

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Estudio Geológico, geomecánico y su incidencia en la evaluación de la estabilidad del talud del Cementerio Patrimonial General (Puerta 1),
Cerro del Carmen, Guayaquil

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Geología

Presentado por:

Maribel Estefanía Aguilar Aguilar

Gonzalo Andrés Ramírez Gómez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios, mis padres Fausto y Maribel, y a mis hermanos, quienes han sido mi guía y mayor impulso para seguir adelante, gracias a su ejemplo, dedicación y esfuerzo he cumplido una de mis grandes metas.

A Xavier por su cariño y compañía durante estos años, alentándome en todo momento y apoyando mis decisiones.

Finalmente, a las personas que he conocido a lo largo de la universidad, por permitirme aprender más de la vida a su lado y contribuir en mi crecimiento personal y profesional.

Maribel Aguilar.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios, ya que sin su voluntad no habría podido llegar aquí.

A mis padres, por sus innumerables sacrificios para poder darme la oportunidad de estudiar y por apoyarme en todas mis decisiones.

A mis hermanos, porque son un complemento muy grande para mí.

A mis tíos, primos y abuelos por darme la tranquilidad de que al final todo estaría bien.

Finalmente, a los amigos que hice en el camino, por las desveladas estudiando, por las risas, por las fiestas.

Gonzalo Ramírez.

AGRADECIMIENTOS

En estas líneas queremos agradecer al personal administrativo de CIPAT y del Laboratorio de Petrografía de FICT, al Ing. Andrés Sánchez, a nuestro compañero Roberth Pineda y especialmente a los doctores Fernando Morante, Roberto Blanco y Paúl Carrión por su guía durante la realización de este trabajo.

A ESPOL y los diferentes profesionales de quienes hemos podido aprender.

A la Junta de Beneficencia de Guayaquil y al Abg. Ángel Mena por abrirnos las puertas para colaborar en este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Maribel Estefanía Aguilar Aguilar y Gonzalo Andrés Ramírez Gómez* y damos 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”

Maribel Estefanía
Aguilar Aguilar

Gonzalo Andrés
Ramírez Gómez

EVALUADORES

Daniel Garcés, M.Sc.

PROFESOR DE LA MATERIA

Fernando Morante, PhD.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Técnicas de voladura ineficientes y un mal cierre de la antigua cantera existente durante los 70's, donde ahora se ubica el Cementerio General Patrimonial de Guayaquil, ocasionaron un talud casi vertical de aproximadamente 45m de altura y un intenso fracturamiento, lo que debilitó el macizo, incrementando la pérdida de estabilidad y promoviendo el desprendimiento de material, factores que han ocasionado daños en la infraestructura del cementerio y representan un riesgo para la seguridad.

El objetivo de este trabajo es realizar la evaluación de la estabilidad del talud mediante un análisis geotécnico que permita tomar decisiones para mejorar la seguridad del sector. Se utilizaron mediciones estructurales y observaciones realizadas en el campo, además de un modelo tridimensional del talud generado por fotografías tomadas por Drone. Para la evaluación de la estabilidad se emplearon las clasificaciones Slope Mass Rating (SMR) y Chinese Slope Mass Rating (CSMR). La susceptibilidad al desprendimiento fue determinada empleando un procedimiento teórico-práctico, basado en expertos investigadores, se realizó el cálculo del factor de seguridad con el método de Morgenstern & Price y la delimitación de la reptación en la parte alta del cerro mediante perfiles de suelo.

Se obtuvo una mala estabilidad del talud que coincide con la alta susceptibilidad al desprendimiento y un bajo factor de seguridad (0.982), por lo que se afirma que el talud es inestable y se recomienda aplicar bulonado sistemático, drenes de Mechinal y gunitado para su estabilización. La reptación con dirección Suroeste se evidencia con la inclinación de cruces y vegetación

Palabras Clave: Estabilidad del Escarpe, Susceptibilidad al desprendimiento, Características geomecánicas, SMR, CSMR.

ABSTRACT

Inefficient blasting techniques and a poor closure of the old quarry that existed during the 70's, where the General Patrimonial Cemetery of Guayaquil is now located, caused an almost vertical slope of approximately 45m height and an intense fracturing, which weakened the massif, increasing the loss of stability and promoting the detachment of material, factors that have caused damage to the infrastructure of the cemetery and represent a risk to safety.

The objective of this work is to perform the assessment of slope stability through a geotechnical analysis that allows decision making to improve the safety of the sector. Structural measurements and observations made in the field were used, as well as a three-dimensional model of the slope generated by photographs taken by Drone. The Slope Mass Rating (SMR) and Chinese Slope Mass Rating (CSMR) classifications were used for the stability assessment. The susceptibility to detachment was determined using a theoretical-practical procedure, based on expert researchers, the calculation of the safety factor was carried out using the Morgenstern & Price method and the delimitation of the soil creep process in the upper part of the hill, using soil profiles.

A Poor stability for the slope was obtained, which coincides with the high susceptibility to detachment and a low safety factor (0.982), which is why it is stated that the slope is unstable, and it is recommended to apply systematic bolting, Mechinal drains and shotcrete for stabilization. The creep with Southwest direction is evidenced by the inclination of crosses and vegetation

Keywords: *Geomechanical characteristics, CSMR, Slope Stability, SMR, Susceptibility to detachment.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE anexos	XIV
CAPÍTULO 1	15
1 GENERALIDADES.....	16
1.1 Descripción del problema	17
1.2 Justificación del problema.....	17
1.3 Objetivos.....	18
1.3.1 Objetivo General	18
1.3.2 Objetivos Específicos	19
1.4 Zona de Estudio.....	19
1.5 Marco teórico	20
1.5.1 Geología Regional.....	20
1.5.2 Geología Local	22
CAPÍTULO 2	24
2 METODOLOGÍA GENERAL	25
2.1 I Fase: Recopilación Bibliográfica.....	25
2.2 II Fase: Recopilación y procesamiento de datos	26

2.2.1	Geomecánica	26
2.2.2	Evaluación de la Estabilidad	30
2.2.3	Delimitación de la reptación	42
CAPÍTULO 3.....		44
3	RESULTADOS Y ANÁLISIS	45
3.1	Geología	45
3.1.1	Litología y Estratigrafía del Sector.....	45
3.1.2	Caracterización petrográfica	48
3.2	Caracterización Geomecánica.....	53
3.2.1	Propiedades físico-mecánicas de las rocas	53
3.2.2	Cálculo de RQD (Rock Quality Designation).....	54
3.2.3	Características de las discontinuidades	65
3.2.4	Flujo de agua en las juntas	66
3.2.5	Cálculo del RMR	67
3.3	Evaluación de la Estabilidad	69
3.3.1	Condiciones de Estabilidad	69
3.3.2	Susceptibilidad al desprendimiento.....	72
3.3.3	Cálculo del Factor de Seguridad	76
3.4	Análisis de la reptación	81
3.4.1	Caracterización del suelo	81
3.4.2	Delimitación de la reptación	87
3.5	Discusión de Resultados	87
CAPÍTULO 4.....		89
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
4.1	Conclusiones	90
4.2	Recomendaciones.....	91

BIBLIOGRAFÍA.....	92
ANEXOS.....	95

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
CIPAT	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra
FICT	Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
Fm	Formación
RDQ	Rock Quality Designation
RMR	Rock Mass Rating
SMR	Slope Mass Rating
CSMR	Chinese System for Slope Mass Rating
FS	Factor de Seguridad
GPS	Global Positioning System
UTM	Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a las Ciencias de la Tierra
WGS	World Geodetic System
Sect	Sector

SIMBOLOGÍA

μm	Micras
cm	Centímetros
m	Metros
m^2	Metros Cuadrados
°	Grados

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de justificación de problema.	18
Figura 1.2 Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	20
Figura 1.3 Modelo de elevación digital de los Andes ecuatorianos (GTOPO30) con iluminación desde el este. Se muestran las edades AFT codificadas por color de cinco travesías a través de la Cordillera Real (de norte a sur: Tulcan (T) -La Bonita (Lb), Papallacta (P) -Baeza (Ba), Baños (B) -Puyo (Pu), Cuenca (C) -Plan del Milagro (Pd), Loja (L) -Paquisha (Pa). Las edades AFT jóvenes se registran en el cinturón andino situado por encima de la extensión propuesta de la Cordillera Carnegie y la zona de fractura de Grijalva representando un bloque oceánico flotante comparado a los remanentes de la Placa de Farallón. El paisaje elevado se balancea hacia el mar en las proximidades del Golfo de Guayaquil. La batimetría simplificada, las anomalías magnéticas (edad aproximada en Ma) y los vectores de placa de la placa de Nazca son mostrados. Los símbolos rojos indican la posición de los basaltos dragados y antiguos del Hot Spot de Galápagos y sedimentos bioestratigráficamente datados (9.5-8.5 Ma), que se encuentran en los basaltos de puntos calientes en el Sitio 157 de DSDP. El recuadro muestra la corteza oceánica (verde claro) y las crestas del punto caliente de Galápagos (verde oscuro) que se han formado hace 25 Ma. (Spikings et al., 2000). Abreviaturas: CP, Falla de Cauca; CT Zona de corte Chimbo-Toachi; GG, Golfo de Guayaquil; LS, Falla Sofía; MB, Cuenca de Manabí; NF, Falla Nangaritzza; PB, Cuenca Progreso; PaF, Falla Palanda; PeF, Falla Peltetec; PF, Falla Pujilí; PIF, Falla Pallatanga; R, Falla Romeral; SAF, Falla subandina.	21
Figura 2.1 Metodología general del proyecto.....	25
Figura 2.2 Esquema metodológico para la estratigrafía del sector.	26
Figura 2.3 División del talud en zonas y sectores.	28
Figura 2.4 Flujograma para la metodología de caracterización geomecánica.	28
Figura 2.5 Esquema metodológico para la evaluación geomecánica.	31
Figura 2.6 Flujograma para la metodología seguida para determinar la susceptibilidad al desprendimiento.....	35
Figura 2.7 Mapa de ubicación de perfiles para cálculo del factor de seguridad.....	41
Figura 2.8 Esquema metodológico para delimitar la reptación.	42

Figura 2.9 Mapa de ubicación de las calicatas en la zona de reptación.	43
Figura 3.1 Columna estratigráfica del talud.	46
Figura 3.2 Mapa Litológico del sector.	47
Figura 3.3 Nube de puntos densa del Sector #1 y división en subsectores.	54
Figura 3.4 Nube de puntos densa del Sector #2 y división en subsectores.	55
Figura 3.5 Nube de puntos densa del Sector #3 y división en subsectores.	56
Figura 3.6 Nube de puntos densa del Sector #4 y división en subsectores.	57
Figura 3.7 Nube de puntos densa del Sector #5 y división en subsectores.	58
Figura 3.8 Nube de puntos densa del Sector #6 y división en subsectores.	59
Figura 3.9 Nube de puntos densa del Sector #7 y división en subsectores.	60
Figura 3.10 Nube de puntos densa del Sector #8 y división en subsectores.	61
Figura 3.11 Nube de puntos densa del Sector #9 y división en subsectores.	62
Figura 3.12 Nube de puntos densa del Sector #10 y división en subsectores.	63
Figura 3.13 Nube de puntos densa del Sector #11 y división en subsectores.	64
Figura 3.14 Factor de Seguridad para el perfil 1. FS Hipotético: 0.841; FS. Real: 0.996	77
Figura 3.15 Factor de Seguridad para el perfil 2. FS Hipotético: 0.892; FS. Real: 0.995	77
Figura 3.16 Factor de Seguridad para el perfil 3. FS Hipotético: 0.689; FS. Real: 0.997	78
Figura 3.17 Factor de Seguridad para el perfil 4. FS Hipotético: 0.772; FS. Real: 0.982	78
Figura 3.18 Factor de Seguridad para el perfil 5. FS Hipotético: 0.690; FS. Real: 0.989	79
Figura 3.19 Factor de Seguridad para el perfil 6. FS Hipotético: 0.736; FS. Real: 0.996	79
Figura 3.20 Factor de Seguridad para el perfil 7. FS Hipotético: 0.613; FS. Real: 0.996	80
Figura 3.21 Factor de Seguridad para el perfil 8. FS Hipotético: 0.681; FS. Real: 0.999	80
Figura 3.22 Mapa de ubicación de las calicatas.	82
Figura 3.23 Perfil de Suelos en la zona de reptación.	86

Figura 3.24 Plano de dirección de reptación..... 87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Cambio de direcciones y buzamientos del talud.	27
Tabla 2.2. Medidas estructurales de las principales familias de discontinuidades.....	27
Tabla 2.3 Clasificación para RQD (Deere & Deere, 1988).....	29
Tabla 2.4. División del talud en Zonas, Sectores y Subsectores.	30
Tabla 2.5. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).	31
Tabla 2.6 Calidad de macizos rocosos en relación con el índice de RMR (Bieniawski, 1989), tomado de Gonzáles de Vallejo et al., 2002.	32
Tabla 2.7. Clasificación geomecánica de taludes SMR (Gonzáles de Vallejo et al., 2002).....	33
Tabla 2.8. Factor λ de discontinuidad (Chen, 1995).	35
Tabla 2.9 Puntuación para parámetros principales.....	36
Tabla 2.10. Valoraciones para Características litológicas.....	36
Tabla 2.11. Grado de deterioro de la roca y valoraciones.	36
Tabla 2.12. Características estructurales y valoraciones.....	37
Tabla 2.13. Características y valoraciones.	37
Tabla 2.14. Características morfométricas y valoraciones.....	38
Tabla 2.15. Condiciones de cobertura vegetal y valoraciones.....	38
Tabla 2.16. Presencia de agua y valoraciones.	39
Tabla 2.17. Características de sismicidad existentes y valoración.....	39
Tabla 2.18 Clasificación de la Susceptibilidad.	40
Tabla 3.1 Descripción macroscópica de la muestra #1.....	48
Tabla 3.2 Descripción macroscópica de la muestra #2.....	48
Tabla 3.3 Descripción macroscópica de la muestra #3.....	49
Tabla 3.4 Descripción macroscópica de la muestra #4.....	50
Tabla 3.5 Descripción microscópica de la muestra #1.....	50
Tabla 3.6 Descripción microscópica de la muestra #2.....	51
Tabla 3.7 Descripción microscópica de la muestra #3.....	52
Tabla 3.8 Descripción microscópica de la muestra #4.....	52
Tabla 3.9 Parámetros obtenidos en laboratorio.	53
Tabla 3.10 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #1	55

Tabla 3.11 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #2.	55
Tabla 3.12 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #3.	56
Tabla 3.13 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #4.	57
Tabla 3.14 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #5.	58
Tabla 3.15 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #6.	59
Tabla 3.16 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #7.	60
Tabla 3.17 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #8.	61
Tabla 3.18 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #9.	62
Tabla 3.19 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #10.	63
Tabla 3.20 Datos para cálculo de RQD para los puntos del Sector #11.	64
Tabla 3.21 Porcentaje de RQD y clasificación de las rocas para todos los sectores del talud.	64
Tabla 3.22 Separación de las juntas en metros para cada sector de cana zona del talud.	65
Tabla 3.23 Evaluación de los distintos parámetros que permiten determinar el "Estado de las Juntas".	66
Tabla 3.24. Evaluación del estado de "Flujo de agua en las Juntas".	66
Tabla 3.25. Cálculo del RMR y grado de la estabilidad de los sectores de la Zona #1.	67
Tabla 3.26. Cálculo del RMR y grado de estabilidad de los sectores de la Zona #2.	67
Tabla 3.27. Cálculo del RMR y grado de estabilidad de los sectores de la Zona #3.	68
Tabla 3.28. Resumen de los valores obtenidos de RMR y el grado de estabilidad de los sectores del talud.	68
Tabla 3.29 Valores de los factores de corrección. Fueron calculados considerando cada una de las diferentes familias de fracturas identificadas para las zonas del talud.	69
Tabla 3.30. Cálculo del SMR y grado de estabilidad de los sectores de la Zona #1.	69
Tabla 3.31. Cálculo del SMR y grado de estabilidad de los sectores de la Zona #2.	70
Tabla 3.32. Cálculo del SMR y grado de estabilidad de los sectores de la Zona #3.	70
Tabla 3.33. Resumen de los valores de SMR y grado de estabilidad de los sectores del macizo rocoso.	70
Tabla 3.34. Cálculo de CSMR de los sectores de la Zona #1.	71

Tabla 3.35. Cálculo de CSMR de los sectores de la Zona #2.....	71
Tabla 3.36. Cálculo de CSMR de los sectores de la Zona #3.....	72
Tabla 3.37. Resumen de los valores de CSMR y clasificación de los sectores del macizo rocoso.....	72
Tabla 3.38. Cálculo de la susceptibilidad al desprendimiento de la Zona #1.....	73
Tabla 3.39. Cálculo de la susceptibilidad al desprendimiento de la Zona #2.....	73
Tabla 3.40. Cálculo de la susceptibilidad al desprendimiento de la Zona #3.....	73
Tabla 3.41. Resumen de la susceptibilidad al desprendimiento en condiciones favorables.....	74
Tabla 3.42. Cálculo de la susceptibilidad al desprendimiento de la Zona #1.....	74
Tabla 3.43. Cálculo de la susceptibilidad al desprendimiento de la Zona #2.....	75
Tabla 3.44. Cálculo de la susceptibilidad al desprendimiento de la Zona #3.....	75
Tabla 3.45. Resumen de la susceptibilidad en condiciones extremas.....	76
Tabla 3.46. Resumen de resultados de susceptibilidad al desprendimiento y factor de seguridad.....	81
Tabla 3.47. Horizontes edafológicos para la Calicata #1.....	83
Tabla 3.48. Horizontes edafológicos para la Calicata #2.....	84
Tabla 3.49. Horizontes edafológicos para la Calicata #3.....	85

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de curvas de nivel de la parte superior del escarpe.....	95
Anexo 2. Vista lateral izquierda del modelo tridimensional del talud.....	96
Anexo 3. Vista lateral derecha del modelo tridimensional del talud	96

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1 GENERALIDADES

Los taludes son superficies inclinadas, que adquieren de manera permanente las estructuras de la Tierra (De Matteis, 2003). Los taludes pueden ser formados de forma natural o como, en este caso de estudio, ser el resultado de actividad antropogénica o extractiva (Varnes & Cruden, 1993). Los taludes y los movimientos de masas asociados a ellos son considerados como amenazas medioambientales de tipo geológico (Keith, 2004).

La estabilidad de un talud se ve afectada por factores geológicos, hidrogeológicos, geométricos, condiciones topográficas y comportamiento geomecánico del terreno (Kresna, Bahagiarti, & Purwanto, 2016; Gonzáles de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Oteo, 2002). Se considera a la masa de las rocas que componen el escarpe y a posibles filtraciones como agentes que desencadenan la inestabilidad de un macizo rocoso (Pérez, 2005). De acuerdo con De Matteis (2003) la estabilidad, se puede explicar cómo, la seguridad de una masa de tierra a no fallar o moverse. La estabilidad está dada por el cálculo de un factor de seguridad (Alpizar, 2012). Según Melentijevic (2005) un factor de seguridad menor a uno, indica inestabilidad. Es por eso que para complementar las sugerencias para la estabilización de un escarpe se requiere calcular dicho factor.

La fecha de fundación oficial del Cementerio Patrimonial de Guayaquil se remonta al 27 de abril del año 1823, debido a la necesidad de enterrar a los ciudadanos fallecidos en un lugar que no sean los templos religiosos de la urbe. En 1822 fue diseñado el cementerio en las faldas del cerro Santa Ana por parte de Juan Francisco Ycaza (Junta de Beneficencia de Guayaquil, 2018)

Durante los primeros años del siglo 20, familias acaudaladas de la ciudad de Guayaquil contrataron a varios arquitectos y escultores para el diseño y edificación de mausoleos familiares, mismos que fueron diseñados en estilo Gótico, Neoclásico, Renacentista, Greco-Romano, Barroco y embellecen nostálgicamente al cementerio (Empresa Pública Municipal de Turismo, Promoción Cívica y Relaciones Internacionales de Guayaquil, 2015).

En el cementerio también se encuentran las tumbas de importantes personalidades que han contribuido al desarrollo del país incluyendo: héroes, próceres, presidentes, artistas, etc. (Salazar, 2017). En el año de 2003 el cementerio fue declarado Patrimonio Cultural de la Nación (Dirección de Turismo y Promoción Cívica Municipal de Guayaquil, 2015).

Debido a las condiciones de inestabilidad que presenta el escarpe ubicado dentro del perímetro del cementerio de estudio (Puerta 1), las obras que lo caracterizan se ven amenazadas.

Con este proyecto se plantea presentar posibles opciones para estabilizar el talud del cerro y evitar que el Cementerio se vea afectado debido a la inestabilidad del lugar donde se encuentra emplazado. Para lograr este acometido es necesario realizar un estudio geológico y geomecánico mediante la toma de medidas estructurales, observaciones en campo y como herramienta complementaria un modelo tridimensional del talud que se genera a partir de imágenes tomadas por drone y que permite analizar las zonas más altas del talud a las que es difícil acceder de forma convencional.

1.1 Descripción del problema

A continuación, se resume la situación actual que presenta la zona de estudio: Inestabilidad y desprendimiento de material rocoso del escarpe, dado su verticalidad e inclinación.

- Debido a que el escarpe que se analiza formaba parte de la antigua Cantera Municipal que existía en ese lugar, el macizo que lo constituye está afectado por los trabajos de voladura que en él se realizaban durante la explotación de la cantera.
- Fracturación del talud y estado deteriorado de los estratos rocosos en el afloramiento.
- Drenaje natural comprometido debido a obras incluidas del propio Cementerio Patrimonial.
- Movimiento de masa (reptación) en la parte superior del cerro, evidenciado por la inclinación de cruces de las tumbas y árboles.

¿Es posible con una caracterización geomecánica y análisis geológico-estructural, plantear soluciones a esta problemática de inestabilidad del talud y reptación que compromete al Cementerio Patrimonial y la seguridad de las personas que asisten al lugar?

1.2 Justificación del problema

La antigua cantera existente en la zona de estudio ha generado como consecuencia de las explosiones una serie de fracturamientos inducidos en el macizo que con el paso del

tiempo han debilitado todo el escarpe, incrementando su inestabilidad y generando el desprendimiento de material. Además, se evidencia reptación que se aprecia con la inclinación de las cruces y vegetación que se encuentran en la parte superior del área de estudio.

La inestabilidad del talud, la susceptibilidad al desprendimiento y el fenómeno de reptación que ocurre en la zona de estudio han ocasionado daños en la infraestructura del Cementerio Patrimonial, perjuicios a los mausoleos, nichos, esculturas y otras edificaciones, que son lo que caracterizan este patrimonio de la cultura ecuatoriana, sin mencionar connotaciones morales y espirituales al tratarse de un camposanto.

Por ello es necesario realizar en el sector de estudio la caracterización geológica y geomecánica que permita evaluar la estabilidad del talud y las posibles propuestas de estabilización para su preservación y evitar posibles pérdidas humanas. A continuación, se presenta un esquema que resume la justificación del problema (Figura 1.1).

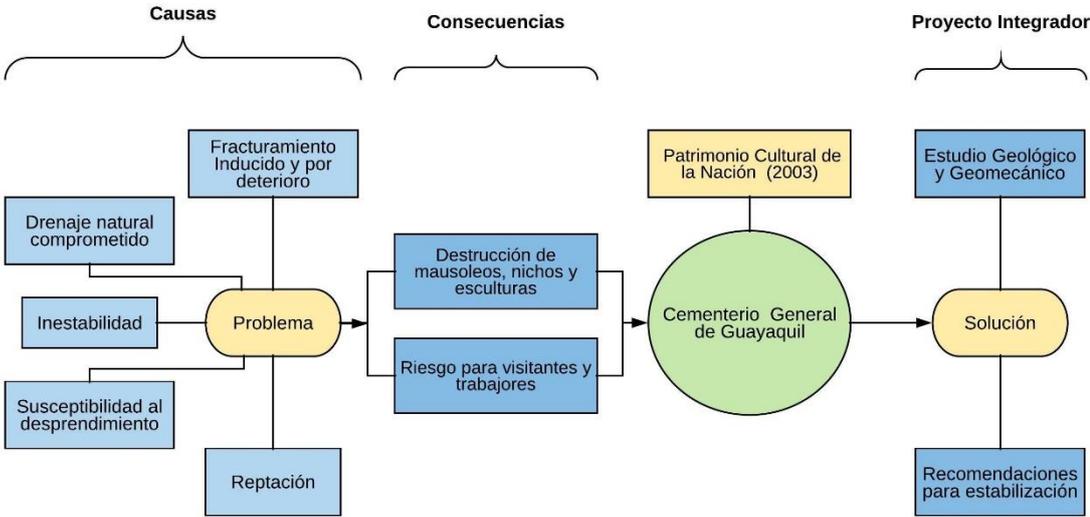


Figura 1.1 Esquema de justificación de problema.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar las condiciones de estabilidad del escarpe mediante la caracterización geológica y geomecánica del macizo para la propuesta de medidas de estabilización.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Realizar la caracterización geológica y geomecánica de suelos y rocas en el sector de estudio, mediante la determinación de parámetros de campo y laboratorio que permita el análisis de la litología presente, estructuras asociadas y principales características geomecánicas.
2. Analizar las condiciones de estabilidad mediante el método de Romana (SMR) y Chen (CSMR) para el diagnóstico de la de estabilidad del escarpe.
3. Evaluar la susceptibilidad al desprendimiento mediante el método de expertos para la zonificación del sector de estudio.
4. Determinar el factor de seguridad en el escarpe empleando el método de Morgenstern & Price y el software Slide 5.0 para la valoración de las posibles soluciones de estabilización.
5. Delimitar la reptación mediante observaciones de campo y análisis de la información obtenida para el establecimiento de la zona de control.

1.4 Zona de Estudio

El proyecto se desarrolla en el talud del Cementerio Patrimonial General de Guayaquil que está al pie del Cerro del Carmen, frente a la calle Julián Coronel, entrando por la puerta #1. El cementerio abarca aproximadamente un área de 130 000 m² y el talud tiene una longitud de 150m y 45m de altura (Figura 1.2)

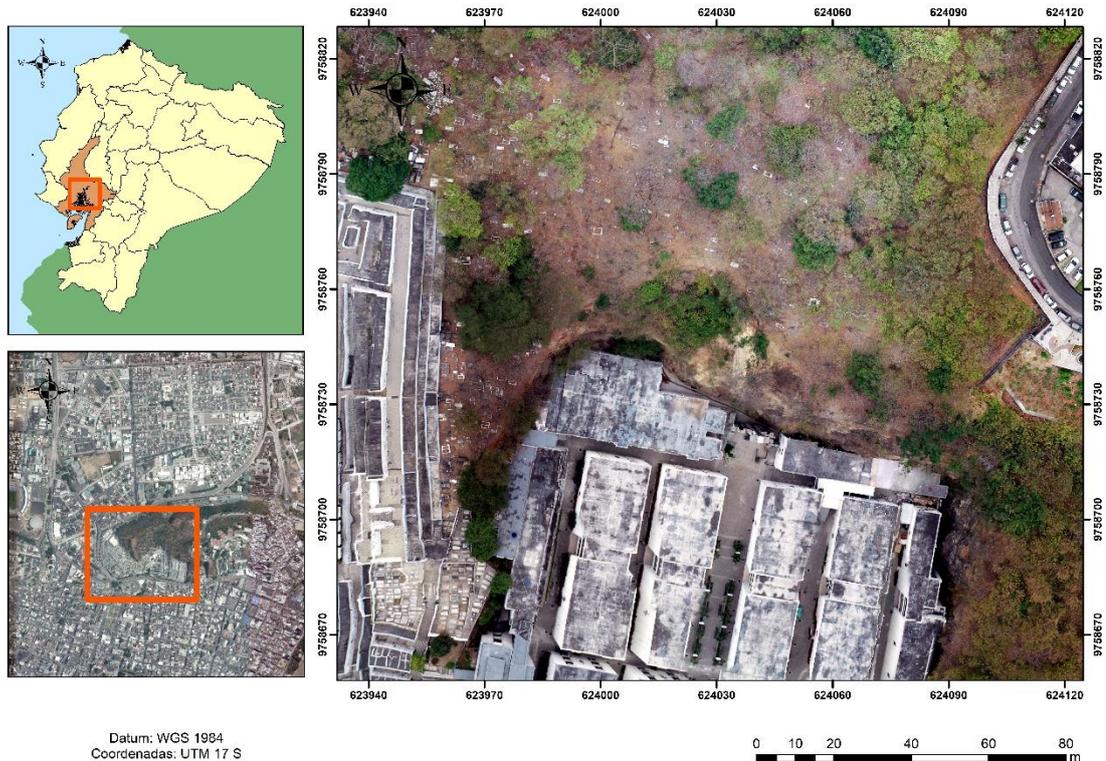


Figura 1.2 Mapa de ubicación de la zona de estudio.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Geología Regional

Los tres segmentos andinos de norte a sur de la sección geológica en la Cadena Andina han sido reconocidos a diferentes escalas por 30 años aproximadamente (Gansser, 1973; Pindell & Tabutt, 1995). Se han registrado variaciones geológicas como: cambios sísmicos del siglo XX, variaciones geomorfológicas del ancho y altura de la Cordillera Andina Figura 1.3 (Engdahl, Van der Hilst, & Buland, 1998), diferencias en la composición (Vanek, Vankova, & Hanus, 1994) y ancho que presenta el arco volcánico (Hall & Wood, 1985) y la actividad volcánica dada en el Neógeno (Spikings *et al.*, 2000). De acuerdo con Gutscher *et al* (1999), se producen variaciones a lo largo del rumbo generalmente relacionadas con el cambio de la composición de las placas que subducen a lo largo del rumbo, además de cambios en los vectores de convergencia de las placas oceánicas y continentales.

El margen continental andino se ubica en el segmento septentrional (al norte de 5°S) y separado del segmento central ya que existe un cambio en el ángulo con el que convergen las placas Nazca y Sudamericana (Gansser, 1973). Litherland, Aspden, & Jemielita (1994) señalan que debido a la acreción de terrenos alóctonos en el Escudo de Guyana, se produce engrosamiento en la corteza y la formación de la Cordillera Real en el margen continental ecuatoriano desde aproximadamente 140 a 120 Ma. Debido a la reordenación de las placas, puntos calientes y origen de nuevos centros de propagación desde aproximadamente 80 Ma, el fondo oceánico con grandes estructuras, densidad y espesor subduce paralelo al segmento norte (Figura 1.3) (Spikings *et al.*, 2000).

El área de estudio se relaciona con la tectónica que presenta la península de Santa Elena y la Cordillera Chongón-Colonche. La litología más antigua que aflora en la región corresponde a la de la Fm. Piñón, que forma el basamento. Desde el Cretácico Superior (Fm. Cayo) ocurrió sedimentación marina hasta el fin del Cretáceo (Fm. Guayaquil chert, Maestrichtiano) (Loor, 2010).

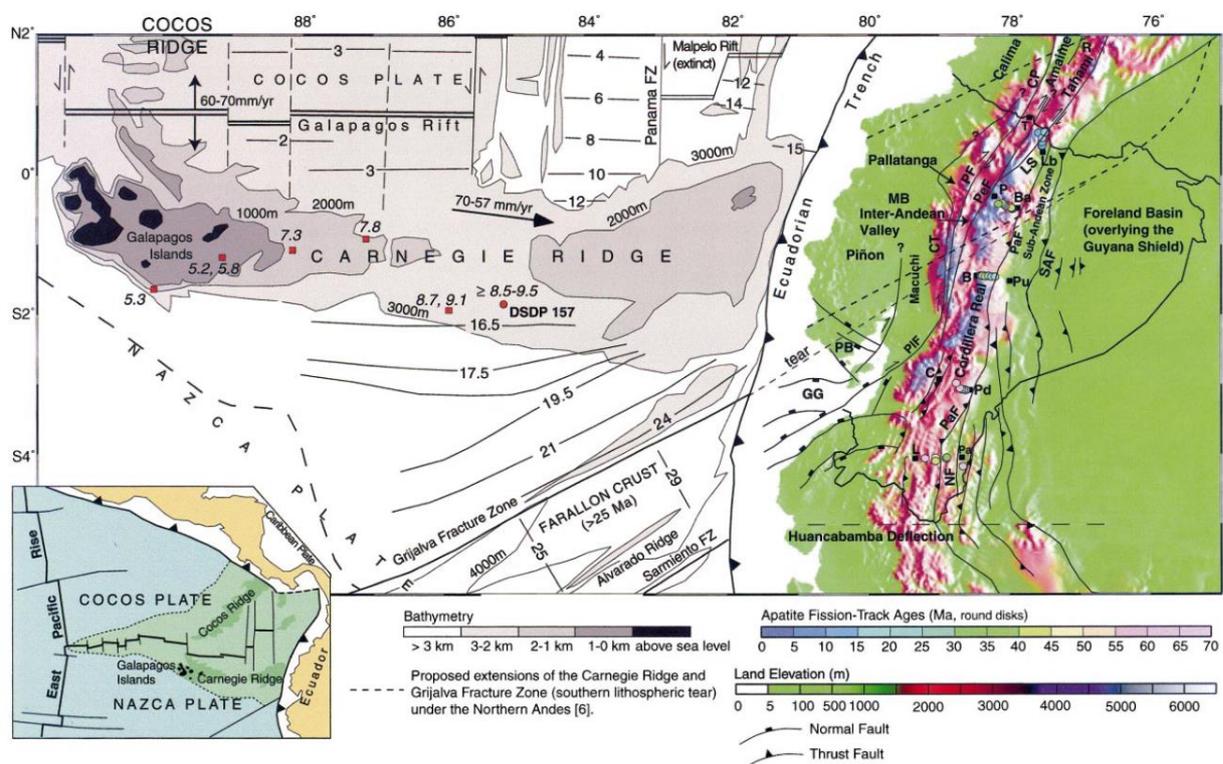


Figura 1.3 Modelo de elevación digital de los Andes ecuatorianos (GTOPO30) con iluminación desde el este. Se muestran las edades AFT codificadas por color de cinco travesías a través de la Cordillera Real (de norte a sur: Tulcan (T) -La Bonita (Lb), Papallacta (P) -Baeza (Ba), Baños (B) - Puyo (Pu), Cuenca (C) -Plan del Milagro (Pd), Loja (L) -Paquisha (Pa). Las edades AFT jóvenes se

registran en el cinturón andino situado por encima de la extensión propuesta de la Cordillera Carnegie y la zona de fractura de Grijalva representando un bloque oceánico flotante comparado a los remanentes de la Placa de Farallón. El paisaje elevado se balancea hacia el mar en las proximidades del Golfo de Guayaquil. La batimetría simplificada, las anomalías magnéticas (edad aproximada en Ma) y los vectores de placa de la placa de Nazca son mostrados. Los símbolos rojos indican la posición de los basaltos dragados y antiguos del Hot Spot de Galápagos y sedimentos bioestratigráficamente datados (9.5-8.5 Ma), que se encuentran en los basaltos de puntos calientes en el Sitio 157 de DSDP. El recuadro muestra la corteza oceánica (verde claro) y las crestas del punto caliente de Galápagos (verde oscuro) que se han formado hace 25 Ma. (Spikings et al., 2000). Abreviaturas: CP, Falla de Cauca; CT Zona de corte Chimbo-Toachi; GG, Golfo de Guayaquil; LS, Falla Sofía; MB, Cuenca de Manabí; NF, Falla Nangaritza; PB, Cuenca Progreso; PaF, Falla Palanda; PeF, Falla Peltetec; PF, Falla Pujilí; PIF, Falla Pallatanga; R, Falla Romeral; SAF, Falla subandina.

1.5.2 Geología Local

La ciudad de Guayaquil se encuentra asentada sobre las formaciones que se describen a continuación:

1.5.2.1 Fm. Piñón

Está constituida principalmente por basaltos afaníticos con estructuras almohadilladas y diabasas con estructuras de lava o de intrusivo; así también se evidenciaba la presencia de intrusivos básicos (gabros) y ultrabásicos que se encuentran en los alrededores de Guayaquil con intercalaciones de lutitas silíceas. La edad de Piñón ss ha sido determinada como Aptiense Superior-Albiense (Morante, 2004).

1.5.2.2 Fm. Calentura

Esta formación está constituida por calizas grises oscuras a negras con interestratificaciones finas de tobas calcáreas de lapilli e interestratificados con margas en estratos delgados a medios, de tobas lapilli de grano grueso. La parte superior de la Formación Calentura está conformada por lutitas tobáceas y tobas lapilli de la Formación Cayo (Alemán, 1999) y debido al contenido fósil encontrado, se estima que la edad de la formación es Cenomaniano Superior-Turoniano (Morante, 2004).

1.5.2.3 Fm. Cayo

Olsson (1942) propone una sucesión con un espesor promedio de más de 3000m, las rocas de la Formación presentan un color que va desde gris oscuro a gris verdoso, la estratificación es rítmica, en un macizo de lutitas tobáceas e interestratificados de tobas

lapilli con conglomerados volcanocásticos y brechas que aflora cerca de Puerto Cayo (Benitez, 1990). Esta unidad tiene una distribución extensa en las cuencas de Progreso, Santa Elena y Manabí con los mejores afloramientos en la cordillera de Chongón-Colonche y en las colinas de Jipijapa. Está formada por brechas volcanocásticas estratificadas en aglomerados y macizos bastante gruesos que cambian hacia la parte superior a rocas turbidíticas volcanocásticas, principalmente areniscas y lutitas tobáceas silicificadas (Morante, 2004). En las cercanías de Guayaquil la formación se puede encontrar como flujos de diabasas de tipo amigdaloides, la parte superior de la formación se encuentra alterada por meteorización esferoidal y se encuentran lutitas tobáceas interestratificadas de tono gris a crema rojizo, toba y limolita silicificada (Lopez Coronel, 2016). Según Núñez del Arco (2003) la edad para esta formación corresponde al Turoniano-Coniciano.

1.5.2.4 Fm. Guayaquil

Thalmann (1946) define la Formación en la ciudad de Guayaquil en el sector de San Pedro. Se encuentra dividida en dos miembros. El miembro inferior presenta lutitas oscuras muy silicificadas y nódulos de chert en alternancia con limolitas tobáceas de color café y frágil. El miembro superior se caracteriza por presentar areniscas con cemento calcáreo y lutitas silicificadas, la presencia de areniscas turbidíticas es frecuente en este miembro, así como también la abundancia de restos fósiles (Benitez, 1995). La edad para esta formación es del Maastrichtiano (Núñez del Arco, 2003).

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

2 METODOLOGÍA GENERAL

El presente trabajo se basa en un conjunto de tres fases que abarca I) Recopilación bibliográfica, II) Recopilación y procesamiento de datos y III) Análisis de resultados, descritos en el esquema metodológico de la Figura 2.1.

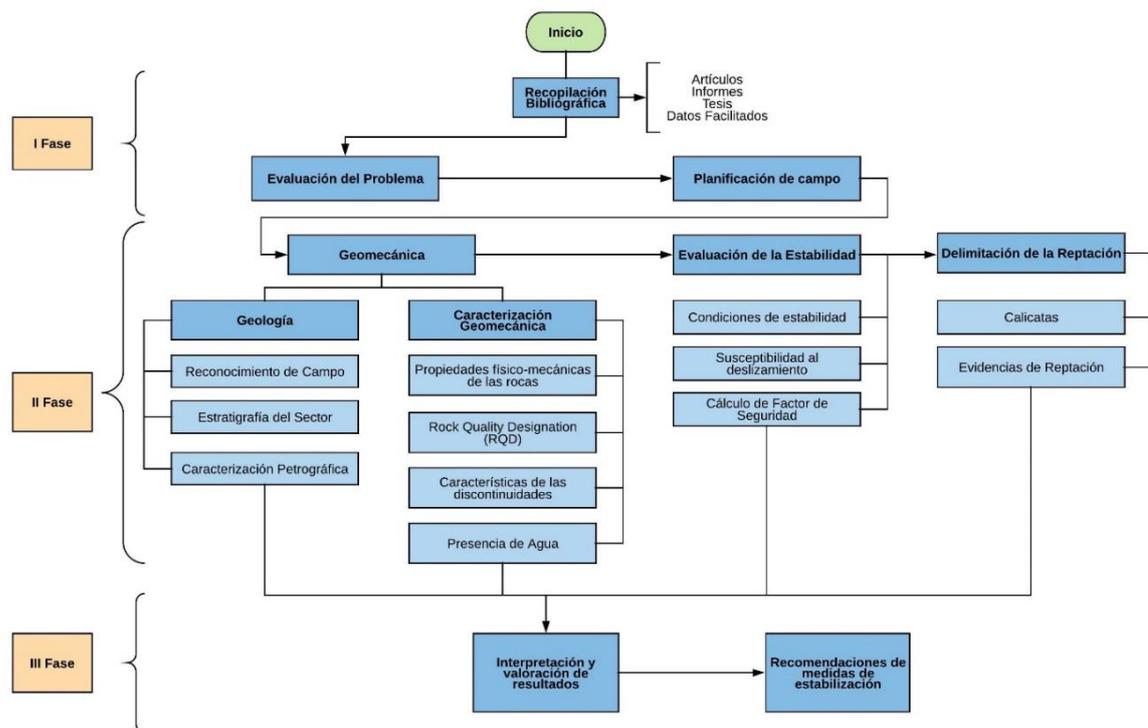


Figura 2.1 Metodología general del proyecto.

2.1 I Fase: Recopilación Bibliográfica

El presente estudio inicia con la recopilación bibliográfica de artículos, informes e incluso proyectos que hayan sido desarrollados en el lugar o relacionados al mismo, así como datos facilitados del proyecto “Estudios y Propuestas de Estabilización del Talud en el Cerro del Carmen del Cementerio General (Calle Julián Coronel)” como topografía, ensayos de laboratorio para rocas y suelos e imágenes obtenidas por dron de alta resolución. Además, en esta etapa se destaca la importancia de la evaluación del problema analizando las causas por las que se ha originado, su impacto y la importancia de proponer una solución.

Dentro de esta fase se incluye la planificación de salidas de campo para el levantamiento de datos de la fase posterior.

2.2 II Fase: Recopilación y procesamiento de datos

2.2.1 Geomecánica

Se realiza el levantamiento geológico del sector y el análisis geomecánico del escarpe determinando la calidad del macizo rocoso en base a observaciones en campo y ensayos de laboratorio para muestras de roca.

2.2.1.1 Geología

Reconocimiento de campo

Se realizaron visitas de campo hacia el Cementerio Patrimonial de Guayaquil identificando la morfología del terreno, datos generales del talud como: potencia, cambios de dirección y buzamiento a lo largo del talud, zonas con presencia de agua, estado de las juntas, entre otros. También se tomaron datos para el estudio estratigráfico y caracterización edafológica en la zona donde ocurre reptación, utilizando materiales necesarios para estudios de campo.

Estratigrafía del sector

Este proceso consiste en la obtención de una columna estratigráfica del talud en base a datos litológicos y estratigráficos levantados en campo. Además, se realiza una toma de muestras de los diferentes tipos de rocas identificadas para realizar análisis de propiedades físico-mecánicas como densidad, resistencia lineal a la compresión, cohesión y ángulo de fricción interna. Este proceso se resume en el esquema de la Figura 2.2.

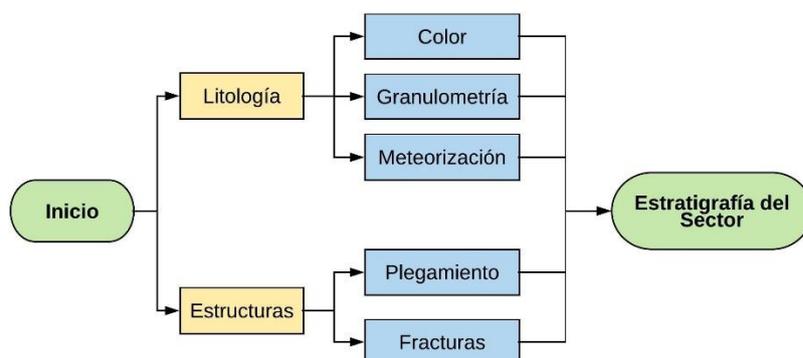


Figura 2.2 Esquema metodológico para la estratigrafía del sector.

Caracterización Petrográfica

Esta tarea se realizó con la finalidad de verificar la litología del talud levantada en campo. Se tomaron 4 muestras de mano de las litologías más representativas del lugar. Se describió las muestras macroscópicamente y también se realizó 4 láminas delgadas en el Laboratorio de Petrología de la ESPOL para su descripción microscópica.

2.2.1.2 Caracterización Geomecánica

Con la ayuda de fotografías tomadas con drone se generó un modelo tridimensional del talud. El macizo fue dividido en tres zonas en base al buzamiento y al cambio en la dirección de buzamiento (Tabla 2.1), cada zona fue dividida en sectores (Figura 2.3), identificándose las principales familias de discontinuidades (Tabla 2.2). En la Figura 2.4 se detalla la metodología empleada en la caracterización geomecánica.

Tabla 2.1. Cambio de direcciones y buzamientos del talud.

Medidas	Zona 1 – Sectores 1 y 2	Zona 2 – Sectores 3,4,5,6,7,8 y 9	Zona 3 – Sectores 10 y 11
Dirección del Talud	247°	197°	191°
Buzamiento del Talud	76°	70°	52°

Tabla 2.2. Medidas estructurales de las principales familias de discontinuidades

Direcciones	Familias	Zona 1 – Sectores 1 y 2	Zona 1 – Sectores 3,4,5,6,7,8 y 9	Zona 3 – Sectores 10 y 11
Dirección de Buzamiento de las Discontinuidades	1	182°	183°	182°
	2	60°	88°	91°
	3	245°	153°	245°
	4	190°	190°	190°
Buzamiento de las discontinuidades	1	79°	53°	79°
	2	60°	72°	85°
	3	40°	82°	40°
	4	19°	19°	19°

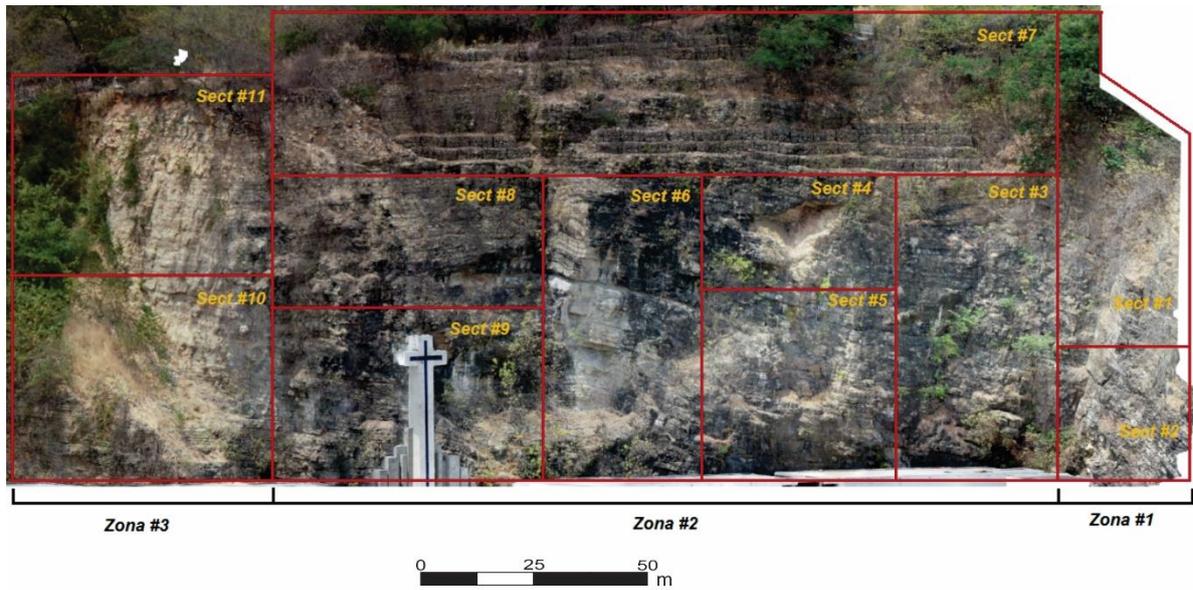


Figura 2.3 División del talud en zonas y sectores.

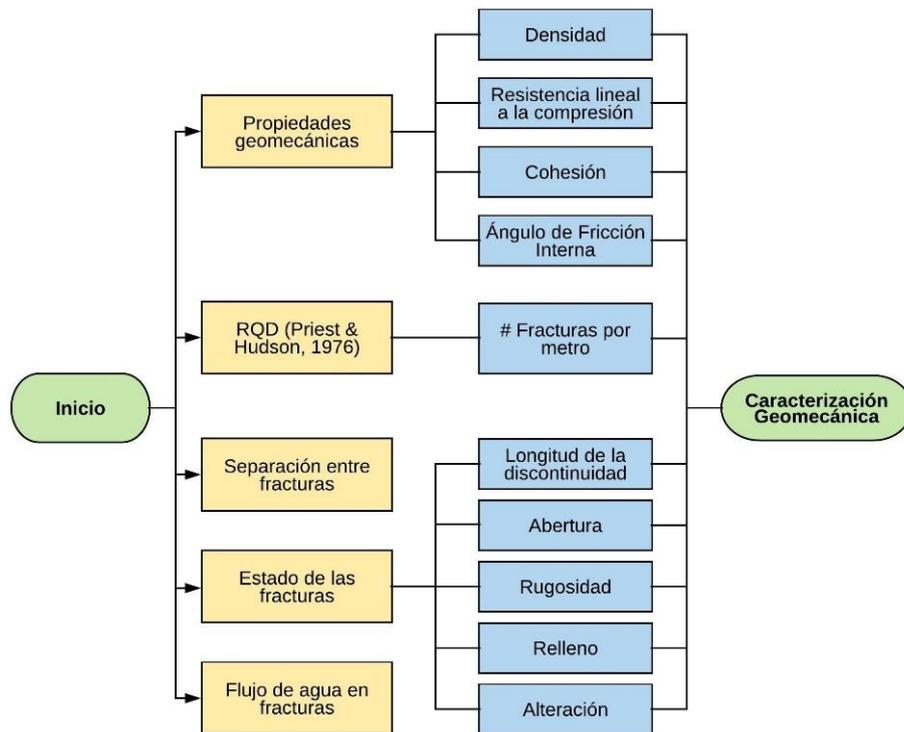


Figura 2.4 Flujo para la metodología de caracterización geomecánica.

Propiedades físico-mecánicas de las rocas

Las muestras de rocas fueron enviadas al laboratorio, donde se determinó: Resistencia a la compresión lineal simple, la resistencia a la tracción, densidad, cohesión y ángulo

de fricción interna. Para la determinación de la Resistencia Lineal a la Compresión se empleó el método “Estándar” con testigos con una relación altura-diámetro de 1.5, en tanto que para la resistencia a la tracción se empleó el método “Brazilian test”.

Para la obtención de la densidad se empleó el método comúnmente denominado del picnómetro.

Los valores de Cohesión y Ángulo de fricción interna fueron establecidos utilizando círculos de tensiones de Mohr-Coulomb a partir de valores de resistencia a la compresión y tracción, obtenidos de los trabajos de laboratorio efectuados y verificados por resultados de otros trabajos, además en algunos casos para la evaluación de Cohesión y Angulo de fricción interna fue utilizado el método de Hoek.

Rock Quality Designation (RQD)

El RQD es el porcentaje de un núcleo de perforación que consiste en tramos intactos de más de 0.1m. En vista de no contar con testigos de perforación en el proyecto, se optó por aplicar el método de Priest y Hudson (1976) quienes toman en cuenta el espaciamiento entre fracturas y proponen la siguiente fórmula:

$$RQD = 100 \times e^{-0.1\lambda} \times (0.1\lambda + 1) \quad (2.1)$$

λ : Es el espaciamiento entre fracturas.

Dependiendo de los valores obtenidos, se puede clasificar a las rocas según la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Clasificación para RQD (Deere & Deere, 1988).

RQD (%)	Calidad de la Roca
25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Normal
75-90	Buena
90-100	Muy Buena

Con la finalidad de obtener el valor de RQD, en cada sector se dividieron algunos de ellos en subsectores y se obtuvo un valor promedio por sector. Los sectores 7 y 11 no se subdividieron por las medidas de estabilización ya existentes y la morfología del sector, respectivamente (Tabla 2.4).

Tabla 2.4. División del talud en Zonas, Sectores y Subsectores.

Zona	Sector	Subsectores			
1	1	1	2	3	
	2	1	2	3	
2	3	1	2	3	
	4	1	2	3	
	5	1	2	3	
	6	1	2	3	
	7	-			
	8	1	2	3	
	9	1	2	3	
3	10	1	2	3	4
	11	-			

Características de las discontinuidades

- Separación entre diaclasas

Se obtuvo el promedio de la distancia entre las fracturas existentes en los diferentes sectores del talud.

- Estado de las juntas

En base a la interpretación de las fotografías del talud adquiridas con dron y observaciones in situ se evaluó los siguientes parámetros que presentan las juntas: longitud de la discontinuidad, abertura, rugosidad, relleno y alteración.

Presencia de Agua

La presencia de agua en el macizo fue corroborada durante las salidas de campo, en las que se diferenciaron sectores secos, húmedos e incluso sectores con agua fluyendo.

2.2.2 Evaluación de la Estabilidad

Se determinaron inicialmente, con el empleo de clasificaciones geomecánicas, las condiciones de estabilidad existentes en los sectores de estudio, posteriormente se realizó la evaluación de la susceptibilidad al desprendimiento y por último se evaluó el factor de seguridad en los perfiles considerados más críticos del sector de estudio.

2.2.2.1 Condiciones de Estabilidad.

Para analizar las condiciones de estabilidad fueron empleadas las clasificaciones SMR de Romana (1993) y la clasificación CSMR propuesta por Chen (1995). En la Figura 2.5 se muestra los pasos necesarios para realizar la evaluación de la estabilidad del talud.

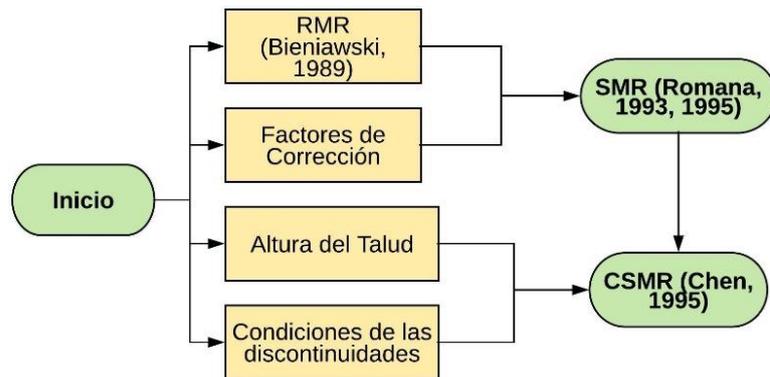


Figura 2.5 Esquema metodológico para la evaluación geomecánica.

Slope Mass Rating (SMR)

La Clasificación SMR fue diseñada por Romana (1993, 1995), con la finalidad de adaptar la clasificación RMR aplicada a túneles por Bieniawski (1989) para adaptarlo a la clasificación geomecánica de taludes.

El RMR es un valor porcentual que se obtiene al sumar valoraciones según parámetros definidos que dependen del estado de la roca. Los parámetros que se evalúan y las valoraciones que se otorgan se detallan en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5. Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989).

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10 - 4	4 - 2	2-1	Compresión Simple		
		Compresión Simple	>250	250 -100	100 -50	50 - 25	25-5	5-1	<1
Puntuación			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas (m)		>2	0.6-2	0.2-0.6	0.06-0.2	<0.06		
	Puntuación		20	15	10	8	5		

4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad (m)	<1	1-3	3-10	10-20	>20
		Puntuación	6	4	2	1	0
		Abertura (mm)	Nada	<0.1	0.1-1.0	1-5	>5
		Puntuación	6	5	3	1	0
		Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
		Puntuación	6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm
		Puntuación	6	5	3	1	0
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
		Puntuación	6	5	3	1	0
5	Agua freática	Estado General	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
	Puntuación		15	10	7	4	0

Una vez calculado el RMR se utiliza la siguiente tabla para determinar la calidad de la roca:

Tabla 2.6 Calidad de macizos rocosos en relación con el índice de RMR (Bieniawski, 1989), tomado de Gonzáles de Vallejo et al., 2002.

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

Para obtener el SMR es necesario primero calcular el RMR y posteriormente sumarle un “factor de ajuste” (resulta de multiplicar 3 subfactores) y un “factor de excavación”. (Romana Ruiz et al., 2001; Tomás et al., 2006).

$$SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \quad (2.2)$$

Clasifica las rocas por su estabilidad y sugiere recomendaciones de soporte o corrección de problemas.

Donde:

- F_1 : Depende de cuan paralelo sea el rumbo de las juntas y el rumbo del talud. Se puede ajustar a la siguiente expresión:

$$F_1 = (1 - \sin|\alpha_j - \alpha_s|)^2 \quad (2.3)$$

α_j : Dirección de buzamiento de las juntas.

α_s : Dirección de buzamiento del talud.

- F_2 : Obedece al ángulo de buzamiento de las fracturas en la rotura plana. Se ajusta a la expresión:

$$F_2 = \tan^2(\beta_j) \quad (2.4)$$

β_j : Buzamiento de las juntas.

- F_3 : Relación entre el buzamiento de la junta y el buzamiento del talud. Cuanto más buza el talud las juntas quedan más expuestas y se presentan condiciones más desfavorables.
- F_4 : Se asigna dependiendo de los métodos de excavación del talud. Sean estos procesos erosivos naturales o técnicas de voladura.

En la tabla a continuación se resume las valoraciones, clasificación de rocas y posibles medidas de remediación.

Tabla 2.7. Clasificación geomecánica de taludes SMR (González de Vallejo et al., 2002).

Factores de ajuste por la orientación de las juntas (F_1, F_2 y F_3)						
Caso		Muy Favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	>30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	<5°
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180 $					
P/T	F_1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P	$ \beta_j $	<20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	>45°
	F_2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F_2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	>10°	10° - 0°	0°	0 - (-10°)	< -10°
	$\beta_j + \beta_s$	<110°	110° - 120°	>120°	-	-

P/T	F ₃	0	-6	-25	-50	-60
Factor de ajuste por el método de excavación (F4)						
Método	Talud Natural	Precorte	Voladura Suave	Voladura o excavación mecánica	Voladura deficiente	
F4	+15	+10	+8	0	-8	
Clases de estabilidad						
Clase	V	IV	III	II	I	
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100	
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena	
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable	
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguno	
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno	
P: Rotura Plana T: Rotura por vuelco	α_s : Dirección del talud β_s : Buzamiento del talud		α_j : Dirección de las juntas β_j : Buzamiento de las juntas			

Chinese System for Slope Mass Rating (CSMR)

El método de Chen (1995) modifica al método SMR convencional agregando dos coeficientes ξ y λ modificando la Ecuación 2 de la siguiente manera:

$$CSMR = (\zeta \times RMR) - (\lambda \times F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \quad (2.5)$$

Donde:

- ζ : Factor para la altura del talud y de acuerdo con Hassan y Hani (2017) viene dado por la siguiente fórmula:

$$\zeta = 0.57 + \left(\frac{0.43 \times 80}{H} \right) \quad (2.6)$$

H : Altura del talud en metros.

- λ : Factor que describe las condiciones de control de las discontinuidades y viene dado por la siguiente tabla:

Tabla 2.8. Factor λ de discontinuidad (Chen, 1995).

λ	Condición de las Discontinuidades
1.0	Fallas, juntas largas y débiles rellenas de arcillas.
0.9-0.8	Planos de estratificación, juntas de gran escala con presencia de agua.
0.7	Juntas, planos de estratificación unidos estrechamente

2.2.2.2 Susceptibilidad al desprendimiento

Para determinar la susceptibilidad al desprendimiento que presenta el talud en la zona de estudio se emplea una metodología teórico-práctica sustentada en el criterio de expertos y en los resultados obtenidos en sus aplicaciones (Anbalagan, 1992; Nicholson & Hencher, 1997; Suarez, 1998; Blanco, 2015). Ver Figura 2.6.

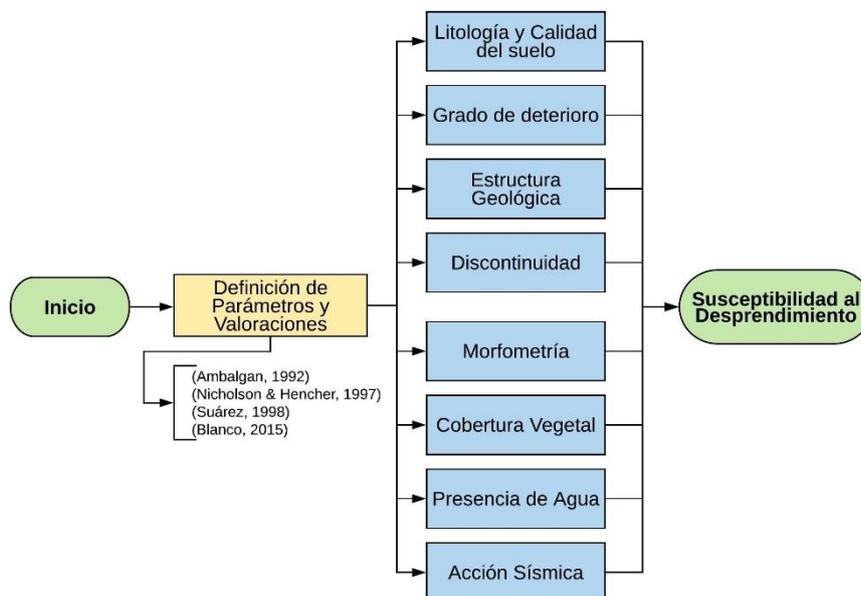


Figura 2.6 Flujograma para la metodología seguida para determinar la susceptibilidad al desprendimiento.

Las consideraciones utilizadas y su puntuación asignada que se detallan a continuación (Tabla 2.9), se definieron para las condiciones de estudio como parámetros principales. De igual forma se ponderó la importancia de cada uno y se le asignó una puntuación, dependiendo de las condiciones del escarpe.

Tabla 2.9 Puntuación para parámetros principales.

Parámetro principal	Puntuación asignada en el análisis de la susceptibilidad al desprendimiento (S.D)
Litología	Hasta 4.0
Estructura geológica	Hasta 4.0
Morfometría y altura	Hasta 6.0
Grado de fracturación y bloques claves	Hasta 6.0
Evidencia de agua	Hasta 6.0
Presencia de vegetación	Hasta 4.0
Actividad sísmica	Hasta 4.0
Estado de deterioro	Hasta 4.0

Definición de Parámetros y Valoraciones

Cada uno de los parámetros fue evaluado independientemente en base a las observaciones realizadas en campo, asignando las siguientes ponderaciones:

- **Litología**

Tabla 2.10. Valoraciones para Características litológicas.

Categoría	Estado y características de la roca	Peso
I	Roca competente, sana y fuerte	0.0
II	Roca con pocas fracturas y/o poca meteorización	1.0
III	Roca que se encuentra deteriorada (tipo saprolito) y conserva características de la matriz	2.0
IV	Saprolitos altamente deteriorados	3.0
V	Suelos residuales altamente erosionables	4.0

- **Grado de deterioro**

Tabla 2.11. Grado de deterioro de la roca y valoraciones.

Términos	Descripción	Valoraciones
Sano	El material rocoso no ha sufrido meteorización. Presenta ligeras decoloración en las caras de las principales discontinuidades principales.	0.0

Ligeramente meteorizado	La meteorización que presenta el material rocoso y las superficies de las discontinuidades se evidencia con la decoloración. Por la meteorización, todo el material podría estar decolorado, además de ser más débil externamente, que en su estado sano.	1.0
Moderadamente meteorizado	Un poco menos de la mitad del material rocoso se encuentra descompuesto (incluso transformado en suelo). La roca sana o decolorada se encuentra como un entramado discontinuo.	2.0
Altamente meteorizado	Poco menos de la mitad del material rocoso ahora es suelo. La roca sana o decolorada se encuentra como un entramado discontinuo.	2.5
Completamente meteorizado	El material rocoso se ha descompuesto y/o transformado en suelo en su totalidad. La estructura que presenta el macizo original se conserva.	3.0
Suelo Residual	El material rocoso se ha transformado en suelo en su totalidad. La estructura que presenta el macizo y la textura del material se han destruido. Existe una variación de volumen, pero el suelo no se ha transportado significativamente.	4.0

- **Estructura Geológica**

Tabla 2.12. Características estructurales y valoraciones.

Categorías	Características y estado de la roca	Valoraciones
I	El talud tiene una posición favorable respecto a los planos de debilitamiento.	0.0 – 1.0
II	El talud tiene una posición algo favorable respecto a los planos de debilitamiento.	1.0 – 2.0
III	Los planos de debilitamiento del talud favorecen al desprendimiento.	2.0 – 3.0
IV	Los planos de debilitamiento del talud propician condiciones muy favorables al desprendimiento.	– 4.0

- **Grado de Fracturación y Bloques Claves**

Tabla 2.13. Características y valoraciones.

Categorías	Características existentes	Valoraciones
-------------------	-----------------------------------	---------------------

I	Las discontinuidades presentan un espaciamiento mayor a 2.0 m, con aberturas menores a 0.1 mm (casi cerradas). Discontinuidad que no presenta meteorización.	0.0
II	Las discontinuidades presentan un espaciamiento de 60 cm a 2.0 m, con aberturas de 0.1 a 0.5 m. Discontinuidad poco meteorizada. No se evidencia bloques claves.	1.5
III	Las discontinuidades presentan un espaciamiento de 20 cm a 60 cm, con abertura entre 0.5 y 1.0 mm algo meteorizada. Existe algún bloque propenso a clave.	1.5 – 3.0
IV	Las discontinuidades presentan un espaciamiento de 6 cm a 20 cm, con abertura de 1.0 a 5.0 mm, meteorizada. Se evidencia al menos 1 bloque clave.	3.0 – 4.5
V	Las discontinuidades presentan un espaciamiento menor que 6 cm, con abertura mayor que 50mm, meteorizada. Existen varios bloques claves en el sector.	4.5 – 6.0

- **Morfometría y Altura del Escarpe**

Tabla 2.14. Características morfométricas y valoraciones.

Categorías	Características existentes	Valoraciones
I	Talud con altura menor a 5m y pendiente muy baja	0.0
II	Talud con altura hasta 10m y pendientes suaves.	1.0
III	Talud con altura de hasta 18m y pendientes suaves.	1.5 – 2.5
IV	Talud con altura hasta 24m y pendientes suaves.	2.5 – 3.5
V	Talud con altura entre 24 y 35m, pendiente suave	3.5 – 5.0
VI	Talud con altura de 35m o más, pendiente suave.	– 6.0

- **Cobertura Vegetal**

Tabla 2.15. Condiciones de cobertura vegetal y valoraciones.

Categorías	Condiciones existentes	Valoraciones
I	Ladera o talud cubierto por adecuada cobertura vegetal.	0.0
II	Ladera o talud cubierto en gran medida por una adecuada cobertura vegetal	1.0
III	Ladera o talud parcialmente cubierto parcialmente por una adecuada cobertura vegetal	2.0

IV	Poca Cobertura vegetal	3.0
V	El talud se encuentra denudado, no existe cobertura vegetal.	4.0

- **Presencia de Agua**

Tabla 2.16. Presencia de agua y valoraciones.

Categorías	Características	Valoraciones
I	No existe presencia de agua (subterránea o superficial)	0.0
II	Existe muy poca acción de aguas superficiales. No se produce percolación al macizo. El agua subterránea tiene poca influencia.	1.0 – 2.0
III	Existe una apreciable acción del agua y percolación en el macizo, además puede existir agua subterránea.	2.0 – 3.0
IV	Existe significativa acción del agua y percolación al macizo. Puede existir agua subterránea y la manifestación de presión intersticial.	4.0 – 5.0
V	Existe mucha presencia de agua y de percolación al macizo. Además se producen presiones intersticiales altas.	– 6.0

- **Acción Sísmica**

Tabla 2.17. Características de sismicidad existentes y valoración.

Categorías	Características existentes	Valoraciones
I	No existe sismicidad	0.0
II	$a_s = (0.02 \text{ a } 0.05)g$ considerada como baja acción sísmica.	1.0
III	$a_s = (0.05 \text{ a } 0.10)g$, considerada baja sismicidad	2.0
IV	$a_s = (0.10 \text{ a } 0.14)g$, considerada como sismicidad mediana	2.5
V	$a_s = (0.14 \text{ a } 0.20)g$, considerada como alta sismicidad	3.5
VI	$a_s > 0.20 g$, considerada como muy alta sismicidad.	4.0

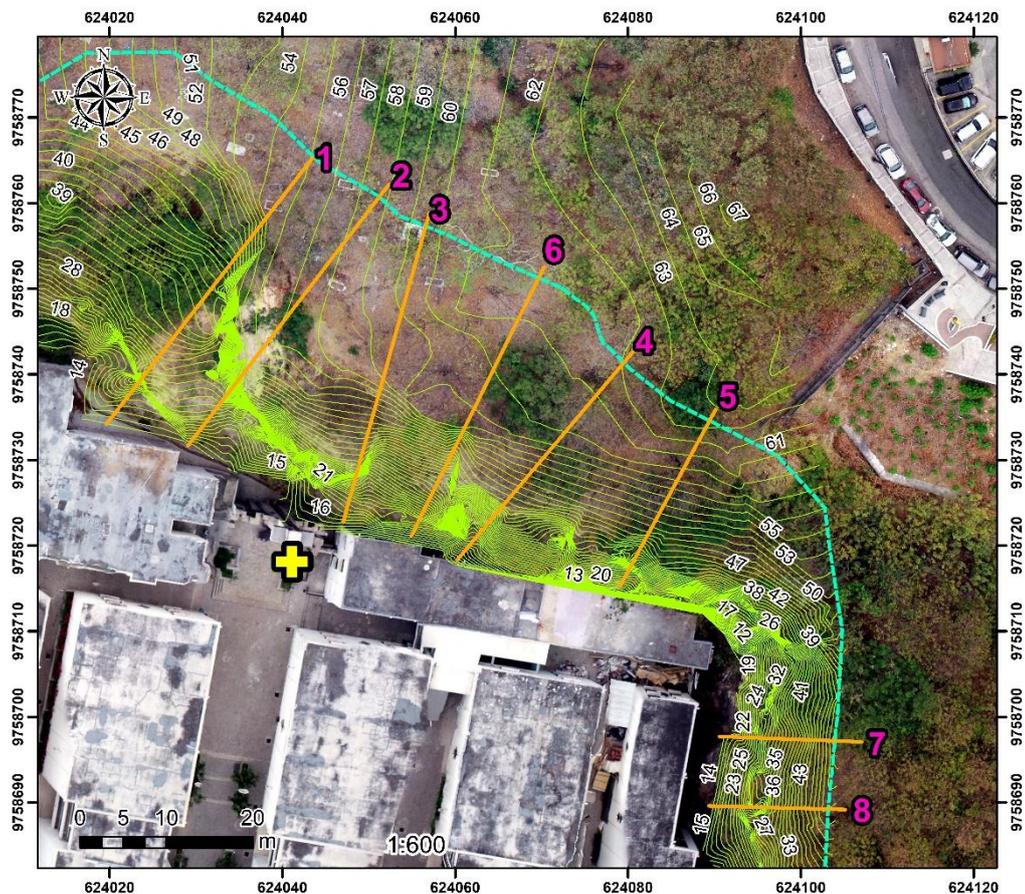
En base a las puntuaciones obtenidas con la valoración de parámetros se obtienen valores que de acuerdo a la clasificación de Mora (2004) modificada por Blanco (2015), permiten clasificar la susceptibilidad desde muy baja a muy alta (Tabla 2.18). Esta clasificación es usada también por Quesada & Feoli (2018), Barrantes, Barrantes, & Núñez (2011) y Sánchez & Sánchez (2018).

Tabla 2.18 Clasificación de la Susceptibilidad.

Categorías de susceptibilidad	Grado de susceptibilidad	Descripciones
I	Muy baja susceptibilidad al desprendimiento: $SD < 8.0$	Condiciones estables.
II	Baja susceptibilidad al desprendimiento: SD entre 8 y 15	Condiciones estables, con monitoreo adecuado
III	Mediana susceptibilidad al desprendimiento: SD entre 15 y 21.	Condiciones preponderadamente estables, en el que existe un monitoreo sistemático.
IV	Alta susceptibilidad al desprendimiento: SD entre 21 y 28	Condiciones potencialmente inestables que favorecen al desprendimiento.
V	Muy alta susceptibilidad al desprendimiento: $SD > 28$	Condiciones inestables que favorecen al desprendimiento..

2.2.2.3 Cálculo del Factor de Seguridad (FS).

Se realizaron 8 perfiles en el talud (Figura 2.7) considerando las diferentes zonas en las que fue dividido el talud, su cambio de dirección y extensión.



Leyenda	
	Cruz del Cementerio
	Línea de ruptura
	Perfiles
	Curvas de nivel

Centro de Investigaciones y Proyectos Aplicados a la Tierra "CIPAT"	
Coordenadas:	UTM
Datum:	WGS-84

Figura 2.7 Mapa de ubicación de perfiles para cálculo del factor de seguridad.

El FS se calculó usando 8 perfiles topográficos, usando el método de Morgenstern & Price (1965), para este proceso se utilizó el software Slide 5.0. Se determinaron dos factores de seguridad: FS Hipotético, para el caso de considerar la superficie de falla para la altura total del talud y un FS real, el cual indica la altura bajo la cual el talud se vuelve inestable. Para el análisis se eligió el resultado más bajo de factor de seguridad.

2.2.3 Delimitación de la reptación

El estudio de la reptación empieza con la evidencia del movimiento de masa en la parte superior del talud, en el que se puede observar la inclinación que presentan los árboles y cruces de las tumbas. Posteriormente se realizó una caracterización edafológica en base a las calicatas realizadas en el terreno y que se ubicaron como se muestra en la (Figura 2.9), generando un perfil edafológico de su comportamiento con espesores, granulometría y humedad de cada horizonte. En el esquema de la Figura 2.8 se resume los pasos para la delimitación de la reptación.

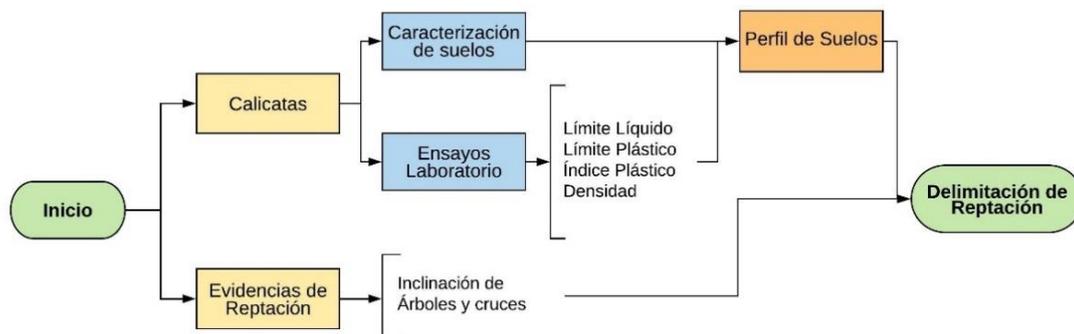
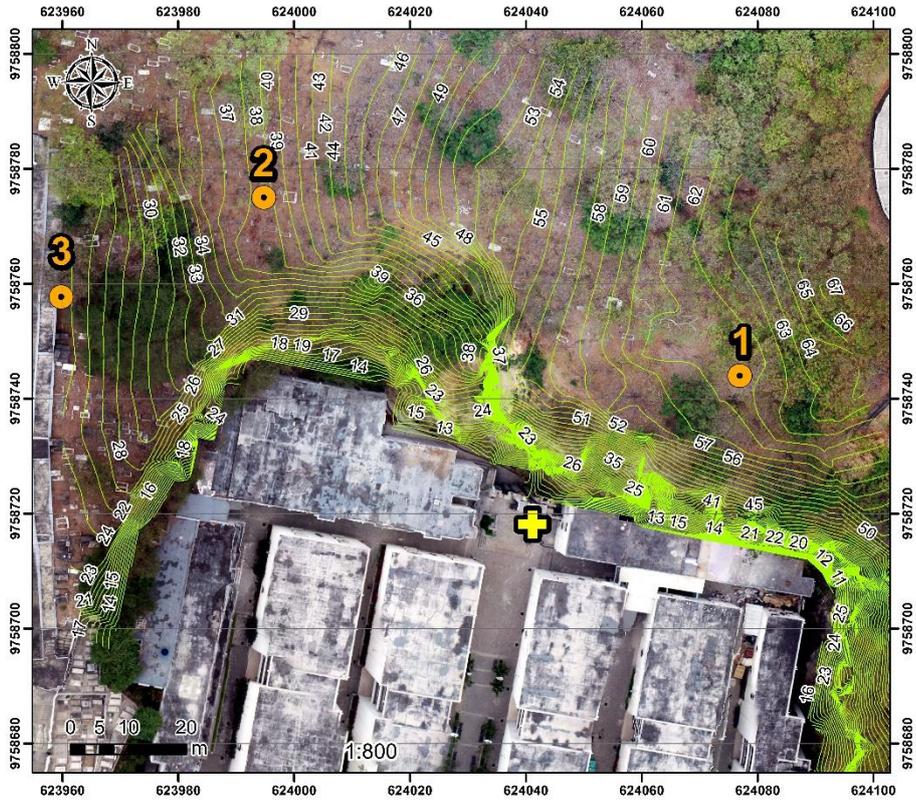


Figura 2.8 Esquema metodológico para delimitar la reptación.

Mapa de ubicación de las calicatas



Leyenda	
	Cruz del Cementerio
	Calicatas
	Curvas de nivel

Centro de Investigaciones y Proyectos Aplicados a la Tierra "CIPAT"	
Coordenadas:	UTM
Datum:	WGS-84
	

Figura 2.9 Mapa de ubicación de las calicatas en la zona de reptación.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y ANÁLISIS

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Geología

3.1.1 Litología y Estratigrafía del Sector

Los datos levantados en campo han permitido identificar una estratigrafía basada principalmente en la intercalación de lutitas silicificadas de tonalidades marrón a gris con presencia de material calcáreo y areniscas calcáreas de tonalidades beige y gris oscuro, cuya granulometría varía de grano fino a grueso a lo largo del afloramiento, con una potencia aproximada de 45m (Figura 3.1). La estratificación presenta aproximadamente, un rumbo con dirección N93° y buzamiento general de 19°SW con espesores de estratos que varían de centimétricos a decimétricos.

El afloramiento estudiado presenta algunos plegamientos tipo slumps, que hacen variar la dirección de buzamiento.

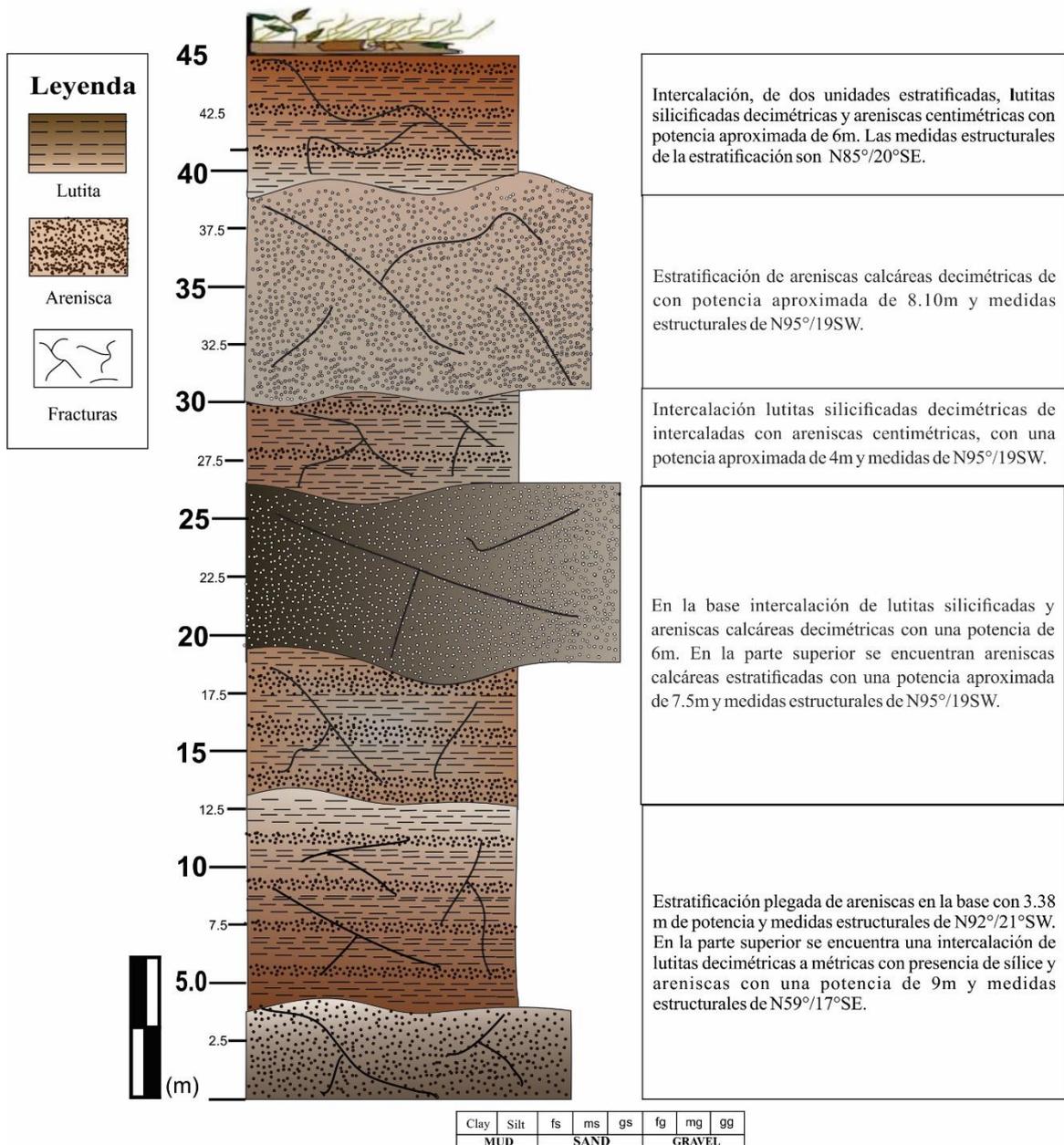
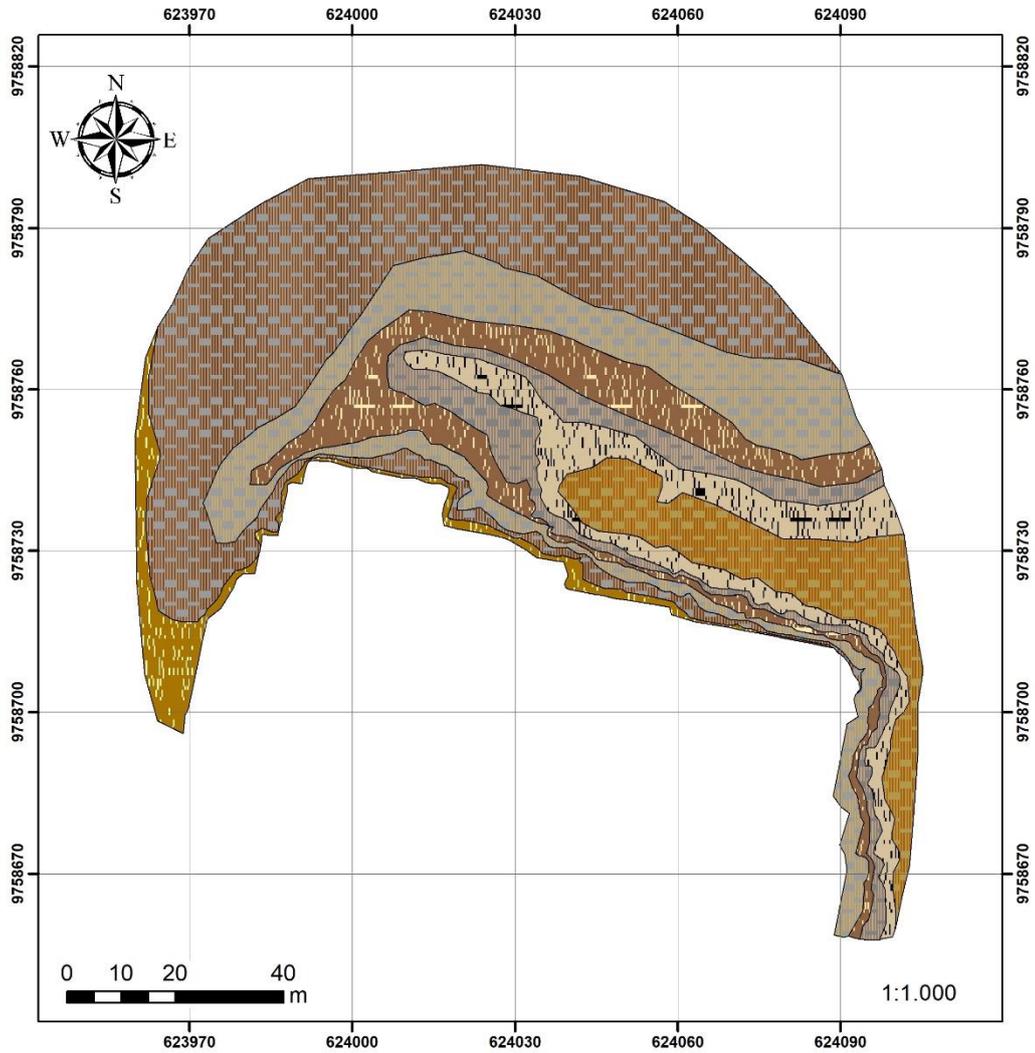


Figura 3.1 Columna estratigráfica del talud.

En la Figura 3.2 se muestra el mapa litológico de la zona de estudio, basado en los datos levantados de campo.

Mapa litológico de la zona de estudio



Legend	
	Intercalación lutita-arenisca
	Arenisca calcárea marrón claro
	Lutita silicificada gris-paquetes de arenisca
	Arenisca calcárea gris oscuro
	Intercalación lutita gris y arenisca calcárea marrón
	Intercalación lutitas gris-arenisca beige
	Arenisca color marrón

Centro de Investigaciones y Proyectos Aplicados a la Tierra "CIPAT"	
Coordenadas:	UTM
Datum:	WGS-84

Figura 3.2 Mapa Litológico del sector.

3.1.2 Caracterización petrográfica

3.1.2.1 Descripción macroscópica.

Tabla 3.1 Descripción macroscópica de la muestra #1.

DESCRIPCIÓN DE ROCA MACROSCÓPICA		
Código de la muestra: AR-01-CIPAT		
Coordenadas:	UTM	X: 623827.88 m
DATUM:	WGS-84	Y: 9758775.42 m
		
Descripción:		
Roca sedimentaria, color gris oscura y con pátina color marrón amarillenta. Se encuentran vetillas de carbonato de espesor milimétrico que al contacto con ácido clorhídrico efervesce de manera enérgica. Se observan laminaciones muy finas. Textura Afanítica, muy compacta que corresponde a un Chert.		

Tabla 3.2 Descripción macroscópica de la muestra #2.

DESCRIPCIÓN DE ROCA MACROSCÓPICA		
Código de la muestra: AR-02-FICT		
Coordenadas:	UTM	X: 623892.27 m
DATUM:	WGS-84	Y: 9758800.06 m



Descripción:

Roca sedimentaria, afanítica poco dura, color gris claro-beige, donde se aprecian manchas de color marrón rojizo. Estratificación ondulante y porosidad no conectada en forma de oquedades. Se puede decir que se trata de un Mudstone silíceo (Arcillolita).

Tabla 3.3 Descripción macroscópica de la muestra #3.

DESCRIPCIÓN DE ROCA MACROSCÓPICA		
Código de la muestra: AR-03-FICT		
Coordenadas:	UTM	X: 623951.22 m
DATUM:	WGS-84	Y: 623951.22 m
		
Descripción:		

Roca sedimentaria de color gris oscuro, se aprecian carbonatos que al contacto con ácido clorhídrico reaccionan de forma enérgica, corresponde a una arenisca calcárea de grano fino a medio.

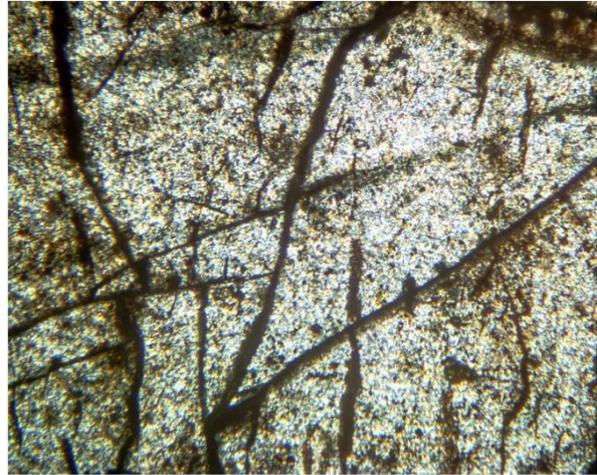
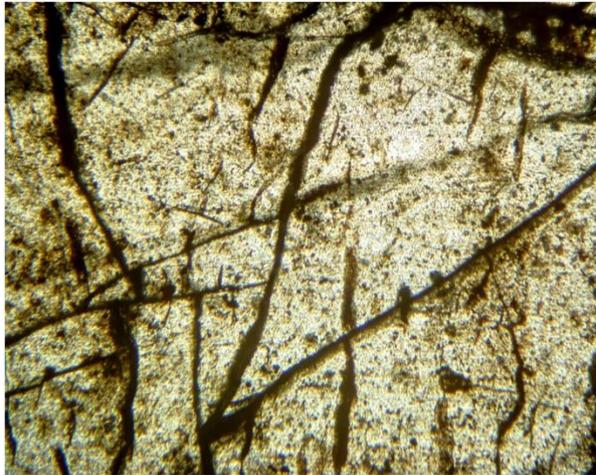
Tabla 3.4 Descripción macroscópica de la muestra #4.

DESCRIPCIÓN DE ROCA MACROSCÓPICA		
Código de la muestra: AR-04-FICT		
Coordenadas:	UTM	X: 623956.98 m
DATUM:	WGS-84	Y: 9758723.45 m
		
Descripción:		
<p>Roca sedimentaria de grano muy fino, color beige claro, efervesce con facilidad en contacto con ácido clorhídrico. Depositación en capas milimétricas y algo nodulares. Se puede apreciar bioturbación en las muestras de mano, corresponde a una Lutita calcárea (Mudstone).</p>		

3.1.2.2 Descripción microscópica.

Tabla 3.5 Descripción microscópica de la muestra #1.

DESCRIPCIÓN DE ROCA EN LÁMINA DELGADA			
Código de la muestra: AR-01-CIPAT			
Coordenadas:	UTM	X: 623827.88 m	
DATUM:	WGS-84	Y: 9758775.42 m	
Nícoles Paralelos	Aumento: 4X	Nícoles Cruzados	Aumento: 4X



Descripción:

Lodolita silícica con material limoso, atravesada por microvetillas de carbonato. Se puede apreciar un intenso fracturamiento. No presenta contenido fosilífero. La muestra exhibe una gradación en el tamaño desde lodolita hacia arcillolita en la que los cristales están en orden menor a 2 micrones y luce de tipo calcedónica.

Tabla 3.6 Descripción microscópica de la muestra #2.

DESCRIPCIÓN DE ROCA EN LÁMINA DELGADA			
Código de la muestra: AR-02-FICT			
Coordenadas:	UTM	X: 623892.27 m	
DATUM:	WGS-84	Y: 9758800.06 m	
Nícoles Paralelos	Aumento: 4X	Nícoles Cruzados	Aumento: 4X

Descripción:
Arcillolita silícica. El tamaño de los cristales es del orden de 2 micrones. Se puede apreciar cristales alargados de micas y algunos cristales color marrón de posible vidrio palagonitizado. Se identifican óxidos y minúsculos restos de fósiles. La roca presenta microporosidad no conectada. Se identifican algunos cristales de cuarzo subangular junto con la presencia de microcristales de sílica menores a 3 micras.

Tabla 3.7 Descripción microscópica de la muestra #3.

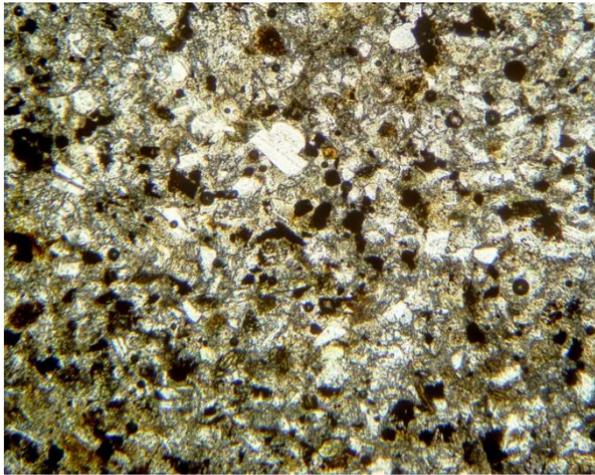
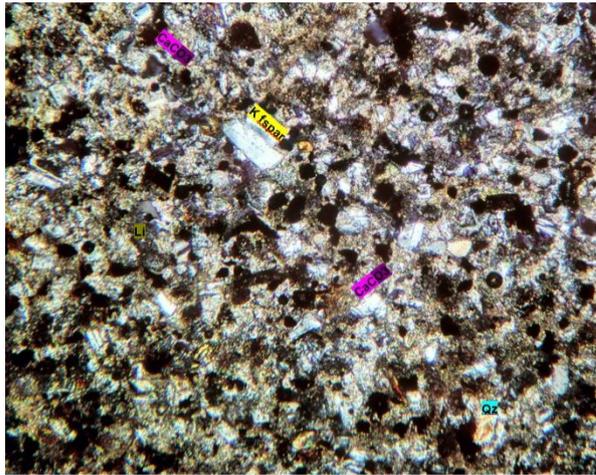
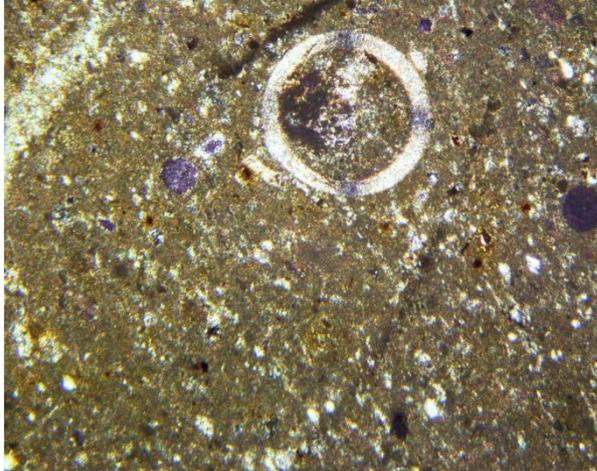
DESCRIPCIÓN DE ROCA EN LÁMINA DELGADA			
Código de la muestra: AR-03-FICT			
Coordenadas:	UTM	X: 623951.22 m	
DATUM:	WGS-84	Y: 623951.22 m	
Nícoles Paralelos	Aumento: 4X	Nícoles Cruzados	Aumento: 4X
			
Descripción:			
Se le designa el nombre de Pelita, debido a que, si bien existen clastos del tamaño menor a 100 micras, existe material menor a 2micras que cubre gran parte de la muestra. La matriz tiene un carácter carbonático. Se identifican fenocristales subhédricos de feldespato potásico en mayor proporción que los de cuarzo.			

Tabla 3.8 Descripción microscópica de la muestra #4.

DESCRIPCIÓN DE ROCA EN LÁMINA DELGADA		
Código de la muestra: AR-04-FICT		
Coordenadas:	UTM	X: 623956.98 m
DATUM:	WGS-84	Y: 9758723.45 m

Nícoles Paralelos	Aumento: 10X	Nícoles Cruzados	Aumento: 10X
			
Descripción:			
<p>Lutita silicificada, gran cantidad de restos de foraminíferos y radiolarios. Se puede apreciar también fragmentos opacos y fragmentos micrométricos de material limonítico.</p>			

3.2 Caracterización Geomecánica

3.2.1 Propiedades físico-mecánicas de las rocas

Tabla 3.9 Parámetros obtenidos en laboratorio.

Muestra	Tipo de roca	Características	Propiedades físico-mecánico			Cohesión (MPa)	Ángulo de fricción interna (grados)
			Densidad (g/cm ³)	Resistencia lineal a compresión (MPa)	Resistencia a tracción (MPa)		
1	Arenisca calcárea	De color gris oscuro y grano medio	2.30	117.60	10.80	18.00	38-40
2	Lutita silicificada	De color marrón y grano fino	2.29	107.50	9.80	16.60	42-46

3	Lutita silicificada	De color marrón y grano fino	2.59	118.50	10.60	18.00	40-46
4	Arenisca	De color gris claro y grano de fino a medio	2.16	112.20	10.40	17.40	36-38
5	Arenisca calcárea	De color gris claro y grano de fino a medio	2.38	116.00	7.60	14.90	40-42
6	Arenisca	De color gris y grano medio	2.32	111.20	8.60	15.50	38-40

3.2.2 Cálculo de RQD (Rock Quality Designation)

A continuación, se detalla el cálculo de RQD para cada sector de acuerdo con la Tabla 2.4., los cuales han sido divididos en subsectores como se muestra en las imágenes a continuación para facilitar el cálculo.

RQD – Sector #1

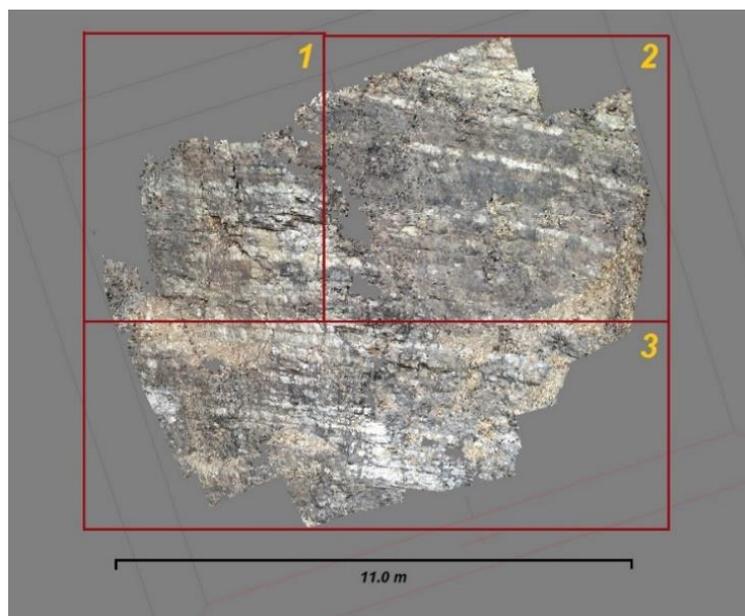


Figura 3.3 Nube de puntos densa del Sector #1 y división en subsectores.

Tabla 3.10 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #1

Parámetros	Subsectores		
	1	2	3
Promedio de distancia entre fracturas (cm)	10.38	21.87	18.08
Número de Fracturas por metro	24.5	11.50	21
RQD (%)	29.77	68.08	37.96
RQD Promedio (%)	45.27		
Calidad de la roca según RQD	Mala		

RQD – Sector #2

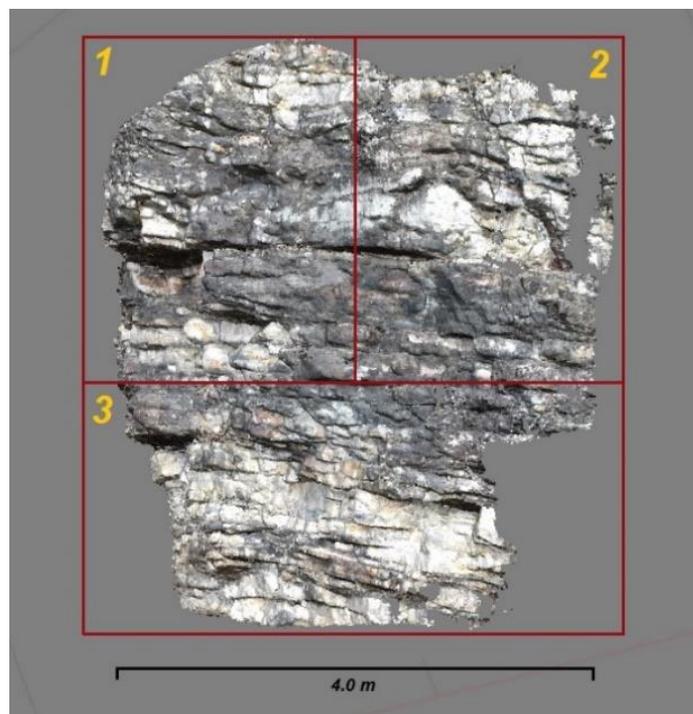


Figura 3.4 Nube de puntos densa del Sector #2 y división en subsectores.

Tabla 3.11 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #2.

Parámetros	Subsectores		
	1	2	3
Promedio de distancia entre fracturas (cm)	22.32	17.25	15.44
Número de Fracturas por metro	18.00	12	20
RQD (%)	46.28	66.26	40.96
RQD Promedio (%)	51.05		
Calidad de la roca según RQD	Normal		

RQD – Sector #3

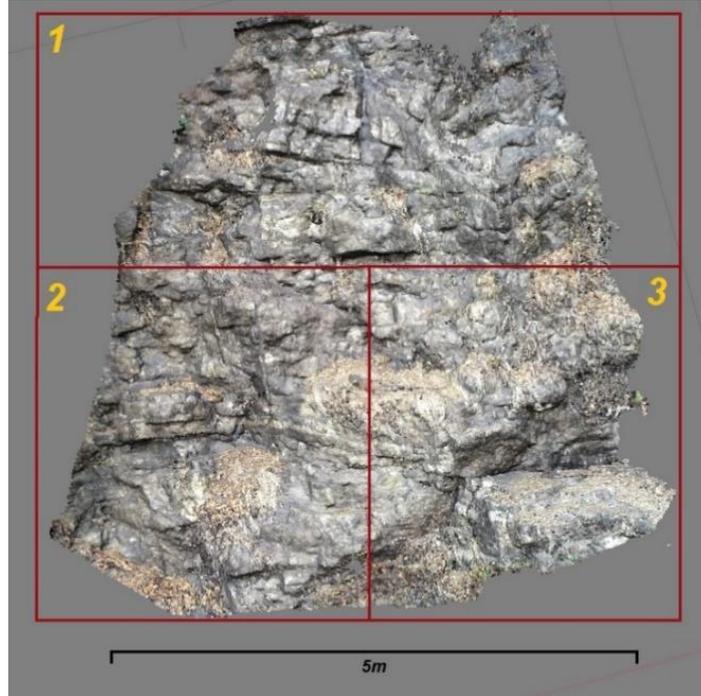


Figura 3.5 Nube de puntos densa del Sector #3 y división en subsectores.

Tabla 3.12 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #3.

Parámetros	Subsectores		
	1	2	3
Promedio de distancia entre fracturas (cm)	34.72	39.95	22.40
Número de Fracturas por metro	16	12	18
RQD (%)	52.49	66.26	47.79
RQD Promedio (%)	55.51		
Calidad de la roca según RQD	Normal		

RQD – Sector #4

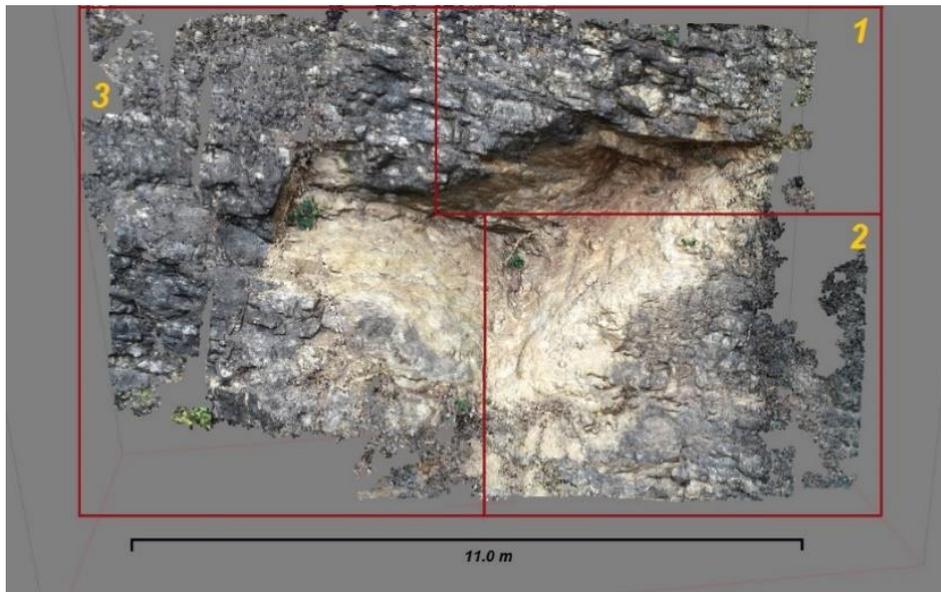


Figura 3.6 Nube de puntos densa del Sector #4 y división en subsectores.

Tabla 3.13 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #4.

Parámetros	Subsectores		
	1	2	3
Promedio de distancia entre fracturas (cm)	35.87	19.01	42.01
Número de Fracturas por metro	16	18	10
RQD (%)	52.49	46.28	74.50
RQD Promedio (%)	67.16		
Calidad de la roca según RQD	Normal		

RQD – Sector #5

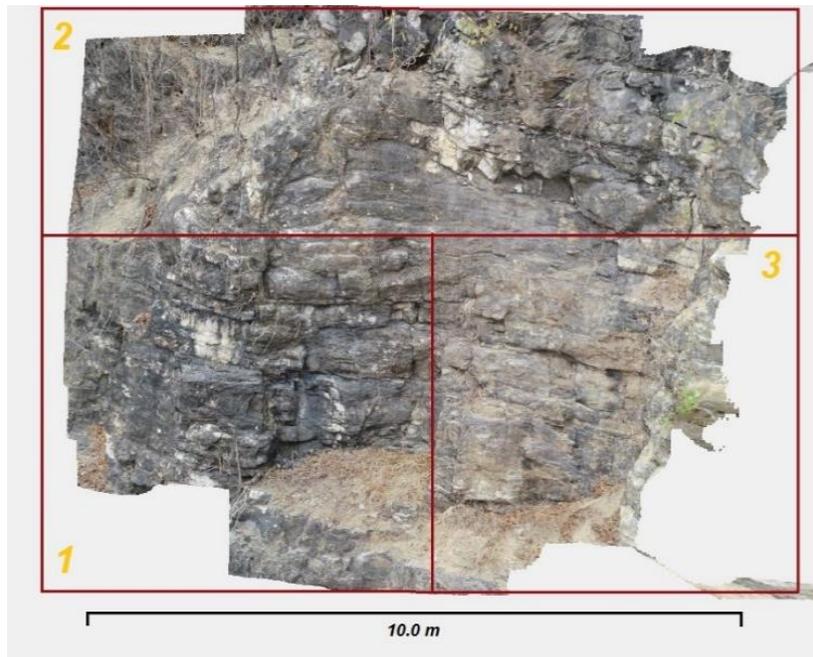


Figura 3.7 Nube de puntos densa del Sector #5 y división en subsectores.

Tabla 3.14 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #5.

Parámetros	Subsectores		
	1	2	3
Promedio de distancia entre fracturas (cm)	28.97	32.49	16.98
Número de Fracturas por metro	16	12	14
RQD (%)	52.49	68.08	60.92
RQD Promedio (%)	60.50		
Calidad de la roca según RQD	Normal		

RQD – Sector #6

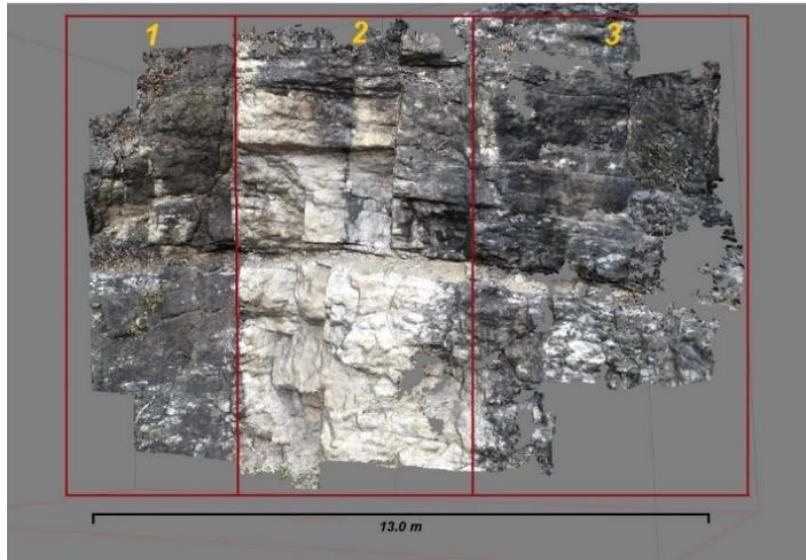


Figura 3.8 Nube de puntos densa del Sector #6 y división en subsectores.

Tabla 3.15 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #6.

Parámetros	Subsectores		
	1	2	3
Promedio de distancia entre fracturas (cm)	40.85	26.35	33.48
Número de Fracturas por metro	11	12	9
RQD (%)	69.9	66.26	77.25
Promedio de RQD (%)	71.14		
Calidad de la roca según RQD	Normal		

RQD – Sector #7

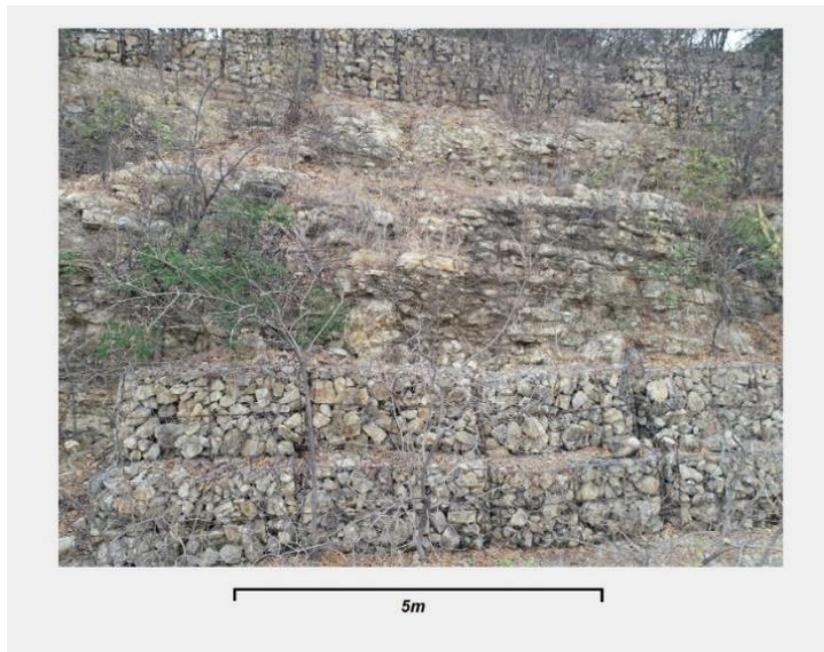


Figura 3.9 Nube de puntos densa del Sector #7 y división en subsectores.

Tabla 3.16 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #7.

Parámetros	Valores
Promedio de distancia entre fracturas (cm)	20.54
Número de Fracturas por metro	10
RQD (%)	73.58
Calidad de la roca según RQD	Normal

RQD - Sector #8

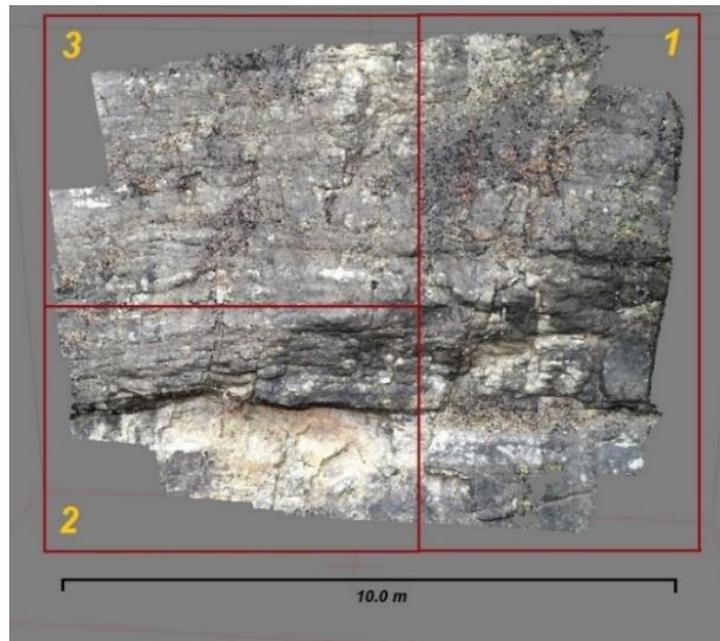


Figura 3.10 Nube de puntos densa del Sector #8 y división en subsectores.

Tabla 3.17 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #8.

Parámetros	Subsectores		
	1	2	3
Promedio de distancia entre fracturas (cm)	32.17	28.13	31.68
Número de Fracturas por metro	9	8	12
RQD (%)	77.25	80.88	66.26
Promedio de RQD (%)	74.80		
Calidad de la roca según RQD	Normal.		

RQD – Sector #9

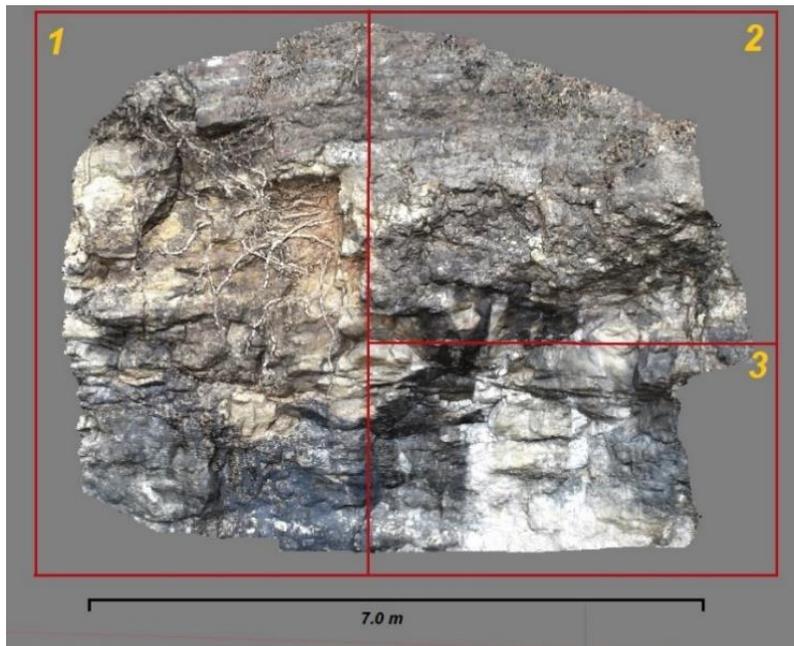


Figura 3.11 Nube de puntos densa del Sector #9 y división en subsectores.

Tabla 3.18 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #9.

Parámetros	Subsectores		
	1	2	3
Promedio de distancia entre fracturas (cm)	20.8	35.65	30.32
Número de Fracturas por metro	12	14	11
RQD (%)	66.26	59.18	69.90
Promedio de RQD (%)	65.12		
Calidad de la roca según RQD	Normal		

RQD – Sector #10

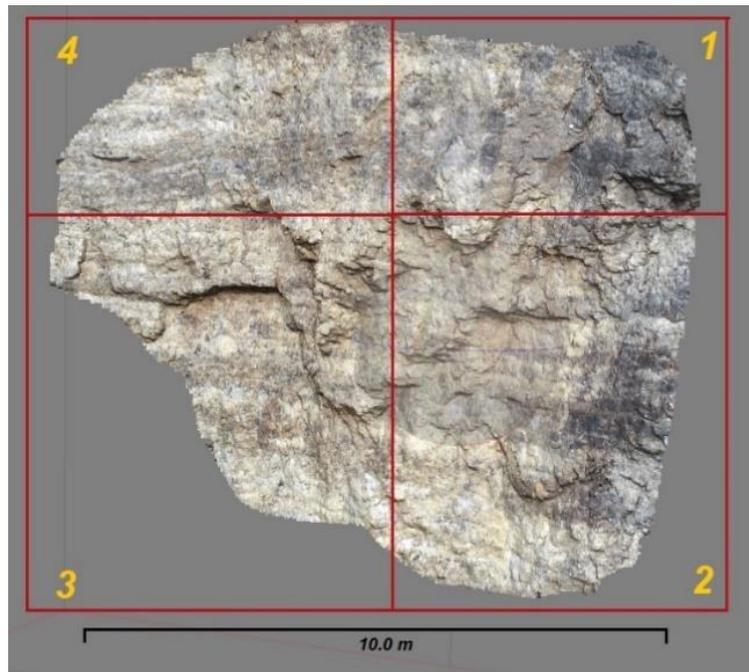


Figura 3.12 Nube de puntos densa del Sector #10 y división en subsectores.

Tabla 3.19 Datos y cálculo de RQD para los puntos del Sector #10.

Parámetros	Subsectores			
	1	2	3	4
Promedio de distancia entre fracturas (cm)	36.68	33.3	22.41	31.27
Número de Fracturas por metro	18	7	12	6
RQD (%)	46.28	86.14	66.26	87.81
Promedio de RQD (%)	66.79			
Calidad de la roca según RQD	Normal			

RQD – Sector #11

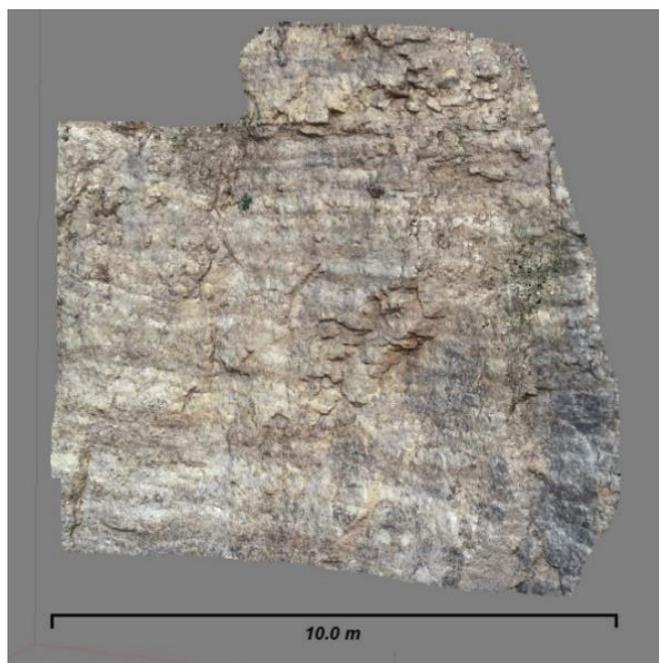


Figura 3.13 Nube de puntos densa del Sector #11 y división en subsectores.

Tabla 3.20 Datos para cálculo de RQD para los puntos del Sector #11.

Parámetros	Valores
Promedio de distancia entre fracturas (cm)	37.66
Número de Fracturas por metro	13
RQD (%)	63.19
Calidad de la roca según RQD	Normal

En la siguiente tabla se resume la calidad del macizo rocoso para cada sector en base a los cálculos previos.

Tabla 3.21 Porcentaje de RQD y clasificación de las rocas para todos los sectores del talud.

Zona	Sectores	RQD (%)	Clasificación
Zona #1	1	45.27	Mala
	2	51.05	Normal
Zona #2	3	55.51	Normal
	4	67.16	Normal
	5	60.50	Normal
	6	71.14	Normal

	7	73.58	Normal
	8	74.80	Normal
	9	65.12	Normal
Zona #3	10	66.79	Normal
	11	63.19	Normal

3.2.3 Características de las discontinuidades

3.2.3.1 Separación entre juntas

La separación entre las juntas se ha determinado por sectores con ayuda de las imágenes obtenidas por dron. Para facilitar el trabajo se tomó distancias entre juntas en cada subsector y luego un promedio de estas para obtener el valor por sectores (Tabla 3.22). La distancia promedio entre juntas del talud varía en un rango de 0.17 – 0.38 m aproximadamente.

Tabla 3.22 Separación de las juntas en metros para cada sector de cana zona del talud.

Zona	Sector	Separación por subsectores (m)				Separación promedio (m)
		1	2	3	4	
1	1	0.10	0.22	0.19	-	0.17
	2	0.22	0.17	0.15	-	0.17
2	3	0.35	0.40	0.22	-	0.32
	4	0.36	0.19	0.42	-	0.32
	5	0.29	0.32	0.17	-	0.26
	6	0.41	0.26	0.34	-	0.34
	7	0.24				0.24
	8	0.32	0.28	0.32		0.31
	9	0.21	0.36	0.30	-	0.29
3	10	0.37	0.33	0.22	0.31	0.26
	11	0.38				0.38

3.2.3.2 Estado de las Juntas

Para determinar el estado de las juntas se utilizó fotografías a detalle de los sectores del talud, tomadas con dron y una observación cuidadosa de las fracturas (Tabla 3.23). Debido al estado de deterioro del talud se consideró que las fracturas presentan un carácter ondulado.

Tabla 3.23 Evaluación de los distintos parámetros que permiten determinar el "Estado de las Juntas".

Zona	Sector	Long. Disc (m)	Abertura (mm)	Rugosidad	Relleno	Alteración	
1	1	3 – 10	0.1 – 1	Ondulada	Blando <5mm	Moderada	
	2					Muy alterada	
2	3						
	4						
	5						
	6						Moderada
	7						Muy alterada
	8						Moderada
	9						Muy alterada
3	10						
	11				Ninguno		

3.2.4 Flujo de agua en las juntas

El flujo de agua en las juntas fue corroborado con visitas in situ se pudo identificar sectores totalmente secos, así como también sectores donde se evidencia agua corriendo y vegetación creciendo entre las fracturas. Ver Tabla 3.24.

Tabla 3.24. Evaluación del estado de "Flujo de agua en las Juntas".

Zona	Sector	Flujo de agua en las juntas
1	1	Seco
	2	Ligeramente húmedo
2	3	Fluyendo
	4	Húmedo
	5	Goteando
	6	Ligeramente húmedo
	7	
	8	Seco
	9	
3	10	
	11	

3.2.5 Cálculo del RMR

Para realizar el cálculo del RMR, los parámetros evaluados con anterioridad reciben valoraciones según la Tabla 2.5. Los valores se suman y se obtiene el valor de RMR y el grado de estabilidad del sector. En las siguientes tablas se detalla dicha operación en los sectores correspondientes para cada una de las zonas en las que se dividió al talud.

Tabla 3.25. Cálculo del RMR y grado de la estabilidad de los sectores de la Zona #1.

Zona #1			
Parámetros		Valoraciones por Sectores	
		Sector 1	Sector 2
Resistencia a la compresión simple (MPa)		12	12
RQD (%)		8	13
Separación entre juntas (m)		8	8
Estado de las juntas	Long. Discontinuidad	2	2
	Abertura	3	3
	Rugosidad	1	1
	Relleno	2	2
	Alteración	3	1
Flujo de agua en las juntas		15	10
RMR= \sum Valoraciones		54	52
Clasificación		Media	Media

Tabla 3.26. Cálculo del RMR y grado de estabilidad de los sectores de la Zona #2.

Zona #2							
Parámetros	Valoraciones por Sectores						
	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6	Sector 7	Sector 8	Sector 9
Resistencia a la compresión simple (MPa)	12	12	12	12	12	12	12
RQD (%)	13	13	13	13	13	13	13
Separación entre juntas (mm)	10	10	10	10	10	10	10

Estado de las juntas	Long. Discontinuidad	2	2	2	2	2	2	2
	Abertura	3	3	3	3	3	3	3
	Rugosidad	1	1	1	1	1	1	1
	Relleno	2	2	2	2	2	2	2
	Alteración	1	1	1	3	1	3	1
Flujo de agua en las juntas		0	7	4	10	10	15	15
RMR= \sumValoraciones		44	51	48	56	54	61	59
Clasificación		Media	Media	Media	Media	Media	Buena	Media

Tabla 3.27. Cálculo del RMR y grado de estabilidad de los sectores de la Zona #3.

Zona #3			
Parámetros		Valoraciones por Sectores	
		Sector 10	Sector 11
Resistencia a la compresión simple (MPa)		12	12
RQD (%)		13	13
Separación entre juntas (mm)		10	10
Estado de las juntas	Long. Discontinuidad	2	2
	Abertura	3	3
	Rugosidad	1	1
	Relleno	6	6
	Alteración	3	3
Flujo de agua en las juntas		15	15
RMR= \sumValoraciones		65	65
Clasificación		Buena	Buena

En la siguiente tabla se resume el valor obtenido de RMR para cada sector en base a los cálculos previos:

Tabla 3.28. Resumen de los valores obtenidos de RMR y el grado de estabilidad de los sectores del talud.

Zona	Sectores	RMR (%)	Clasificación
-------------	-----------------	----------------	----------------------

Zona #1	1	54	Media
	2	52	Media
Zona #2	3	44	Media
	4	51	Media
	5	48	Media
	6	56	Media
	7	54	Media
	8	61	Buena
	9	59	Media
Zona #3	10	65	Buena
	11	65	Buena

3.3 Evaluación de la Estabilidad

3.3.1 Condiciones de Estabilidad

3.3.1.1 Clasificación Geomecánica SMR

Se calculó y valoró los factores de corrección, los que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3.29 Valores de los factores de corrección. Fueron calculados considerando cada una de las diferentes familias de fracturas identificadas para las zonas del talud.

Discontinuidades / Factores de corrección	Zona 1				Zona 2				Zona 3			
	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4	F1	F2	F3	F4
Familia 1	0.85	1	0	-8	0.15	1	-25	-8	0.15	1	-6	-8
Familia 2	0.15	1	0	-8	0.15	1	-6	-8	0.15	1	0	-8
Familia 3	0.15	0.85	-60	-8	0.15	1	0	-8	0.15	1	-6	-8
Familia 4	1	0.15	-60	-8	0.85	0.15	-60	-8	0.15	0.15	-60	-8

Después de obtenidos los factores de corrección y su debida ponderación, se procedió a realizar el cálculo del SMR con la Ecuación 2, que se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 3.30. Cálculo del SMR y grado de estabilidad de los sectores de la Zona #1.

Zona #1		
Familias	SMR por Sectores	
	Sector 1	Sector 2
Familia 1	45.10	43.10
Familia 2	44.00	36.00
Familia 3	45.10	43.10

Familia 4	44.65	42.65
SMR Promedio	44.71	41.21
Clasificación	Normal	Normal

Tabla 3.31. Cálculo del SMR y grado de estabilidad de los sectores de la Zona #2.

Zona #2							
Familias	SMR por Sectores						
	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6	Sector 7	Sector 8	Sector 9
Familia 1	32.25	39.25	36.25	44.25	42.25	49.25	47.25
Familia 2	35.10	42.10	39.10	47.10	45.10	52.10	50.10
Familia 3	36.00	43.00	40.00	48.00	46.00	53.00	51.00
Familia 4	28.35	35.35	32.35	40.35	38.35	45.35	43.35
SMR Promedio	32.93	39.93	36.93	44.93	42.93	49.93	47.93
Clasificación	Mala	Mala	Mala	Normal	Normal	Normal	Normal

Tabla 3.32. Cálculo del SMR y grado de estabilidad de los sectores de la Zona #3.

Zona #3		
Familias	SMR por Secciones	
	Sector 10	Sector 11
Familia 1	57.00	57.00
Familia 2	57.00	57.00
Familia 3	49.35	49.35
Familia 4	48.00	48.00
SMR Promedio	52.84	52.84
Clasificación	Normal	Normal

En la Tabla 3.33 se resume el valor obtenido de SMR para cada sector en base a los cálculos previos:

Tabla 3.33. Resumen de los valores de SMR y grado de estabilidad de los sectores del macizo rocoso.

Zona	Sectores	SMR (%)	Clasificación
Zona #1	1	44.71	Normal
	2	41.21	Normal

Zona #2	3	32.93	Mala
	4	39.93	Mala
	5	36.93	Mala
	6	44.93	Normal
	7	42.93	Normal
	8	49.93	Normal
Zona #3	9	47.93	Normal
	10	52.84	Normal
	11	52.84	Normal

3.3.1.2 Clasificación geomecánica CSMR

Los valores de CSMR se calcularon mediante el uso de la Ecuación 5 y se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 3.34. Cálculo de CSMR de los sectores de la Zona #1.

Familias	CSMR por Sectores	
	Sector 1	Sector 2
Familia 1	45.37	43.37
Familia 2	46.00	44.00
Familia 3	45.37	43.37
Familia 4	45.06	43.06
CSMR Promedio	45.45	43.45
Clasificación	Normal	Normal

Tabla 3.35. Cálculo de CSMR de los sectores de la Zona #2.

Zona #2							
Familias	CSMR por Sectores						
	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6	Sector 7	Sector 8	Sector 9
Familia 1	33.38	40.38	37.38	45.38	43.38	50.38	48.38
Familia 2	35.37	42.37	39.37	47.37	45.37	52.37	50.37
Familia 3	36.00	43.00	40.00	48.00	46.00	53.00	51.00
Familia 4	30.65	37.65	34.65	42.65	40.65	47.65	45.65
CSMR Promedio	33.85	40.85	37.85	45.85	43.85	50.85	48.85
Clasificación	Mala	Mala	Mala	Normal	Normal	Normal	Normal

Tabla 3.36. Cálculo de CSMR de los sectores de la Zona #3.

Zona #3		
Familias	CSMR por Secciones	
	Sector 10	Sector 11
Familia 1	57.00	57.00
Familia 2	57.00	57.00
Familia 3	51.65	51.65
Familia 4	50.70	50.70
CSMR Promedio	54.09	54.09
Clasificación	Normal	Normal

En la siguiente tabla se resume el valor obtenido de CSMR para cada sector en base a los cálculos previos:

Tabla 3.37. Resumen de los valores de CSMR y clasificación de los sectores del macizo rocoso.

Zona	Sectores	CSMR (%)	Clasificación
Zona #1	1	45.45	Normal
	2	43.45	Normal
Zona #2	3	33.85	Mala
	4	40.85	Mala
	5	37.85	Mala
	6	45.85	Normal
	7	43.85	Normal
	8	50.85	Normal
	9	48.85	Normal
Zona #3	10	54.09	Normal
	11	54.09	Normal

3.3.2 Susceptibilidad al desprendimiento

3.3.2.1 Susceptibilidad para condiciones actuales

Se realizó una valoración para cada uno de los parámetros en los diferentes sectores, considerando pocas precipitaciones y sin influencia sísmica significativa, que se presenta en las siguientes tablas.

Tabla 3.38. Cálculo de la susceptibilidad al desprendimiento de la Zona #1.

Parámetro	Zona #1	
	Sectores	
	1	2
Litología	2.0	2.0
Grado de deterioro	2.0	2.0
Estructura Geológica	2.5	2.5
Grado de Fracturación y bloques clave	4.0	4.0
Morfometría y altura del escarpe	5.0	5.0
Cobertura Vegetal	3.0	3.0
Presencia de Agua	1.5	1.5
Acción Sísmica	1.0	1.0
Total	21.0	21.0

Tabla 3.39. Cálculo de la susceptibilidad al desprendimiento de la Zona #2.

Parámetro	Zona #2							
	Sectores							
	3	4	5	6	7	8	9	
Litología	2.0	3.0	2.0	3.0	3.0	3.0	2.0	
Grado de deterioro	2.0	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.5	
Estructura Geológica	2.5	4.0	2.5	4.0	4.0	4.0	2.5	
Grado de fracturación y bloques claves	4.0	4.0	3.5	4.0	4.0	4.0	3.5	
Morfometría	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
Cobertura Vegetal	3.0	4.0	4.0	4.0	3.0	4.0	4.0	
Presencia de Agua	5.0	4.0	4.5	3.5	3.5	1.5	1.5	
Acción Sísmica	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Total	25.5	28.5	26.0	27.5	27.0	25.5	23.0	

Tabla 3.40. Cálculo de la susceptibilidad al desprendimiento de la Zona #3.

Parámetro	Zona #3	
	Sectores	
	10	11
Litología	3.0	3.0

Grado de deterioro	2.5	2.5
Estructura Geológica	2.5	4.0
Discontinuidad	3.0	4.0
Morfometría	5.0	5.0
Cobertura Vegetal	4.0	4.0
Presencia de Agua	1.5	1.5
Acción Sísmica	1.0	1.0
Total	22.5	25.0

Tabla 3.41. Resumen de la susceptibilidad al desprendimiento en condiciones favorables.

Zona	Sectores	Valoración Total	Susceptibilidad
1	1	21.0	Alta
	2	21.0	Alta
2	3	25.5	Alta
	4	28.5	Muy Alta
	5	26.0	Alta
	6	27.5	Alta
	7	27.0	Alta
	8	25.5	Alta
	9	23.0	Alta
3	10	22.5	Alta
	11	25.0	Alta

3.3.2.2 Susceptibilidad para condiciones extremas

Se ha realizado una valoración para cada uno de los parámetros en los diferentes sectores, considerando intensas precipitaciones y un sismo de al menos 6.5 según Richter. Esta valoración se presenta en las siguientes tablas.

Tabla 3.42. Cálculo de la susceptibilidad al desprendimiento de la Zona #1.

Parámetro	Sectores	
	1	2
Litología	2.0	2.0
Grado de deterioro	2.0	2.0
Estructura Geológica	2.5	2.5

Grado de Fracturación y bloques clave	4.0	4.0
Morfometría y altura del escarpe	5.0	5.0
Cobertura Vegetal	3.0	3.0
Presencia de Agua	3.0	3.0
Acción Sísmica	4.0	4.0
Total	25.5	25.5

Tabla 3.43. Cálculo de la susceptibilidad al desprendimiento de la Zona #2.

Parámetro	Sectores							
	3	4	5	6	7	8	9	
Litología	2.0	3.0	2.0	3.0	3.0	3.0	2.0	
Grado de deterioro	2.0	2.5	2.5	2.0	2.5	2.0	2.5	
Estructura Geológica	2.5	4.0	2.5	4.0	4.0	4.0	2.5	
Grado de fracturación y bloques claves	4.0	4.0	3.5	4.0	4.0	4.0	3.5	
Morfometría	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
Cobertura Vegetal	3.0	4.0	4.0	4.0	3.0	4.0	4.0	
Presencia de Agua	6.0	6.0	6.0	5.0	5.0	3.0	3.0	
Acción Sísmica	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
Total	29.5	33.5	30.5	32	31.5	30	27.5	

Tabla 3.44. Cálculo de la susceptibilidad al desprendimiento de la Zona #3.

Parámetro	Sectores	
	10	11
Litología	3.0	3.0
Grado de deterioro	2.5	2.5
Estructura Geológica	2.5	4.0
Discontinuidad	3.0	4.0
Morfometría	5.0	5.0
Cobertura Vegetal	4.0	4.0
Presencia de Agua	3.0	3.0
Acción Sísmica	4.0	4.0
Total	27.0	29.5

Tabla 3.45. Resumen de la susceptibilidad en condiciones extremas.

Zona	Sectores	Valoración Total	Susceptibilidad
1	1	25.5	Alta
	2	25.5	Alta
2	3	29.5	Muy Alta
	4	33.5	Muy Alta
	5	30.5	Muy Alta
	6	32	Muy Alta
	7	31.5	Muy Alta
	8	30.0	Muy Alta
	9	27.5	Alta
3	10	27.0	Alta
	11	29.5	Muy Alta

3.3.3 Cálculo del Factor de Seguridad

El cálculo del factor de seguridad se lo ha realizado para 8 perfiles topográficos a lo largo del talud Figura 2.3 aplicando la metodología descrita en el Capítulo 2. En las figuras a continuación, se muestran los resultados obtenidos del FS Hipotético, considerando la altura total del talud y el FS Real por debajo del cual el talud presenta inestabilidad.

3.3.3.1 Factor de Seguridad: Perfil #1

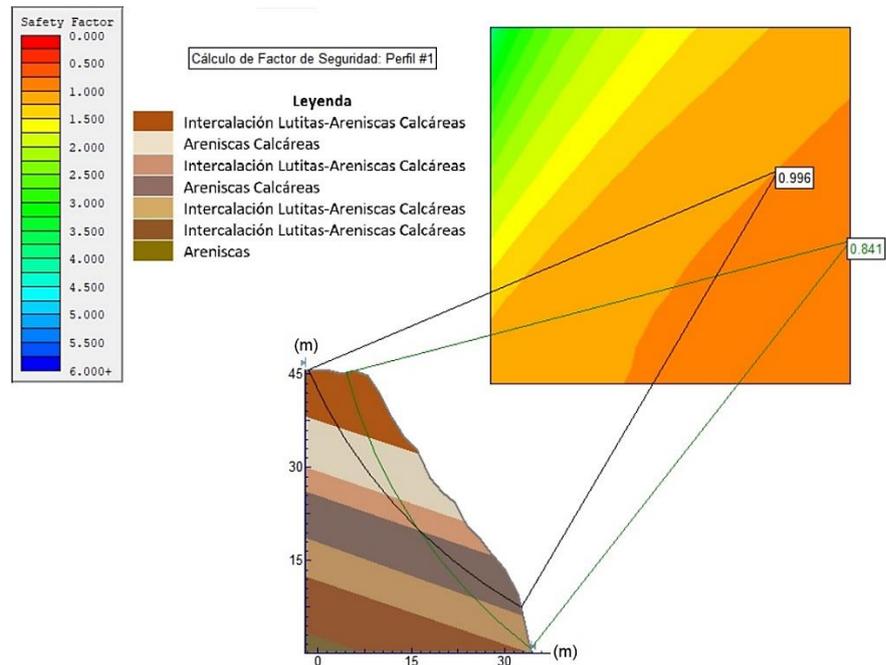


Figura 3.14 Factor de Seguridad para el perfil 1. FS Hipotético: 0.841; FS. Real: 0.996

3.3.3.2 Factor de Seguridad: Perfil #2

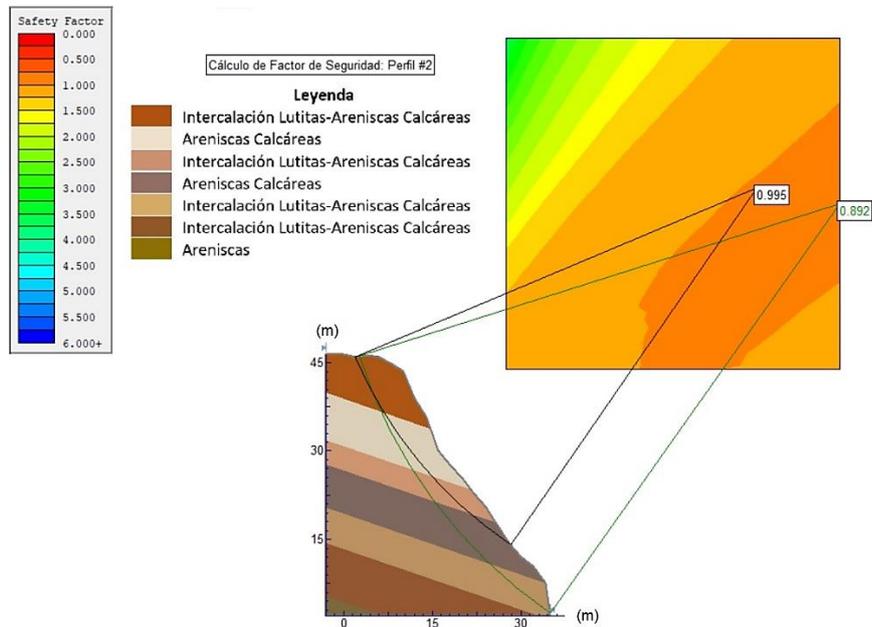


Figura 3.15 Factor de Seguridad para el perfil 2. FS Hipotético: 0.892; FS. Real: 0.995

3.3.3.3 Factor de Seguridad: Perfil #3

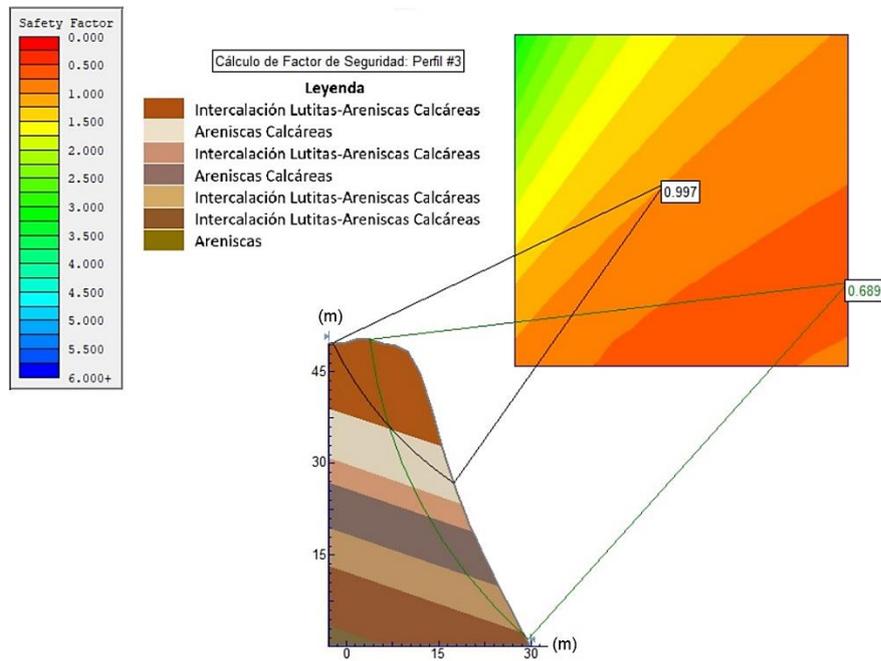


Figura 3.16 Factor de Seguridad para el perfil 3. FS Hipotético: 0.689; FS. Real: 0.997

3.3.3.4 Factor de Seguridad: Perfil #4

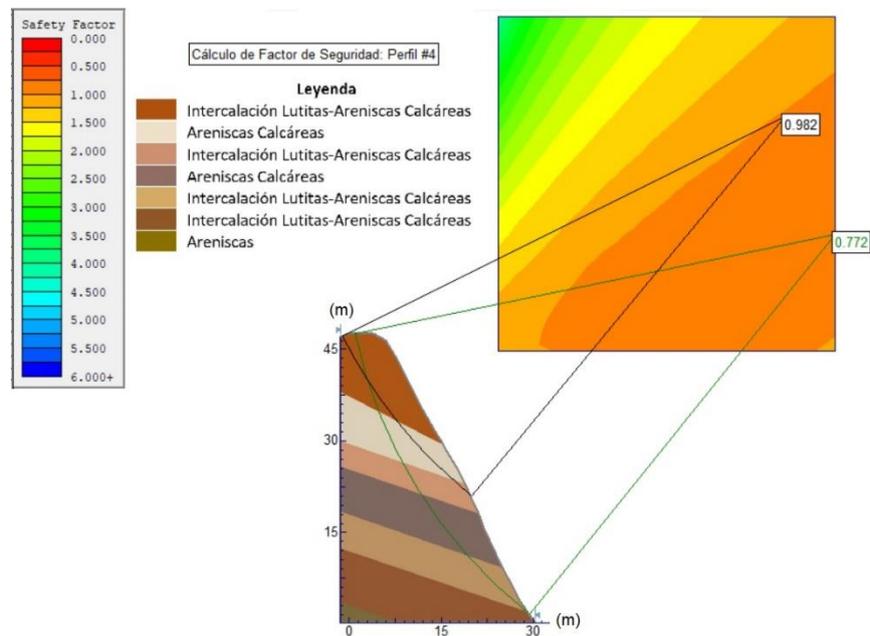


Figura 3.17 Factor de Seguridad para el perfil 4. FS Hipotético: 0.772; FS. Real: 0.982

3.3.3.5 Factor de Seguridad: Perfil #5

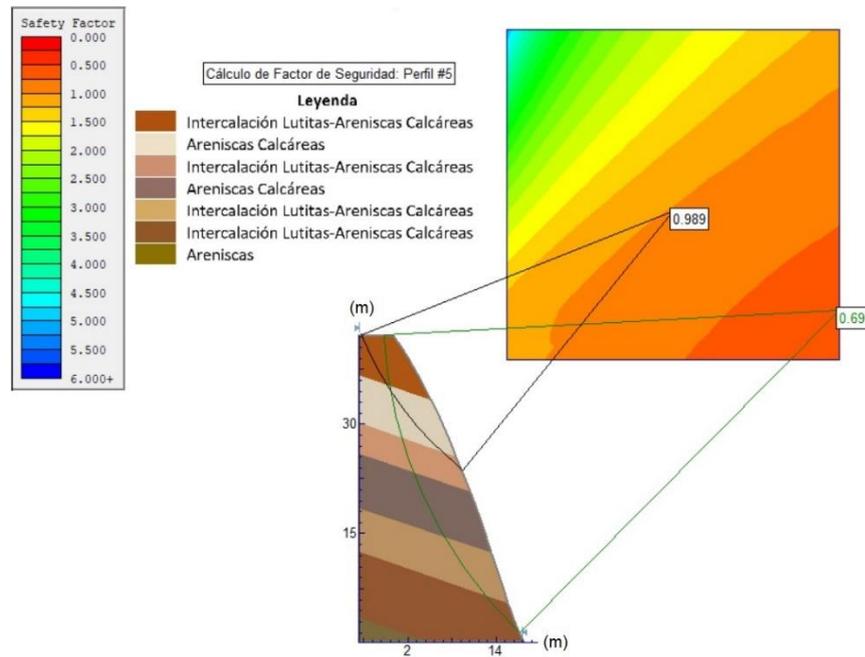


Figura 3.18 Factor de Seguridad para el perfil 5. FS Hipotético: 0.690; FS. Real: 0.989

3.3.3.6 Factor de Seguridad: Perfil #6

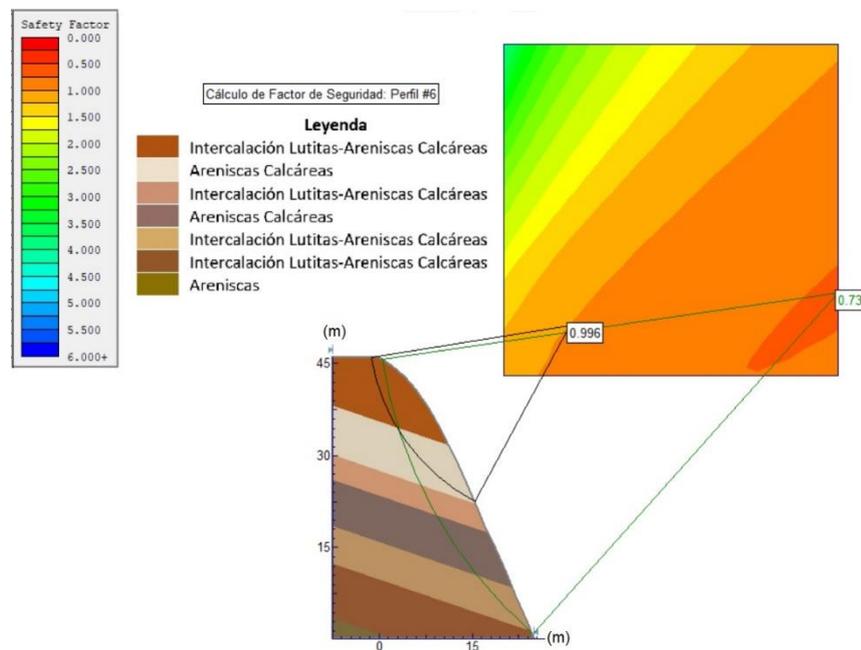


Figura 3.19 Factor de Seguridad para el perfil 6. FS Hipotético: 0.736; FS. Real: 0.996

3.3.3.7 Factor de Seguridad: Perfil #7

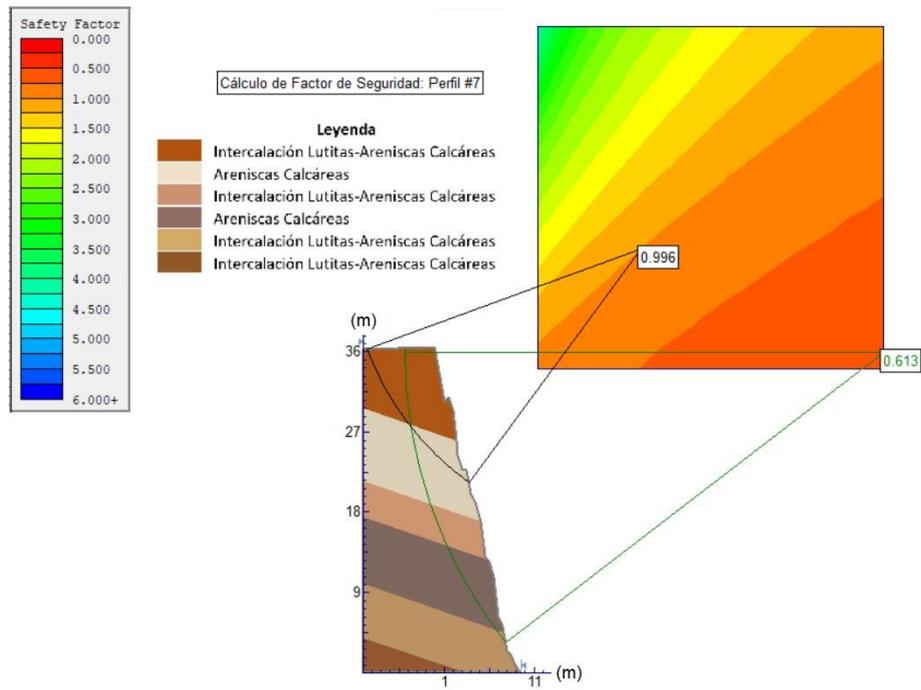


Figura 3.20 Factor de Seguridad para el perfil 7. FS Hipotético: 0.613; FS. Real: 0.996

3.3.3.8 Factor de Seguridad: Perfil #8

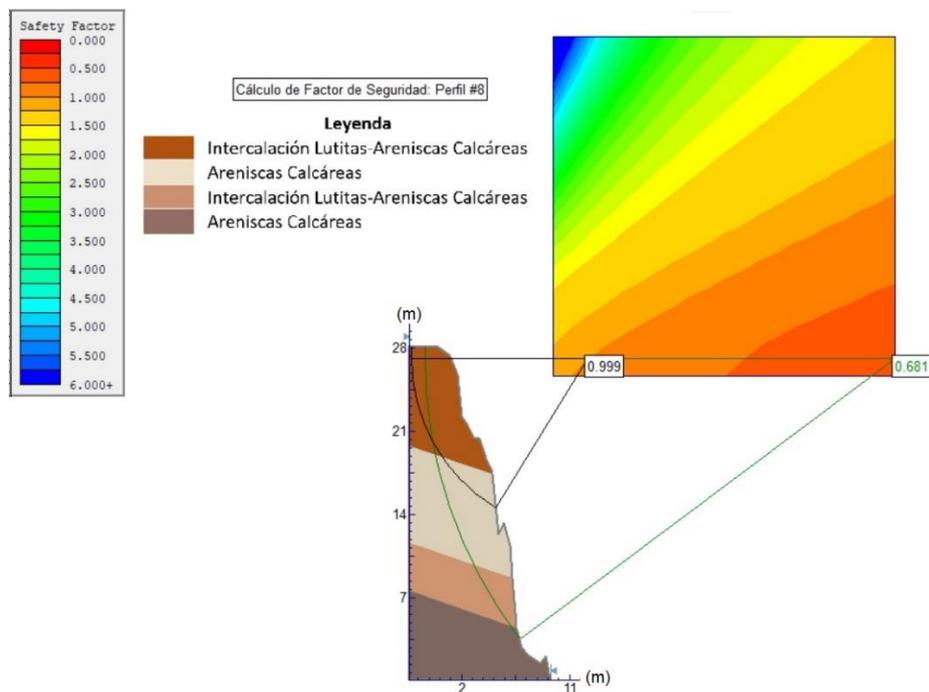


Figura 3.21 Factor de Seguridad para el perfil 8. FS Hipotético: 0.681; FS. Real: 0.999

En la siguiente tabla se resumen los resultados de susceptibilidad al desprendimiento y valores obtenidos de factor de seguridad.

Tabla 3.46 Resumen de resultados de susceptibilidad al desprendimiento y factor de seguridad.

Zona	Sector	Susceptibilidad: Condiciones Favorables	Susceptibilidad: Condiciones Extremas	Perfil	F.S. Hipotético	F.S. real
1	1	Alta	Alta	7	0.613	0.996
	2	Alta	Alta	8	0.681	0.999
2	3	Alta	Muy alta	3 4 5 6	0.689 0.772 0.690 0.736	0.997 0.982 0.989 0.996
	4	Muy alta	Muy alta			
	5	Alta	Muy alta			
	6	Alta	Muy alta			
	7	Alta	Muy alta			
	8	Alta	Muy alta			
	9	Alta	Alta			
3	10	Alta	Alta	1	0.841	0.996
	11	Alta	Muy alta	2	0.892	0.995

3.4 Análisis de la reptación

3.4.1 Caracterización del suelo

Para el análisis del suelo se realizaron tres calicatas Figura 3.22 que alcanzaron en profundidad hasta llegar al macizo rocoso. Este tipo de estudio permite determinar los espesores y características de los diferentes tipos de suelos. En las siguientes tablas, se detalla las características de los suelos evidenciadas con sus respectivos espesores:

Mapa de ubicación de las calicatas



Leyenda	
	Cruz del Cementerio
	Calicatas
	Curvas de nivel

Centro de Investigaciones y Proyectos Aplicados a la Tierra "CIPAT"	
Coordenadas:	UTM
Datum:	WGS-84
	

Figura 3.22 Mapa de ubicación de las calicatas.

Tabla 3.47 Horizontes edafológicos para la Calicata #1.

Horizontes	Calicata #1
<p>A0</p> <p>Suelo rojizo (óxidos de hierro), arcillo-arenoso, con clastos milimétricos a centimétricos de lutitas meteorizadas con espesor aproximado 10cm.</p>	<div style="text-align: center;"> <p><i>Calicata #1</i></p> </div>
<p>A1</p> <p>Mezclas de arcillas con clastos angulosos milimétricos a centimétricos, color marrón a gris oscuro (debido al humus), se observa raíces hasta la base del horizonte con espesor aproximada de 63cm.</p>	
<p>B</p> <p>Suelo arcilloso, color rojizo, con clastos de lutitas meteorizadas a tonalidades rojizas con espesor aproximado de 26cm.</p>	
<p>C</p> <p>Suelo arcilloso gris con espesor aproximado de 30cm.</p>	

Tabla 3.48 Horizontes edafológicos para la Calicata #2.

Horizontes	Calicata #2	
<p>A0</p>	<p>Suelo rojizo (óxidos de hierro), arcillo-arenoso, con clastos milimétricos a centimétricos de lutitas meteorizadas con espesor aproximado de 5cm.</p>	<div style="text-align: center;"> <p><i>Calicata #2</i></p> </div>
<p>A1</p>	<p>Suelo arcilloso color rojizo, con clastos rocosos milimétricos, se observa raíces hasta la base, ligeramente húmedo con espesor aproximado de 45cm.</p>	
<p>B</p>	<p>Suelo arcilloso, color rojizo, con pocas raíces, clastos rocosos, ligeramente húmedo (45cm).</p>	
<p>C</p>	<p>Suelo arcilloso de 45cm de espesor, color rojizo con clastos centimétricos de roca.</p>	

Tabla 3.49 Horizontes edafológicos para la Calicata #3.

Horizontes	Calicata #3	
A0	Suelo color marrón claro, arcillo-arenoso, con clastos milimétricos a centimétricos de lutitas meteorizadas. Espesor aproximado 160cm.	
A1	Mezclas de arcillas con clastos angulosos milimétricos a centimétricos, color marrón a gris oscuro (debido al humus), se observa raíces hasta la base del horizonte y 50cm de espesor.	
B	Suelo arcilloso, color rojizo, con clastos de lutitas meteorizadas a tonalidades rojizas y 60cm de espesor.	

A continuación, se muestra un perfil de suelos en base a los espesores medidas en las calicatas realizadas, de acuerdo con la Figura 3.22 y de izquierda a derecha, la calicata 3 es la realizada en el punto más bajo, la calicata 2 en una altura intermedia y la calicata 1 en el punto más alto del sector donde se registra el proceso de reptación.

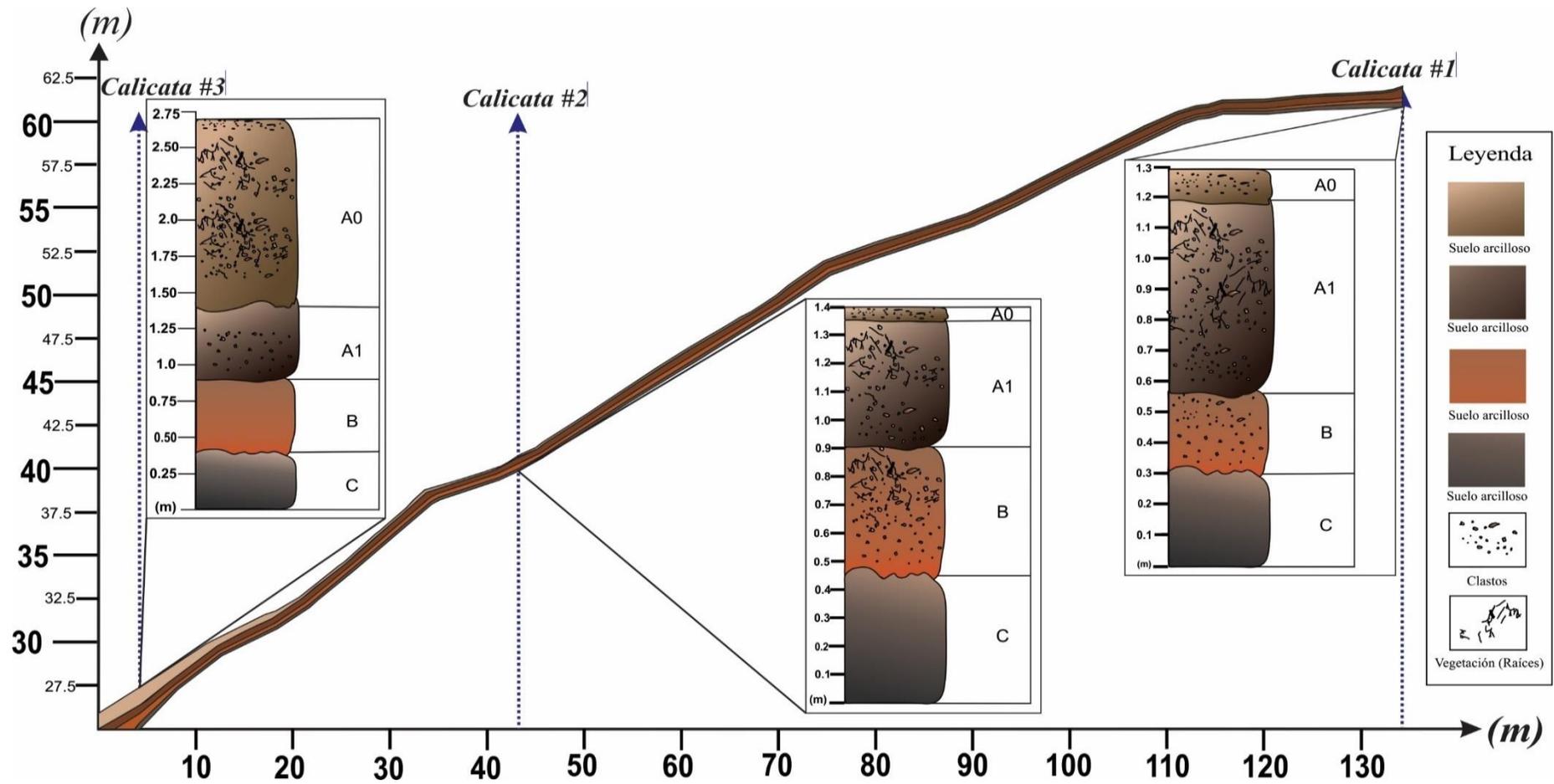


Figura 3.23 Perfil de Suelos en la zona de reptación.

3.4.2 Delimitación de la reptación

En el movimiento de masas del área de estudio, se evidencia el cambio de inclinación de las cruces y los árboles con un promedio de 35° con respecto a la vertical, con una dirección que varía desde el W en la parte más alta y luego toma rumbo SW hasta la parte más baja Figura 3.24

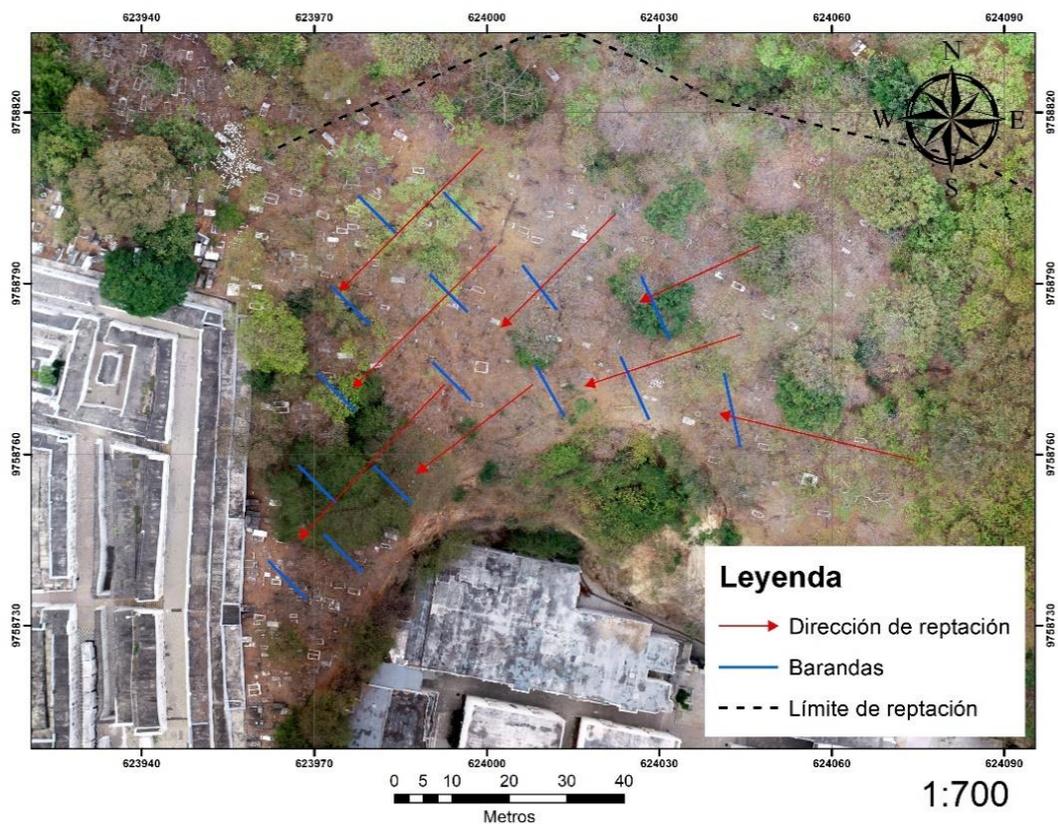


Figura 3.24 Plano de dirección de reptación.

3.5 Discusión de Resultados

- La litología del sector corresponde al Miembro Superior de la Formación Guayaquil conformada por areniscas calcáreas y lutitas silicificadas de acuerdo con lo establecido por Benítez (1995).
- La dirección de buzamiento de los estratos, el estado de deterioro y el fracturamiento de las rocas, favorecen el desprendimiento de material en forma de roturas en cuña.
- La similitud de los resultados obtenidos con las metodologías SMR y CSMR, permite corroborar el grado de estabilidad del escarpe. Los valores se encuentran

dentro de las clases III y IV, es decir, un rango de estabilidad Normal–Malo, según la tabla de clasificación geomecánica SMR de González de Vallejo et al (2002). Los sectores 3, 4 y 5 del macizo presentan los valores más bajos de estabilidad, debido a la presencia de agua que hace de éstos los más comprometidos.

- La susceptibilidad determinada se basa en la compilación de métodos de expertos que consideran diversos parámetros geomecánicos que se compilan en los trabajos de Anbalagan (1992), Nicholson & Hencher (1997), Suarez (1998) y Blanco (2015), que permiten zonificar el área de estudio dependiendo sus condiciones al desprendimiento.
- Un factor de seguridad menor a 1, indica que el talud es inestable (Melentijevic, 2005). Los valores de FS Hipotético no son aplicables en la vida real, ya que el desprendimiento de material se va a producir mucho antes, por esta razón se realiza el cálculo FS Real considerando las superficies donde empieza a ocurrir un desprendimiento de rocas. Cabe señalar, que las propiedades físico-mecánicas de las rocas mantienen una relación estrecha con el cálculo de factor de seguridad. La variación de dichas propiedades incurre en el cambio de la superficie a partir de la cual el talud se vuelve inestable.
- El movimiento de masas que ocurre en la parte superior del talud del cementerio se puede evidenciar en base a la inclinación que presentan las cruces de tumbas y los árboles. El proceso se puede identificar con el aumento en el espesor del horizonte A0 que cambia de 0.1m (calicata #1) a 1.6m (calicata #3).

CAPÍTULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se determinó el estado del talud mediante un estudio geomecánico que abarcó la evaluación de la estabilidad, susceptibilidad al desprendimiento y cálculo del factor de seguridad, obteniéndose como resultados un talud con alta susceptibilidad al desprendimiento y estabilidad deficiente que requiere medidas urgentes de remediación para asegurar la integridad del cementerio, el patrimonio que en él se atesoran y a las personas que asisten al lugar.

1. El escarpe presenta condiciones de estabilidad según el SMR entre 32.93 y 52.84, en tanto que para el CSMR se obtienen valores entre 33.85 y 54.09, ambos resultados son prácticamente coincidentes y representan una clasificación de las condiciones de estabilidad de Normal a Mala. Es conveniente destacar que en los sectores 3, 4 y 5 del escarpe se presentan las condiciones menos favorables de estabilidad.
2. Los resultados obtenidos considerando la ocurrencia de pocas precipitaciones y sin influencia sísmica muestran una susceptibilidad Muy Alta en el sector 4, en tanto que los restantes sectores presentan una alta susceptibilidad al desprendimiento. Cuando se consideran altas precipitaciones y el posible efecto de la actividad sísmica (teniendo en cuenta que la ciudad de Guayaquil está ubicada en una ubicación sísmicamente activa) se obtuvo que la susceptibilidad al desprendimiento fue muy alta para los sectores 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 11 y alta para los restantes.
3. El factor de seguridad se calculó para 8 perfiles topográficos del escarpe, de los cuales se tomó el valor de 0.982 como el factor de seguridad más crítico. De los resultados se aprecia que los factores de seguridad obtenidos guardan una estrecha relación con los valores de susceptibilidad al desprendimiento, lo que indica la confiabilidad de los resultados obtenidos.
4. El ángulo de inclinación que presentan las cruces y vegetación en la zona de estudio es de 35° con respecto a la vertical. El movimiento de masa presenta una dirección SO y el cambio de espesor del horizonte A_0 es el indicador de que existe un proceso de reptación en el sector.

4.2 Recomendaciones

1. Para una mejor confiabilidad dentro del análisis de las condiciones de estabilidad para taludes altos, se recomienda utilizar el método Chinese System for Slope Mass Rating (CSMR), debido a que éste relaciona la altura del talud y el estado de las discontinuidades.
2. Se recomienda que el talud sea estabilizado utilizando una técnica de bulonado con su distribución uniforme por toda la superficie del talud y se acompañe con el empleo del gunitado (hormigón lanzado) colocado en dos capas y drenes de Mechinal (que permitan evacuar el agua retenida en las discontinuidades). Debido a condiciones que se presentan en determinados sitios, se sugiere el empleo también de mallas metálicas, para evitar el desprendimiento de pedazos de rocas en estos sectores.
3. En cuanto al tema de reptación se sugiere la instalación de barandas con micropilotes hincados con dirección opuesta al sentido de la reptación, las cuales también servirían para la circulación de personas que frecuentan el lugar.

BIBLIOGRAFÍA

- Alemán, A. (1999). *Informe Geológico de la Cuenca Progreso*. Guayaquil: Duke Energy Co.
- Alpízar, A. (2012). Metodología de Análisis de Estabilidad de Taludes para proyectos viales. *XI Congreso Nacional de Geotecnia, Congeo*. San José.
- Anbalagan, R. (1992). Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Elsevier Science Publishers*, 269-277.
- Barrantes, G., Barrantes, O., & Núñez, O. (2011). Efectividad de la metodología Mora-Vahrson modificada en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de Cinchona, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*(47), 141-162.
- Benitez, S. B. (1990). Mapa Geológico de las formaciones Cayo y Guayaquil en Guayaquil. *Memoria Técnica*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Benitez, S. B. (1995). Évolution géodynamique de la province côtière sud-équatorienne au Crétacé supérieur- Tertiaire. *Géologie Africaine*, 71, 3-163.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering*. New York: John Wiley and Sons.
- Blanco, R. (2015). *Estudios y Propuestas de Estabilización del Cerro Las Cabras*. Guayaquil: CIPAT-ESPOL.
- Chen, Z. (1995). Recent Developments in Slope Stability Analysis . *8th ISRM Congress* (págs. 1041-1048). Tokyo: International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering .
- De Matteis, Á. F. (2003). Estabilidad de Taludes. Rosario, Argentina: Universidad de Rosario.
- Deere, D., & Deere, D. (1988). The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. (L. Kirkaldie, Ed.) *Rock Classification Systems for Engineering Purposes, ASTM STP 984*, 91-101.
- Dirección de Turismo y Promoción Cívica Municipal de Guayaquil. (2015). Guayaquil es mi Destino. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Empresa Pública Municipal de Turismo, Promoción Cívica y Relaciones Internacionales de Guayaquil. (2015). Guía de la Eternidad Cementerio Patrimonial de Guayaquil . Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Engdahl, E., Van der Hilst, R., & Buland, R. (1998). *Global teleseismic earthquake rotation with improved travel times and procedures for depth location*.
- Gansser, A. (1973). *Facts and theories on the Andes*.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). Taludes. En *Ingeniería Geológica* (págs. 430-479). Madrid: Pearson Educación.
- Hall, M. L., & Wood, C. (1985). *Volcano Tectonic segmentation of the northern Andes*.
- Hassan, B., & Hani, M. (December de 2017). Application of rock mass classification systems to rock slope stability assessment: A case study. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(6), 993-1009.

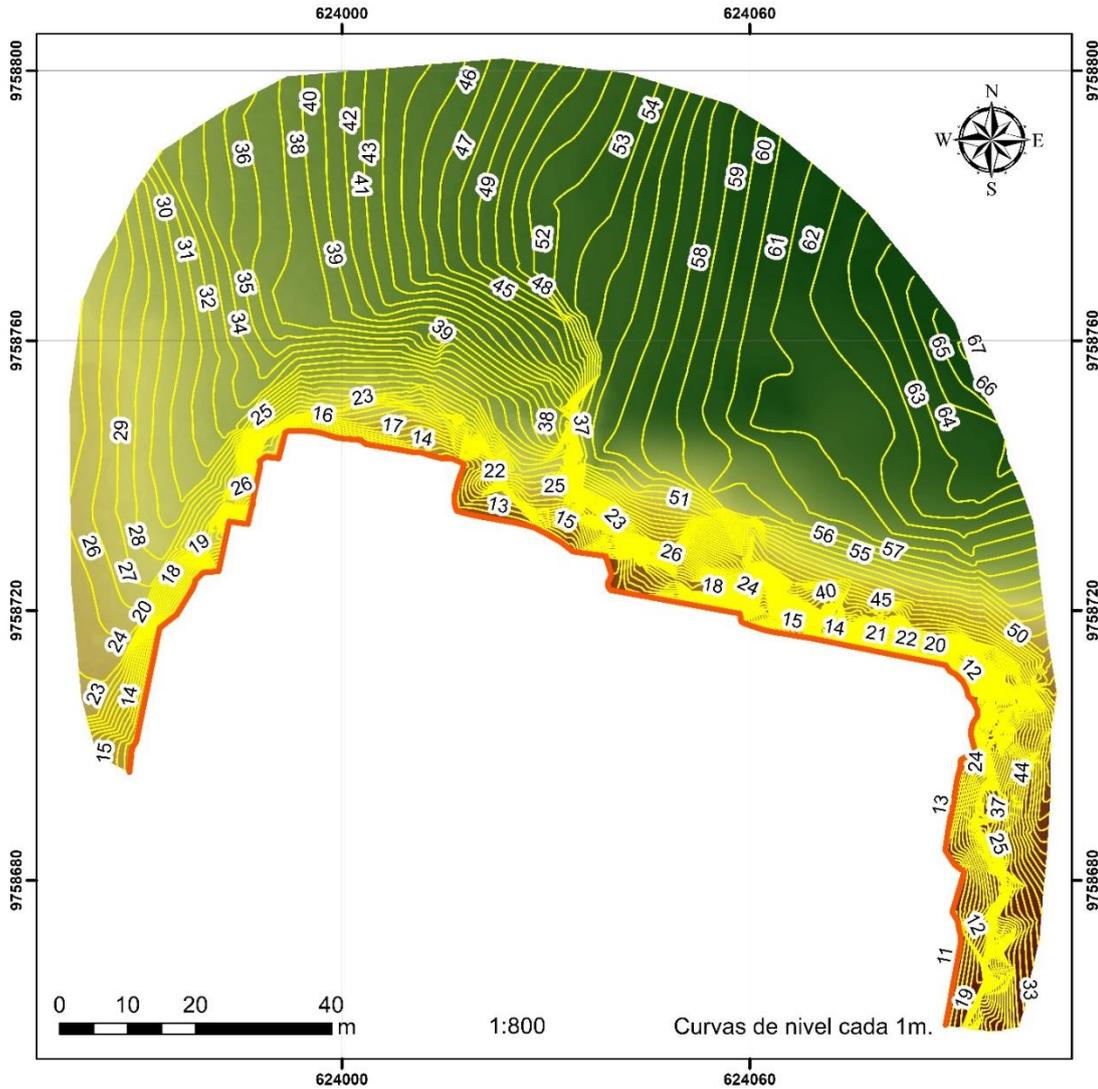
- Junta de Beneficencia de Guayaquil . (6 de Octubre de 2018). *Cementerio Patrimonial* . Obtenido de <https://www.cementeriopatrimonial.org.ec/nosotros/historia>
- Keith, S. (2004). *Environmental Hazard. Assesing Risk and Reducing Disaster* (4th ed.). New York, New York, United States of America : Routledge.
- Kresna, B. N., Bahagiarti, S., & Purwanto . (2016). Geology and Slope Stability Analysis using Markland Method on Road Segment of Piyungan-Patuk, Sleman and Gunungkidul Regencies, Yogyakarta Special Region, Indonesia. *International Journal of Econoic and Environmental Geology*, 42-52.
- Litherland, M., Aspden, J., & Jemielita, R. (1994). *The metamorphic belts of Ecuador*.
- Loor, M. (2010). *Prospección Geotécnica de Campo Aplicada a la Construcción de la Presa del Proyecto Parque del Conocimiento*. Guayaquil.
- Lopez Coronel, M. C. (2016). *Análisis Estructural de la Cuenca Progreso- Secuencias Paleógenas*. Escuela Superior Politécnica del Litoral , Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Guayaquil.
- Melentijevic, S. (2005). *Estabilidad de taludes en macizos rocosos con criterios de rotura no lineales y leyes de fluencia no asociada* . Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Mora, R. (2004). Aplicación de la metodología MVM para determinar la susceptibilidad a deslizamientos en el Bajo Cacao, Atenas, Alajuela. San José, Costa Rica: Escuela Centroamericana de Geología. UCR.
- Morante, F. E. (2004). *Las Zeolitas de la costa de Ecuador (Guayaquil): Geología, caracterización y aplicaciones*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Morgenstern, N., & Price, V. (1965). *The analysis of the stability of general slip surfaces*. London: The Institution of Civil Engineers.
- Nicholson, D., & Hencher, S. (1997). Assessing the potential for deterioration of engineered rock slopes. *Engineering Geology and the Environment, Marinos, Koukis, Tsiambaos & Stournaras*, 911-917.
- Núñez del Arco, E. (2003). *Geología del Ecuador*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral .
- Olsson, A. (1942). Tertiary deposits of NO south America and Panamá. Washington : Proc. 8th Am. Sci. Congr. .
- Pérez, E. (2005). *Estabilidad de Taludes*. Barcelona: Universitat Politecnica de Catalunya .
- Price, V. E., & Morgenstern, N. R. (1965). The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces . *Geotechnique*, 79-93.
- Priest, S. D., & Hudson, S. D. (1976). Discontinuity spacings in rock . *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts.*, 135-148.
- Quesada , A., & Feoli , S. (2018). Comparación de la Metodología Mora-Vahrson y el Método morfométrico para determinar áreas susceptibles a deslizamientos en la microcuenca del río Macho, Costa Rica. *Revista Geográfica de America Central*(61), 17-45.
- Romana , M. (1993). A geomechanical classification for slopes: Slope Mass Rating: Principles, Practice and Projects. En *Rock Testing and Site Characterization* (págs. 575-600). Elsevier.

- Romana Ruiz, M., Serón Gáñez, J. B., & Montalar Yago, E. (2001). La clasificación geomecánica SMR: Aplicación, Experiencias y Validación. *V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*, (págs. 393-404). Madrid.
- Romana, M. (1995). The Geomechanical Classification SMR for Slope Correction. *8th ISRM Congress* (págs. 1085-1092). Tokyo: International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering .
- Salazar, D. G. (2017). Diseño de un plan piloto turístico educativo sobre el cementerio patrimonial de Guayaquil, dirigido a los estudiantes de la escuela Dr. Avellán Vite de 4to a 7mo año de educación básica. *Trabajo de Titulación Previo a la Obtención del Título de Licenciado en Turismo y Hotelería*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Sánchez, C., & Sánchez, A. (2018). *Evaluación de amenazas geodinámicas en el entorno de la actividad minera en la concesión minera Palacios*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Guayaquil.
- Spikings, R. W., Seward, D., & Handler, R. (2000). Along-strike variations in the thermal and tectonic response of the continental Ecuadorian Andes to the collision with heterogeneous oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters (ELSEVIER)*, 1-4.
- Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga: Publicaciones UIS.
- Thalmann, H. E. (1946). Micropaleontology of Upper Cretaceous and Paleocene in Western Ecuador. *The Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 337-347.
- Tomás, R., Cano, M., Cañaveras, J. C., Cuenca, A., Delgado, J., Estévez, A., & Pina, J. A. (2006). Nuevas funciones continuas para el cálculo del Slope Mass Rating (SMR): Aplicación mediante un sistema de información geográfica a los taludes rocosos de una cantera. *Revista de la Sociedad Geológica de España*(19), 87-97.
- Vanek, J., Vankova, V., & Hanus, V. (1994). *Geochemical zonation of volcanic rocks and deep structure of Ecuador and southern Colombia*.
- Varnes, D. J., & Cruden, D. M. (1993). *Landslide types and processes*. Transportation Research Board. Denver: National Academy of Sciences .

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de curvas de nivel de la parte superior del escarpe.

Mapa de curvas de nivel de la zona de estudio

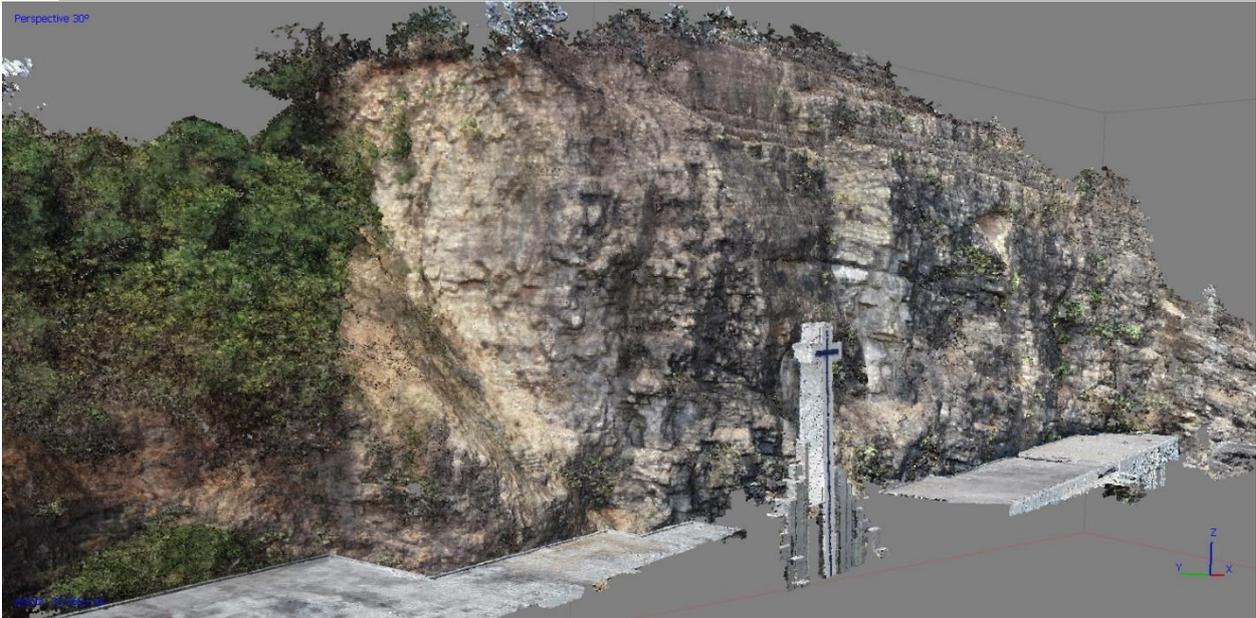


Leyenda

- Línea del talud
- Curvas de nivel

Centro de Investigaciones y Proyectos Aplicados a la Tierra "CIPAT"	
Coordenadas:	UTM
Datum:	WGS-84

Anexo 2. Vista lateral izquierda del modelo tridimensional del talud.



Anexo 3. Vista lateral derecha del modelo tridimensional del talud



