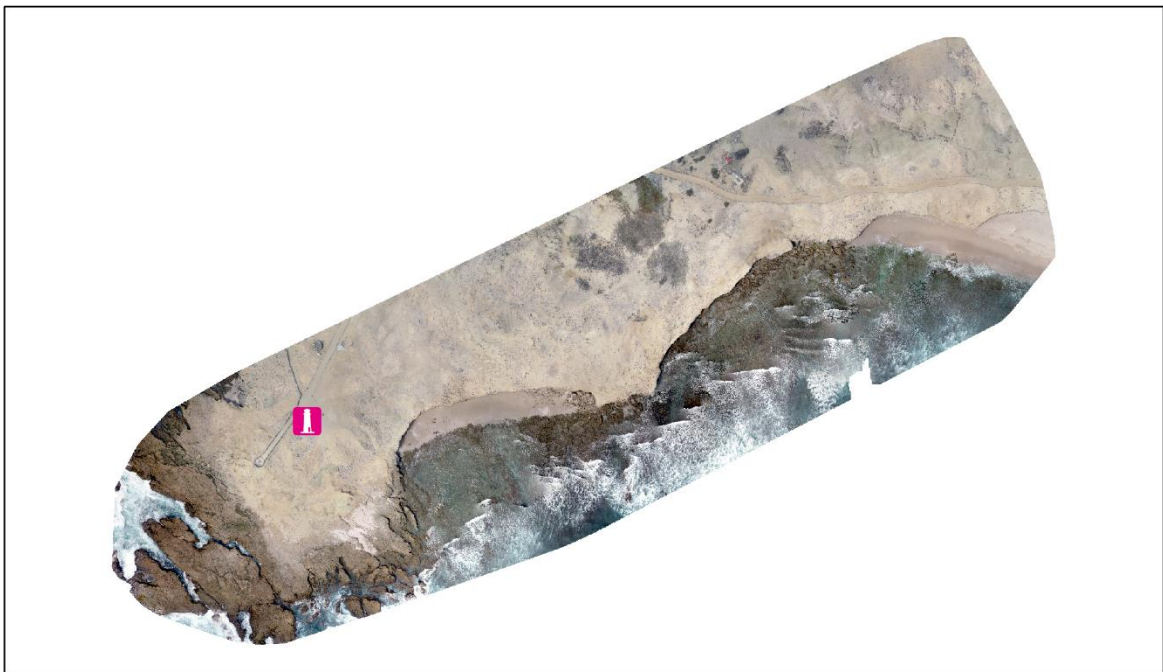


Figura 3.1 Ortofoto de La Chicolatera

El modelo digital del terreno nos permitió reconocer las alturas mínimas y máximas en el área (Figura 3.2). Este modelo permitió generar los perfiles de los taludes en La Chicolatera para corroborar las alturas de estos, mostrando taludes de menores a los 4,5m (ver apéndice B).

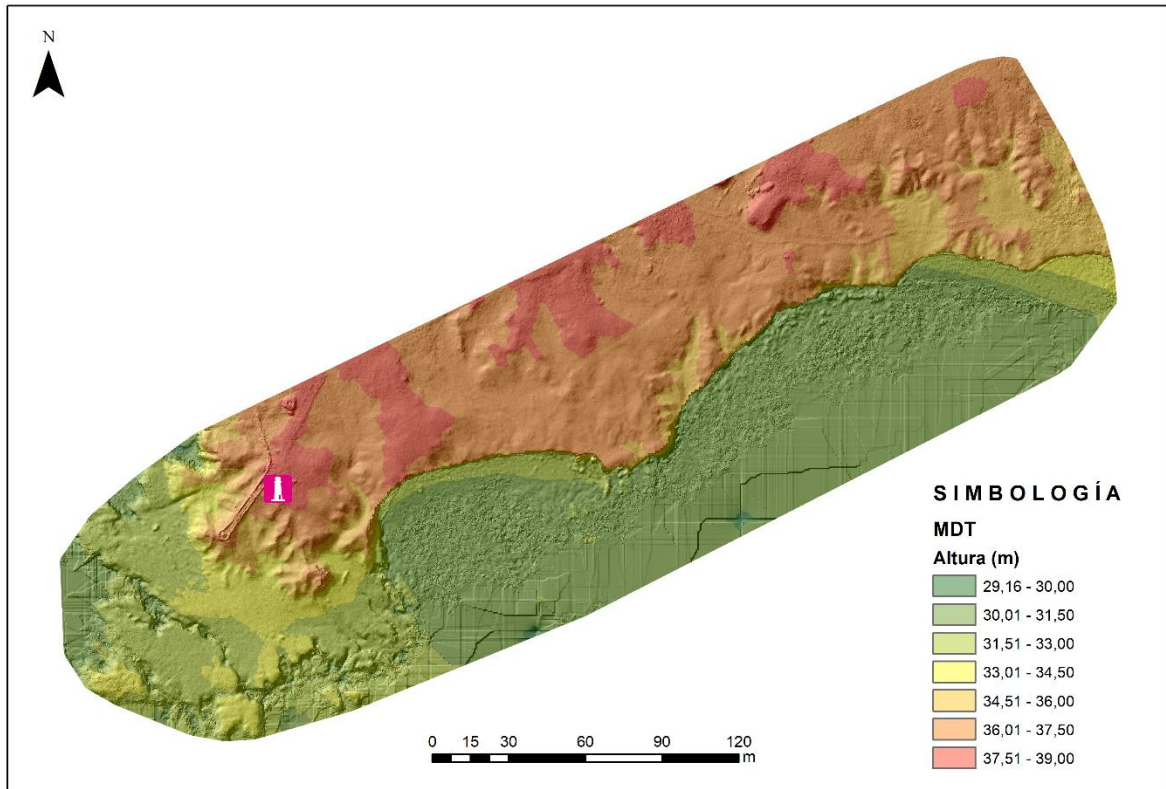


Figura 3.2 Modelo digital del terreno (La Chocolatera)

La ortofoto de alta resolución, el modelo digital del terreno y el hillshade (mapa de sombras), obtenidos por fotogrametría, son los insumos que nos permitieron reconocer los principales lineamientos presentes en el área. Se observan fracturas que se extienden desde el borde costero, hasta varios metros tierra dentro (Figura 3.3); y posibles trazas de falla, que posteriormente se verifican en cada talud estudiado, por criterios cinemáticos.

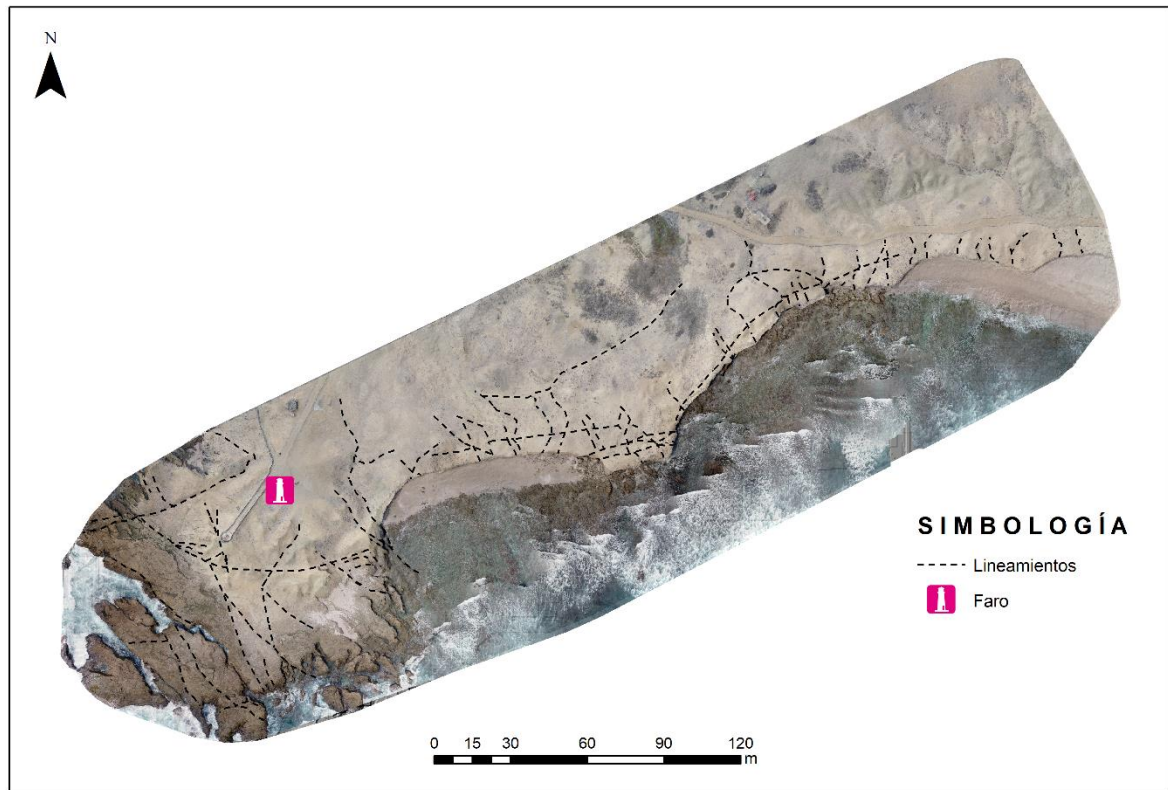


Figura 3.3 Lineamientos identificados en el área

La abundancia de fracturas puede ser indicativo de la inestabilidad que se requiere comprobar en este proyecto.

Se identifican dos direcciones principales de lineamientos a partir de fotogrametría. El primer grupo de lineamientos tienen una dirección aproximada ENE, lo que sugiere que son estructuras extensionales producto del régimen compresivo. El otro grupo de lineamientos presentan direcciones aproximadas que van desde NNW a NNE, compatibles con el mismo régimen compresivo; sin embargo requiere un estudio neotectónico para verificación de este postulado.

3.2 Geología

3.2.1 Descripción macroscópica de las rocas

Para la muestra M_EG04 se pudo identificar una naturaleza sedimentaria, de textura clástica, con matriz arcillosa (matriz soportado). Entre sus granos se observaron cristales de cuarzo microcristalino (raya en 8). Se la definió como una roca brecha de falla, contando con una gran cantidad de fracturas internas.

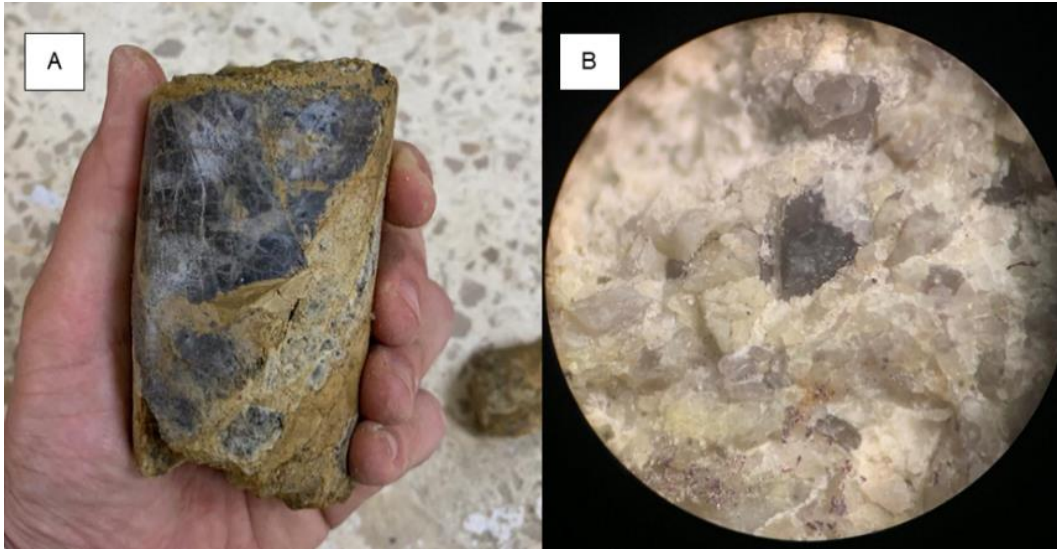


Figura 3.4 Roca brecha de falla

La muestra M_LOB01 fue definida como una lutita silicificada, ya que se identificaron granos de tamaño arcilla (menor a 0.063 mm). Presentó una coloración gris y varias fracturas que recorrían la roca que, al romperse, exponían cristales de sal.

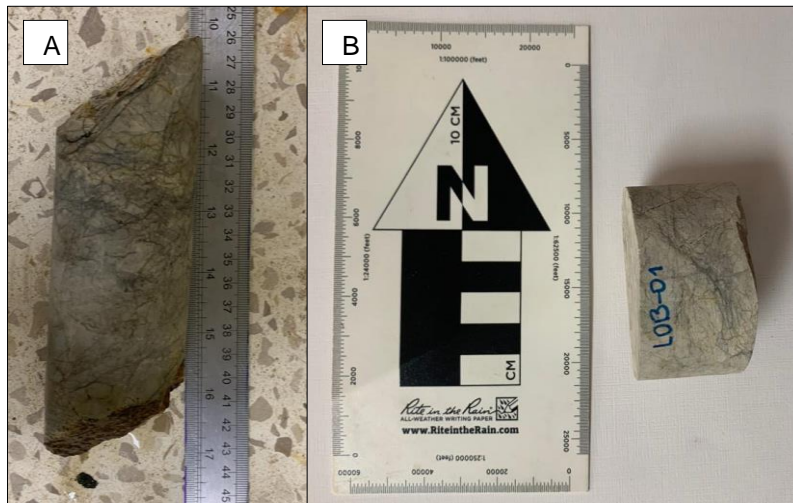


Figura 3.5 Lutita silicificada

3.2.2 Descripción microscópica de las rocas

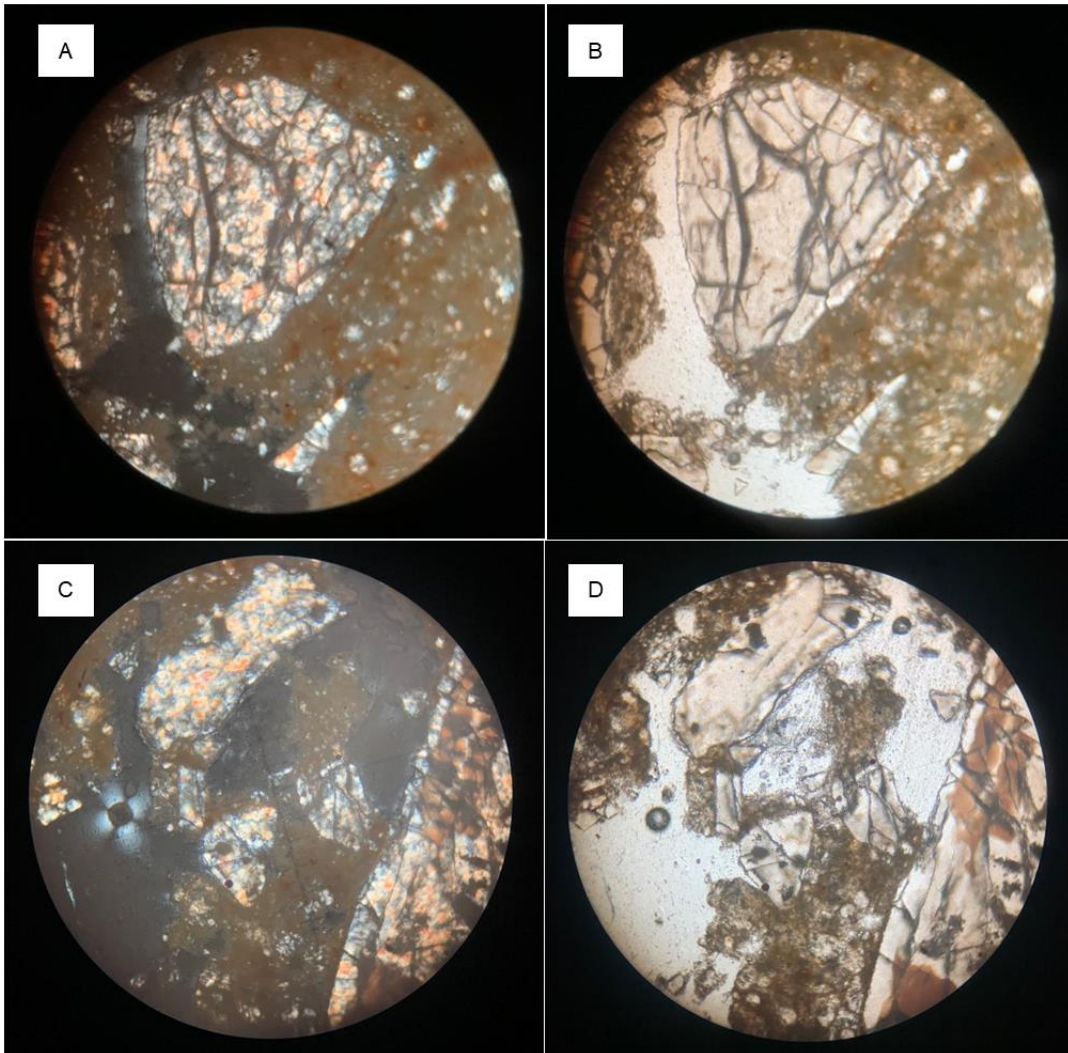


Figura 3.6 Muestra M_EG04 en nículos paralelos y nículos cruzados

En esta, se pudo observar cristales fragmentados de cuarzo microcristalino, matriz arcillosa y clastos angulosos a subangulosos, de baja esfericidad y de mala clasificación

3.3 Geotecnia

3.3.1 Ensayos de laboratorio

Los resultados obtenidos a partir del ensayo de tracción indirecta fueron:

Nombre	Fuerza Máxima	Tracción indirecta	RCS
Unidad	N	N/mm2	N/mm2
EG04_1	1555,28	0,71404	11,42464
EG04_2	4219,85	1,65937	26,54992
EG04_3	3728,07	1,94928	31,18848
LOB01_1	7768,95	3,11705	49,8728
LOB01_2	5066,32	1,92692	30,83072
LOB01_3	7018,57	3,0773	49,2368

Tabla 3.1 Resultados de ensayo de Tracción Indirecta

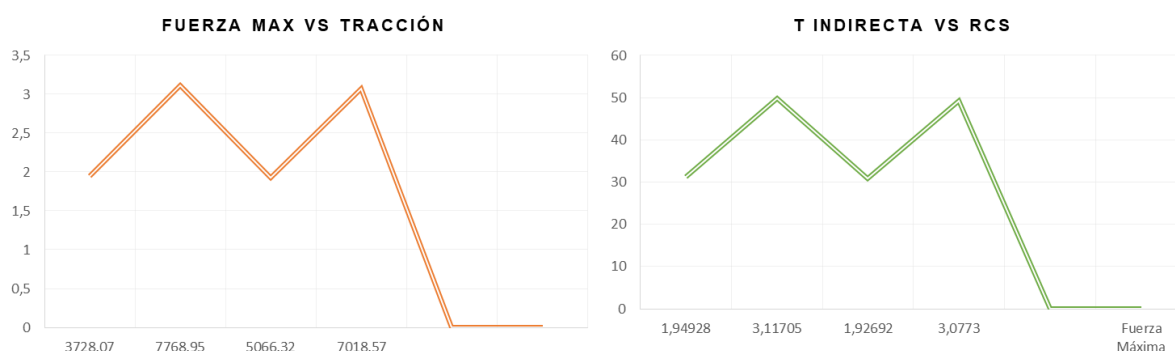


Figura 3.7 Gráficas de relación entre ensayos realizados.

Para el presente estudio, se utilizó el valor pico conseguido de cada muestra, ya que para cumplir el criterio de rotura de Hoek & Brown (1980) deben ser consideradas las tensiones efectivas principales que marquen la resistencia última previo a la rotura (Ramírez & Alejano, 2008). Cumpliendo con esto, se obtienen los valores de Resistencia a la compresión simple para las muestras ensayadas:

Muestra ensayada	RCS (MPa)
M_EG04	31,19
M_LOB01	49,87

Tabla 3.2 Resistencia a la compresión simple de las rocas a partir de ensayo de tracción indirecta

De igual forma, se utiliza el propuesto de Miller (1965) para calcular la resistencia a la compresión simple:

Estación geomecánica	Peso específico (t/m ³)	Índice R	RCS
EG01	2,07	29	33,75
EG02	2,04	29	33,17
EG03	2,07	35	43,2
EG04	2,07	28	32,52
EG05	2,24	29	37,22
LOB01	1,84	30	30,66

Tabla 3.3 Resistencia a la compresión simple de las rocas a partir de Miller (1965)

Además, se realizó el tilt test para la obtención del ángulo de fricción básico (ϕ) de las rocas:

	M_EG04 (°)	M_LOB01 (°)
Prueba 1	35	28
Prueba 2	40	30
Prueba 3	35	32
Prueba 4	33	29
Prueba 5	37	33
Prueba 6	32	28
ϕ_b	35,3	30

Tabla 3.4 Valores de ángulo de fricción básico hallados mediante tilt test

Estos valores son utilizadas en la expresión Barton & Choubey (1977) para obtener el ángulo de fricción residual:

	M_EG04 (°)	M_LOB01 (°)
ϕ_b	35,3	30
r	22,22	30
R	28	30
ϕ_r	31,17	30

Tabla 3.5 Estimación de ángulos de fricción residual a partir de Barton & Choubey (1977)

Con los valores de tracción, resistencia a la compresión simple y de ángulos de fricción, fue posible obtener otros parámetros requeridos para cumplir con el criterio de Hoek & Brown y calcular la cohesión (c') de las rocas. Se observan los valores en la Tabla 3.6.

	σ_{ci} (MPa)	m_i	σ'_{3n}	c' (MPa)
M_EG04	31,04	15,94	0,06	2,07
M_LOB01	49,87	15,92	0,06	3,35

Tabla 3.6 Parámetros calculados para obtención de la cohesión

3.4 Clasificación geomecánica

3.4.1 Estaciones geomecánicas

Se realizaron 5 visitas a través de la cuales se establecieron 6 estaciones geomecánicas y se levantaron 9 fichas de campo, distribuidas en la Tabla 3.7.

Estación Geomecánica	Sector	Coordenadas (UTM)	Número de fichas	Orientación de la pendiente (Dip/Dip direction)
EG01	La Chocolatera	498786,1; 9757972,1	2	30/285
EG02	La Chocolatera	498846,7; 9757969,3	1	45/125
EG03	La Chocolatera	498865,5; 9757994,2	1	80/160
EG04	La Chocolatera	498923,6; 9757999,1	2	88/180
EG05	La Chocolatera	499096,5; 9758076,8	1	55/170
LOB01	La Lobería	500440,8; 9756480,2	2	81/090

Tabla 3.7 Estaciones geomecánicas en el área de estudio

En La Chocolatera se establecieron 5 estaciones geomecánicas debido a la amplia extensión del sitio, en las cuales se presentan deslizamientos, cavernas y varias estructuras como familias de diaclasas y amplias fracturas que debieron ser medidas para la zonificar correctamente el área. En La Lobería, se encontró 1 talud con deslizamientos el cual fue tomado en cuenta para el presente estudio (ver Figura 3.8).

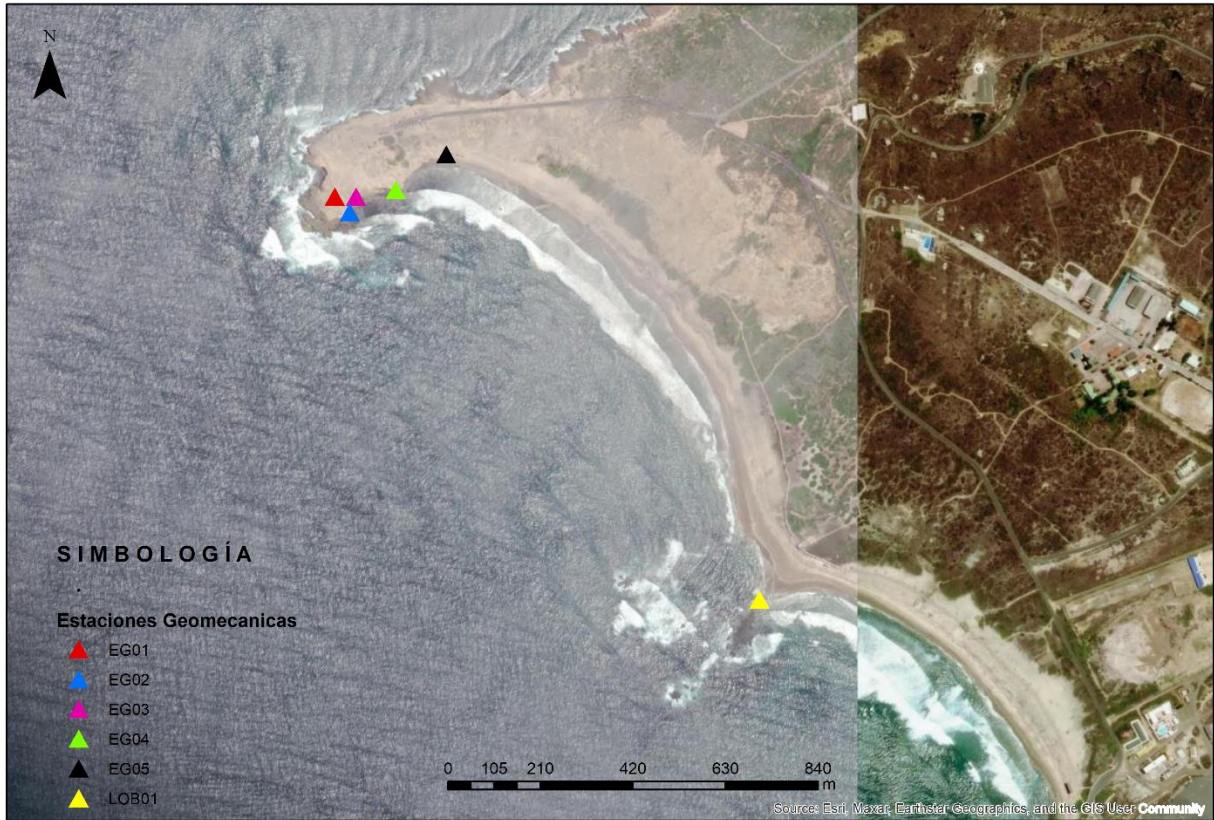


Figura 3.8 Mapa de ubicación de las estaciones geomecánicas (Autor, 2023).

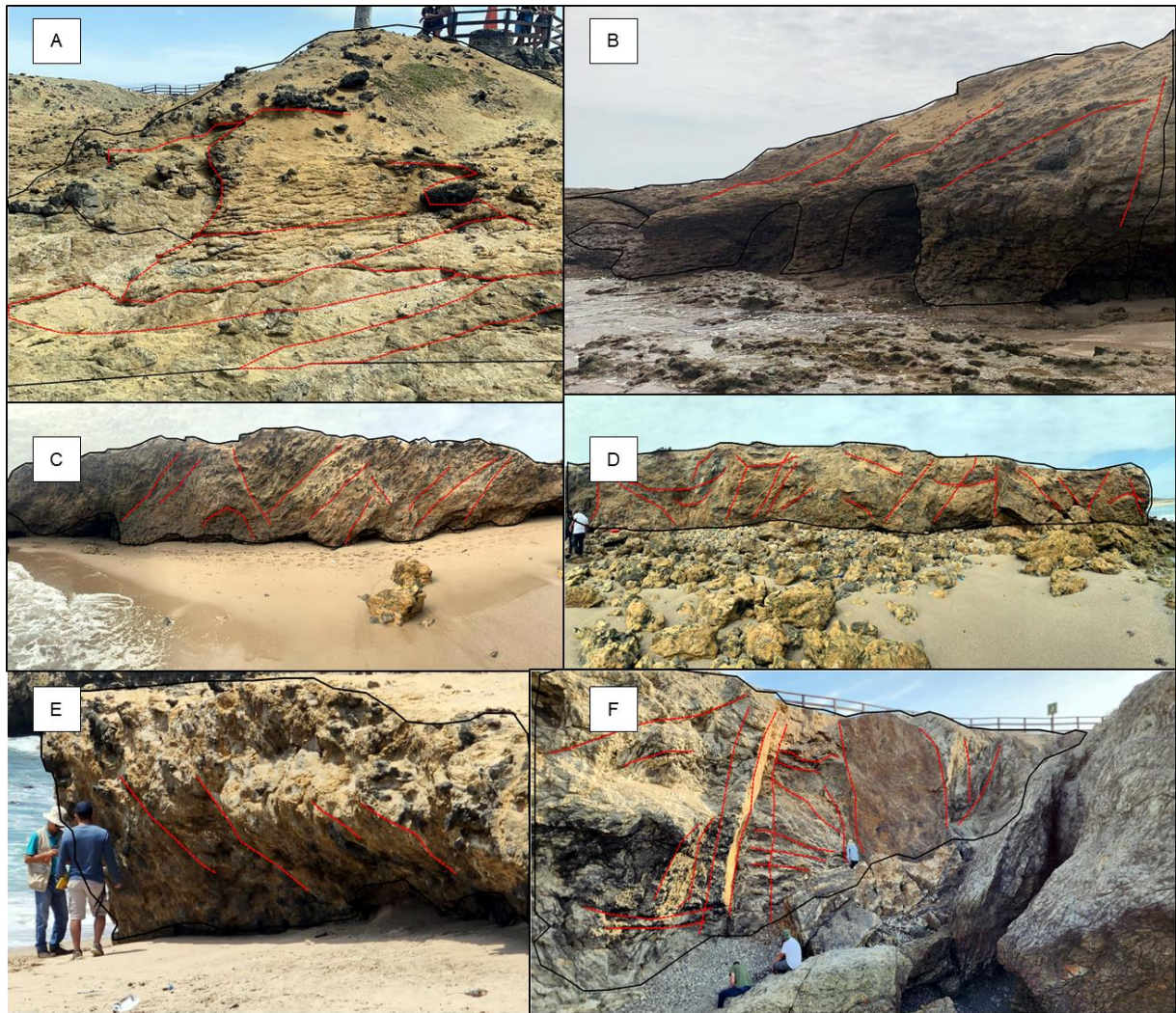


Figura 3.9 Croquis de las estaciones geomecánicas

Figura 3.9A corresponde a EG01, Figura 3.9B corresponde a EG02, Figura 3.9C corresponde a EG03, Figura 3.9D corresponde a EG04, Figura 3.9E corresponde a EG05 y Figura 3.9F corresponde a LOB_01.

3.4.2 RMR

Con base en las mediciones realizadas en campo, se procedió a calcular la clasificación geomecánica de cada estación. Los valores de RQD obtenidos se muestran en la Tabla 3.8.

	EG01	EG02	EG03	EG04	EG05	LOB01
RQD	94,98	97,83	88,29	99,97	96,63	99,88

Tabla 3.8 Valores de RQD hallados a partir de criterio de Priest y Hudson (1981)

Con los valores de resistencia a la compresión simple obtenidos a partir del propuesto de Miller (1965), se complementó la tabla de calificación con los parámetros medidos en

campo (ver Tabla 3.9), clasificando la calidad de las rocas de los taludes en la Tabla 3.10.

Parámetro	Resistencia a la compresión simple	RQD	Espaciado de discontinuidades	Continuidad	Separación	Rugosidad	Relleno	Meteorización	Hidrogeología
EG01	25-50	90-100	200-600mm	3-10m	<0,1mm	Rugosa	<5mm	Algo meteorizada	Húmedo
EG02	25-50	90-100	60-200mm	3-10m	<0,1mm	Rugosa	<5mm	Muy meteorizada	Flujo
EG03	25-50	75-90	60-200mm	3-10m	<0,1mm	Rugosa	<5mm	Med. meteorizada	Húmedo
EG04	25-50	90-100	60-200mm	3-10m	>5mm	Rugosa	>5mm	Muy meteorizada	Húmedo
EG05	25-50	90-100	200-600mm	1-3m	0,1-1,0mm	Rugosa	<5mm	Algo meteorizada	Húmedo
LOB01	25-50	90-100	200-600mm	3-10m	>5mm	Ligeramente Rugosa	<5mm	Muy meteorizada	Húmedo

Tabla 3.9 Parámetros para cálculo RMR

	EG01	EG02	EG03	EG04	EG05	LOB01
RMR	62	49	55	51	63	57
Clasificación	Calidad roca buena	Calidad roca media	Calidad roca media	Calidad roca media	Calidad roca buena	Calidad roca media

Tabla 3.10 Clasificación geomecánica RMR de cada estación

Para mayor detalle, ver apéndice D.

3.5 Análisis cinemático

3.5.1 Representación en la red estereográfica

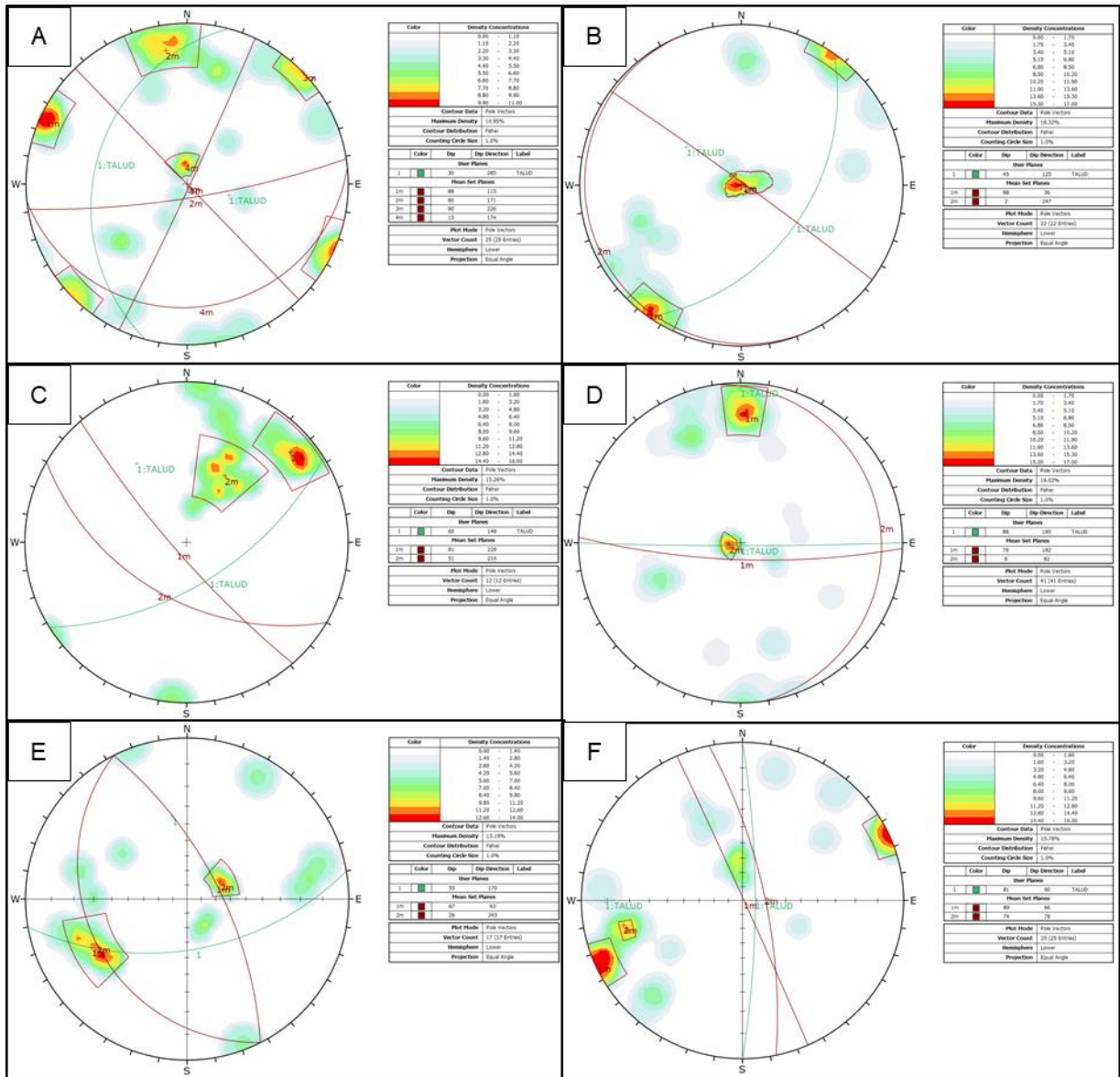


Figura 3.10 Redes estereográficas de las estaciones geomecánicas

Se observan las redes estereográficas de las estaciones geomecánicas. La imagen A corresponde a la EG01, imagen B a EG02, imagen C a EG03, imagen D a EG04, imagen E a EG05, imagen F a LOB01.

A partir de la red estereográfica, fue posible conocer las orientaciones de las familias de discontinuidades en cada estación geomecánica y desarrollar el análisis cinemático para cada una y los resultados son observados en la tabla 3.11.

Estación geomecánica	Dirección de la discontinuidad	Orientación de la pendiente
EG1	2/262	30/285
	88/115	
	80/171	
	90/226	
	15/174	
EG2	88/36	45/125
	2/247	
EG3	26/132	80/160
	81/229	
	51/210	
EG4	8/92	88/180
	78/182	
	8/82	
EG5	0/154	55/170
	67/63	
	26/243	
LOB01	38/156	81/90
	89/66	
	74/78	

Tabla 3.11 Dirección de las familias de discontinuidades por cada estación geomecánica

3.5.1.1 Análisis cinemático de las familias de discontinuidades.

Una vez obtenidas las direcciones de las familias de discontinuidades, se dio paso a la herramienta de análisis cinemático del software Dips v7.016 en el cual se generaron los porcentajes de ocurrencias de los diferentes modelos de rotura de macizos rocosos. A partir de esto, se obtuvieron los porcentajes de rotura descritos en la Tabla 3.12.

	Planar (%)	Cuña (%)	Vuelco (%)
EG01	0,00%	0,00%	0,00%
EG02	0,00%	1,73%	4,76%
EG03	0,00%	12,12%	0,00%
EG04	100,00%	39,7%	5,73%
EG05	0,00%	3,68%	4,41%
LOB01	100,00%	16,05%	0,00%

Tabla 3.12 Porcentajes de ocurrencia de los tipos de rotura

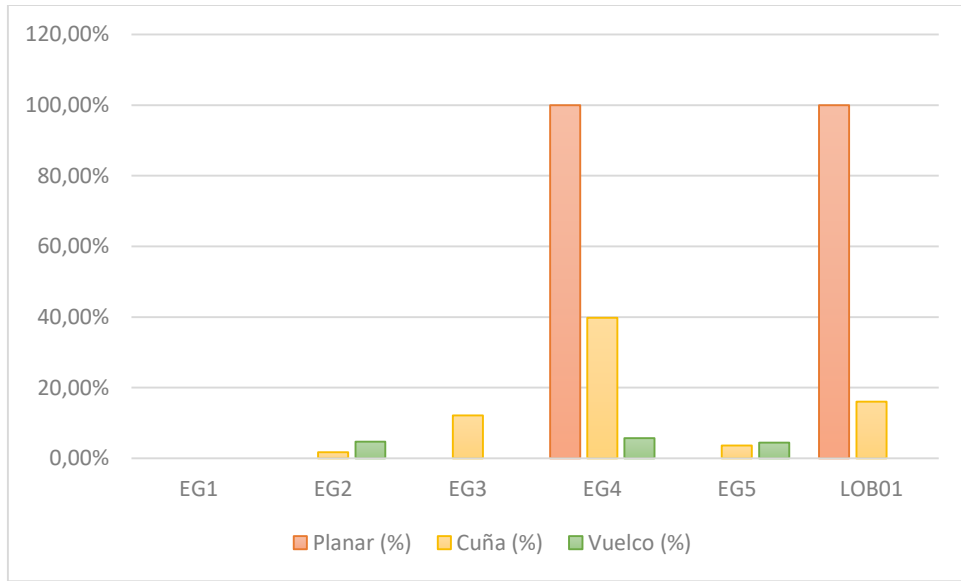
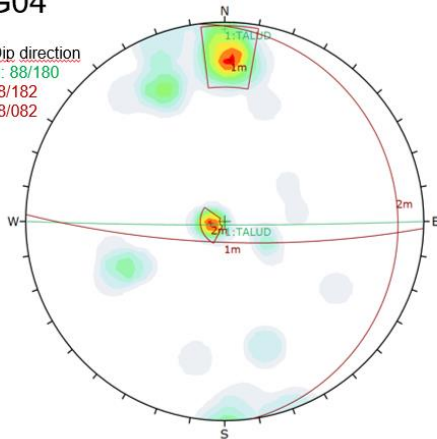


Figura 3.11 Diagrama de columna para ocurrencia de modelos de rotura

EG04

Dip/Dip direction
 Talud: 88/180
 J1: 78/182
 J2: 08/082



Análisis cinemático		
Ángulo de fricción		31,17
Tipo		%
Planar	J1	100,00%
Cuña	J1 vs J2	39,76%
Vuelco		5,73%



Figura 3.12 Esquema de análisis cinemático-imagen real para EG04

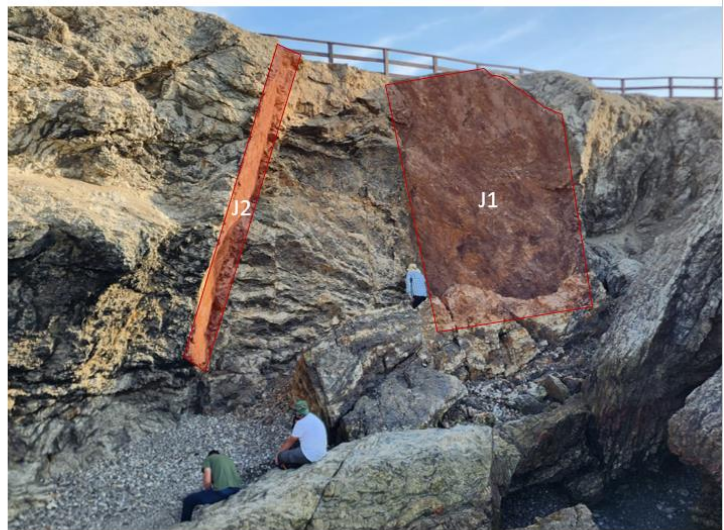
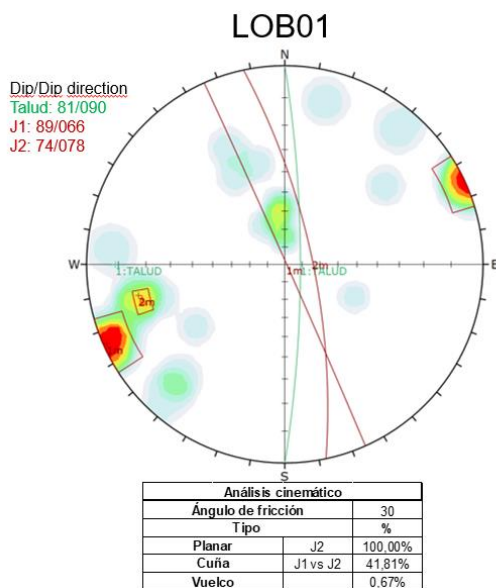


Figura 3.13 Esquema de análisis cinemático-imagen real para LOB01

Se pudo analizar que las estaciones EG04 y LOB01 muestran una probabilidad mayor de ocurrencia de falla planar y de cuña. Para las estaciones EG01, EG02, EG03, EG05 se computaron bajos porcentajes de ocurrencia que, sumado a la interpretación de las condiciones para la generación de cada modelo de rotura, permite establecer que son taludes con bajas probabilidades de ocurrencia de cualquier tipo de rotura. Para mayor detalle, ver apéndice E.

3.5.2 Clasificación geomecánica SMR

A partir de los valores de RMR se calculó la clasificación SMR. El análisis de esta clasificación fue realizado para todas las familias de discontinuidades presentes en cada talud, acorde al tipo de rotura que podría generar cada una de estas familias.

Estación geomecánica	Dirección de la discontinuidad	Orientación de la pendiente	Tipo de falla posible	RMR	SMR	Estabilidad
EG1	2/262	30/285	W	62	73	ESTABLE
	88/115		T		74	ESTABLE
	80/171		T		77	ESTABLE
	90/226		P		77	ESTABLE
	15/174		T		77	ESTABLE
EG2	88/36	45/125	P	49	61	ESTABLE
	2/247		T		61	ESTABLE
EG3	26/132	80/160	W	55	70	ESTABLE

	81/229		P		63	ESTABLE
	51/210		P		70	ESTABLE
EG4	8/92	88/180	W	51	66	ESTABLE
	78/182		P		64	ESTABLE
	8/82		T		66	ESTABLE
EG5	0/154	55/170	W	63	72	ESTABLE
	67/63		T		74	ESTABLE
	26/243		P		74	ESTABLE
LOB01	38/156	81/90	W	57	72	ESTABLE
	89/66		P		71	ESTABLE
	74/78		P		68	ESTABLE

Tabla 3.13 Clasificación SMR de las estaciones geomecánicas

Se identifican taludes mayoritariamente estables de acuerdo a la clasificación SMR sugerida por Romana (19997).

3.6 Modelamiento de estabilidad de taludes

Tomando en cuenta el análisis cinemático, se realizó un análisis determinista de rotura planar y cuña para los taludes de las estaciones EG04 y LOB01 en tres escenarios: cuando exista movimiento y no haya presencia de agua (SECO-DINÁMICO), cuando exista movimiento y exista exposición al agua (HÚMEDO-DINÁMICO) y cuando se cuente con exposición al agua sin movimientos (HÚMEDO-ESTÁTICO).

3.6.1 Análisis determinista de rotura planar

A partir del establecimiento de los parámetros requeridos por el software, se estimaron los factores de seguridad para rotura planar de las estaciones geomecánicas mencionadas, los cuales se describen en la Tabla 3.14.

	FS HÚMEDO Y ESTÁTICO	FS SECO Y DINÁMICO	FS HÚMEDO Y DINÁMICO
EG04	3,29	0	0
LOB01	7,6	0	0

Tabla 3.14 Factores de seguridad para rotura tipo planar en distintas condiciones de ocurrencia

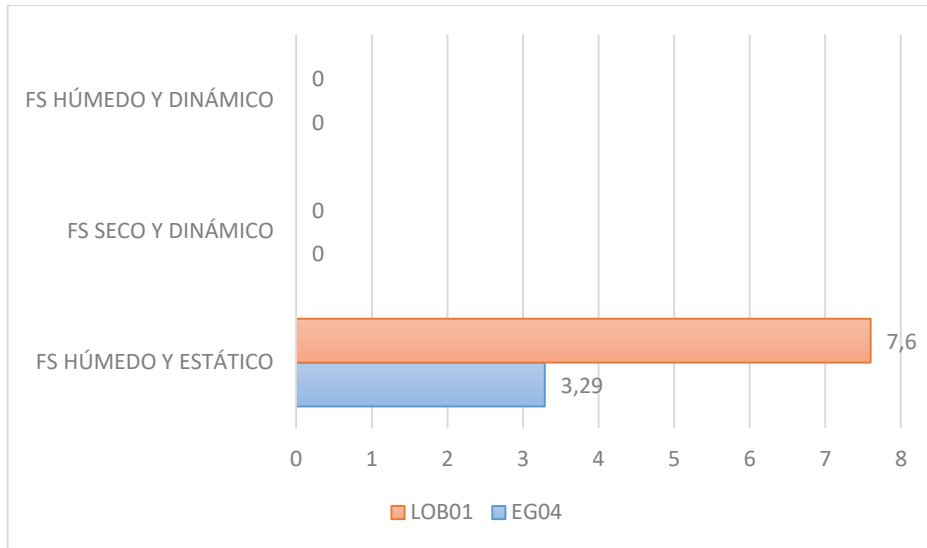


Figura 3.14 Gráfica de relación de los distintos factores de seguridad para rotura planar

Los factores de seguridad hallados demuestran que para las estaciones EG04 y LOB01 existen altas probabilidades de deslizamiento por rotura planar al enfrentarse a dinamismos como eventos sísmicos. A pesar de encontrarse a una constante exposición de agua, este no es una fuerza que disminuya drásticamente el factor de seguridad en los taludes.

RocPlane Analysis

Document Name: RocPlane_EG04.pln
Job Title: RocPlane - Planar Wedge Stability Analysis
View: PERSPECTIVE
Safety Factor: 3.28819

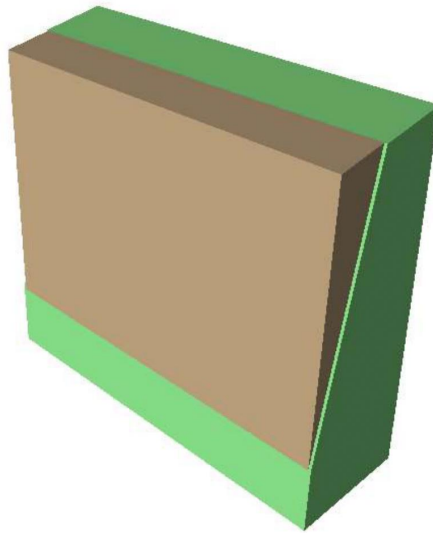


Figura 3.15 Modelo de rotura planar para el talud EG04 (HÚMEDO-ESTÁTICO)

RocPlane Analysis

Document Name: RocPlane_EG04.pln
Job Title: RocPlane - Planar Wedge Stability Analysis
View: PERSPECTIVE
Safety Factor: 0

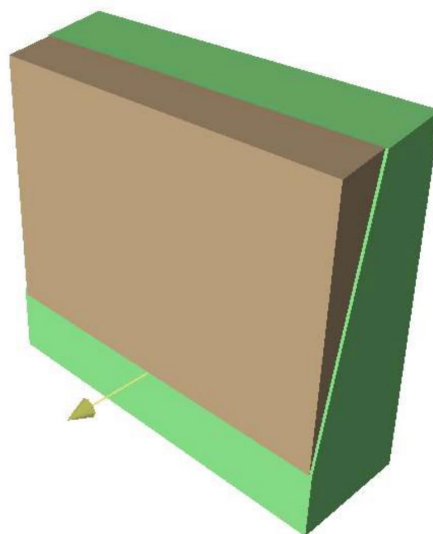


Figura 3.16 Modelo de rotura planar para el talud EG04 (HÚMEDO-DINÁMICO)

RocPlane Analysis

Document Name: RocPlane_EG04.pln
Job Title: RocPlane - Planar/Wedge Stability Analysis
View: PERSPECTIVE
Safety Factor: 0

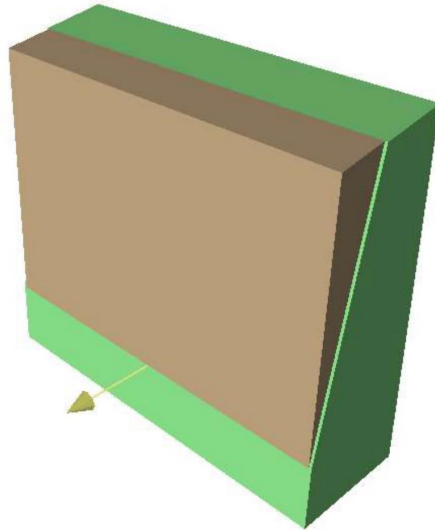


Figura 3.17 Modelo de rotura planar para el talud EG04 (SECO-DINÁMICO)

RocPlane Analysis

Document Name: RocPlane_LOB01.pln
Job Title: RocPlane - Planar/Wedge Stability Analysis
View: PERSPECTIVE
Safety Factor: 7.60049

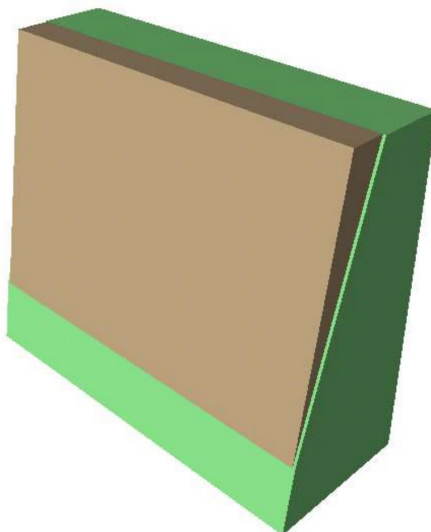


Figura 3.18 Modelo de rotura planar para el talud LOB01 (HÚMEDO-ESTÁTICO)

RocPlane Analysis

Document Name: RocPlane_LOB01.pln
Job Title: RocPlane - Planar Wedge Stability Analysis
View: PERSPECTIVE
Safety Factor: 0

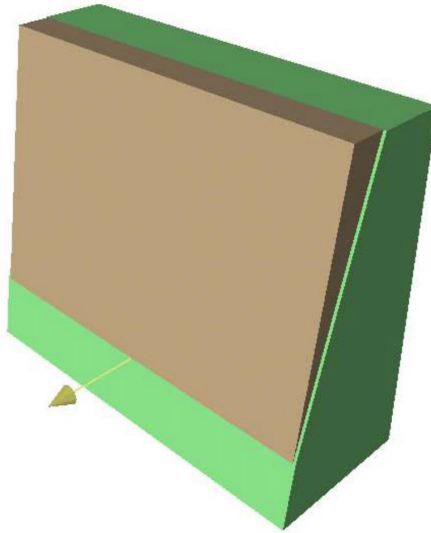


Figura 3.19 Modelo de rotura planar para el talud LOB01 (HÚMEDO-DINÁMICO)

RocPlane Analysis

Document Name: RocPlane_LOB01.pln
Job Title: RocPlane - Planar Wedge Stability Analysis
View: PERSPECTIVE
Safety Factor: 0

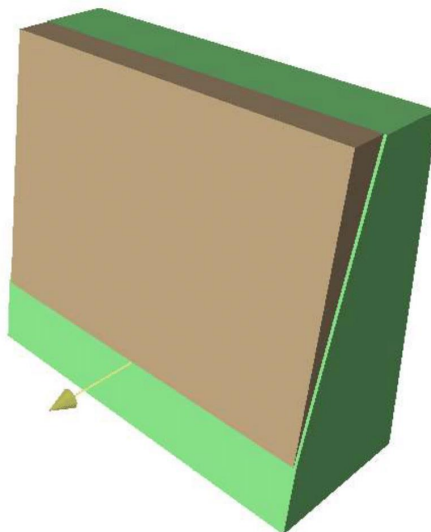


Figura 3.20 Modelo de rotura planar para el talud LOB01 (SECO-DINÁMICO)

A partir de los modelos de rotura planar obtenidos para los taludes EG04 y LOB01 se entiende que las probabilidades de deslizamientos por roturas de tipo planar están dominadas por los eventos sísmicos que ocurran en el área.

3.6.2 Análisis determinista de rotura de cuña

	FS HÚMEDO Y ESTÁTICO	FS SECO Y DINÁMICO	FS HÚMEDO Y DINÁMICO
EG04	22,87	4,91	4,9
LOB01	21,61	11,89	13,74

Tabla 3.15 Factores de seguridad para rotura tipo cuña en distintas condiciones de ocurrencia

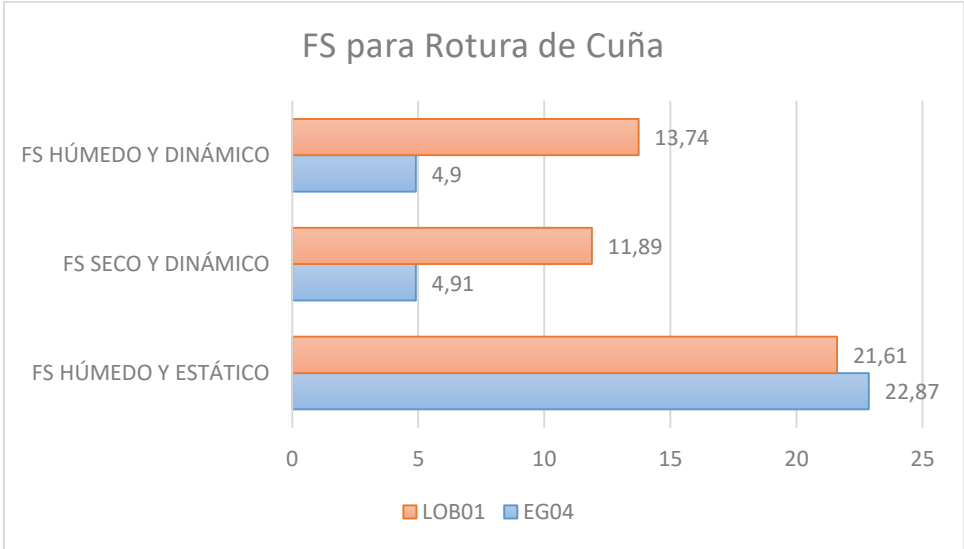


Figura 3.21 Gráfica de relación de los distintos factores de seguridad para rotura tipo cuña

Swedge Analysis

Document Name: SWEDGE_EG04.swd
Job Title: SWEDGE - Surface Wedge Stability Analysis
View: PERSPECTIVE
Safety Factor: 4.901

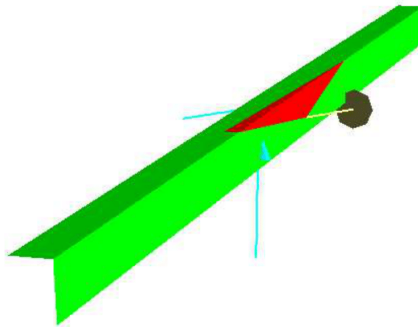


Figura 3.22 Modelo de rotura cuña para el talud EG04 (HÚMEDO-DINÁMICO)

Swedge Analysis

Document Name: SWEDGE_EG04.swd
Job Title: SWEDGE - Surface Wedge Stability Analysis
View: PERSPECTIVE
Safety Factor: 22.8735

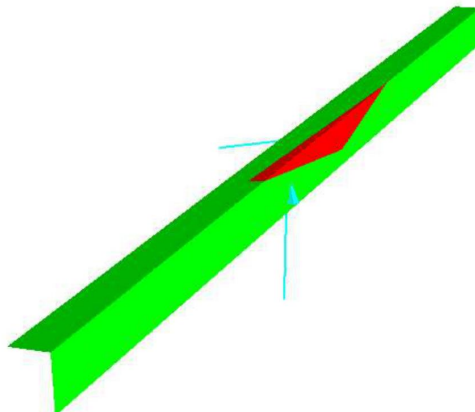


Figura 3.23 Modelo de rotura cuña para el talud EG04 (HÚMEDO-ESTÁTICO)

Swedge Analysis

Document Name: SWEDGE_EG04.swd
Job Title: SWEDGE - Surface Wedge Stability Analysis
View: PERSPECTIVE
Safety Factor: 4.90733

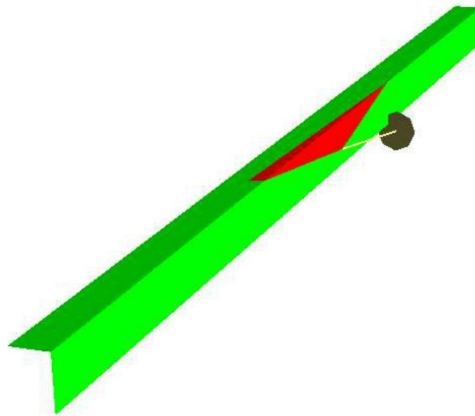


Figura 3.24 Modelo de rotura cuña para el talud EG04 (SECO-DINÁMICO)

Swedge Analysis

Document Name: SWEDGE_LOB01.swd
Job Title: SWEDGE - Surface Wedge Stability Analysis
View: TOP
Safety Factor: 21.6135

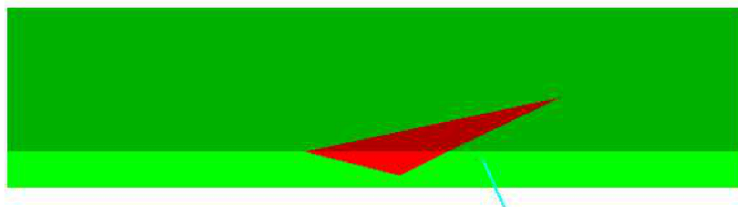


Figura 3.25 Modelo de rotura cuña para el talud LOB01 (HÚMEDO-ESTÁTICO)

Swedge Analysis

Document Name: SWEDGE_LOB01.swd
Job Title: SWEDGE - Surface Wedge Stability Analysis
View: PERSPECTIVE
Safety Factor: 11.8914

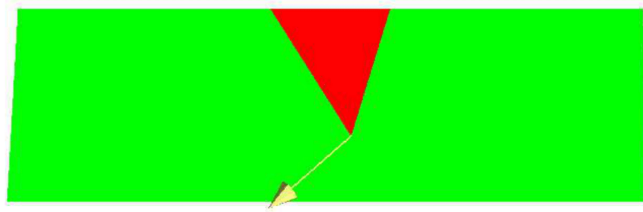


Figura 3.26 Modelo de rotura cuña para el talud LOB01 (SECO-DINÁMICO)

Swedge Analysis

Document Name: SWEDGE_LOB01.swd
Job Title: SWEDGE - Surface Wedge Stability Analysis
View: PERSPECTIVE
Safety Factor: 11.8877

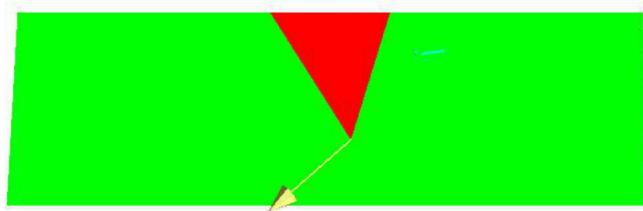


Figura 3.27 Modelo de rotura cuña para el talud LOB01 (HÚMEDO-DINÁMICO)

De acuerdo a los factores de seguridad estimados en el modelo determinístico para roturas tipo planar, los cuales fueron superiores a 1, se afirma que los taludes no presentan probabilidades de roturas de tipo cuña de acuerdo a los modelos generados.

3.7 Medidas de estabilización sugeridas

De acuerdo al Artículo 24 de la Ley Para La Conservación y Uso Sustentable de la Biodiversidad, el cual indica que “*la ejecución de obras de infraestructura dentro del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas podrá ser autorizada únicamente por el Ministerio del Ambiente, ..., se garantizará la minimización de los impactos ambientales y sociales, el procedimiento de consulta previa los demás requisitos previos establecidos por la ley y los reglamentos respectivos*”, para este trabajo se consideran medidas de estabilización poco invasivas, como lo son las medidas de protección superficial. Estas medidas buscan eliminar las dificultades ocasionadas por deslizamientos de rocas, aumentar el factor de seguridad de los taludes frente a roturas superficiales y disminuir la erosión en los taludes (González de Vallejo, 2002). Para realizar una estabilización en los taludes del área de estudio se propone:

- Instalación de mallas metálicas o materiales geotextiles, para estabilizar las zonas más fracturadas de los taludes.
- Siembra de especies vegetales que contribuyan al refuerzo del terreno superficial del talud.

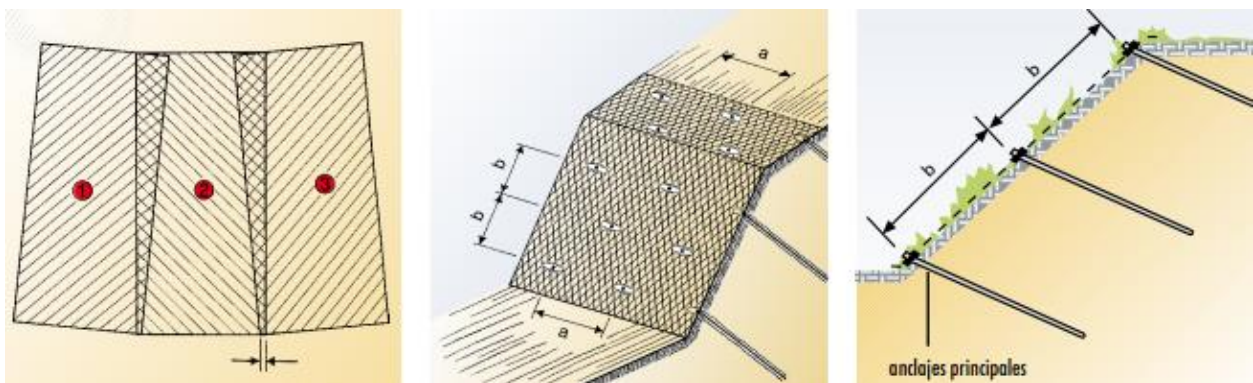


Figura 3.28 Instalación de mallas metálicas en taludes (GEOBRUGG, 2018)

3.8 Análisis de costos

Tabla 3.16 Detalle de precios para elaboración del proyecto

Ítem	Detalle	Costo en proyecto	Costo real
Softwares	ArcGis Pro	\$ -	\$ 4.177,00
	WebODM	\$ -	\$ -
	Google Earth	\$ -	\$ -
	Dips (ROCSCIENCE)	\$ -	\$ 495,00
	RocPlane (ROCSCIENCE)	\$ -	\$ 495,00
	Swedge (ROCSCIENCE)	\$ -	\$ 895,00
Herramientas para trabajo en campo	Brújula geológica	\$ -	\$ 100,00
	Martillo geológico	\$ -	\$ 75,00
	Esclerómetro	\$ -	\$ 400,00
Fotogrametría	VANT	\$ -	\$ 5.000,00
Ensayos de laboratorios	Ensayo de tracción indirecta	\$ -	\$ 125,00
	Tilt test	\$ -	\$ -
	Elaboración de lámina delgada	\$ -	\$ 40,00
Mano de obra	Procesamiento de información	\$ -	\$ 2.400,00
Logística	Transporte	\$ -	\$ 300,00
	Voluntarios	\$ -	\$ -
TOTAL		\$ -	\$14.502,00

Llevar a cabo el análisis de estabilidad de las rocas del borde costero de La Chocolatera y La Lobería tendría un costo estimado de \$14.502,00, en donde se contemplan las licencias de los software utilizados para el procesamiento de la información, las herramientas básicas requeridas para un levantamiento geomecánico (brújula, martillo) y otros equipos implementados en el presente trabajo (VANT y esclerómetro). Así mismo, se toma en cuenta los costos aproximados de los ensayos de laboratorio realizados en este proyecto y la mano de obra que incluye el sueldo del personal que realizaría el conjunto de actividades para este proyecto (labores de campo, análisis cinemático, fotogrametría, descripciones litológicas, etc).

Estos precios son sujetos a variación dependiendo de la zona, tomando en cuenta que lo realizado durante este trabajo puede aplicarse a un análisis de estabilidad en cualquier parte del planeta.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se pudieron cumplir con los objetivos de trabajo al estimar la calidad de las rocas y la estabilidad de los taludes en La Chocolatera y La Lobería. Además, se realizaron los modelos determinísticos a partir del software RocPlane y SWedge obteniendo los factores de seguridad para los taludes que presentaban probabilidades de rotura en el análisis cinemático; y una vez recopilado todos estos resultados, se pudieron proponer medidas para las zonas más afectadas, tomando en cuenta el ecosistema en el que se desarrolló el trabajo.
- Los lineamientos encontrados en el terreno reconocidos gracias a la fotogrametría son congruentes con los sentidos de fracturas propuestos por Daly (1989), sugiriendo que estos son producto de los eventos tectónicos que generaron fracturas en direcciones WNW-ESE y NNE-SSW.
- El análisis geológico-geotécnico permitió clasificar geomecánicamente las rocas del sitio como rocas de calidad media a calidad buena. Los sectores con menor calidad se encuentran en La Chocolatera, en donde se presenta la mayor franja de deslizamientos y en La Lobería, donde también existen movimientos de roca recientes.
- El análisis cinemático y los modelos determinísticos de estabilidad de taludes estiman que existen una alta probabilidad de rotura planar en dos sitios evaluados, EG04 y LOB01. Estos presentan altas probabilidades de rotura tipo planar y un porcentaje considerable de rotura tipo cuña; siendo los peores escenarios de inestabilidad (factores de seguridad igual a cero para rotura planar) los dinámicos, los cuales fueron estimados considerando el factor sísmico establecido para el área de estudio.
- La constante exposición al agua de los taludes es un causante del proceso erosivo natural en el sitio, pero no de la inestabilidad de los taludes en el área de estudio.
- La roca dominante en el área de La Chocolatera fue denominada como una roca brecha de falla y La Lobería como lutita silicificada, ambas coincidentes con las

descripciones litológicas realizadas por varios autores como (Ordóñez et al., 2006), (Núñez del Arco, 1986), (Feininger & Bristow, 1983).

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda establecer una nueva ruta para los turistas que recorren los senderos de La Chocolatera, con la finalidad de mantener dicho camino alejado de la estación de inestabilidad EG04.
- Realizar un análisis neotectónico para identificar el origen de los lineamientos encontrados en el presente estudio y actualizar el marco tectónico del área.
- Proponer un estudio de los servicios ecosistémicos y ambiente marino costero para conocer las medidas más convenientes para la estabilización de los taludes en La Chocolatera y La Lobería.
- Es recomendable la integración de una mesa técnica para la gestión de riesgos en el sitio, tomando en cuenta los puntos de inestabilidad y los factores desencadenantes para los posibles deslizamientos.
- Se recomienda establecer una ruta alternativa de ingreso al mirador de lobos marinos en La Lobería, debido a su cercanía al talud de la estación LOB01, la cual presenta deslizamientos recientes y su roca es de media calidad.
- Es recomendable considerar el manejo integral de la reserva dentro del plan de ordenamiento territorial del cantón, con el objetivo de contar con apoyo inmediato ante cualquier evento.

BIBLIOGRAFÍA

- Armas Zagoya, J. M. (2004). *Cartografía Geológica Estructural del Valle de Huizachal, como base para el análisis de estabilidad de taludes de la carretera Rumbo Nuevo, Tamps., México*. Nuevo León: Linares, N. L. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/5463/1/1020149840.PDF>
- Ayala, C., & Rey, C. (2009). *Establecimiento de bases metodológicas para la obtención de cartografía gravimétrica 1:50.000. Aplicación a la modelización 2D y 3D en varias zonas de la Península Ibérica. Capítulo 6. Modelización 2D y 3D*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/249977036_Establecimiento_de_bases_metodologicas_para_la_obtencion_de_cartografia_gravimetrica_150000_Aplicacion_a_la_modelizacion_2D_y_3D_en_varias_zonas_de_la_Peninsula_Iberica_Capitulo_6_Modelizacion_2D_y_3D
- Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock mechanics*, 6(4), 189-236. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01239496>
- Bastidas, G., Soria, O., Mulas, M., Loaiza, S., & Jordá, L. (2022). Análisis de Estabilidad de Túneles de Lava en la Isla Santa Cruz (Islas Galápagos, Ecuador) Usando Clasificaciones de Macizos Rocosos: Enfoque Empírico y Modelado Numérico. *Geosciences*, 12, 1-15. doi:<https://doi.org/10.3390/geosciences12100380>
- Benítez, S. (1995). Evolución geodinámica de la provincia sur-equatorial en el Cretáceo superior-Terciario. doi:<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.23065.75369>
- Bieniawski, Z. (1989). *The Geomechanics Classification In Rock Engineering Applications*. Obtenido de Paper presented at the 4th ISRM Congress,; <https://onepetro.org/isrmcongress/proceedings-abstract/CONGRESS79/All-CONGRESS79/ISRM-4CONGRESS-1979-117/166370?redirectedFrom=PDF>
- Byung, C., Ying, W., Ko, L., Junghae, C., & Hyuck, P. (2020). Simulación de escurrimiento del flujo de escombros cerca de un sitio de construcción en Corea. *Applied Sciences*, 10, 1-22. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/app10176079>

- Carrión Mero, P., Pineda Ruiz, R., Chávez, M., Morante Carballo, F., Blanco, R., Aguilar, M., & Briones Bitar, J. (2020). *Geomechanical Evaluation of the Olón Cliff for Stabilization pre-design of the Blanca Estrella del Mar Sanctuary, Santa Elena, Ecuador*. Sustainable Development and Planning XI., WIT Press: Ashurst, UK. Obtenido de <https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/SDP20/SDP20038FU1.pdf>
- Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN). (2011). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1:25.000. Componente 4: Sistemas productivos. Cantón Salinas*. Quito.
- Daly, M. (1989). *Correlations Between Nazca/Farallon Plate kinematics and forearc basin evolution in Ecuador*. Londres.
- Deere, D. (1989). *Rock quality designation (RQD) after 20 years*. Vicksburg: MS: Waterways Experimental Station. Obtenido de U.S. Army Corps Engrs Contract Report GL-89-1.
- Dueholm, K., & Ken, A. (1992). The application of multi-model photogrammetry in geology - status and development trends. *Rapp. Grønlands geol*, 156, 69-72. Obtenido de [Institute of Surveying and Photogrammetry, Technical University of Denmark.
- Feininger, T., & Bristow, R. (1983). *Cretaceous and Paleogene Geologic History of Coastal Ecuador*. Quito.
- GEOBRUGG. (2018). *TECCO® estabilización y control de la erosión de taludes y laderas inestables, con respeto al medio ambiente*. Obtenido de www.geobrugg.com.
- González de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Guamán, V., & Mendieta, F. (2013). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso en la cantera de materiales de construcción "Las Victorias"*. Obtenido de Universidad de Cuenca: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/4312/3/Tesina.pdf>
- Hoek, E., & Brown, E. (2007). *Estimación de la resistencia de macizos rocosos en la práctica*. Obtenido de International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/2/MI46B/1/material_docente/bajar%3Fid_material%3D143138

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2018). *¿Qué es la fotogrametría?* Bogotá. Obtenido de <https://www.igac.gov.co/es/contenido/que-es-la-fotogrametria>
- Instituto Nacional de Investigación Geológica, M. M. (1974). *Hoja Geológica Santa Elena (escala 1:100.000)*.
- Jaeger, J., & Cook, N. (1979). *Fundamentals of Rock Mechanics* (3rd edn ed.). London: Chapman & Hall.
- Lacasse, S., & Nadim, F. (2009). *Landslide Risk Assessment and Mitigation Strategy*. Springer, Berlin, Heidelberg.: (eds) Landslides – Disaster Risk Reduction. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-540-69970-5_3
- Lapresta, B. (2014). *Clasificación geométrica RMR (Bieniawski, 1989). Hoja de cálculo*. Obtenido de Geología y geotécnica: <https://geologiaygeotecnia.wordpress.com/2014/10/16/clasificacion-geomecanica-rmr-bieniawski-1989-hoja-de-calculo/>
- Mapbox. (2022). *La Chocolatera*. Obtenido de <https://mapcarta.com/es/N249411035>
- May, D., & Fehner, M. (2013). *Introduction to Finite Element Modelling in Geosciences*. Obtenido de Spring Semester 2012: <http://jupiter.ethz.ch/~gfdteaching/femblockcourse/2014/lectures/Motivation2013.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2020). *Plan de Manejo de la Reserva de Producción de Fauna Marino Costera Puntilla de Santa Elena*. Salinas: Fundación Ecológica Bioeducar y Conservación Internacional Ecuador.
- Núñez del Arco, E. (1986). *Guía Geológica del Sur Oeste de la Costa Ecuatoriana*. Guayaquil.
- Olivares, P. (2020). *¿Qué es y para qué sirve la fotogrametría*. Obtenido de AV3 Aerovisual: <https://av3aerovisual.com/que-es-y-para-que-sirve-la-fotogrametria/#:~:text=En%20el%20%C3%A1rea%20de%20la,de%20volumen%20topograf%C3%ADa%20y%20altimetr%C3%ADa>.
- Ordóñez, M., Jiménez, N., & Suárez, J. (2006). *Datos Bioestratigráficos y Paleoecológicos de las Cuencas: Graben de Jambelí, Progreso, Manabí, Esmeraldas y Oriente; del Levantamiento de la Península de Santa Elena, y de las Cordilleras Chongón Colonche, Costera y Occidental*. Guayaquil: Centro de Investigaciones Geológicas Guayaquil.

- Pacheco, E. (2017). *Modelos determinísticos con demanda constante*. Obtenido de https://app.goalproject.co/storage/images/bCNmJ0qRfXrtfTdW_1628180364.pdf
- Palmezano, E. (2022). *Estimación del índice de resistencia geológica en macizos rocosos estratificados basado en la teoría fractal*. Obtenido de Universidad EAFIT: <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/30882?locale-attribute=es>
- Pedoja, K. (2003). *Les terrasses marines de la marge Nord Andine (Equateur et Nord Pérou): relations avec le contexte géodynamique*.
- Portilla Diaz , A. H., & Coello Garnica, D. N. (2022). *Estudio del proceso erosivo en la zona comprendida entre La Chocolatera y La Lobería, Salinas*. Guayaquil.
- Ramírez Oyanguren , P., & Alejano Monge, L. (2008). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. Madrid.
- RocScience. (2019). *Theory Manual: Factor of Safety Calculations – Planar Failures*. RocPlane. Obtenido de <https://static.rocscience.cloud/assets/verification-and-theory/RocPlane/RocPlane-Theory-Manual-Factor-of-Safety-Calculations-Planar-Failures.pdf>
- Rodríguez, R., Velázquez, L., & Guevara, E. (2021). *Guía básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos*. Ciudad de México: Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Obtenido de <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/55.pdf>
- Romana, M. (1997). *El papel de las clasificaciones geomecánicas en el estudio de la estabilidad de taludes* (Vol. III). Granada: IV Simp. Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables.
- Soledispa, B. (2008). *Características geomorfológicas y sedimentológicas de la Bahía de Santa Elena*. Guayaquil: Instituto Oceanográfico de la Armada, INOCAR.
- Valdiviezo , A. (2014). *Propuesta metodológica para la aplicación del Slope Mass Rating Continuo (SMR-C) mediante un sistema de información geográfica en los taludes de la vía La Moya-Achupallas*. Guayaquil.

APÉNDICES

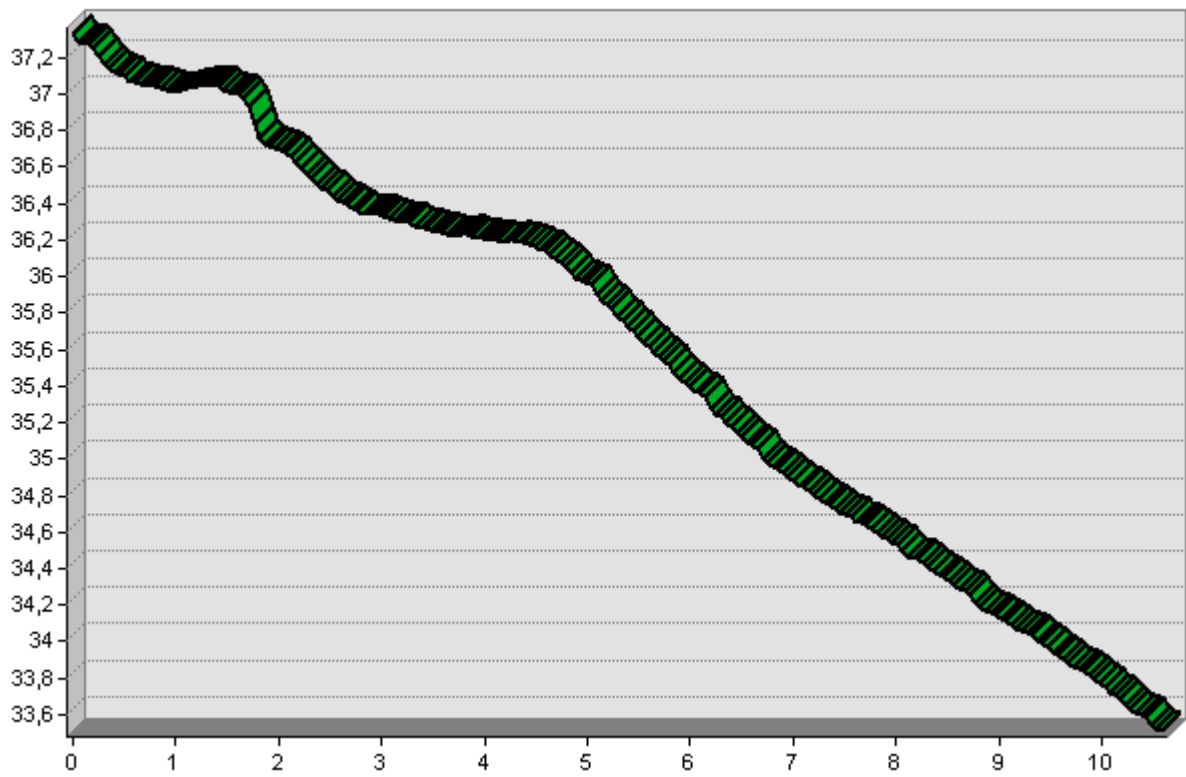
APÉNDICE A

FICHA DE LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO

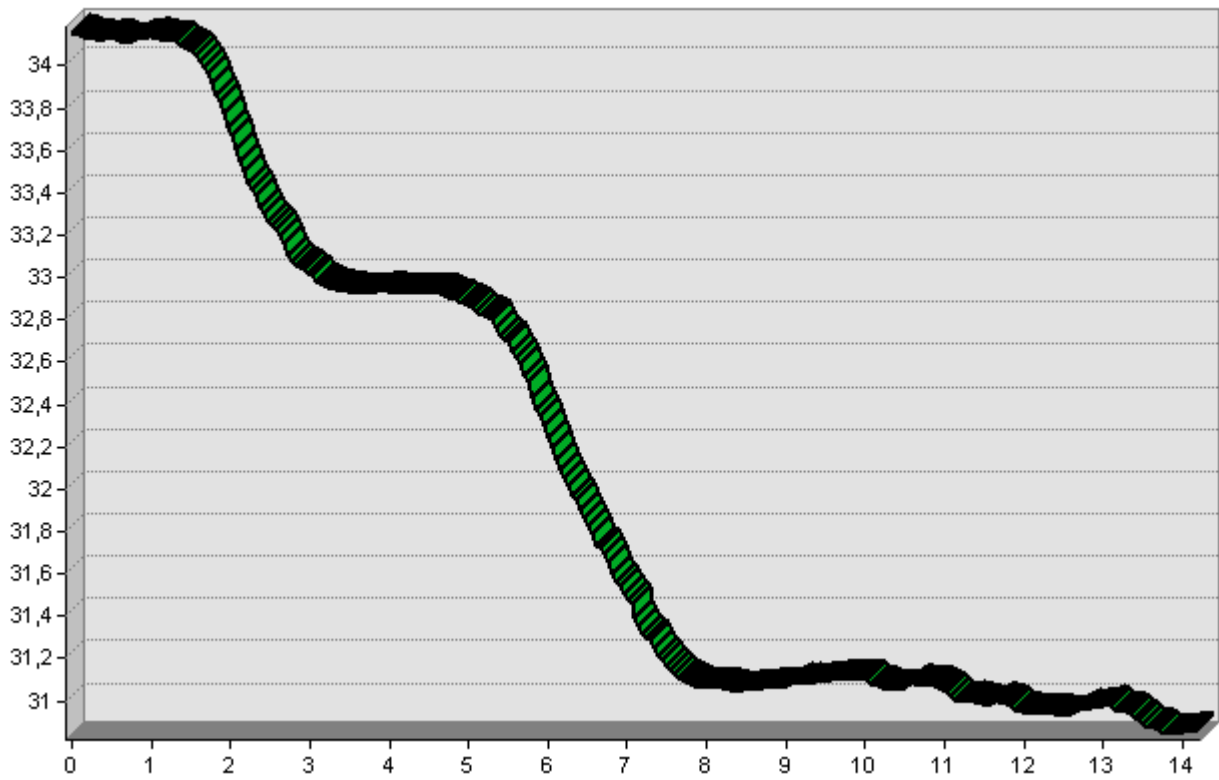
**Fuente: (González de Vallejo, 2002), modificada por
(Valdiviezo , 2014)**

APÉNDICE B
PERFILES DE TALUDES EN LA CHOCOLATERA

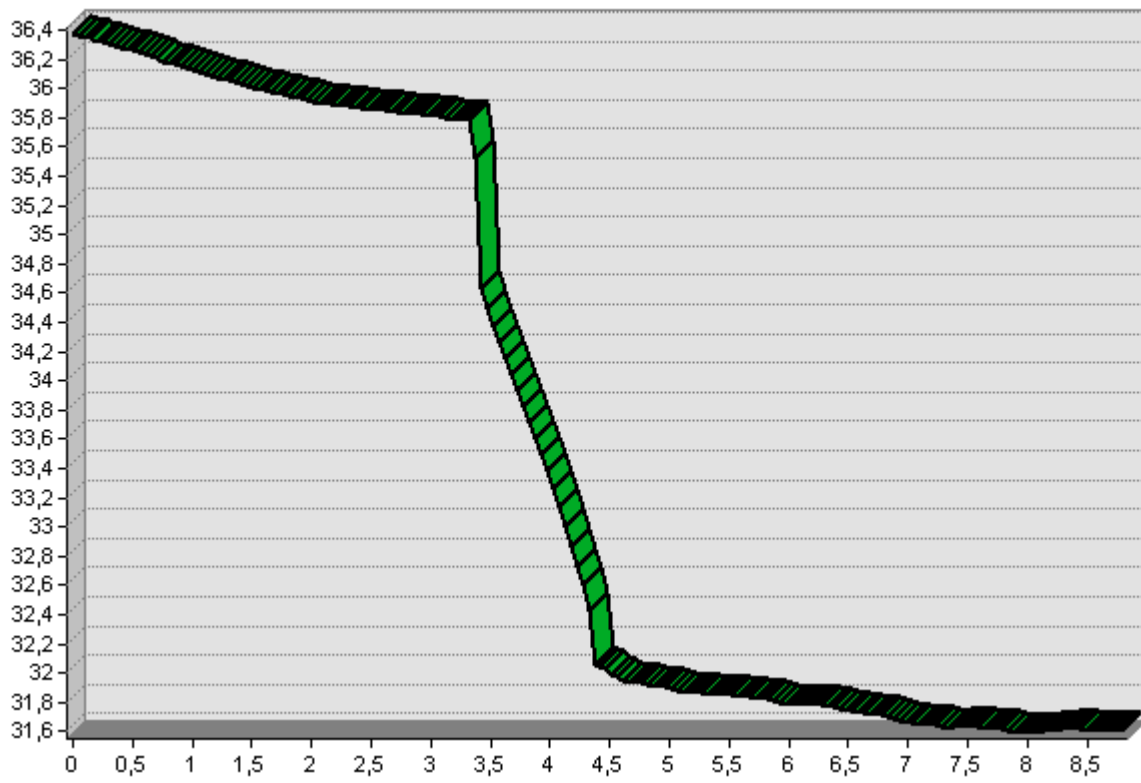
EG01



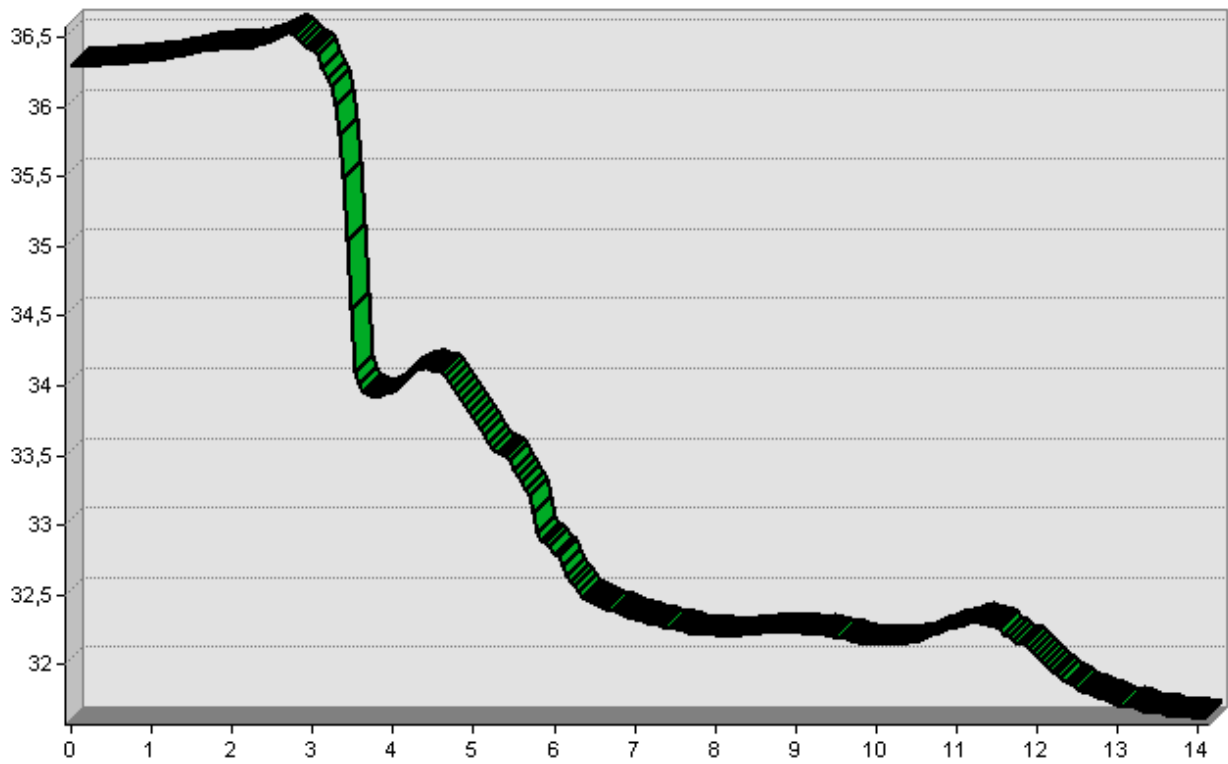
EG02



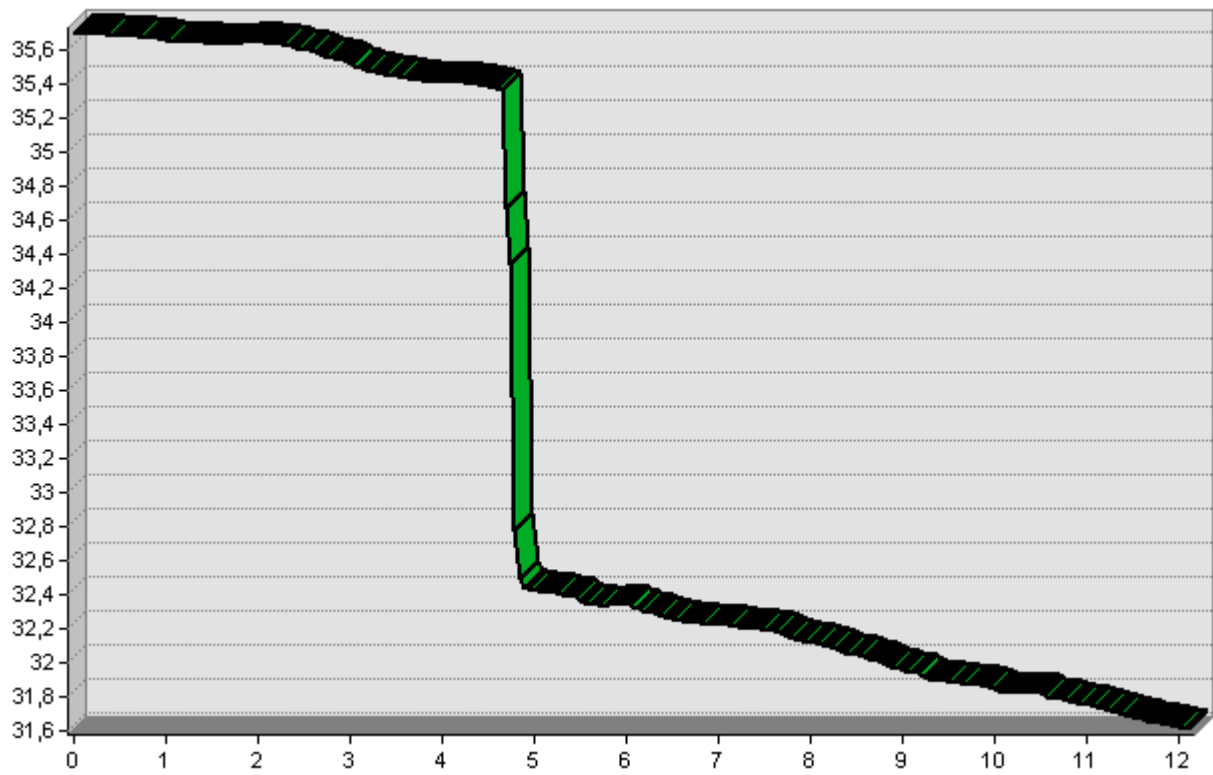
EG03




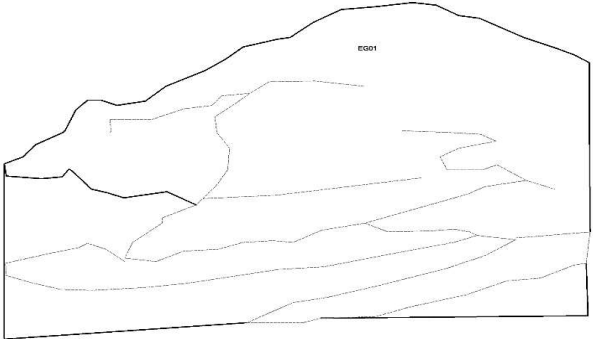
EG04


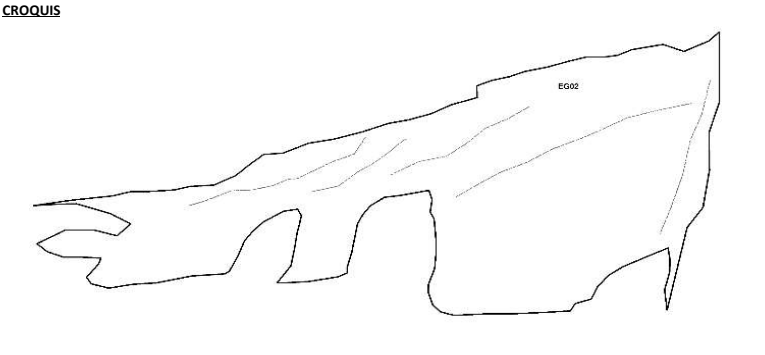



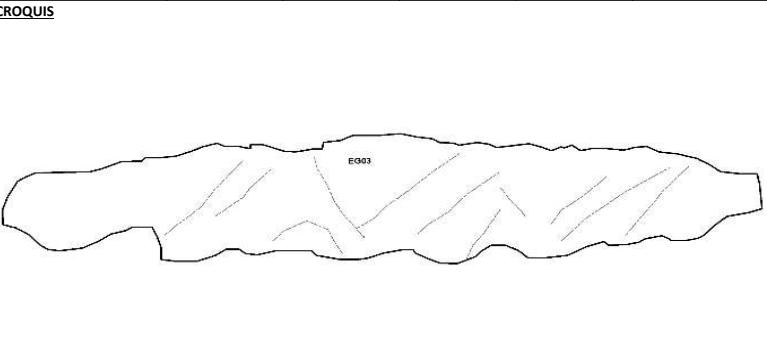
EG05


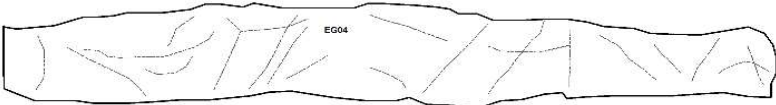



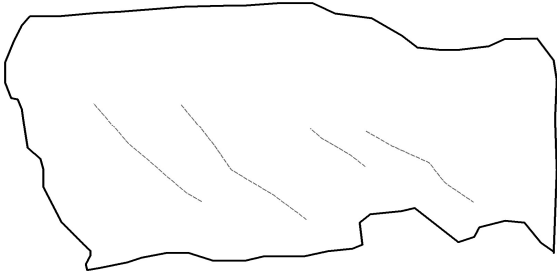
APÉNDICE C
FICHAS DE LEVANTAMIENTO GEOMECÁNICO



PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CHOCOLATERA Y LA LOBERÍA		ESTACIÓN :	N° HOJA : CÓDIGO :	1 EG01	LOCALIZACIÓN :	Provincia Cantón	Santa Elena Salinas
REALIZADO POR:	Cedeño Cedeño Jean Paul		HOJA/PLANO :			COORDENADAS	Localidad	La Chocolatera
FECHA:	12/11/2022		FOTOS :			X :	Y :	498846,7 9757969,3
LITOLOGÍA: Lutita silicificada/Roca brecha de falla	NATURALEZA: Sedimentaria	POTENCIA: 3-4m	DEPÓSITOS SUPERFICIALES: no presenta			MORFOLOGÍA: Talud de playa	ESPESOR: 3-4 m	
ESTRUCTURAS	PUEGUES	FALLAS: fallas conjugadas				OTROS:		
FRAGMENTACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60	
GRADO DE METEORIZACIÓN	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV		COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI	
HIDROGEOLOGÍA	SIN PRESENCIA DE AGUA	SECO (CON SEÑALES DE AGUA)	HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO		
Dirección del talud: 30/285				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO				
FOTO				CROQUIS				

PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CHOCOLATERA Y LA LOBERÍA		ESTACIÓN:	N° HOJA : 1	LOCALIZACIÓN:		Provincia	Santa Elena	
REALIZADO POR:	Cedeño Cedeño Jean Paul		HOJA/PLANO:	CÓDIGO: EG02			Cantón	Salinas	
FECHA:	16/12/2022		FOTOS:			COORDENADAS		Localidad	La Chocolatera
LITOLOGÍA: Lutita silicificada/Roca brecha de falla	NATURALEZA: Sedimentaria		POTENCIA: 4-5m	DEPÓSITOS SUPERFICIALES: Arena de playa		MORFOLOGÍA: Riscos/Peñascos		X:	498846,7
ESTRUCTURAS	PLIEGUES		FALLAS: fallas conjugadas				Y:	9757969,3	
							Z:		
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m ³		MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60	
GRADO DE METEORIZACIÓN	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III		MUY METEORIZADA IV		COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI	
HIDROGEOLOGÍA	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)		HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO	
Dirección del talud: 80/160					RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO				
FOTO				CROQUIS					
									

PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CHOCOLATERA Y LA LOBERÍA		ESTACIÓN :	N° HOJA :	1		LOCALIZACIÓN :	Provincia	Santa Elena
				CÓDIGO :	EG03			Cantón	Salinas
REALIZADO POR:	Cedeño Cedeño Jean Paul		HOJA/PLANO :				Localidad	La Chocolatera	
FECHA:	16/12/2022		FOTOS :				COORDENADAS	X :	498865,5
							Y :	9757994,2	
							Z :		
LITOLOGÍA: Lutita silicificada/Roca brecha de falla	NATURALEZA: Sedimentaria		POTENCIA: 3-4m	DEPÓSITOS SUPERFICIALES: Arena de playa		MORFOLOGÍA: Riscos/Peñascos		ESPESOR: 3-4 m	
ESTRUCTURAS	PLIEGUES		FALLAS: fallas conjugadas			OTROS			
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3		MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60	
GRADO DE METEORIZACIÓN	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III		MUY METEORIZADA IV		COMPL. METEORIZADA V		SUELO RESIDUAL VI
HIDROGEOLOGÍA	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)		HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO	
Dirección del talud: 80/160					RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO				
FOTO					CROQUIS				

PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CHOCOLATERA Y LA LOBERÍA		ESTACIÓN :	N° HOJA : 1	LOCALIZACIÓN :		Provincia	Santa Elena	
REALIZADO POR:	Cedeño Cedeño Jean Paul		HOJA/PLANO :	CÓDIGO : EG04			Cantón	Salinas	
FECHA:	17/1/2023		FOTOS :			COORDENADAS		Localidad	La Chocolatera
LITOLOGÍA: Lutita silicificada/Roca brecha de falla	NATURALEZA: Sedimentaria	POTENCIA: 3-4m	DEPÓSITOS SUPERFICIALES: Arena de playa	MORFOLOGÍA: Riscos/Peñascos		ESPESOR: 3-4 m		X :	498923,6
ESTRUCTURAS	PLIEGUES	FALLAS: fallas conjugadas			OTROS		Y :		9757999,1
FRAGMENTACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60		
GRADO DE METEORIZACIÓN	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V		SUELO RESIDUAL VI		
HIDROGEOLOGÍA	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)	HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO		
Dirección del talud: 88/180				RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO					
FOTO				CROQUIS					
									

PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CHOCOLATERA Y LA LOBERÍA		ESTACIÓN :	N° HOJA :	1		LOCALIZACIÓN :	Provincia	Santa Elena	
				CÓDIGO :	EG05			Cantón	Salinas	
REALIZADO POR:	Cedeño Cedeño Jean Paul		HOJA/PLANO :			COORDENADAS	Localidad	La Chocolatera		
FECHA:	22/12/2022			FOTOS :			X :	499096,5		
LITOLOGÍA: Lutita silicificada/Roca brecha de falla	NATURALEZA: Sedimentaria		POTENCIA: 3-4m		DEPÓSITOS SUPERFICIALES: No presenta		MORFOLOGÍA: Riscos/Peñascos	Y :	9758076,8	
						Z :				
ESTRUCTURAS	PLIEGUES		FALLAS: fallas conjugadas		OTROS					
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3		MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60		
GRADO DE METEORIZACIÓN	SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III		MUY METEORIZADA IV	COMPL. METEORIZADA V		SUELO RESIDUAL VI		
HIDROGEOLOGÍA	SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)		HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO		
Dirección del talud: 55/170					RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO					
FOTO				CROQUIS EG05 						

PROYECTO:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CHOCOLATERA Y LA LOBERÍA		ESTACIÓN :		N° HOJA : 1	LOCALIZACIÓN :	Provincia	Santa Elena	
					CÓDIGO : LOB-01		Cantón	Salinas	
REALIZADO POR:	Cedeño Cedeño Jean Paul		HOJA/PLANO :				Localidad	La Lobería	
FECHA:	17/1/2023		FOTOS :				COORDENADAS	X : 500440,8	
LITOLOGÍA: Lutita con bandeados de sílice, roca tipo chert, clastos angulos a subangulosos, baja esfericidad		NATURALEZA: Sedimentaria		POTENCIA: 4,5m	DEPÓSITOS SUPERFICIALES: No presenta		MORFOLOGÍA: Talud de playa	ESPESOR: 3-4 m	
ESTRUCTURAS		PLIEGUES		FALLAS: fallas conjugadas		OTROS			
FRACTURACIÓN		BLOQUES Jv Juntas/m3	MUY GRANDES < 1	GRANDES 1 - 3	MEDIOS 3 - 10	PEQUEÑOS 10 - 30	MUY PEQUEÑOS > 30	MUY BRECHIFICADA > 60	
GRADO DE METEORIZACIÓN		SANA I	ALGO METEORIZADA II	MED. METEORIZADA III	MUY METEORIZADA IV		COMPL. METEORIZADA V	SUELO RESIDUAL VI	
HIDROGEOLOGÍA		SIN PRESENCIA DE AGUA		SECO (CON SEÑALES DE AGUA)		HÚMEDO	GOTEOS	FLUJO	CAUDAL ESTIMADO
Dirección del talud: 81/90					RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO				
FOTO					CROQUIS				
									

APÉNDICE D
TABLAS DE CALIFICACIÓN RMR

RMR EG01

Parámetros		Rango de valores							
1	Resistencia del material rocoso intacto	Índice de carga Puntual (Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	Para valores bajos es preferible el ensayo de compresión uniaxial		
		Resistencia a la compresión uniáxica	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Designación de calidad de roca (RQD)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de discontinuidades		>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condición de discontinuidades	Continuidad	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m		
		Rating	6	4	2	1	0		
		Separación	Ningun a	<0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	>5 mm		
		Rating	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Slickensided		
		Rating	6	5	3	1	0		
		Relleno		Relleno Duro		Relleno Suave			
			Ningun o	<5 mm	>5 mm	<5 mm	>5mm		
		Rating	6	4	2	2	0		
5	Hidrogeología	Flujo en 10 m de longitud de túnel (L/min)	Ningun o	<10	10-25	25-125	>125		
		Condiciones Generales	Sin presen cia de agua	Represado	Húmedo	Goteos	Flujo		
	Rating	15	10	7	4	0			

RMR=62

RMR EG02

Parámetros			Rango de valores						
1	Resistencia del material rocoso intacto	Índice de carga Puntual (Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	Para valores bajos es preferible el ensayo de compresión uniaxial		
		Resistencia a la compresión uniaxial	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Designación de calidad de roca (RQD)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de discontinuidades		>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condición de discontinuidades	Continuidad	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m		
		Rating	6	4	2	1	0		
		Separación	Ningun a	<0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	>5 mm		
		Rating	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Slickensided		
		Rating	6	5	3	1	0		
		Relleno		Relleno Duro		Relleno Suave			
			Ningun o	<5 mm	>5 mm	<5 mm	>5mm		
		Rating	6	4	2	2	0		
Meteorización	Sana	Algo meteorizada	Med. Meteorizada	Muy meteorizada	Completamente meteorizada				
Rating	6	5	3	1	0				
5	Hidrogeología	Flujo en 10 m de longitud de túnel (L/min)	Ningun o	<10	10-25	25-125	>125		
		Condiciones Generales	Sin presen cia de agua	Represado	Húmedo	Goteos	Flujo		
	Rating		15	10	7	4	0		

RMR=49

RMR EG03

Parámetros			Rango de valores						
1	Resistencia del material rocoso intacto	Índice de carga Puntual (Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	Para valores bajos es preferible el ensayo de compresión uniaxial		
		Resistencia a la compresión uniaxial	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Designación de calidad de roca (RQD)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de discontinuidades		>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condición de discontinuidades	Continuidad	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m		
		Rating	6	4	2	1	0		
		Separación	Ningun a	<0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	>5 mm		
		Rating	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Slickensided		
		Rating	6	5	3	1	0		
		Relleno		Relleno Duro		Relleno Suave			
			Ningun o	<5 mm	>5 mm	<5 mm	>5mm		
		Rating	6	4	2	2	0		
		Meteorización	Sana	Algo meteorizada	Med. Meteorizada	Muy meteorizada	Completamente meteorizada		
Rating	6	5	3	1	0				
5	Hidrogeología	Flujo en 10 m de longitud de túnel (L/min)	Ningun o	<10	10-25	25-125	>125		
		Condiciones Generales	Sin presen cia de agua	Represado	Húmedo	Goteos	Flujo		
	Rating		15	10	7	4	0		

RMR=55

RMR EG04

Parámetros		Rango de valores							
1	Resistencia del material rocoso intacto	Índice de carga Puntual (Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	Para valores bajos es preferible el ensayo de compresión uniaxial		
		Resistencia a la compresión uniáxica	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Designación de calidad de roca (RQD)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25			
	Rating	20	17	13	8	3			
3	Espaciado de discontinuidades	>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60mm			
	Rating	20	15	10	8	5			
4	Condición de discontinuidades	Continuidad	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m		
		Rating	6	4	2	1	0		
		Separación	Ningun a	<0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	>5 mm		
		Rating	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Slickensided		
		Rating	6	5	3	1	0		
		Relleno		Relleno Duro		Relleno Suave			
			Ningun o	<5 mm	>5 mm	<5 mm	>5mm		
		Rating	6	4	2	2	0		
		Meteorización	Sana	Algo meteorizada	Med. Meteorizada	Muy meteorizada	Completamente meteorizada		
Rating	6	5	3	1	0				
5	Hidrogeología	Flujo en 10 m de longitud de túnel (L/min)	Ningun o	<10	10-25	25-125	>125		
		Condiciones Generales	Sin presen cia de agua	Represado	Húmedo	Goteos	Flujo		
	Rating	15	10	7	4	0			

RMR=51

RMR EG05

Parámetros			Rango de valores						
1	Resistencia del material rocoso intacto	Índice de carga Puntual (Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	Para valores bajos es preferible el ensayo de compresión uniaxial		
		Resistencia a la compresión uniaxial	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Designación de calidad de roca (RQD)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de discontinuidades		>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condición de discontinuidades	Continuidad	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m		
		Rating	6	4	2	1	0		
		Separación	Ningun a	<0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	>5 mm		
		Rating	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Slickensided		
		Rating	6	5	3	1	0		
		Relleno		Relleno Duro		Relleno Suave			
			Ningun o	<5 mm	>5 mm	<5 mm	>5mm		
		Rating	6	4	2	2	0		
		Meteorización	Sana	Algo meteorizada	Med. Meteorizada	Muy meteorizada	Completamente meteorizada		
Rating	6	5	3	1	0				
5	Hidrogeología	Flujo en 10 m de longitud de túnel (L/min)	Ningun o	<10	45931	25-125	>125		
		Condiciones Generales	Sin presen cia de agua	Represado	Húmedo	Goteos	Flujo		
	Rating		15	10	7	4	0		

RMR=63

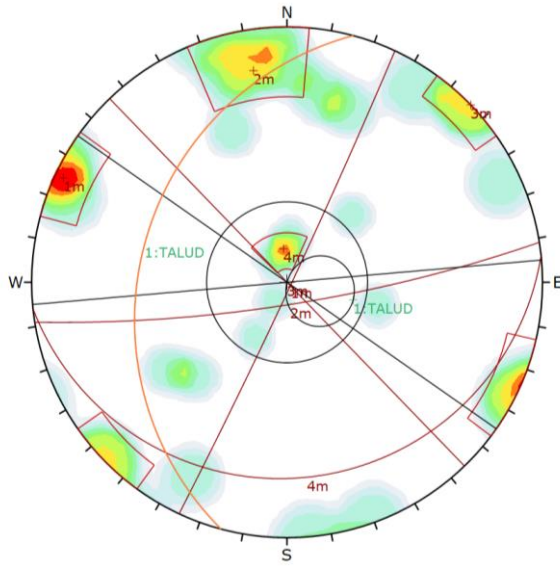
RMR LOB01

Parámetros		Rango de valores							
1	Resistencia del material rocoso intacto	Índice de carga Puntual (Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	Para valores bajos es preferible el ensayo de compresión uniaxial		
		Resistencia a la compresión uniáxica	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Designación de calidad de roca (RQD)	90-100	75-90	50-75	25-50	<25			
	Rating	20	17	13	8	3			
3	Espaciado de discontinuidades	>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60mm			
	Rating	20	15	10	8	5			
4	Condición de discontinuidades	Continuidad	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m		
		Rating	6	4	2	1	0		
		Separación	Ningun a	<0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	>5 mm		
		Rating	6	5	4	1	0		
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Lisa	Slickensided		
		Rating	6	5	3	1	0		
		Relleno		Relleno Duro		Relleno Suave			
			Ningun o	<5 mm	>5 mm	<5 mm	>5mm		
		Rating	6	4	2	2	0		
		Meteorización	Sana	Algo meteorizada	Med. Meteorizada	Muy meteorizada	Completamente meteorizada		
Rating	6	5	3	1	0				
5	Hidrogeología	Flujo en 10 m de longitud de túnel (L/min)	Ningun o	<10	45931	25-125	>125		
		Condiciones Generales	Sin presen cia de agua	Represado	Húmedo	Goteos	Flujo		
	Rating	15	10	7	4	0			

RMR=57

APÉNDICE E
ANÁLISIS CINEMÁTICO DE LAS ESTACIONES
GEOMECÁNICAS

EG01

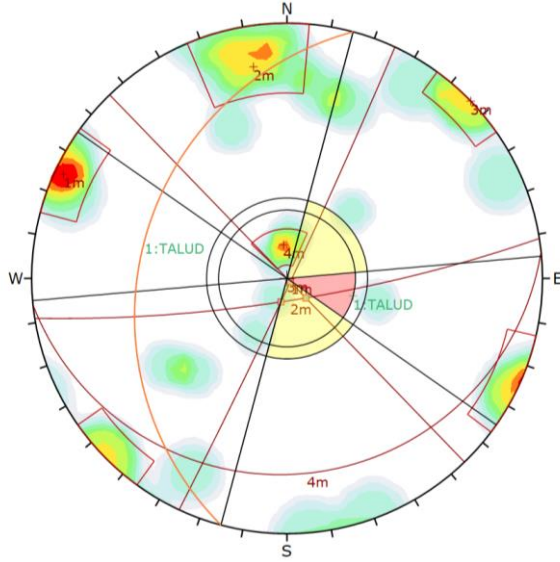


Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.10
	1.10 - 2.20
	2.20 - 3.30
	3.30 - 4.40
	4.40 - 5.50
	5.50 - 6.60
	6.60 - 7.70
	7.70 - 8.80
	8.80 - 9.90
	9.90 - 11.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	10.95%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planar Sliding	
Slope Dip	30		
Slope Dip Direction	285		
Friction Angle	35°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (A)	0	25	0.00%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	30	285	TALUD
Mean Set Planes			
1m	88	115	
2m	80	171	
3m	90	226	
4m	15	174	

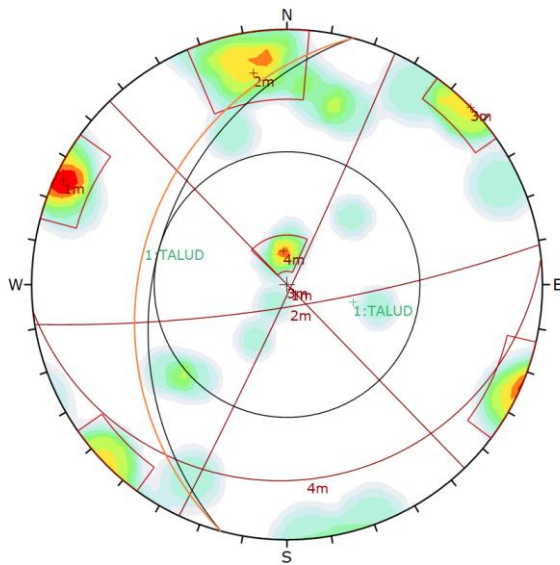


Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.10
	1.10 - 2.20
	2.20 - 3.30
	3.30 - 4.40
	4.40 - 5.50
	5.50 - 6.60
	6.60 - 7.70
	7.70 - 8.80
	8.80 - 9.90
	9.90 - 11.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	10.95%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Direct Topping	
Slope Dip	30		
Slope Dip Direction	285		
Friction Angle	35°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Direct Topping (Intersection)	0	10	0.00%
Oblique Topping (Intersection)	3	10	30.00%
Base Plane (A)	0	25	0.00%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	30	285	TALUD
Mean Set Planes			
1m	88	115	
2m	80	171	
3m	90	226	
4m	15	174	



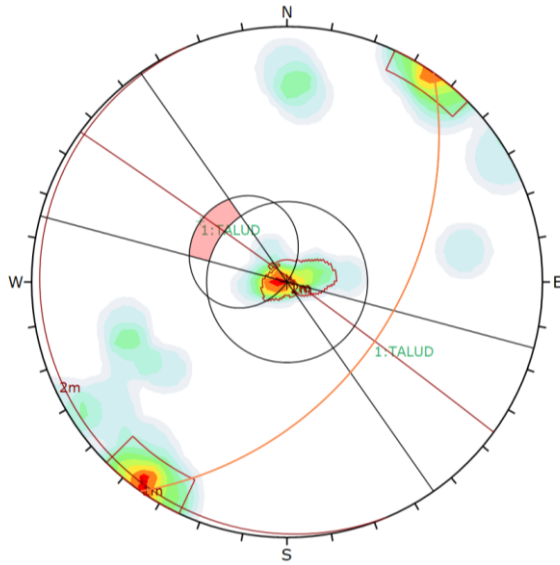
Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.10
	1.10 - 2.20
	2.20 - 3.30
	3.30 - 4.40
	4.40 - 5.50
	5.50 - 6.60
	6.60 - 7.70
	7.70 - 8.80
	8.80 - 9.90
	9.90 - 11.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	10.95%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	30		
Slope Dip Direction	285		
Friction Angle	35°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	0	10	0.00%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	30	285	TALUD
Mean Set Planes			
1m	88	115	
2m	80	171	
3m	90	226	
4m	15	174	

EG02



Symbol	Feature
●	Critical Intersection

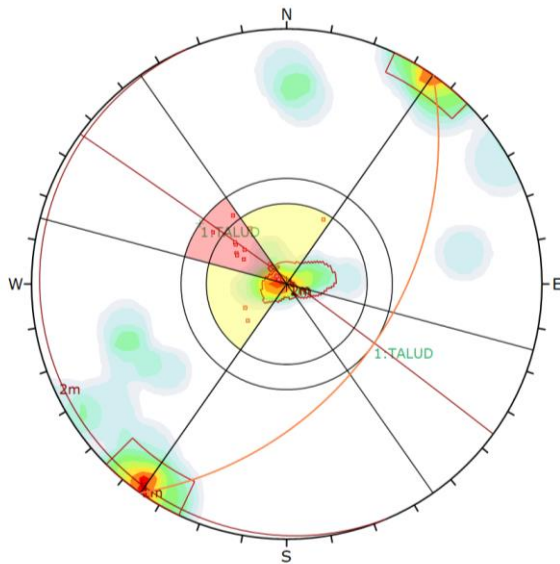
Color	Density Concentrations
0.00	- 1.70
1.70	- 3.40
3.40	- 5.10
5.10	- 6.80
6.80	- 8.50
8.50	- 10.20
10.20	- 11.90
11.90	- 13.60
13.60	- 15.30
15.30	- 17.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	16.32%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Direct Topping	
Slope Dip	45		
Slope Dip Direction	125		
Friction Angle	35°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Direct Topping (Intersection)	11	231	4.76%
Oblique Topping (Intersection)	4	231	1.73%
Base Plane (All)	5	22	22.73%
Base Plane (Set 2)	3	6	50.00%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	45	125	TALUD
Mean Set Planes			
1m	88	36	
2m	2	247	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	22 (22 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	231



Symbol	Feature
●	Critical Intersection

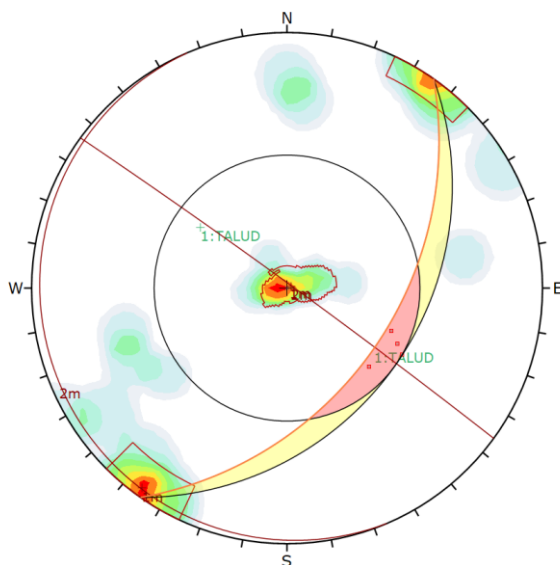
Color	Density Concentrations
0.00	- 1.70
1.70	- 3.40
3.40	- 5.10
5.10	- 6.80
6.80	- 8.50
8.50	- 10.20
10.20	- 11.90
11.90	- 13.60
13.60	- 15.30
15.30	- 17.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	16.32%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	45		
Slope Dip Direction	125		
Friction Angle	35°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	4	231	1.73%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	45	125	TALUD
Mean Set Planes			
1m	88	36	
2m	2	247	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	22 (22 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	231
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle



Symbol	Feature
●	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
0.00	- 1.70
1.70	- 3.40
3.40	- 5.10
5.10	- 6.80
6.80	- 8.50
8.50	- 10.20
10.20	- 11.90
11.90	- 13.60
13.60	- 15.30
15.30	- 17.00

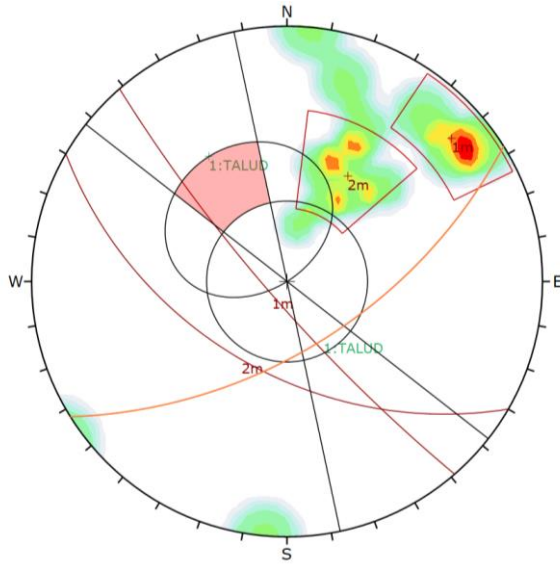
Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	16.32%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	45		
Slope Dip Direction	125		
Friction Angle	35°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	4	231	1.73%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	45	125	TALUD
Mean Set Planes			
1m	88	36	
2m	2	247	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	22 (22 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	231
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

EG03



Symbol	Feature
•	Critical Intersection

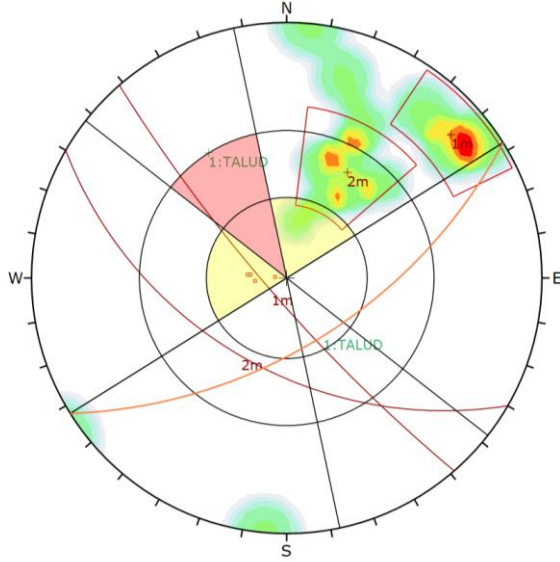
Color	Density Concentrations
0.00 - 1.60	
1.60 - 3.20	
3.20 - 4.80	
4.80 - 6.40	
6.40 - 8.00	
8.00 - 9.60	
9.60 - 11.20	
11.20 - 12.80	
12.80 - 14.40	
14.40 - 16.00	

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	15.26%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Direct Topping
Slope Dip	60	
Slope Dip Direction	148	
Friction Angle	35°	
Lateral Limits	20°	
		Critical Total %
Direct Topping (Intersection)	0	66 0.00%
Oblique Topping (Intersection)	4	66 6.06%
Base Plane (A)	1	12 8.33%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	60	148	TALUD
Mean Set Planes			
1m	81	229	
2m	51	210	

Plot Mode		Pole Vectors
Vector Count	12 (12 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersections Count	66	
Hemisphere	Lower	



Symbol	Feature
•	Critical Intersection

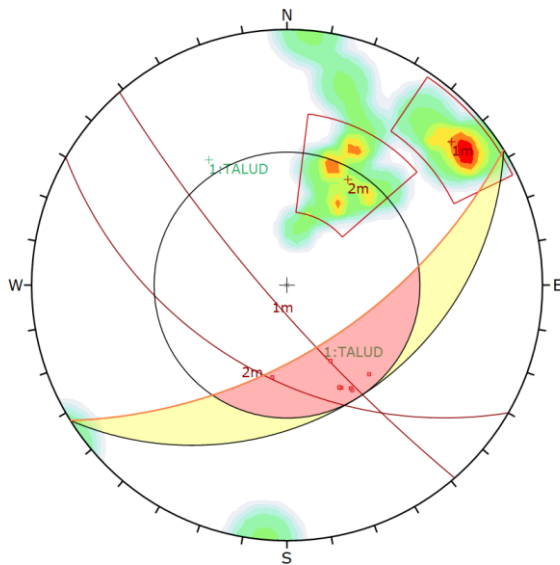
Color	Density Concentrations
0.00 - 1.60	
1.60 - 3.20	
3.20 - 4.80	
4.80 - 6.40	
6.40 - 8.00	
8.00 - 9.60	
9.60 - 11.20	
11.20 - 12.80	
12.80 - 14.40	
14.40 - 16.00	

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	15.26%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding
Slope Dip	60	
Slope Dip Direction	148	
Friction Angle	35°	
Lateral Limits	20°	
		Critical Total %
Wedge Sliding	8	66 12.12%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	60	148	TALUD
Mean Set Planes			
1m	81	229	
2m	51	210	

Plot Mode		Pole Vectors
Vector Count	12 (12 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersections Count	66	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	



Symbol	Feature
•	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
0.00 - 1.60	
1.60 - 3.20	
3.20 - 4.80	
4.80 - 6.40	
6.40 - 8.00	
8.00 - 9.60	
9.60 - 11.20	
11.20 - 12.80	
12.80 - 14.40	
14.40 - 16.00	

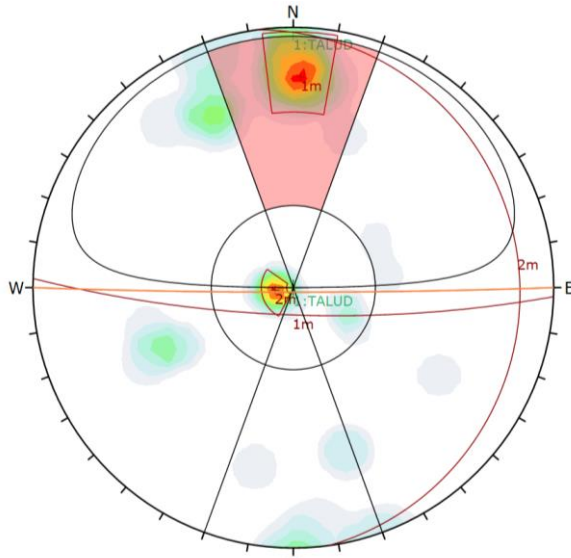
Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	15.26%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding
Slope Dip	60	
Slope Dip Direction	148	
Friction Angle	35°	
Lateral Limits	20°	
		Critical Total %
Wedge Sliding	8	66 12.12%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	60	148	TALUD
Mean Set Planes			
1m	81	229	
2m	51	210	

Plot Mode		Pole Vectors
Vector Count	12 (12 Entries)	
Intersection Mode	Grid Data Planes	
Intersections Count	66	
Hemisphere	Lower	
Projection	Equal Angle	

EG04



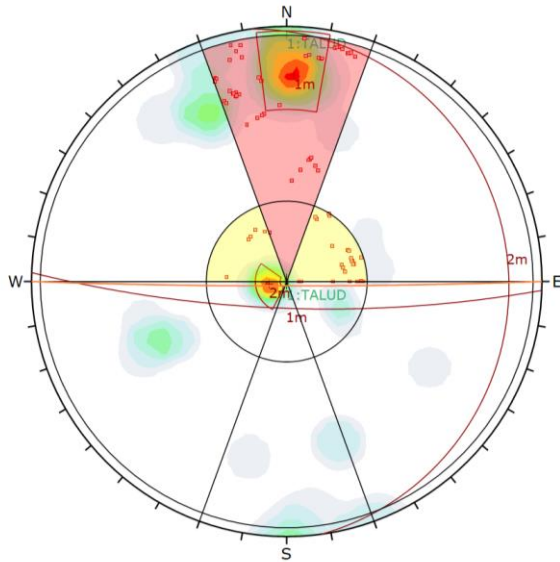
Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.70
	1.70 - 3.40
	3.40 - 5.10
	5.10 - 6.80
	6.80 - 8.50
	8.50 - 10.20
	10.20 - 11.90
	11.90 - 13.60
	13.60 - 15.30
	15.30 - 17.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	16.03%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Planar Sliding
Slope Dip	88	
Slope Dip Direction	180	
Friction Angle	35°	
Lateral Limits	20°	
		Critical Total %
Planar Sliding (A0)	10	41 24.39%
Planar Sliding (Set 1)	9	9 100.00%

Color	Dip	Dip Direction	Label
	88	180	TALUD
User Planes			
Mean Set Planes			
1m	78	182	
2m	8	82	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	41 (41 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle



Symbol	Feature
■	Critical Intersection

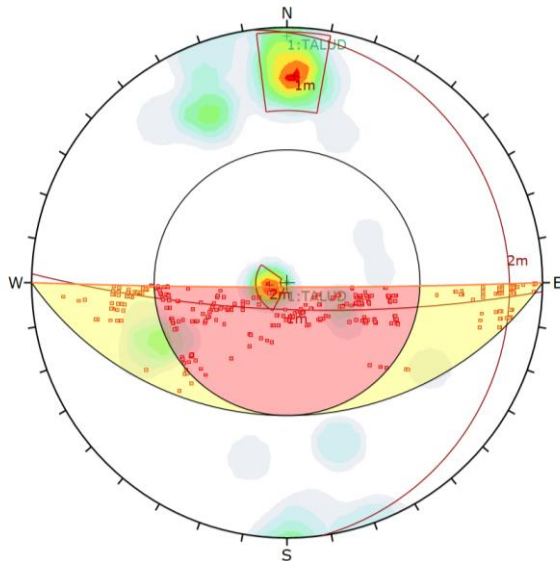
Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.70
	1.70 - 3.40
	3.40 - 5.10
	5.10 - 6.80
	6.80 - 8.50
	8.50 - 10.20
	10.20 - 11.90
	11.90 - 13.60
	13.60 - 15.30
	15.30 - 17.00

Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	16.03%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Direct Topping
Slope Dip	88	
Slope Dip Direction	180	
Friction Angle	35°	
Lateral Limits	20°	
		Critical Total %
Direct Topping (Intersection)	47	820 5.73%
Oblique Topping (Intersection)	39	820 4.76%
Base Plane (A0)	13	41 31.71%
Base Plane (Set 1)	9	9 100.00%
Base Plane (Set 2)	2	5 40.00%

Color	Dip	Dip Direction	Label
	88	180	TALUD
User Planes			
Mean Set Planes			
1m	78	182	
2m	8	82	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	41 (41 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes



Symbol	Feature
■	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.70
	1.70 - 3.40
	3.40 - 5.10
	5.10 - 6.80
	6.80 - 8.50
	8.50 - 10.20
	10.20 - 11.90
	11.90 - 13.60
	13.60 - 15.30
	15.30 - 17.00

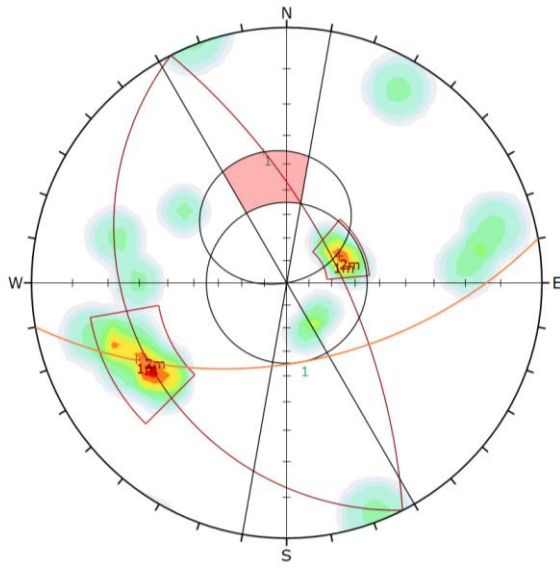
Contour Data		Pole Vectors
Maximum Density	16.03%	
Contour Distribution	Fisher	
Counting Circle Size	1.0%	

Kinematic Analysis		Wedge Sliding
Slope Dip	88	
Slope Dip Direction	180	
Friction Angle	35°	
		Critical Total %
Wedge Sliding	326	820 39.76%

Color	Dip	Dip Direction	Label
	88	180	TALUD
User Planes			
Mean Set Planes			
1m	78	182	
2m	8	82	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	41 (41 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	820
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

EG05



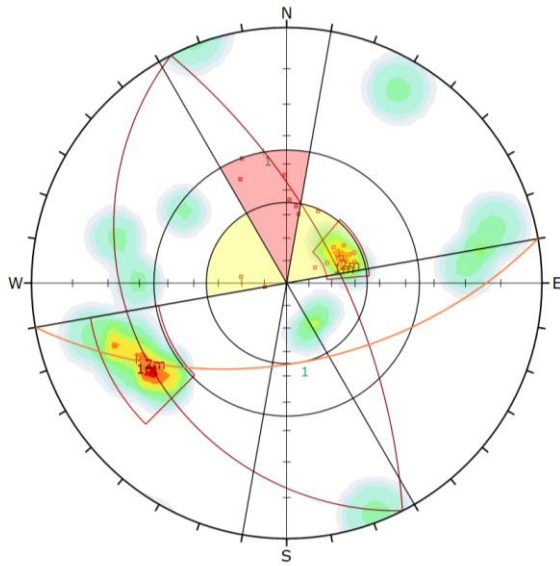
Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.40
	1.40 - 2.80
	2.80 - 4.20
	4.20 - 5.60
	5.60 - 7.00
	7.00 - 8.40
	8.40 - 9.80
	9.80 - 11.20
	11.20 - 12.60
	12.60 - 14.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	13.19%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Planar Sliding		
Slope Dip		55		
Slope Dip Direction		170		
Friction Angle		35°		
Lateral Limits		20°		
		Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	17	0.00%	

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	55	170	
Mean Set Planes			
1m	67	63	
2m	26	243	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	17 (17 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle



Symbol	Feature
•	Critical Intersection

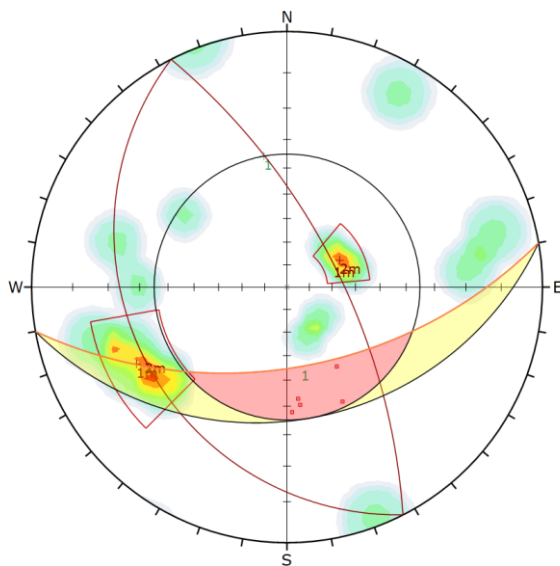
Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.40
	1.40 - 2.80
	2.80 - 4.20
	4.20 - 5.60
	5.60 - 7.00
	7.00 - 8.40
	8.40 - 9.80
	9.80 - 11.20
	11.20 - 12.60
	12.60 - 14.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	13.19%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Direct Topping		
Slope Dip		55		
Slope Dip Direction		170		
Friction Angle		35°		
Lateral Limits		20°		
		Critical	Total	%
Direct Topping (Intersection)	6	136	4.41%	
Oblique Topping (Intersection)	15	136	11.03%	
Base Plane (All)	3	17	17.65%	
Base Plane (Set 2)	3	3	100.00%	

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	55	170	
Mean Set Planes			
1m	67	63	
2m	26	243	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	17 (17 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	136



Symbol	Feature
•	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.40
	1.40 - 2.80
	2.80 - 4.20
	4.20 - 5.60
	5.60 - 7.00
	7.00 - 8.40
	8.40 - 9.80
	9.80 - 11.20
	11.20 - 12.60
	12.60 - 14.00

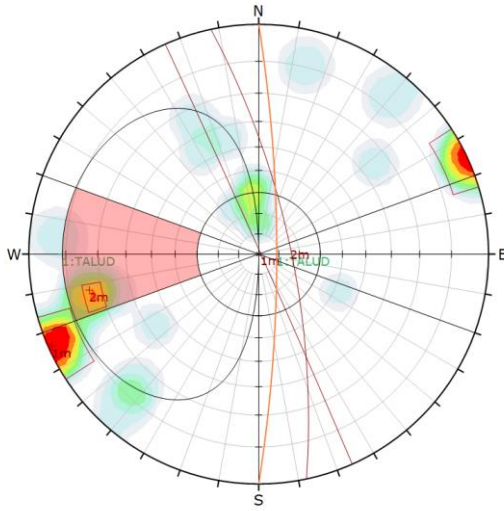
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	13.19%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Wedge Sliding		
Slope Dip		55		
Slope Dip Direction		170		
Friction Angle		35°		
		Critical	Total	%
Wedge Sliding	5	136	3.68%	

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	55	170	
Mean Set Planes			
1m	67	63	
2m	26	243	

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	17 (17 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	136
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

LOB01



Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.60
	1.60 - 3.20
	3.20 - 4.80
	4.80 - 6.40
	6.40 - 8.00
	8.00 - 9.60
	9.60 - 11.20
	11.20 - 12.80
	12.80 - 14.40
	14.40 - 16.00

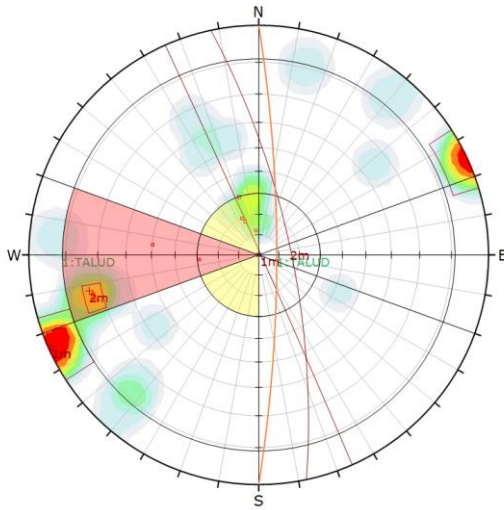
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	15.78%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Planar Sliding	
Slope Dip	81		
Slope Dip Direction	90		
Friction Angle	30°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	4	25	16.00%
Planar Sliding (Set 2)	2	2	100.00%

Color	Dip	Dip Direction	Label
1	81	90	TALUD

Near Set Planes	
1m	89 66
2m	74 78

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	25 (25 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle



Symbol	Feature
*	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.60
	1.60 - 3.20
	3.20 - 4.80
	4.80 - 6.40
	6.40 - 8.00
	8.00 - 9.60
	9.60 - 11.20
	11.20 - 12.80
	12.80 - 14.40
	14.40 - 16.00

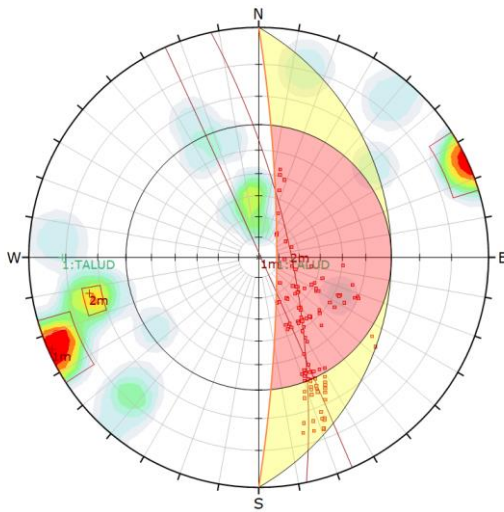
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	15.78%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Direct Toppling	
Slope Dip	81		
Slope Dip Direction	90		
Friction Angle	30°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Direct Toppling (Intersection)	2	299	0.67%
Oblique Toppling (Intersection)	7	299	2.34%
Base Plane (All)	8	25	32.00%
Base Plane (Set 2)	2	2	100.00%

Color	Dip	Dip Direction	Label
1	81	90	TALUD

Near Set Planes	
1m	89 66
2m	74 78

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	25 (25 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	299
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle



Symbol	Feature
*	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.60
	1.60 - 3.20
	3.20 - 4.80
	4.80 - 6.40
	6.40 - 8.00
	8.00 - 9.60
	9.60 - 11.20
	11.20 - 12.80
	12.80 - 14.40
	14.40 - 16.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	15.78%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	81		
Slope Dip Direction	90		
Friction Angle	30°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	125	299	41.81%

Color	Dip	Dip Direction	Label
1	81	90	TALUD

Near Set Planes	
1m	89 66
2m	74 78

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	25 (25 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	299
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle