

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**“ANÁLISIS GEOTÉCNICO DEL RETROCESO DEL  
ACANTILADO, ZONA DE SANTA ROSA –  
MANABÍ Y SU INCIDENCIA EN LA  
INFRAESTRUCTURA VIAL”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo la obtención del Título de:

**MAGISTER EN GEOTECNIA**

Presentado por:

**PILLIGUA POSLIGUA EVELYN MICHELLE**

**GUARANDA MERO BETTY GEOCONDA**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**Año – 2021**

# DEDICATORIA

## Dedicatoria 1

Este trabajo y todos mis logros están dedicados a **Narcisa** mi madre pues sin ella dudo mucho que habría llegado hasta este punto de mi vida.

**Michelle Pilligua Posligua**

## Dedicatoria 2

Todo el esfuerzo personal dedicado durante mi formación profesional y en la elaboración del proyecto de titulación se lo dedico de manera muy especial a:

Dios, por siempre guiar mis pasos y permitirme gozar de una vida llena de bendiciones y oportunidades para poder cumplir mis más anheladas metas personales y familiares.

Mi esposo Medardo, por ser un pilar fundamental de mi existencia, brindándome apoyo efectivo, moral y económico para poder superarme en la vida y alcanzar esta meta personal.

Mis hijos Steven y Josseline, que con amor han sabido entender mi ausencia durante momentos importantes de su vida.

Mis padres, por ser ejemplo de responsabilidad, perseverancia, superación y consejos que me han encaminado por los senderos correctos de la vida.

**Betty Guaranda Mero**

# AGRADECIMIENTOS

## Agradecimiento 1

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra por haberme aceptado, ser parte de ella y abierto las puertas para poder estudiar mi maestría.

Mi agradecimiento va dirigido a mi tutor Luis Jordá Bardehore, PhD., por haberme permitido recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como haberme tenido toda la paciencia del mundo para la culminación de este trabajo.

A mi Cotutor Marcelo Oleas Escalante, MsC., por todo el apoyo brindado en el desarrollo de este trabajo, sin usted no hubiésemos realizado esta investigación.

Y para finalizar agradezco enormemente a mi jefe y amigo Dario Paez Cornejo, MsC, por siempre incentivar me a ser mejor todos los días y que todo su esfuerzo trae su consecuencia.

**Michelle Pilligua Posligua**

## Agradecimiento 2

Agradezco a Dios por haberme brindado salud, esperanzas y fuerzas para poder afrontar con fé cada una de las adversidades de la vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra y en especial a todo su cuerpo de Docentes, les quiero brindar un reconocimiento justo por ser guías dentro de la adquisición de conocimientos durante mi proceso de formación como profesional.

A mi Tutor Luis Jordá Bardehore, PhD., por su predisposición de tiempo, dedicación y por ser el guía idóneo para llevar a cabo la culminación de mi trabajo de titulación.

A mi Cotutor Marcelo Fabián Oleas Escalante, MSc., por su orientación, aporte y vastos conocimientos profesionales para desarrollar con éxito la tesis.

**Betty Guaranda Mero.**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Evelyn M. Pilligua Posligua y Betty G. Guaranda Mero, 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”

---

Evelyn Michelle Pilligua Posligua

---

Betty Geoconda Guaranda Mero

# EVALUADORES

---

**PhD. Silvia Loaiza**  
**TUTOR EVALUADOR**

---

**PhD. Luis Jordá Bardehore**  
**PROFESOR TUTOR**

## RESUMEN

Una de las geoformas más habituales del ambiente costero son los acantilados, que pueden ser notablemente activos, y cuya estabilidad depende de varios factores según su origen que pueden ser, naturales y antrópicos.

La Zona de Manta está constituida por las formaciones: San Mateo (Eoceno medio-Eoceno superior, 40 Ma), Tosagua (Mioceno inferior-Mioceno medio basal, 21 Ma), Tablazo (Cuaternario Pleistoceno, 1.6 Ma), Piñón (Cretácico inferior, 144 Ma) presencia de aluviones modernos (Cuaternarios Recientes); cuyas litologías principales son areniscas y lutitas.

El acantilado estudiado se encuentra en la Formación San Mateo cuya composición parte de origen sedimentario, grano fino de limo y arcillas tienden a ser matriz de lutitas que en los niveles superiores se encuentran muy fracturadas, además de lutitas meteorizadas.

La presente investigación geotécnica realizada en el sitio de Santa Rosa – Manta - Manabí comprende el análisis geotécnico del retroceso en el acantilado.

A través del uso de herramientas tecnológicas e interpretación de datos históricos y geomorfológicos, fotografías aéreas se logró obtener la progresión erosiva y su afectación vial entre el kilómetro 32+200 hasta 32+500 en la ruta del Spondylus.

Los resultados obtenidos en el software Slide v. 5.0 establecen que el talud es inestable, mediante el análisis retrospectivo o “*back – análisis*” se determina las propiedades mecánicas del talud y mediante el análisis pseudoestático se determina la influencia del coeficiente de aceleración horizontal en el talud de estudio.

**Palabras Clave:** Acantilado, retroceso, talud, geomorfología

## ABSTRACT

*One of the most common geofoms of the coastal environment is the cliffs, which can be remarkably active, and whose stability depends on several factors depending on their origin that can be, natural and anthropic.*

*The zone of Manta is constituted by the formations: San Mateo (Middle Eocene-Upper Eocene, 40 Ma), Tosagua (Lower Miocene-Middle Basal Miocene, 21 Ma), Tablazo (Pleistocene Quaternary, 1.6 Ma), Pinion (Lower Cretaceous, 144 Ma) Presence of modern alluvions (Reciaternent Quariums); whose main sandy and lutites are present.*

*The studied cliff is found in the San Mateo Formation whose composition part of sedimentary origin, fine grain of lime and clays tend to be matrix of lutites that in the higher levels are very fractured, in addition to meteorized lutites.*

*The present geotechnical research carried out at the site of Santa Rosa – Manta – Manabí includes the geotechnical analysis of the recoil on the cliff.*

*Through the use of technological tools and interpretation of historical and geomorphological data, aerial photographs were achieved the erosive progression and its road involvement between kilometer 32 200 to 32 500 on the Spondylus route.*

*The results obtained in the Slide v. 5.0 it is established that the slope is unstable, by retrospective analysis or "back-analysis" the mechanical properties of the slope are determined and by pseudo-static analysis the influence of the horizontal acceleration coefficient on the slope of study is determined.*

**Keywords:** Cliff, recoil, slope, geomorphology

# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS .....	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	VI
EVALUADORES .....	VII
RESUMEN .....	VIII
ABSTRACT .....	IX
ÍNDICE GENERAL.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
ÍNDICE DE FOTOS.....	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XVI
CAPÍTULO 1 .....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Descripción del problema objeto de este estudio .....	4
1.3 Enfoque del estudio del problema .....	5
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Información relacionada al área de estudio .....	7
1.5.1 Generalidades .....	7
1.5.2 Ubicación geográfica .....	8
1.5.3 Clima .....	10
1.6 Fundamentación teórica .....	10
1.6.1 Geología regional .....	10
1.6.2 Geología local.....	11
1.6.3 Acantilados .....	12
1.6.4 Proceso de retroceso del acantilado.....	13
1.6.5 Proceso y factores que intervienen en el modelado actual de los acantilados.....	15
1.6.6 Criterio de rotura.....	16
1.6.6.1 Criterio de Mohr-Coulomb.....	16
1.6.7 Tipos de movimientos en masa .....	17

1.6.7.1	Superficie de rotura en un deslizamiento rotacional.....	18
1.6.8	Metodología para el análisis de la estabilidad de taludes.....	19
1.6.9	Teoría de equilibrio limite.....	21
1.6.10	Método de las dovelas.....	21
1.6.11	Métodos geofísicos.....	22
1.6.11.1	Parámetros obtenidos por estudios geofísicos.....	23
1.6.12	Análisis pseudoestático.....	23
1.6.13	Back análisis.....	26
CAPÍTULO 2	.....	27
2	Metodología.....	27
2.1	Recopilación de Información.....	27
2.1.1	Datos geológicos de la zona.....	29
2.1.2	Datos geomorfológicos del sitio.....	29
2.1.3	Parámetros geotécnicos del sitio de estudio.....	30
2.2	Recopilación de Información en sitio.....	33
2.3	Trabajo de oficina.....	35
2.3.1	Clasificación de macizo rocoso.....	36
2.3.2	Geometría del talud.....	39
2.3.3	Estratigrafía del área de estudio.....	40
2.3.4	Análisis estáticos de los perfiles en software Slide v.5.0.....	41
2.3.5	Back Análisis.....	42
2.3.6	Análisis Pseudoestático.....	42
CAPÍTULO 3	.....	44
3	ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL ÁREA DE ESTUDIOS.....	44
3.1	Análisis de Movimiento de Masas.....	44
3.2	Cambio Geomorfológico desde el 2007 hasta 2020.....	45
3.3	Clasificación Geomecánica del macizo rocoso.....	49
3.4	Detonantes que provocan el retroceso del acantilado.....	49
3.5	Superficie de falla y factor de seguridad.....	50
CAPÍTULO 4	.....	62
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
4.1	Conclusiones.....	62
4.2	Recomendaciones.....	63
Bibliografía	.....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Formaciones geológicas presentes en la zona de Manta.....	11
<b>Figura 1.2</b> Formaciones geológicas y litología de la zona de estudio.....	12
<b>Figura 1.3</b> Acantilado actual de la zona de estudio .....	13
<b>Figura 1.4</b> Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb en términos de esfuerzos tangenciales (a) y esfuerzos principales (b) y parámetros $c$ y $\phi$ .....	17
<b>Figura 1.5</b> Clasificación de los movimientos Cruden y Varnes (1996).....	17
<b>Figura 1.6</b> Zonas sísmicas para propósito de diseño y valor del factor de zona Z .....	25
<b>Figura 1.7</b> Coeficiente sísmico horizontal o $K_h$ aplicado en el software para el análisis .....	26
<b>Figura 2.1</b> Gráfico de velocidad $V_p$ .....	31
<b>Figura 2.2</b> Gráfico de velocidad $V_s$ – Abscisa 32+200 .....	32
<b>Figura 2.3</b> Gráfico de velocidad $V_p$ .....	32
<b>Figura 2.4</b> Gráfico de velocidad $V_s$ – Abscisa 32+400 .....	33
<b>Figura 2.5</b> Perfil 1 .....	40
<b>Figura 2.6</b> Perfil 3 .....	40
<b>Figura 2.7</b> Estratigrafía del área de estudio.....	41
<b>Figura 3.1</b> Datos procesados de refracción (condición estática) Perfil 1 .....	51
<b>Figura 3.2</b> Back análisis Perfil 1 .....	51
<b>Figura 3.3</b> Condiciones pseudoestáticas Perfil 1 .....	52
<b>Figura 3.4</b> Datos procesados de refracción (condición estática), Perfil 2 .....	53
<b>Figura 3.5</b> Back análisis, Perfil 2 .....	53
<b>Figura 3.6</b> Condiciones pseudoestáticas, Perfil 2.....	54
<b>Figura 3.7</b> Datos procesados de refracción (condición estática) Perfil 3 .....	55
<b>Figura 3.8</b> Back análisis Perfil 3 .....	55
<b>Figura 3.9</b> Condiciones pseudoestáticas Perfil 3.....	56
<b>Figura 3.10</b> Datos procesados de refracción (condición estática) Perfil 4 .....	57
<b>Figura 3.11</b> Back análisis Perfil 4 .....	57
<b>Figura 3.12</b> Condiciones pseudoestáticas Perfil 4.....	58
<b>Figura 3.13</b> Datos procesados de refracción (condición estática) Perfil 5 .....	59
<b>Figura 3.14</b> Back análisis Perfil 5 .....	59
<b>Figura 3.15</b> Condiciones pseudoestáticas Perfil 5.....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Metodologías para el análisis de la estabilidad de taludes .....	19
<b>Tabla 1.2</b> Método de las dovelas .....	21
<b>Tabla 2.1</b> Estratos determinados con la geofísica (Vp) abscisa 32+200.....	31
<b>Tabla 2.2</b> Estratos determinados con la geofísica (Vs) abscisa 32+200.....	32
<b>Tabla 2.3</b> Estratos determinados con la geofísica (Vp) abscisa 32+400.....	33
<b>Tabla 2.4</b> Estratos determinados con la geofísica (Vs) abscisa 32+400.....	33
<b>Tabla 2.5</b> Coordenadas de los perfiles .....	36
<b>Tabla 2.6</b> Parámetros empleados para determinar el RMR base .....	36
<b>Tabla 2.7</b> Valoración del estado de diaclasas.....	37
<b>Tabla 2.8</b> Características de las discontinuidades del macizo rocoso .....	38
Tabla 2.6 Valoración total del macizo rocoso .....	38
<b>Tabla 2.7</b> Clasificación del macizo rocoso (Bieniawski, 1989).....	39
<b>Tabla 2.8</b> Corrección por orientación de juntas.....	39
<b>Tabla 2.12</b> Datos de Refracción usados para análisis estático.....	42
<b>Tabla 2.13</b> Clasificación de los perfiles de suelo .....	42
<b>Tabla 2.14</b> Tipo de suelo y Factores de sitio $F_a$ .....	43
<b>Tabla 3.1</b> Registro fotográfico 2007-2020.....	46

## ÍNDICE DE FOTOS

<b>Foto 1.1</b> Erosión del talud de estudio, sitio Santa Rosa; Año 2020 .....	2
<b>Foto 1.2</b> Hundimiento en la vía, Ruta Spondylus, Año 2016 .....	3
<b>Foto 1.3</b> MM generado en el 2019 en la ruta Spondylus; trabajo previo a la creación de la ruta emergente.....	3
<b>Foto 1.4</b> MM generado en el 2019 en la ruta Spondylus .....	3
<b>Foto 1.5</b> Construcción de carril emergente por parte del MTOP.....	4
<b>Foto 1.6</b> Sector Santa Rosa vía ruta Spondylus. - Abscisa 32+200 y 32+500. Deslizamiento generado en la vía (sección verde) y abscisa 32+700(sección naranja); diciembre 2020.....	5
<b>Foto 1.7</b> Tramo de la vía afectada, año 2020 .....	5
<b>Foto 1.8</b> Diaclasamiento, año 2020 .....	8
<b>Foto 1.9</b> Ubicación geográfica zona de estudio (color azul) .....	9
<b>Foto 1.10</b> Estado actual del acantilado de la Zona de estudio en retroceso continuo.....	14
<b>Foto 1.11</b> Estratos presentes en el acantilado, acción del mar y disgregación de la roca .....	16
<b>Foto 1.12</b> Rotura circular típica con lóbulos internos (fotografía cortesía de Luis Jordá. Perú 2012).....	18
<b>Foto 1.13</b> Deslizamiento rotacional de la zona de estudio.....	19
<b>Foto 2.1</b> Carta Nacional de 1989.....	28
<b>Foto 2.2</b> Sitio Santa Rosa año 2020 .....	28
<b>Foto 2.3</b> Hundimiento 2020.....	29
<b>Foto 2.4</b> Levantamiento topográfico con RTK.....	30
<b>Foto 2.5</b> Abscisas donde se realizaron los ensayos de refracción sísmica .....	31
<b>Foto 2.6</b> Estación de toma de datos .....	34
<b>Foto 2.7</b> Toma de datos de dirección y buzamiento .....	34
<b>Foto 2.8</b> Fotografía tomada por uno de los drones.....	35
<b>Foto 3.1</b> Proceso erosivo presente en el año 2007 .....	44
<b>Foto 3.2</b> Movimiento de masa generado y exposición del material, año 2020 .....	44
<b>Foto 3.3</b> Acantilado Santa Rosa .....	49
<b>Foto 3.4</b> Presencia de humedad y pérdida de un carril de la vía.....	50
<b>Foto 3.5</b> Perfil 1 .....	50

<b>Foto 3.6</b> Perfil 2 .....	52
<b>Foto 3.7</b> Perfil 3 .....	54
<b>Foto 3.8</b> Perfil 4 .....	56
<b>Foto 3.9</b> Perfil 5 .....	58
<b>Foto 3.10</b> Propuesta de solución .....	61

## ÍNDICE DE ANEXO

<b>ANEXO 1</b> .....	68
Registro fotográfico	
<b>Foto. 1</b> Reconocimiento de la zona .....	68
<b>Foto. 2</b> Estación geomecánica.....	68
<b>Foto. 3</b> Estratos de suelo .....	69
<b>Foto. 4</b> Grietas de tracción.....	69
<b>Foto. 5</b> Reconocimiento de área.....	70
<b>Foto. 6</b> Referencia de estratos.....	70
<b>Foto. 7</b> Realización de Ortofoto .....	71
<b>Foto. 8</b> Ortofoto.....	71
<b>Foto. 9</b> Zona de estudio año 2014 .....	72

# CAPÍTULO 1

## 1 INTRODUCCIÓN

La morfología de las zonas costeras son productos de la historia geológica, dominados por procesos de sedimentación y erosión del ambiente marino, gran parte de las costas del mundo se encuentran en un proceso de retroceso y en muchas ocasiones han conducido al colapso y deslizamiento de las geoformas.

Para esta investigación se realizará el estudio de La Ruta Spondylus la cual ha perdido parte de la mesa de la vía generando una exposición directa del macizo rocoso y de los suelos que conforman los acantilados durante los últimos cinco años.

Producto de los movimientos en masa que han generado un proceso de retroceso del acantilado que han llevado al colapso el tramo entre la abscisa 32+200 hasta la abscisa 32+500 pudiendo ser afectada la abscisa 32+700 comprometiendo la estabilidad y circulación vehicular.

Se estudiará los factores naturales que inciden en la inestabilidad de los taludes en el tramo de la infraestructura vial entre las abscisas 32+200 y 32+700 en el año 2020 de la ruta del Spondylus, podrían provocar el avance progresivo pudiendo llegar al colapso total del carril existente.

El objetivo de esta investigación es analizar los procesos condicionantes y detonantes del retroceso del acantilado de la ruta del Spondylus en la zona de Santa Rosa entre las abscisas 32+200 hasta 32+700, con el fin de determinar la estabilidad y una posible solución a la infraestructura vial.

A través de la aplicación del software Slide v. 5.0, empleando el método de las dovelas (Bishop) se determinará la estabilidad del talud por medio de la obtención del FS de las superficies de falla del macizo rocoso del acantilado en la zona de estudio.

## 1.1 Antecedentes

El tramo de la Ruta del Spondylus desde el sector de San Lorenzo hasta la zona de Santa Rosa ha sido afectada por la presencia de Movimientos en Masa (MM), siendo uno de los detonantes principales la erosión causada por el mar cuando existe marea alta.

Información determinada en el informe Geológico-Geotécnico de la solución para la recuperación del tramo de la vía afectada Km. 32+200 realizado por el Ministerio de Transporte y Obras Publicas del Ecuador -MTOPE se lo denominará Informe Geológico-Geotécnico.(MTOPE, 2016).

La erosión en el sector las Piñas ha originado la pérdida directa del talud en la que se asienta, mientras que la zona de Santa Rosa ha ido erosionando el pie del talud, esto ha producido continuos deslizamientos que han dejado expuesto el macizo rocoso a factores ambientales de origen erosivo como se evidencia en la foto 1.1.



**Foto 1.1** Erosión del talud de estudio, sitio Santa Rosa; Año 2020

En marzo del año 2016 se hundió un tramo de 30m en la abscisa 32+200 en la ruta de Spondylus del sitio Santa Rosa previo al sismo ocurrido el 16 de abril del 2016 como se observa en la foto 1.2.

El MM no está relacionado con el sismo del 2016 por haberse generado antes del hecho.



**Foto 1.2** Hundimiento en la vía, Ruta Spondylus, Año 2016

En el mes de marzo del 2019 se produjo otro MM desde las abscisas 32+300 hasta la 32+500 como se aprecia en las fotos 1.3 y 1.4.



**Foto 1.3** MM generado en el 2019 en la ruta Spondylus; trabajo previo a la creación de la ruta emergente



**Foto 1.4** MM generado en el 2019 en la ruta Spondylus

Ambos acontecimientos originaron un desplazamiento del eje de la vía lo que obligó al Ministerio de Transporte y Obras Públicas construir un carril emergente que se observa en la foto 1.3 inserta a continuación.



**Foto 1.5** Construcción de carril emergente por parte del MTOP

## **1.2 Descripción del problema objeto de este estudio**

La ruta del Spondylus durante algunos años ha sufrido procesos erosivos en los taludes afectando varios sectores como es la zona Las Piñas que se han fragmentado varias secciones de la vía.

Estos eventos también se han presentado en la ruta del Spondylus a la altura de la población de Santa Rosa entre las abscisas 32+200 y 32+500, sin embargo, en la abscisa 32+700 también se evidencia un proceso de erosión y posibles MM como se observa en la foto 1.6.



**Foto 1.6** Sector Santa Rosa vía ruta Spondylus. - Abscisa 32+200 y 32+500. Deslizamiento generado en la vía (sección verde) y abscisa 32+700(sección naranja); diciembre 2020

Fuente: Google Earth.

Debido a los eventos de MM suscitados desde el 2016 hasta el 2020 que han afectado a la vía, es necesario estudiar el origen de estos procesos y plantear una posible solución para recuperar los tramos comprometidos que se observan en la foto 1.7.



**Foto 1.7** Tramo de la vía afectada, año 2020

### **1.3 Enfoque del estudio del problema**

La Ruta Spondylus ha perdido parte de la mesa de la vía generando una exposición directa del macizo rocoso y de los suelos que conforman los acantilados durante los últimos cinco años.

Los MM han generado un proceso de retroceso del acantilado que han llevado al colapso al tramo entre la abscisa 32+200 hasta la abscisa 32+500 pudiendo ser afectada la abscisa 32+700 comprometiendo la estabilidad y circulación vehicular.

Los factores naturales que inciden en la inestabilidad de los taludes en el tramo de la infraestructura vial entre las abscisas 32+200 y 32+700 en el año 2020, de la ruta del Spondylus podrían provocar el avance progresivo pudiendo llegar al colapso total del carril existente.

Se analizará los procesos condicionantes y detonantes del retroceso del acantilado en la zona de Santa Rosa, para la identificación morfométrica de los procesos MM.

A través de la aplicación del software Slide v. 5.0, empleando el método de las dovelas (Bishop) se determinó la estabilidad del talud por medio de la obtención del FS de las superficies de falla del macizo rocoso del acantilado en la zona antes descrita.

Como conclusión a este análisis se plantea una posible solución a la afectación del tramo de estudio.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Analizar los procesos condicionantes y detonantes del retroceso del acantilado de la ruta del Spondylus en la zona de Santa Rosa entre las abscisas 32+200 hasta 32+700, con el fin de determinar la estabilidad y una posible solución a la infraestructura vial.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Realizar el levantamiento morfométrico de los MM que han producido el retroceso del Acantilado mediante datos obtenidos insitu.
2. Analizar los cambios geomorfológicos que han ocurrido en el acantilado a través del tiempo, mediante el uso de fotografías aéreas, orto fotos e imágenes satelitales.
3. Estudiar la información existente geológica-geotécnica, para determinar la calidad de roca mediante el análisis de la clasificación geomecánica del macizo rocoso del acantilado.
4. Establecer los detonantes, considerando aspectos naturales y antrópicos para que se produzcan MM que han provocado el retroceso del acantilado.
5. Conocer la incidencia generada en la infraestructura vial de la Ruta del Spondylus por la presencia del retroceso del acantilado, mediante análisis analítico para determinar tipos de inestabilidades y el factor de seguridad.

6. Determinar posibles soluciones del tramo afectado de la vía de la ruta del Spondylus, a partir de los parámetros geomecánicos, datos geomorfológicos y de la determinación de los detonantes.

## **1.5 Información relacionada al área de estudio**

### **1.5.1 Generalidades**

En la zona del hundimiento, de acuerdo con la información geológica existente, de lo analizado en campo y lo determinado en el Informe Geológico-Geotécnico realizado por el MTOP (MTOP, 2016), el sector de Santa Rosa está compuesto de rocas de origen sedimentario de color café claro, grano fino de limo y arcillas tienden a ser matriz de lutitas y en los niveles superiores se encuentran muy fracturadas.

El área de estudio pertenece a la formación San Mateo del Eoceno y se encuentra cerca de los aluviones modernos (Cuaternarios Recientes) cuya composición varía de acuerdo con la zona de alimentación observándose intercalaciones de arcilla y limo.

En la foto 1.8 se observa la presencia de diaclasas (circulo amarillo), posiblemente procedente por tectonismo y por procesos erosivos naturales.





**Foto 1.8** Diaclasamiento, año 2020

### **1.5.2 Ubicación geográfica**

El Cantón Manta está ubicado en la saliente más occidental de América del Sur sobre el Océano Pacífico, se extiende a ambos lados de la línea equinoccial con las siguientes coordenadas en UTM 532326.79 E, 69892411.17 N.

Limita al Norte con el Océano Pacífico, al Sur con el Cantón Montecristi, al Este con los cantones de Jaramijó y Montecristi y al Oeste con el Océano Pacífico.

En la foto 1.9 se observa la ubicación geográfica del Cantón Manta, la zona de estudio sombreada de color celeste y la ruta Spondylus de color rojo.

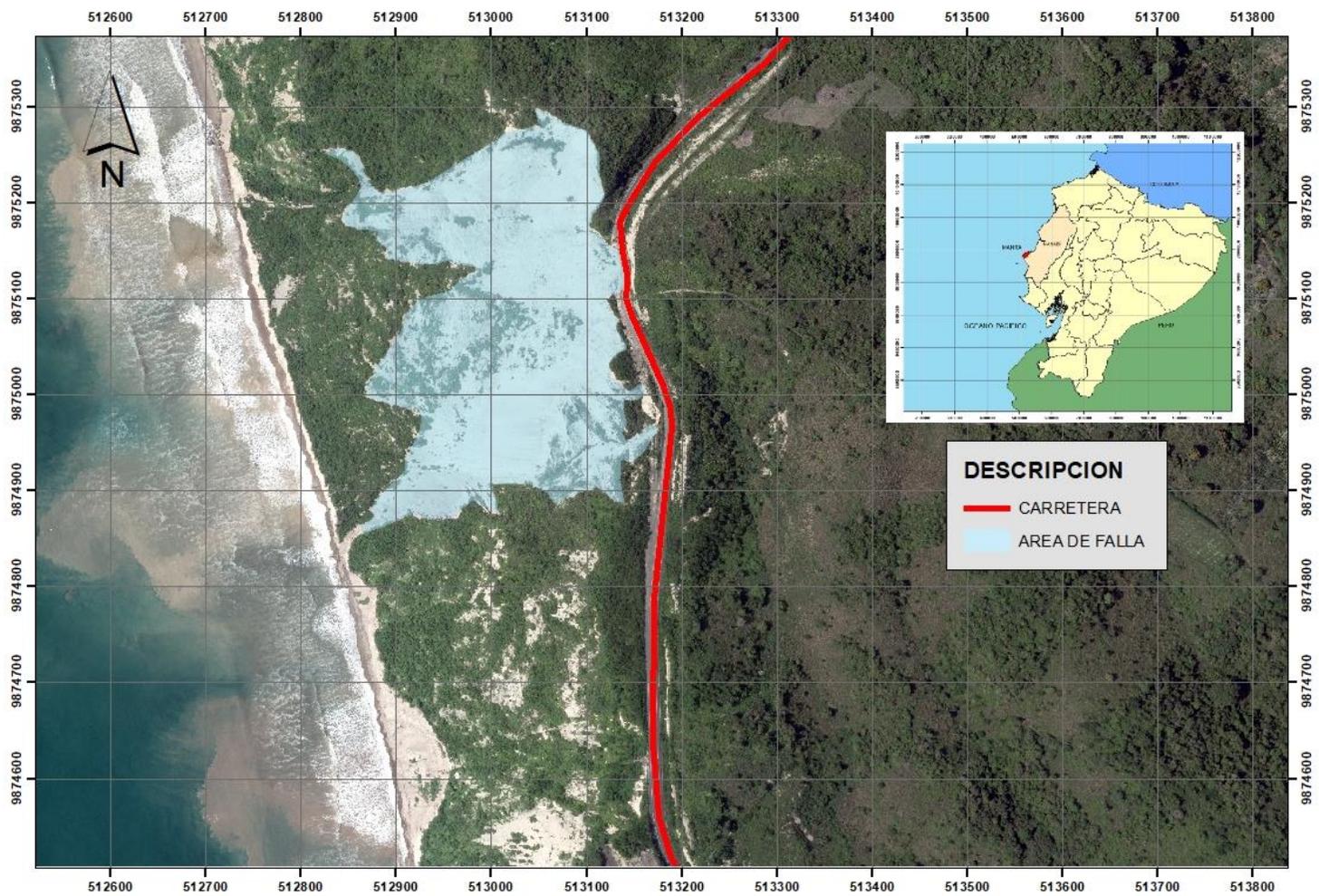


Foto 1.9 Ubicación geográfica zona de estudio (color azul)

### **1.5.3 Clima**

La zona costanera donde se encuentra el Cantón Manta posee un clima Sub-desértico tropical. Está influenciado por corrientes atmosféricas y tropical produciendo el fenómeno del Niño con fuertes lluvias y temperaturas altas.

El sitio Santa Rosa, ubicado en la Parroquia Rural San Lorenzo, presenta una temperatura promedio anual de 26°C con una máxima de 29°C y una mínima de 26°C; una precipitación media que se registra desde los 500 a 1000 mm anualmente, y una humedad relativa de 70 a 85%. (GADPSL, 2018).

## **1.6 Fundamentación teórica**

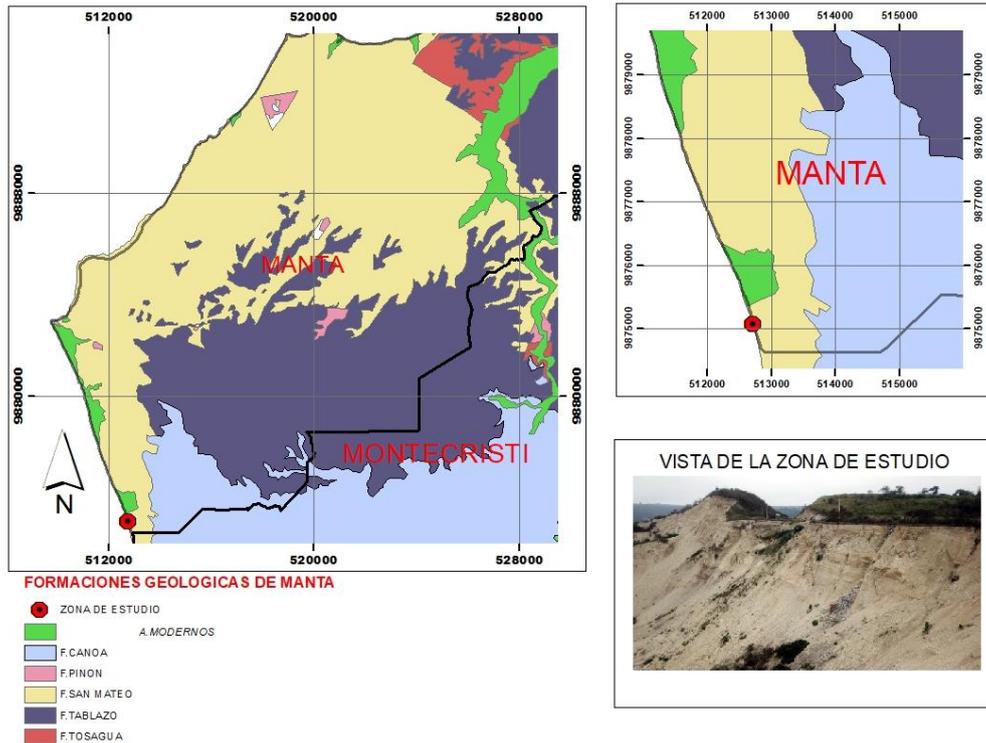
### **1.6.1 Geología regional**

En Ecuador, las secuencias de terrazas marinas se ubican en 3 zonas, las cuales son del norte al sur: 1) Costa Norte cerca de Esmeraldas; 2) Península de Manta e Isla de la Plata y 3) Margen norte del Golfo de Guayaquil (Península de Santa Elena e Isla Puná).

El paisaje es caracterizado por el desarrollo de amplias superficies planas (hasta 30Km) que han sido tradicionalmente denominadas «Tablazos» correspondiente al Arco de Talara.

La formación Tablazo está constituida por depósitos de areniscas bioclásticas y conglomerado. Sin embargo, se reconocen terrazas marinas formadas en roca dura, creadas por el efecto erosivo de las olas.

De manera general, la ciudad de Manta está ubicada en las formaciones Tablazo con presencia de otras formaciones como se observa en la figura 1.1.



**Figura 1.1** Formaciones geológicas presentes en la zona de Manta  
**Fuente:** Instituto Geofísico Militar -IGM

### 1.6.2 Geología local

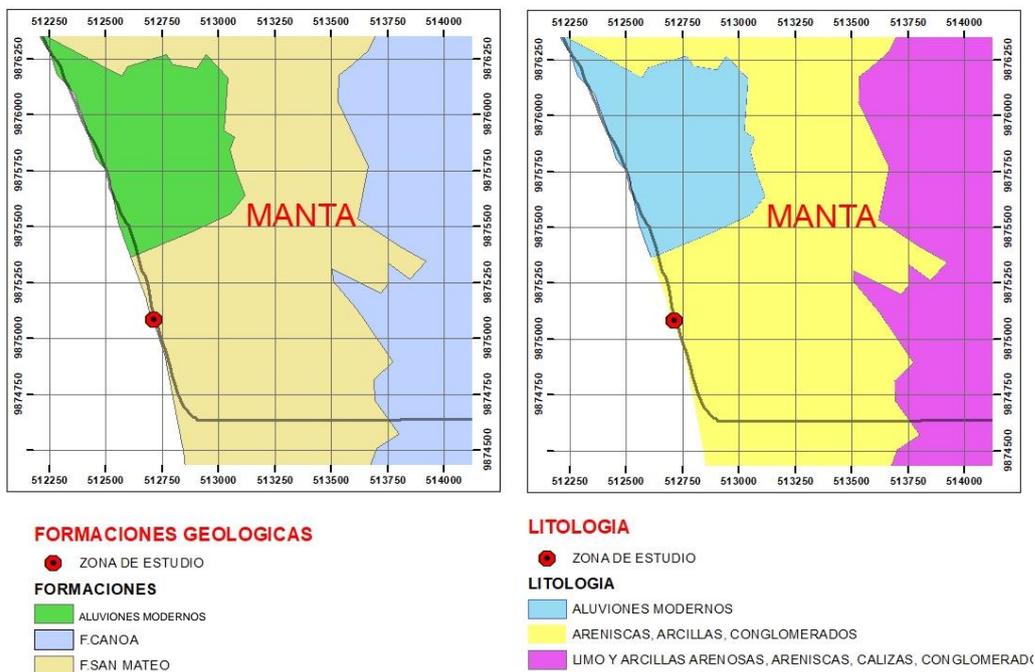
En la parroquia San Lorenzo, la Formación Tablazo está completamente erosionada y aparecen formaciones más antiguas como la Fm. San Mateo (Benítez, 1980).

La litología de la Fm San Mateo (Eoceno medio-Eoceno superior, 40 Ma), está compuesta en la parte inferior por lutitas de origen pelágico y hemipelágico, propias de una cuenca de talud de fosa y en la parte superior por secuencias de conglomerados y fases de intercalaciones de lutitas y areniscas como se observa en la figura 1.2.

El miembro inferior tiene una edad que va del Eoceno medio al límite Eoceno medio-Eoceno superior, mientras que el miembro superior es de edad Eoceno superior (Navarrete, 1985).

El acantilado estudiado se encuentra en la Fm San Mateo cuya composición parte de origen sedimentario, presencia de lutitas, en los niveles superiores se

encuentran muy fracturadas y meteorizadas, edad Eocénica.(Laínez Medina, 2009).



**Figura 1.2** Formaciones geológicas y litología de la zona de estudio  
**Fuente:** Instituto Geofísico Militar -IGM

### 1.6.3 Acantilados

Los acantilados se consideran parte de los accidentes geológicos que se generan en la zona costera al igual que las playas modelados por las olas y las dunas costeras (Castedo Ruiz, 2012).

Los acantilados litorales se originan mediante la acción erosiva del oleaje contra la base del terreno costero.(Schillizzi, Gelos, y Spagnuolo, 2004).

Estos evolucionan en el tiempo mediante procesos gravitacionales, con el desarrollo de distintas formas de inestabilidad, que dan lugar a la caída de rocas y materiales (Benavente, Gracia, Reunión, y De Geomorfología, 2006).



**Figura 1.3** Acantilado actual de la zona de estudio  
**Fuente:** Zona de estudio

Los acantilados están sometidos a procesos erosivos de origen marino y subaéreo (Sunamura, 1993) y el impacto que se da en ellos es más puntual en el tiempo y con pocas incidencias antrópicas (Núñez Ravelo, Hernández Labrador, y Ugas Pérez, 2017). En la figura 1.3 se observa el acantilado actual de la zona de estudio.

En lo concerniente a las acumulaciones de arena sobre el acantilado, es importante destacar que geomorfológicamente estas corresponden a depósitos eólicos, dado que su orientación fundamental está determinada por la dirección de los vientos dominantes (Strahler y Strahler, 1989)...(Dra. Sibila A., Dr. Alejandro J., Dra. M. Cintia, Dr. Gerardo M.E., y Dra. M. Elizabeth, 2011).

#### **1.6.4 Proceso de retroceso del acantilado**

El acantilado puede ser degradado por procesos subaéreos o evolucionar a través de un proceso cíclico que implica la eliminación del talud y la redistribución por fuerzas hidrodinámicas (Violante, 2009).

La erosión basal es un factor crítico para la inestabilidad del acantilado (Anderson y Richards, 1987) debido a la precipitación, la infiltración y las aguas subterráneas, mientras que la acción de otros procesos en la parte superior del acantilado (acción fluvial, remoción en masa y meteorización), contribuyen significativamente a los cambios costeros (Lawrence, 1994).

Una consecuencia del retiro del acantilado es la creación de plataformas de abrasión, que está relacionada con las actividades de extracción y abrasión marina, asociados a la bio-erosión y meteorización (Haslett, 2000; Sunamura, 1993; Trehaille, 2004).



**Foto 1.10** Estado actual del acantilado de la Zona de estudio en retroceso continuo

Fucks (2015) fundamenta que, la heterogeneidad de las rocas, su resistencia, tipo de cementación, orientación y topografía de la costa, presencia o no de plataformas de abrasión, playas y afloramientos rocosos o los cambios del nivel del mar, juegan también un rol importante en la evolución del acantilado.

En base a la teoría de (Fucks et al., 2015) y a lo evidenciado en la zona de estudio al realizar el levantamiento insitu en la foto 10 se observa los desprendimientos, deslizamiento y la plataforma de abrasión que es el resultado del proceso de retroceso del acantilado.

En el acantilado de la zona de estudio se aprecian procesos erosivos por escorrentía en la parte superior durante las fuertes lluvias suscitadas en el sector y a causa de malos sistemas de evacuación de aguas ubicadas en pendientes.

A pesar de que el proceso de erosión es lento, la ausencia de una plataforma costera, playa u otra estructura rocosa en el pie del acantilado puede producir el desmoronamiento y colapso del tramo de estudio.

### **1.6.5 Proceso y factores que intervienen en el modelado actual de los acantilados**

La erosión de los acantilados se encuentra en función de muchos factores, en su mayoría los autores señalan como principales la resistencia de la roca y la energía del oleaje (Trenhaile y Trenhaile, 1987).

Estas investigaciones tienen muy en cuenta aspectos estructurales como el buzamiento y dirección de los estratos o los planos de fractura, a los que consideran también como factor básico para determinar la forma de las plataformas precedentes.

(Blanco Chao y Pérez Alberti, 2017) deducen que, si bien el oleaje es un agente fundamental en el retroceso de los acantilados, su acción está sumamente controlada por los elementos estructurales y por el grado de meteorización de las formas y materiales sobre los que actúa.

El aerosol marino, formado por pequeñas burbujas que descargan en el aire partículas líquidas, cumple un rol clave al introducir partículas de sal en los intersticios de la roca, las cuales aumentan su tamaño ejerciendo presión en la misma.

El proceso de hidroclastía, dado por la alternancia de humectación y desecación en los materiales constitutivos (arcilla y limos), ocasiona expansión y contracción y la posterior disgregación de la roca. Este proceso está favorecido por la acción desecante del viento y por la radiación solar.(Dra. Sibila A. et al., 2011).

En la foto 1.11 se observa los estratos presentes en el acantilado, la acción del mar y disgregación de la roca en la zona de estudio.



**Foto 1.11** Estratos presentes en el acantilado, acción del mar y disgregación de la roca

## 1.6.6 Criterio de rotura

### 1.6.6.1 Criterio de Mohr-Coulomb

La rotura de Coulomb representa una envolvente de falla de tipo lineal en la que el ángulo de fricción interna y la cohesión permanecen constantes.

El criterio Mohr-Coulomb establece diferentes expresiones que relacionan los esfuerzos actuantes en el momento de alcanzarse las deformaciones permanentes o plásticas en el material.

El criterio enuncia la resistencia al corte a lo largo de un plano en un estado triaxial de tensiones, obteniéndose la relación entre las tensiones normales y tangenciales actuantes en el momento de la rotura dada por la expresión matemática ecuación. 1.1 (Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, y Oteo, 2002).

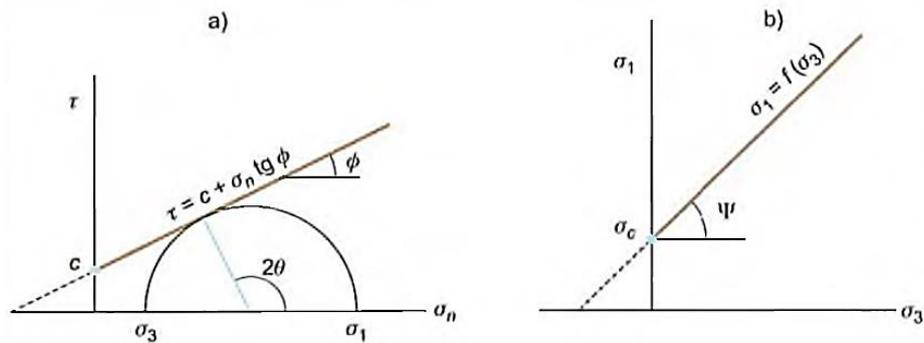
$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad (1.1)$$

Donde:

$c$  y  $\phi$  son la cohesión y ángulo de fricción interna

$\tau$  y  $\sigma_n$  son tensiones tangenciales y normal sobre el plano de rotura

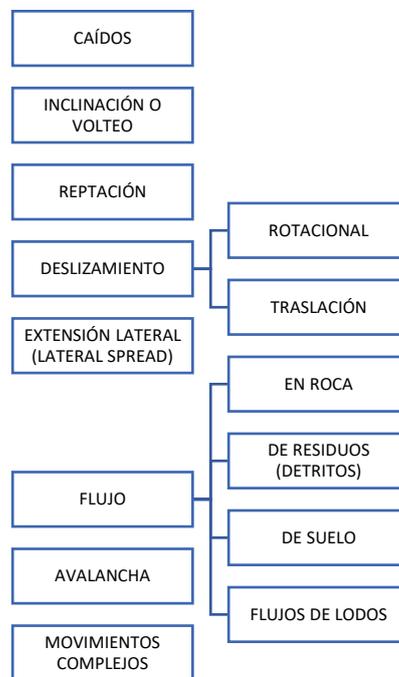
El criterio puede expresarse en función de los esfuerzos principales  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ , también se debe tener presente que un estado tensional ubicado por debajo de las envolventes no se producirá rotura. (Gonzales de Vallejo et al., 2002). Nótese en la figura 1.4.



**Figura 1.4** Representación de la envolvente de Mohr-Coulomb en términos de esfuerzos tangenciales (a) y esfuerzos principales (b) y parámetros  $c$  y  $\phi$   
**Fuente:** Ingeniería Geológica (1st ed.), Gonzales de Vallejo, 2002

### 1.6.7 Tipos de movimientos en masa

La clasificación de los movimientos más generalizada es la de Varnes (1978), actualizada por Cruden y Varnes (1996) que definen las descritas en la figura 1.5.



**Figura 1.5** Clasificación de los movimientos Cruden y Varnes (1996)  
**Fuente:** Slope movement types and processes (Cruden y Varnes (1996)

### 1.6.7.1 Superficie de rotura en un deslizamiento rotacional

La superficie de falla en un deslizamiento rotacional es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento.

El deslizamiento posee una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento que se observan desde una vista superior. El movimiento produce un área superior de hundimiento y otra inferior de deslizamiento generándose comúnmente, flujos de materiales por debajo del pie del deslizamiento.

En diversos deslizamientos rotacionales se forma una superficie cóncava en forma de “cuchara”. Generalmente, el escarpe debajo de la corona tiende a ser semivertical, lo cual facilita la ocurrencia de movimientos retrogresivos.



**Foto 1.12** Rotura circular típica con lóbulos internos (fotografía cortesía de Luis Jordá. Perú 2012)

En la foto 1.13 se observa que el movimiento es circular, dado que existen numerosas grietas la mayoría de ellas hacia el deslizamiento, existe un deslizamiento limpio, la parte superior del talud tras la falla es vertical.



Foto 1.13 Deslizamiento rotacional de la zona de estudio

### 1.6.8 Metodología para el análisis de la estabilidad de taludes

En la tabla 1.1 se presenta un resumen de las metodologías utilizadas en los análisis convencionales de estabilidad de taludes.

Tabla 1.1 Metodologías para el análisis de la estabilidad de taludes

<b>Método</b>	<b>Parámetros Utilizados</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
<i>Límite de equilibrio</i>	Topografía del talud, estratigrafía, ángulo de fricción, cohesión, peso unitario, niveles freáticos y cargas externas.	Existe una gran cantidad de paquetes de software. Se obtiene un número de factor de seguridad. Analiza superficies curvas, rectas, cuñas, inclinaciones, etc. Análisis en dos y tres dimensiones con muchos materiales, refuerzos y condiciones de nivel de agua.	Genera un número único de factor de seguridad sin tener en cuenta el mecanismo de inestabilidad. El resultado difiere de acuerdo con el método que se utilice. No incluye análisis de las deformaciones
<i>Esfuerzo-deformación continuos</i>	Geometría del talud, propiedades de	Permite simular procesos de deformación.	Es complejo y no lineal. Comúnmente no

<b>Método</b>	<b>Parámetros Utilizados</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
	los materiales, propiedades elásticas, elastoplásticas y de "creep". Niveles freáticos, resistencia.	Permite determinar la deformación del talud y el proceso de falla. Existen programas para trabajar en dos y tres dimensiones. Se puede incluir análisis dinámico y análisis de "creep".	se tiene conocimiento de los valores reales a utilizar en la modelación. Se presentan varios grados de libertad. No permite modelar roca muy fracturada.
<i>Discontinuos Esfuerzo-deformación elementos discretos</i>	Geometría del talud, propiedades del material, rigidez, discontinuidades resistencia y niveles freáticos.	Permite analizar la deformación y el movimiento relativo de bloques.	Existe poca información disponible sobre las propiedades de las juntas. Se presentan problemas de escala, especialmente en los taludes en roca.
<i>Cinemáticos estereográficos para taludes en roca</i>	Geometría y características de las discontinuidades. Resistencia a las discontinuidades.	Es relativamente fácil de utilizar. Permite la identificación y análisis de bloques críticos, utilizando teoría de bloques. Pueden combinarse con técnicas estadísticas.	Útiles para el diseño preliminar. Se requiere criterio de ingeniería para determinar cuáles son las discontinuidades críticas. Evalúa las juntas.
<i>Dinámica de caídos de roca</i>	Geometría del talud, tamaño y forma de los bloques y coeficiente de restitución.	Permite analizar la dinámica de los bloques y existen programas en dos y tres dimensiones.	Existe muy poca experiencia de su uso en los países tropicales
<i>Dinámica de flujos</i>	Relieve del terreno. Concentración de sedimentos, viscosidad y propiedades de la mezcla suelo-agua.	Se puede predecir el comportamiento, velocidades, distancia de recorrido y sedimentación de los flujos.	Se requiere calibrar los modelos para los materiales de cada región. Los resultados varían de acuerdo con el modelo utilizado.

**Fuente:** Análisis Geotécnico Capítulo 4 (Suárez Díaz, 2009)

Para el desarrollo de la investigación se utilizó el método de equilibrio límite que ha sido utilizado por muchos años en el análisis de movimiento de taludes.

### 1.6.9 Teoría de equilibrio limite

Este tipo de análisis requiere información sobre la resistencia del suelo, pero no se requiere sobre la relación esfuerzo-deformación.

En la zona de estudio se cuenta con información de topografía del talud, estratigrafía, ángulo de fricción, cohesión, peso unitario, niveles freáticos y cargas externas.

El sistema de equilibrio límite supone que, en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0.

El análisis se puede realizar estudiando directamente la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas.

Para el desarrollo de la investigación se utilizó el Software Slide 5.0 que es un programa de estabilidad de taludes de equilibrio de límite 2D para evaluar el factor de seguridad o probabilidad de falla, de superficies de falla circulares o no circulares en pendientes de suelo o rocas de la firma Rocscience.

### 1.6.10 Método de las dovelas

**Tabla 1.2** Método de las dovelas

Método	Superficies de Falla	Equilibrio	Características
<b>Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927)</b>	Circulares	Fuerzas	No tiene en cuenta las fuerzas entre dovelas.
<b>Bishop simplificado (Bishop 1955)</b>	Circulares	Momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante, entre dovelas, son cero.
<b>Janbú Simplificado (Janbú 1968)</b>	Cualquier forma	Fuerzas	Asume que no hay fuerza de cortante entre dovelas.
<b>Spencer (1967)</b>	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas.
<b>Morgenstern y Price (1965)</b>	Cualquier forma	Momentos y fuerzas	Las fuerzas entre dovelas, se asume, que varían de acuerdo con una función arbitraria.

Fuente: Análisis Geotécnico Capítulo 4 (Suárez Díaz, 2009)

En la investigación se utilizó el método de Bishop simplificado dada que la falla presentada en el talud tiene una superficie de falla circular como se aprecia en la foto 1.13.

#### **1.6.11 Métodos geofísicos**

Los métodos geofísicos permiten investigar zonas sin acceso para el ser humano, como el interior de la tierra. En la búsqueda de yacimientos metalíferos (prospección, exploración) estos métodos pueden proporcionar información sin hacer una perforación de altos costos.

Existen varios métodos geofísicos los cuales aprovechan propiedades físicas de las rocas. Los resultados de investigaciones geofísicas son hojas de datos (números) que esperan a una interpretación.

A continuación, se enlistan los principales métodos que se han desarrollado hasta hoy:

- Método sísmico
- Método de resistividad eléctrica
- Métodos magnéticos y gravimétricos
- Refracción/Reflexión
- Sondeos eléctricos verticales (SEV)
- Tomografía Eléctrica o ERT
- Electromagnetismo
- Georadar o GPR
- El PID (Photo Ionization Detector) y el
- IR (Infra Red Analyze)

Para el desarrollo de esta investigación se ha utilizado la sismica de refracción con la información proporcionada por el Ministerio de Transporte y Obras Publicas ya que este método mide el tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y la llegada de éstas a diferentes puntos de observación.

### 1.6.11.1 Parámetros obtenidos por estudios geofísicos

Los parámetros geomecánicos se han obtenido del Informe Geológico-Geotécnico del MTOP del estudio de sismica de refracción, en el que se utilizó los resultados de las velocidades  $V_p$  y  $V_s$ , realizando el cálculo estimado de las propiedades físico-mecánicas de los materiales, en lo que se refiere a los parámetros de resistencia: cohesión ( $c$ ) y ángulo de fricción interna ( $\Phi$ ) y el peso volumétrico ( $\gamma$ ), peso volumétrico ( $\gamma_0$ ), de los diferentes horizontes sísmicos interpretados, se ha utilizado las siguientes expresiones que toman como base las velocidades de las ondas transversales y longitudinales:

Peso específico ( $\gamma$ )

$$\gamma = \gamma_0 + 0.002V_p \quad (KN/m^3) \quad (1. 2) \text{ (Naranjo Aguay y Dranichnokow, 2012)}$$

Fricción interna ( $\varphi$ )

$$\varphi = \frac{9.17}{\sqrt{\frac{V_p}{V_s} - 1.41}} + 16 \quad (grados) \quad (1. 3) \text{ (Naranjo Aguay y Dranichnokow, 2012)}$$

Cohesión ( $C$ )

$$C = \frac{0.554}{\sqrt{\frac{V_p}{V_s} - 1.41}} - 0.073 \quad (kg/cm^2) \quad (1. 4) \text{ (Naranjo Aguay y Dranichnokow, 2012)}$$

### 1.6.12 Análisis pseudoestático

El análisis pseudoestático, consiste en aplicar una fuerza horizontal en todos los elementos sujeto a análisis en el talud, denominado coeficiente  $k$ , el mismo que es multiplicado por el peso de cada elemento.

El punto donde debe ir localizada la fuerza es de gran importancia en el análisis. Para ello, (Terzaghi, 1950) recomendó que esta fuerza debe ir aplicada en el centro de gravedad de cada dovela (Duncan y Wright, 2005).

Este método se basa generalmente en el mismo procedimiento que utiliza cualquier método de equilibrio límite, la única variación es que se le adiciona fuerzas pseudoestáticas tanto horizontales como verticales producto del evento sísmico.

Dichas fuerzas sísmicas deben ser proporcional al peso de la masa de deslizamiento potencial y adicionalmente a los coeficientes sísmicos  $K_h$  y  $K_v$ , se encuentran valorizadas en el número de veces la aceleración de gravedad originada por el sismo.

La razón por la cual se emplea las fuerzas pseudoestáticas actuantes es porque los sismos ocurren generalmente en períodos cortos, durante los cuales el suelo no se drena apropiadamente. En estos milisegundos las fuerzas actuantes cambian de sentido varias veces. La mayoría de los movimientos subsuperficiales tienden a tener traslación, por ello la importancia del análisis de dichas fuerzas (Ibadango, 2018).

El coeficiente de aceleración horizontal ( $k_h$ ) se supone siempre positivo y su efecto es siempre desfavorable. El coeficiente de aceleración vertical ( $k_v$ ) puede recibir tanto valores positivos como negativos.

Para determinar el valor del coeficiente de aceleración horizontal ( $k_h$ ), se usó la ecuación 1.5 descrito en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-GC (2015), mismo que se detalla a continuación:

$$k_h = 0.6 (a_{max})/g \quad (1.5) \text{ (MIDUVI, 2015b)}$$

Donde:

$$a_{max} = Z * F_a$$

$F_a$  = fuerzas actuantes

Los valores de  $Z$  y  $F_a$  se encuentran definidos en las secciones 3.1.1 y 3.2.2 de la NEC-SE-DS. En el Ecuador se han determinado seis zonas sísmicas caracterizadas por el factor de valor  $Z$ . El valor  $Z$  representa la aceleración

máxima en roca esperada para el sismo y expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

En la figura 1.5 se observa el mapa de zonas sísmicas del Ecuador, que determino para nuestro estudio el valor de  $Z=0.5$ .

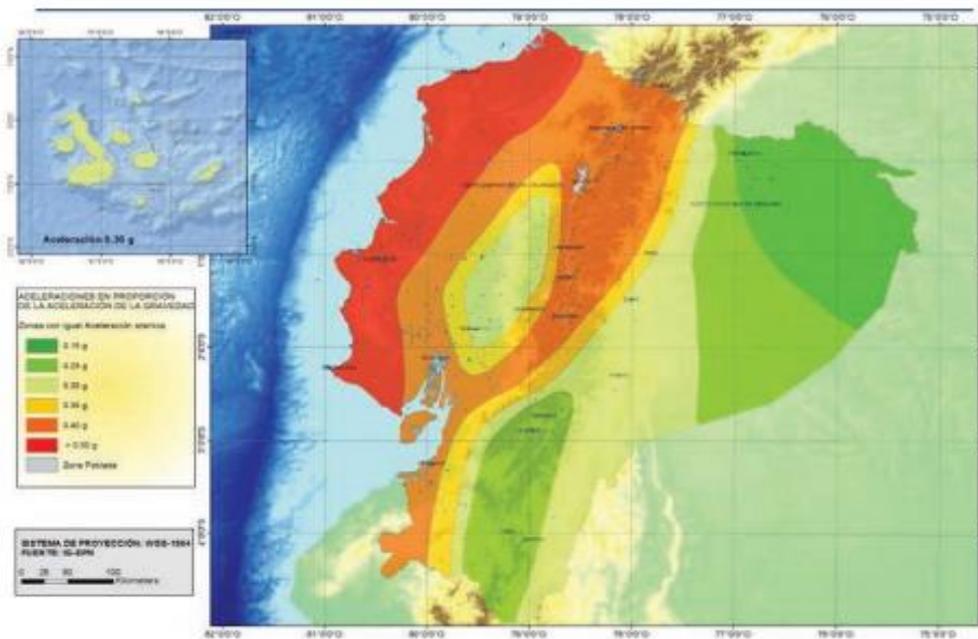


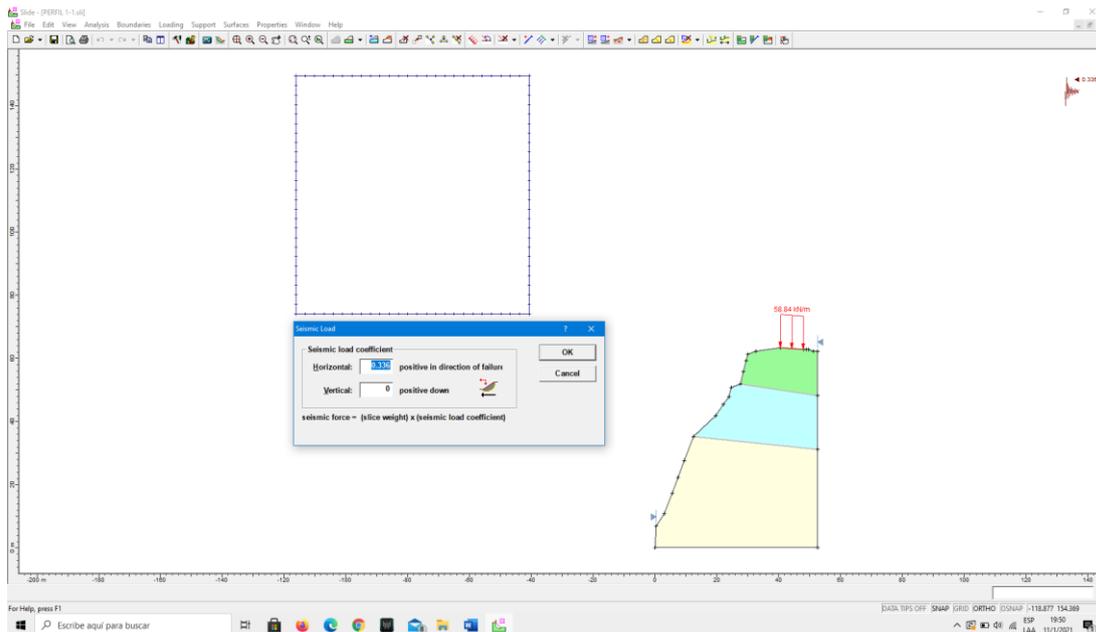
Figura 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z

El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Tabla 1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

**Figura 1.6** Zonas sísmicas para propósito de diseño y valor del factor de zona Z  
**Fuente:** NEC-SE-DS



**Figura 1.7** Coeficiente sísmico horizontal o  $K_h$  aplicado en el software para el análisis  
**Fuente:** Mapeo en sitio, refracción sísmica

### 1.6.13 Back análisis

El Back Análisis puede usarse para determinar la resistencia del material en el fallo de la pendiente, o la resistencia del material requerida para lograr un factor de seguridad determinado.

El análisis requiere un número suficiente de observaciones de fallo para superar el efecto de los parámetros de entrada iniciales. Los parámetros se actualizan según su incertidumbre, que viene determinada por la cantidad de datos que los soportan.

El modelo bayesiano también se utiliza para actualizar la estimación de los parámetros de entrada en función del back análisis de la falla de pendiente. En este caso, la condición  $FS=1$  se trata como un punto de datos que se compara con la predicción del modelo de  $FS$ . (Contreras y Brown, 2019).

# CAPÍTULO 2

## 2 Metodología

Para conocer la estabilidad del talud de estudio, es precisa una metodología cuantitativa, a través de la recolección de datos insitu, datos bibliográficos de la geología de la zona, ortofotos y posterior procesamiento de los datos en los softwares Slide v.5.0, ArcGis, Google Earth.

El desarrollo de la investigación se la realizó en tres fases:

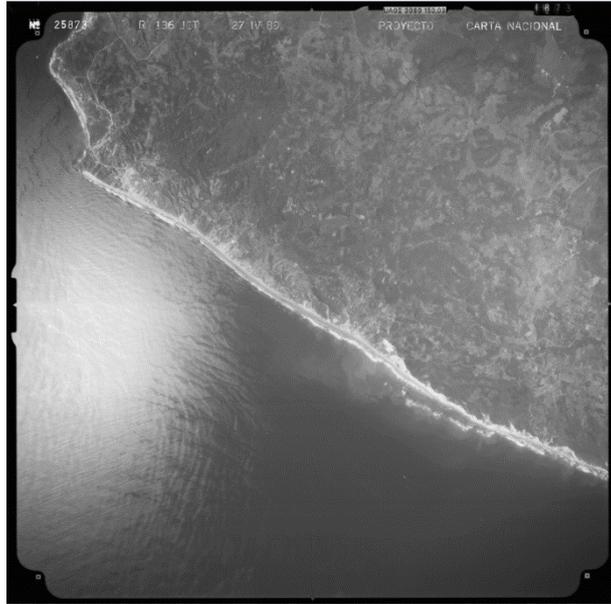
- Recopilación de información
- Trabajo de campo
- Procesamiento de información.

### 2.1 Recopilación de Información

Se realizó la recopilación de información geológica, geomorfológica y geotécnica a partir del Informe Geológico-Geotécnico oficial realizado por el Ministerio de Obras Públicas(MTOP, 2016), de donde se obtuvo los resultados de ensayos de refracción sísmica del sitio afectado.

Se obtuvo del Instituto Geográfico Militar las ortofotos correspondientes a los vuelos nacionales de los años 1977, 1989, 2014 y 2020 que poseen una resolución optima del área de estudio.

En la foto 2.1 se observa la parroquia San Lorenzo y el sitio Santa Rosa del año 1989.



**Foto 2.1** Carta Nacional de 1989  
Se observa el sitio Santa Rosa el año 2020 en la Foto 2.2



**Foto 2.2** Sitio Santa Rosa año 2020

Se realizó una recopilación de fotografías del área e imágenes históricas en Google Earth de los años 2007, 2009, 2011, 2014, 2016, 2017, 2018, 2020, que permitieron tener un concepto previo de los procesos de retrocesos que se han generado en la zona de estudio.

También se obtuvo del Sistema Nacional de Información Geográfica las capas de información geográfica y geológica del Ecuador.

### **2.1.1 Datos geológicos de la zona**

En el informe Geológico-Geotécnico del 2016 realizado por el MTOP en la zona de estudio se evidencia que existe un hundimiento. Se indica que el sector está constituido de rocas de origen sedimentario, de color café claro, grano fino de limo y arcillas tienden a ser matriz de lutitas que en los niveles superiores se encuentran muy fracturadas, pertenecientes a la formación San Mateo de edad Eocénica; a estas rocas sobreyacen rocas meteorizadas de color café cremoso, de grano fino, cuya roca original son las mismas lutitas.

En la foto 2.3 del año 2020, se observa el hundimiento progresivo generado en la ruta Spondylus.



**Foto 2.3** Hundimiento 2020

### **2.1.2 Datos geomorfológicos del sitio**

Los datos de información geomorfológicos se los obtuvo a través de escenas de Google Earth y fotografías aéreas que fueron analizadas en Arcgis para determinar el área afectada, esto debido a la inestabilidad de la zona de estudio.

No se pudo realizar un levantamiento topográfico completo del lugar dado el riesgo de transitar por el acantilado. Por tanto, se realizó la toma de datos en las zonas bajas, altas y ciertos detalles representativos de los perfiles. Como se observa en la foto 2.4.



**Foto 2.4** Levantamiento topográfico con RTK

### **2.1.3 Parámetros geotécnicos del sitio de estudio**

Los parámetros resistentes se estimaron a partir de correlaciones con ensayos de refracción sísmica realizados por el Ministerio de Transporte y Obra Pública permitiendo establecer una columna estratigráfica de los cinco perfiles, se observa en las figuras 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 y en las tablas 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4 la información básica utilizada para el análisis.

En la foto 2.5 se visualiza las abscisas donde se realizaron los ensayos de refracción sísmica



Foto 2.5 Abscisas donde se realizaron los ensayos de refracción sísmica

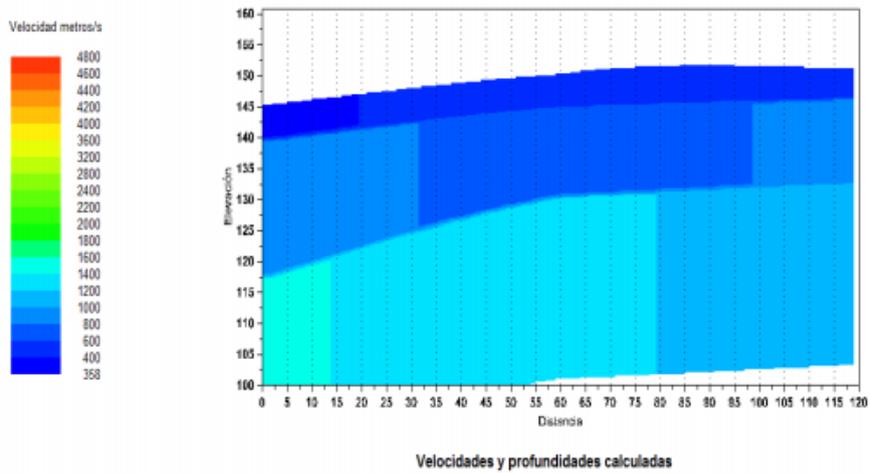
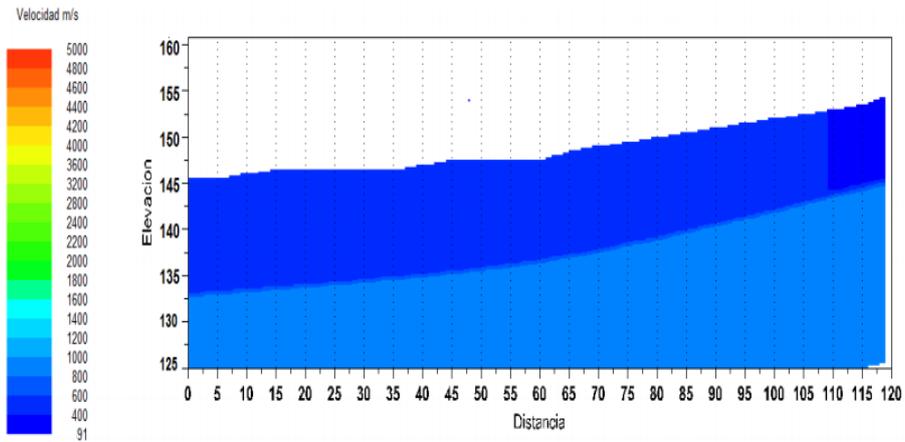


Figura 2.1 Gráfico de velocidad  $V_p$   
Fuente: Informe Geológico-Geotécnico (MTO, 2016)

Tabla 2.1 Estratos determinados con la geofísica ( $V_p$ ) abscisa 32+200

<i>Estrato</i>	<i>Espesores[m]</i>	<i>Velocidad sísmica <math>V_p</math> [m/s]</i>	<i>Tipos de material estimado</i>
1	5,20 – 5,90	358 – 400	Cobertura superficial de limos interestratificada con fragmentos de lutitas sueltas y algo húmedas
2	12,20 – 14,60	600-1000	Estrato de lutitas muy fracturado y meteorizado con algo de compacidad

3	No definido	1200-1600	Sustrato de lutita fracturada y meteorizada de mediana compacidad
---	-------------	-----------	---

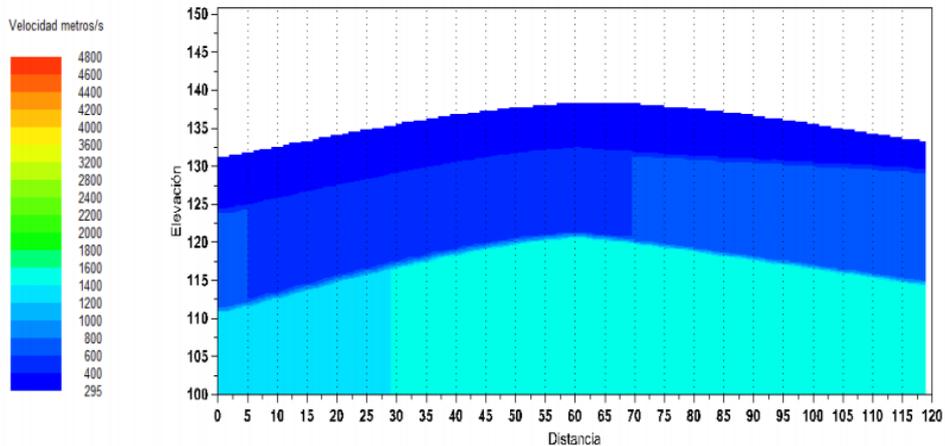


Velocidades y profundidades calculadas

**Figura 2.2** Gráfico de velocidad Vs – Abscisa 32+200  
**Fuente:** Informe Geológico-Geotécnico (MTOPI, 2016)

**Tabla 2.2** Estratos determinados con la geofísica (Vs) abscisa 32+200

<i>Estrato</i>	<i>Espesores[m]</i>	<i>Velocidad sísmica Vs [m/s]</i>	<i>Tipos de material estimado</i>
1	1-10	91-300	Cobertura superficial de limos interestratificada con fragmentos de lutitas sueltas y algo húmedas.
2	No definido	600-800	Estrato de lutita muy fracturada y meteorizada con algo de compacidad

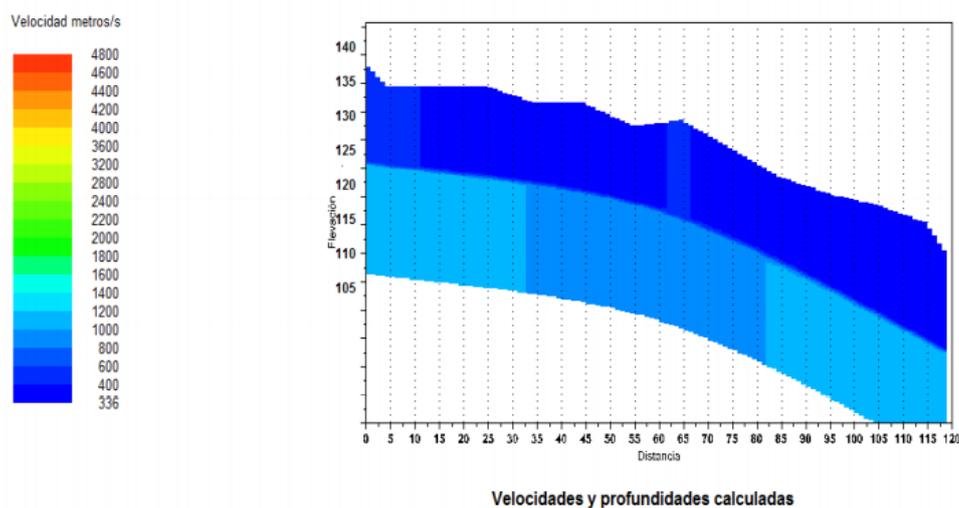


Velocidades y profundidades calculadas

**Figura 2.3** Gráfico de velocidad Vp  
**Fuente:** Informe Geológico-Geotécnico (MTOPI, 2016)

**Tabla 2.3** Estratos determinados con la geofísica (Vp) abscisa 32+400

<b>Estrato</b>	<b>Espesores[m]</b>	<b>Velocidad sísmica Vp [m/s]</b>	<b>Tipos de material estimado</b>
1	4,20-5,20	295-400	Cobertura superficial de limos interestratificada con fragmentos de lutita sueltas y algo húmedas
2	10,50-13,60	600-800	Estrato de lutita muy fracturada y meteorizada con algo de compacidad
3	No definido	1200-1600	Substrato de lutita fracturada y meteorizada de mediana compacidad.



**Figura 2.4** Gráfico de velocidad Vs – Abscisa 32+400  
**Fuente:** Informe Geológico-Geotécnico (MTOPE, 2016)

**Tabla 2.4** Estratos determinados con la geofísica (Vs) abscisa 32+400

<b>Estrato</b>	<b>Espesores[m]</b>	<b>Velocidad sísmica Vs [m/s]</b>	<b>Tipos de material estimado</b>
1	10,80-12,60	124-400	Cobertura superficial de limos interestratificada con fragmentos de lutitas sueltas y algo húmedas.
2	No definido	600-800	Estrato de lutita muy fracturada y meteorizada con algo de compacidad

## 2.2 Recopilación de Información en sitio

El proyecto de investigación ha seleccionado como universo de estudio al perfil costanero de la ciudad de Manta y como muestra o zona de estudio el Km 32+200 y 32+500 en la comuna Santa Rosa de la carretera estatal E15, conocida como Ruta Spondylus.

Para realizar la toma de datos se realizó un trabajo previo que consistió en un recorrido por la zona, dado que el perfil del acantilado se encuentra con una

inclinación considerable, se realizó un desbroce a manera de caminos para poder establecer las estaciones de toma de datos.

En la foto 2.6 se observa una de las estaciones de toma de datos.



**Foto 2.6** Estación de toma de datos

Una vez que se llegó a las caras del talud se procedió a determinar las familias de discontinuidades, dirección y buzamiento de estas, las separaciones de juntas, relleno, estado de diaclasas, si existía o no la presencia de agua, resistencia de la roca y grietas de tensión en caso de que estuvieran presentes, y a partir de estos datos realizar la caracterización del macizo rocoso en el trabajo de oficina.

En foto 2.7 se evidencia el trabajo de toma de datos en la zona de estudio.



**Foto 2.7** Toma de datos de dirección y buzamiento

Se realizaron varias fotografías aéreas del sitio de estudio como se observa en la foto 2.8, a lo largo del año 2020 dado que a principios del año se suscitaron fuertes lluvias por lo que se quería evidenciar si dicho talud (acantilado) se encontraría en riesgo por dichas lluvias, para esta actividad se utilizaron dos drones Dji con alcance máximo de 500 m.



**Foto 2.8** Fotografía tomada por uno de los drones

Todos estos datos ya en el trabajo de oficina permitieron a partir de relaciones entre las mediciones, las imágenes aéreas y los datos estructurales de las discontinuidades, la realización de los perfiles del talud los cuales fueron analizados en este estudio.

### **2.3 Trabajo de oficina**

El procesamiento de la información previa permitió determinar los procesos de retrocesos generados en el talud a través del procesamiento de las imágenes de Google Earth desde el año 2009 hasta el año 2020.

Una vez realizado el trabajo de campo se realizó la caracterización geotécnica y estructural mediante una hoja de Excel utilizando métodos empíricos para su resolución.

Se generaron los perfiles en el programa AutoCAD a partir de los datos obtenidos en el levantamiento con RTK (Navegación cinemática satelital en tiempo real “*Real Time Kinematic*”), los mismos que conjuntamente con los datos

relacionados con la orientación de estructuras y análisis de los tipos de rotura presente en el acantilado de la Ruta del Spondylus se realizó con el software Slide v.5.0 de la firma Rocscience, el mismo que permite calcular el factor de seguridad para determinar el análisis de estabilidad por el método de equilibrio límite.

### 2.3.1 Clasificación del macizo rocoso

Se realizó el estudio en 5 perfiles del talud, que se encuentran ubicados en las coordenadas que se observan en la tabla 2.5 inserta a continuación:

**Tabla 2.5** Coordenadas de los perfiles

PERFIL	COORDENADAS	
	S	E
P1	513115.90	9875215.41
P2	513099.34	9875173.29
P3	513108.15	9875086.72
P4	513132.72	9875044.66
P5	513152.62	9875003.20

A partir de los datos tomados en campo en las estaciones de toma de datos se realizó la clasificación del macizo rocoso RMR de Bieniawski.

El método Rock Mass Rating (RMR) fue desarrollada por Bieniawski (1973), este método permite clasificar el macizo rocoso de 0 a 100 puntos, utiliza cinco parámetros de clasificación, resistencia de la roca intacta, Rock Quality Designation RQD, espaciamiento de la fractura, estado de la fractura y presencia de agua.

A continuación, se detalla las principales características del macizo rocoso, de acuerdo con la clasificación RMR (Bieniawski, 1972).

- **Resistencia a la compresión uniaxial de la roca**

Se realizó un ensayo de compresión uniaxial a tres muestras de roca recolectadas en el macizo rocoso de estudio. El valor promedio para el material es de 50 MPa, lo que da una valoración de 4 que se muestra en la tabla 2.6.

**Tabla 2.6** Parámetros empleados para determinar el RMR base

Resistencia de la roca sana (MPa)	Ensayo carga puntual	>10	4-10	2-4	1-2	-		
	Compr. Simple	>250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5-25	1-5	<1

Valoración	15	12	7	4	2	1	0
2 RQD	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
Valoración	20	17	13	8	3		
3 Separación descont.	>2m	2 - 0.6 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	<0.06m		
Valoración	20	15	10	8	5		
4 Estado diaclasas	Muy rugosas Discontinuas Borde sano y duro	Ligeram. Rugosas e<1mm Borde duro	Ligeram- rugosas e<1mm Borde blandos	Rellenos e<5mm Abiertas Continuas	Rellenos blandos e>5mm Continuas		
Valoración	30	25	20	10	0		
5 Presencia de agua	Caudal en 10m túnel	Nulo	<10 L/min	10-25 L/min	25-125 L/min	>128 l/min	
	Estado	0	0 - 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5	
	Estado	Seco	Ligeram. Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo	
Valoración	15	10	7	4	0		

**Tabla 2.7** Valoración del estado de diaclasas

Parámetro	Valoración				
	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
Persistencia	6	4	2	1	0
Apertura	Nada	<0.1 mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5 mm
	6	5	4	1	0
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
	6	5	3	1	0
	Ninguno	Relleno duro		Relleno blando	
Relleno		<5 mm	>5 mm	<5 mm	>5 mm
	6	4	2	2	0
Alteración	Inalterado	Ligeramente alterado	Moderadamente Alterado	Muy alterado	Descompuesto
	6	5	3	1	0

- **Índice de calidad de la roca, RQD**

Este valor se ha determinado midiendo la cantidad de discontinuidades en 1m<sup>2</sup> del talud. Su valor fue determinado usando la formula empírica por (Palmstrom, 1996)ecuación 2.5.

$$RQD = 115 - 3.3 (J_v) \quad (2.5) \text{ (Palmstrom, 1996)}$$

Donde:

Número de discontinuidades en 1m<sup>3</sup>

Esta valoración corresponde a 13 en la tabla 2.5.

- **Espaciamiento de las discontinuidades**

La valoración del espaciamiento entre las discontinuidades del área de estudio es de 8 (ver tabla 2.8).

- **Condición de las discontinuidades**

La tabla 7, contiene las características de las medidas de diaclasas observadas en el trabajo de campo y se establecen en la tabla 2.8.

**Tabla 2.8** Características de las discontinuidades del macizo rocoso

<b>Parámetros</b>	<b>Sistema</b>	<b>Valoración</b>
<i>Long. Discont (m)</i>	>20	0
<i>Apertura (mm)</i>	1-5 mm	1
<i>Rugosidad</i>	Ligeramente rugoso	3
<i>Relleno</i>	Blando	2
<i>Meteorización de junta</i>	Moderadamente alterado	3
<i>Total</i>		8

- **Condiciones del agua subterránea**

El macizo se presenta ligeramente húmedo, por lo tanto, su valoración es de 10, según clasificación propuesta por Bieniawski (1979).

- **Clasificación del macizo rocoso, RMR**

La valoración total del macizo rocoso es de 19, se desglosa en la tabla 2.9 correspondiendo a una roca pobre de categoría IV, siendo esta de mala calidad. (ver tabla 2.10).

**Tabla 2.9** Valoración total del macizo rocoso

<b>Valoración total del macizo rocoso</b>	
<i>Resistencia a la compresión uniaxial de la roca</i>	4
<i>RQD</i>	13
<i>Espaciamiento de las discontinuidades</i>	8
<i>Longitud de las continuidades</i>	0
<i>Apertura (mm)</i>	1
<i>Rugosidad</i>	3
<i>Relleno</i>	2
<i>Meteorización en junta</i>	3
<i>Presencia de agua</i>	10

Corrección por la orientación de las juntas	-25
<i>Total</i>	<b>19</b>

**Tabla 2.10** Clasificación del macizo rocoso (Bieniawski, 1989)

<b>Clase</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>
<i>Calidad</i>	Roca muy buena	Roca buena	Roca regular	Roca pobre	Roca muy pobre
<i>Puntaje</i>	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21

Cabe indicar que se realizó la corrección por la orientación de las juntas que se coesdeterminó utilizando los valores de la tabla de clasificación Geomecánica de Bieniawski (1979) detallados en la tabla 2.11.

**Tabla 2.11** Corrección por orientación de juntas

<b>Dirección y buzamiento</b>		<b>Muy favorable</b>	<b>Favorable</b>	<b>Medio</b>	<b>Desfavorable</b>	<b>Muy desfavorable</b>
Valoración para	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

En relación con su estructura la roca se encuentra muy meteorizada por lo que en términos de su comportamiento puede llegar a actuar como un suelo.

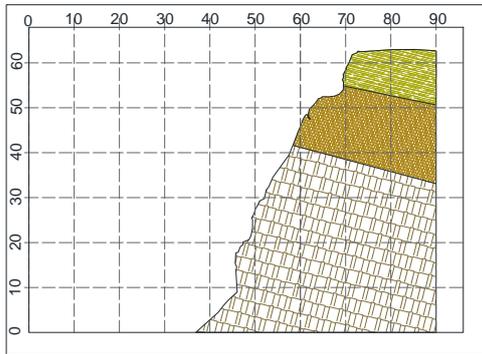
En la recolección de información en el área de estudio se observó (Foto 1.13) el deslizamiento rotacional de superficie cóncava en forma de “cuchara”, característico del deslizamiento rotacional.

Por los resultados de la clasificación del macizo rocoso y el deslizamiento rotacional generado se trató en el análisis por software Slide v 5.0 el material como un suelo. Se trata de una de las fronteras actuales de la investigación geotécnica, la de rocas blandas – suelos duros. Por tanto, no aplicaremos modelos cinemáticos ni de bloques, sino un modelo de rotura tipo Mohr Coulomb. Con C y Fi inferidas por correlación a partir de la velocidad Vp y Vs de las ondas sísmicas

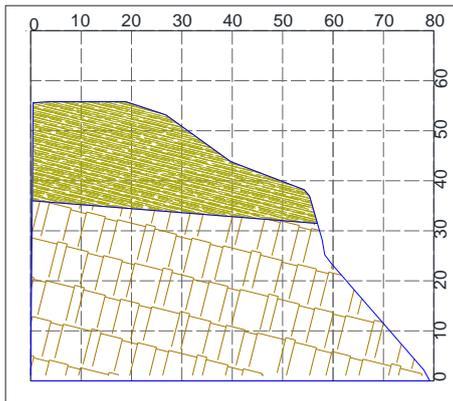
### 2.3.2 Geometría del talud

Se analizaron 5 perfiles, el perfil 1 analizado, correspondiente al talud 32+200, que corresponde a la figura 2.5, con una altura de 67 m aproximadamente y a lo largo con una longitud de 52 m aproximadamente, en la figura 2.6 se observa el

perfil 3 en la abscisa 32+330 con una altura de 55m aproximadamente y a lo largo con una longitud de 80m aproximadamente.



**Figura 2.5 Perfil 1**  
**Fuente:** Zona de estudio

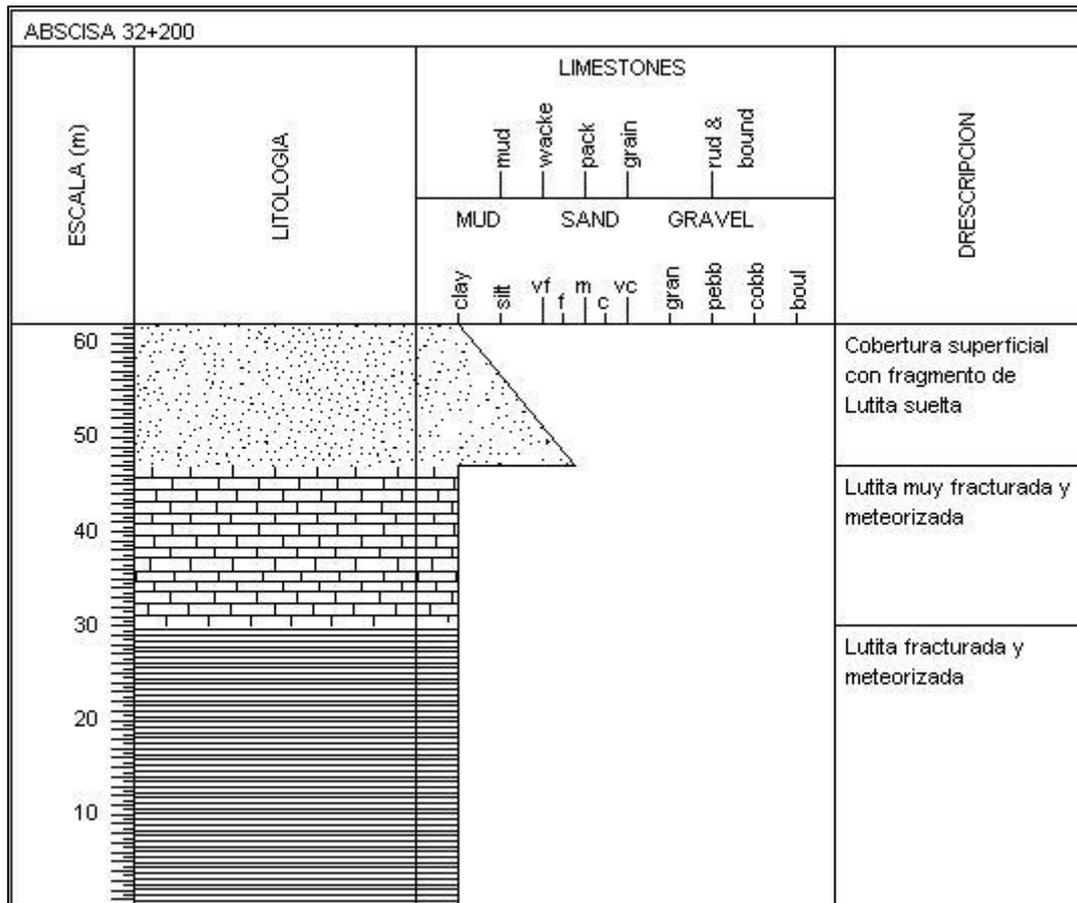


**Figura 2.6 Perfil 3**  
**Fuente:** Zona de estudio

### 2.3.3 Estratigrafía del área de estudio

En la figura 2.7 se observa la estratigrafía de los datos recolectados en campo en la zona de estudio, información base para el análisis de los perfiles.

Toda la estratigrafía concuerda con la formación San Mateo realizada con el software SedLog.



**Figura 2.7** Estratigrafía del área de estudio  
**Fuente:** Zona de estudio

### 2.3.4 Análisis estáticos de los perfiles en software Slide v.5.0

Para el desarrollo del análisis estático se utilizó cinco perfiles que se observan en la figura 2.5 el perfil 1 y en la figura 2.6 el perfil 3.

Se utilizó una sobrecarga vehicular con un valor de 58.84 kN/m, que corresponde a un vehículo modelo similares a los que circulan en la vía.

Como punto inicial se determinó el factor de seguridad del talud con la información del Informe Geológico-Geotécnico del MTOP (cohesión, ángulo de fricción interna y peso específico del material) con el software Slide v.5.0.

La información del ensayo de refracción sísmica del MOTP (figura 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4) fue contrastada con cálculos e interpretación propia los cuales sufrieron variación.

### 2.3.5 Back Análisis

A partir de los datos calculados (cohesión, ángulo de fricción interna y peso específico del material) se realizó un análisis inverso para determinar el factor de seguridad  $F_s=1$ . (ver tabla 2.12).

**Tabla 2.12** Datos de Refracción usados para análisis estático

Datos de Refracción usados para análisis estático	Estratos	C [KN/ m2]	Phi	Peso específico [KN/ m3]
PERFIL 1	Estrato 1	23,50	21,31	13,52
	Estrato 2	44,10	24,80	16,76
	Estrato 3	50,96	25,80	19,21
PERFIL 2	Estrato 1	23,50	21,31	13,52
	Estrato 2	44,10	24,80	16,76
PERFIL 3	Estrato 1	23,50	21,31	13,52
	Estrato 2	44,10	24,80	16,76
PERFIL 4	Estrato 1	23,50	21,31	13,52
	Estrato 2	44,10	24,80	16,76
	Estrato 3	50,96	25,80	19,21
PERFIL 5	Estrato 1	23,50	21,31	13,52
	Estrato 2	44,10	24,80	16,76
	Estrato 3	50,96	25,80	19,21

Los valores se corroboraron realizando iteraciones con los valores de cohesión y ángulo de fricción interna hasta el fallo del talud obteniendo los valores reales del material.

### 2.3.6 Análisis Pseudoestático

Para este análisis se utilizó el apartado 3.1.1 de la Noma NEC-2015 zonificación sísmica y factor de zona Z, 3.2.2 Coeficientes de perfil de suelo  $F_a$ , 3.2.1 tipos de perfiles de suelo para el diseño sísmico.

En la tabla 2.13 se resalta el tipo de perfil utilizado (D); valor determinado a partir de las gráficas y tablas de  $V_s$  descritas anteriormente.

**Tabla 2.13** Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa

Tipo de perfil	Descripción	Definición
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > Vs ≥ 180 m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	50 > N ≥ 15.0 100 kPa > Su ≥ 50 kPa
E	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	Vs < 180 m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w ≥ 40% Su < 50 kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	<b>F1</b> —Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc	
	<b>F2</b> —Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	<b>F3</b> —Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	<b>F4</b> —Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	<b>F5</b> —Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
<b>F6</b> —Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Para el Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto en el estudio se tomó el valor de 1.12 que se establece en la tabla 2.11.

Se establece el coeficiente de aceleración horizontal ( $k_h$ ), utilizando la ecuación 1.5 obteniendo el valor de 0.336

$$k_h = 0.336$$

**Tabla 2.14** Tipo de suelo y Factores de sitio  $F_a$

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
<b>A</b>	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
<b>B</b>	1	1	1	1	1	1
<b>C</b>	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
<b>D</b>	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	<b>1.12</b>
<b>E</b>	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
<b>F</b>	Véase Tabla 2: Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4 NEC 2015 (MIDUVI, 2015a)					

De los resultados obtenidos en el back análisis se selecciona el perfil representativo del talud y se realizó un análisis pseudoestático considerando el coeficiente de aceleración horizontal establecido en la norma NEC-2015.

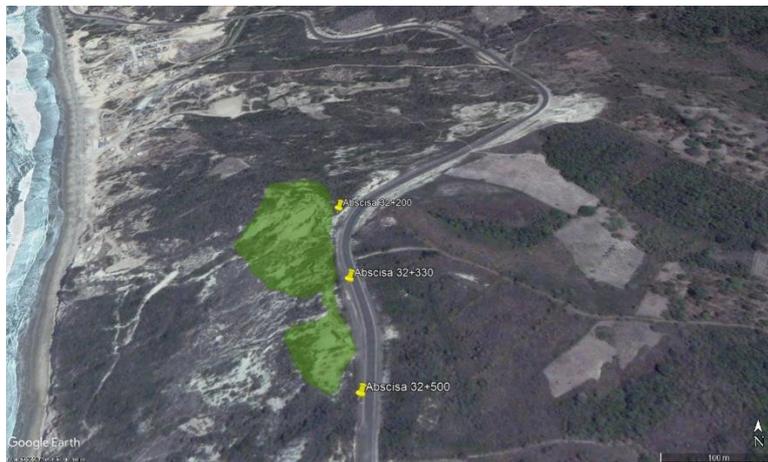
# CAPÍTULO 3

## 3 ANÁLISIS Y RESULTADOS DEL ÁREA DE ESTUDIOS

### 3.1 Análisis de Movimientos en Masa

El análisis del movimiento en masa MM se realizó utilizando métodos convencionales (fotografías aéreas y registro de imágenes históricas en Google Earth que oscilan entre los años 2007 hasta el año 2020).

En la foto 3.1 se observa el desplazamiento generado en la zona desde 2007 hasta el 2020.



**Foto 3.1** Proceso erosivo presente en el año 2007

En la foto 3.2 se observa el movimiento de masa generado y la exposición del material en el año 2020.



**Foto 3.2** Movimiento de masa generado y exposición del material, año 2020

Como resultado se determina que el área de deslizamiento en el año 2007 es de 3.45 ha con una inclinación promedio del terreno de 13.60°.

El deslizamiento del año 2020 tiene un área de 9.24 hm<sup>2</sup> con una inclinación de 19.29°. La diferencia es de 5.79 ha transcurrido en 13 años lo que corrobora el retroceso que se está produciendo.

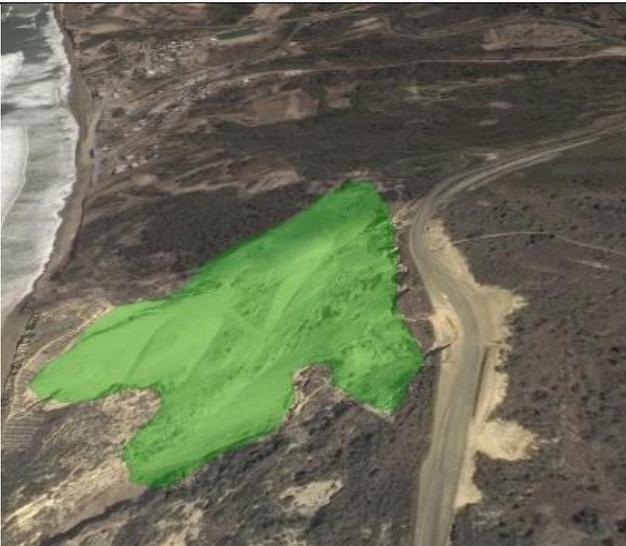
### **3.2 Cambio Geomorfológico desde el 2007 hasta 2020**

En el análisis del registro fotográfico se determina que el retroceso inicio en el año 2011 y ha sido progresivo como se observa en la tabla 3.1 en la que se describen los porcentajes de inclinación y las de deslizamiento de masa que corrobora el incremento del retroceso del acantilado.

**Tabla 3.1** Registro fotográfico 2007-2020

Año	Área de afectación	Inclinación	Foto
2007	3.45 ha	13.60°	
2009	3.48 ha	13.76°	
2011	3.48 ha	13.76°	

Año	Área de afectación	Inclinación	Foto
2014	6.1 ha	14.03°	
2016	6.40 ha	14.57°	

Año	Área de afectación	Inclinación	Foto
2017	7.93 ha	15.10°	
2018	7.97 ha	18.77°	
2020	9.24.ha	19.29°	

### 3.3 Clasificación Geomecánica del macizo rocoso

Por medio de la Clasificación del macizo rocoso se determina la calidad de la roca del acantilado de la zona Santa Rosa en la que se establece que la roca es pobre la misma que se encuentra entre un puntaje de  $< 21$  correspondiente a una categoría V, el RQD de 52.30% (ver tabla 2.7).

### 3.4 Detonantes que provocan el retroceso del acantilado

El acantilado en estudio está condicionado por dos tipos de factores los cuales son: dinámico y estáticos.

Entre los factores estáticos esta la composición sedimentaria, la disposición de los materiales, las debilidades estructurales del talud reflejada por una inclinación muy pronunciada y por la mala calidad del macizo rocoso que lo conforma como se observa en la foto 3.3.



**Foto 3.3** Acantilado Santa Rosa

Los factores dinámicos modifican la estabilidad del talud en mayor y menor intensidad, provee de sedimentos a las playas mediante procesos erosivos continuos, causados por las fuertes lluvias en la zona, los fuertes vientos y el aerosol marino, en la zona de estudio ha generado movimiento de bloques y partículas por lo que se ha producido un desgaste progresivo del talud.

Otro de los factores dinámicos que se observan en la foto 3.4 es la presencia de humedad, la pérdida de un carril de la vía ocurrido en marzo del 2016 por un movimiento de masa que pudo ser influenciado por la mala colocación de los sistemas hidrosanitarios colocados en la vía.



**Foto 3.4** Presencia de humedad y pérdida de un carril de la vía.

### **3.5 Superficie de falla y factor de seguridad**

Para la primera alternativa de análisis se toma como válido los valores dados por el MTOP por lo cual en base a la recolección de datos se generan 5 perfiles los cuales se presentan a continuación.

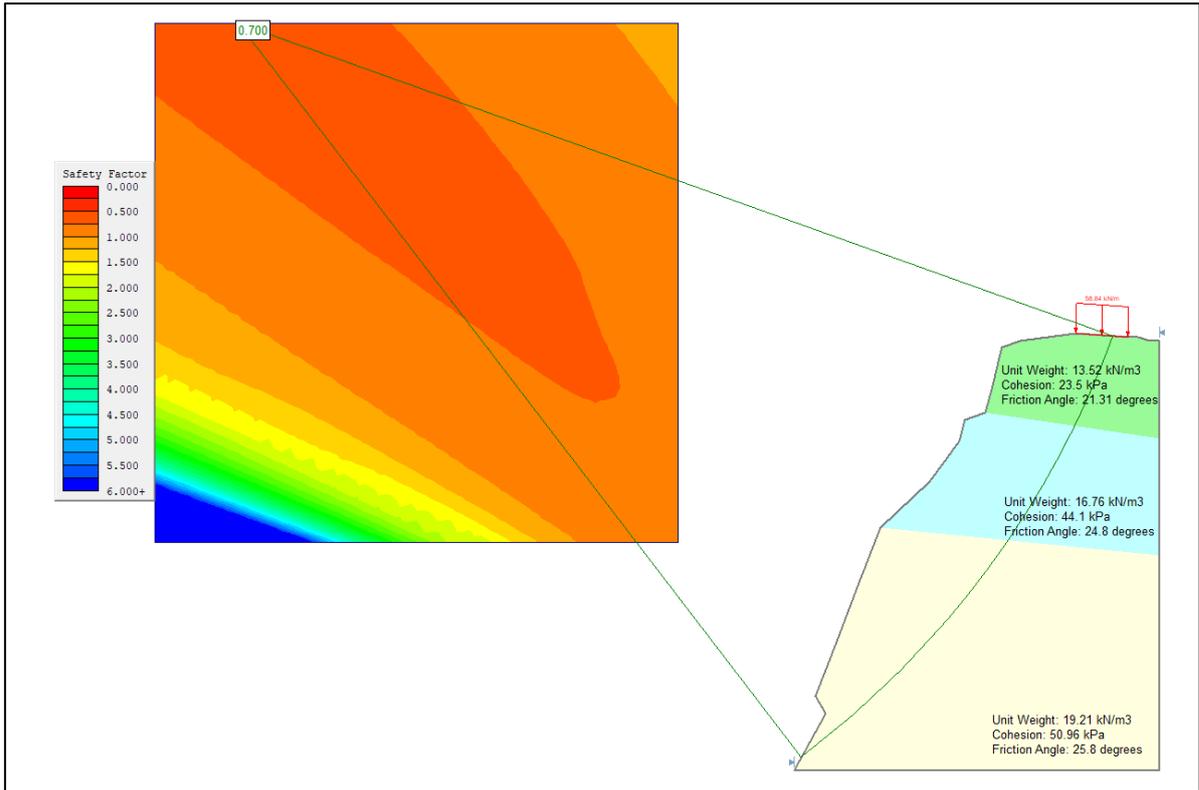
Posterior a eso se procede a realizar el análisis inverso para determinar los valores de cohesión, ángulo y peso específico reales de los perfiles y por ende del talud.



**Foto 3.5** Perfil 1

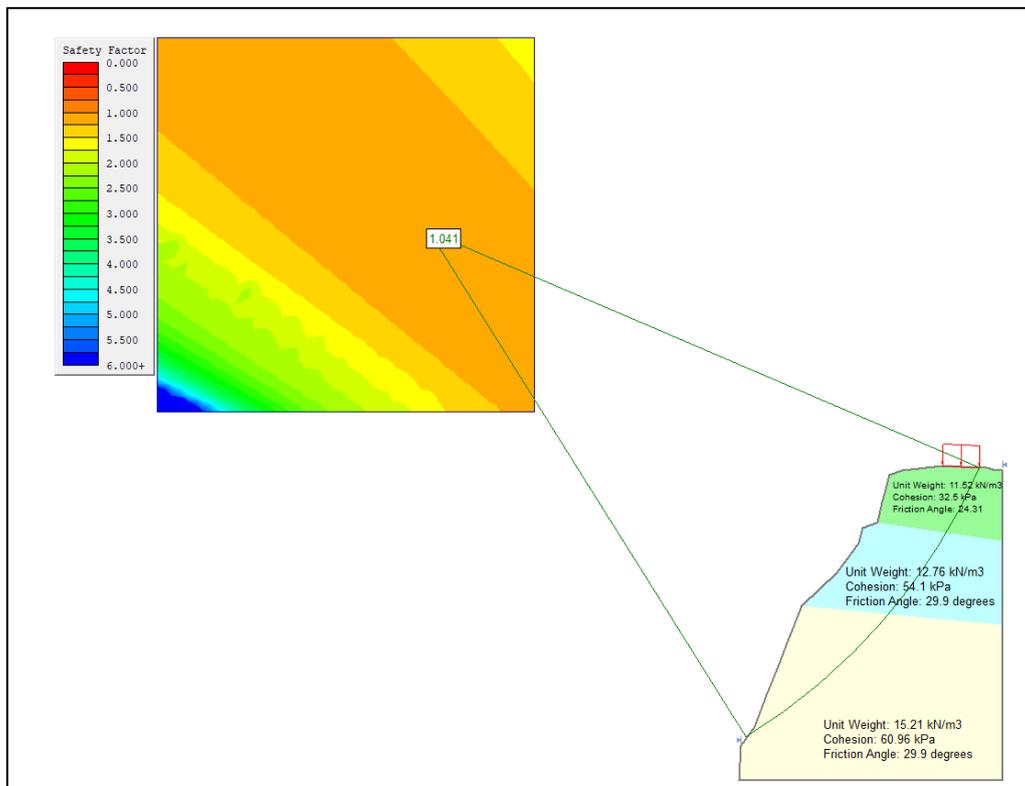
Se modeló el talud en el software de Slide v.5.0 con las propiedades del suelo previamente determinadas por el Informe Geológico-Geotécnico del MTOP obteniendo los valores mostrados en la tabla 2.9.

Se tomó un mínimo de 25 dovelas con un máximo de 50 iteraciones y una tolerancia del 0.005 para cada ensayo.



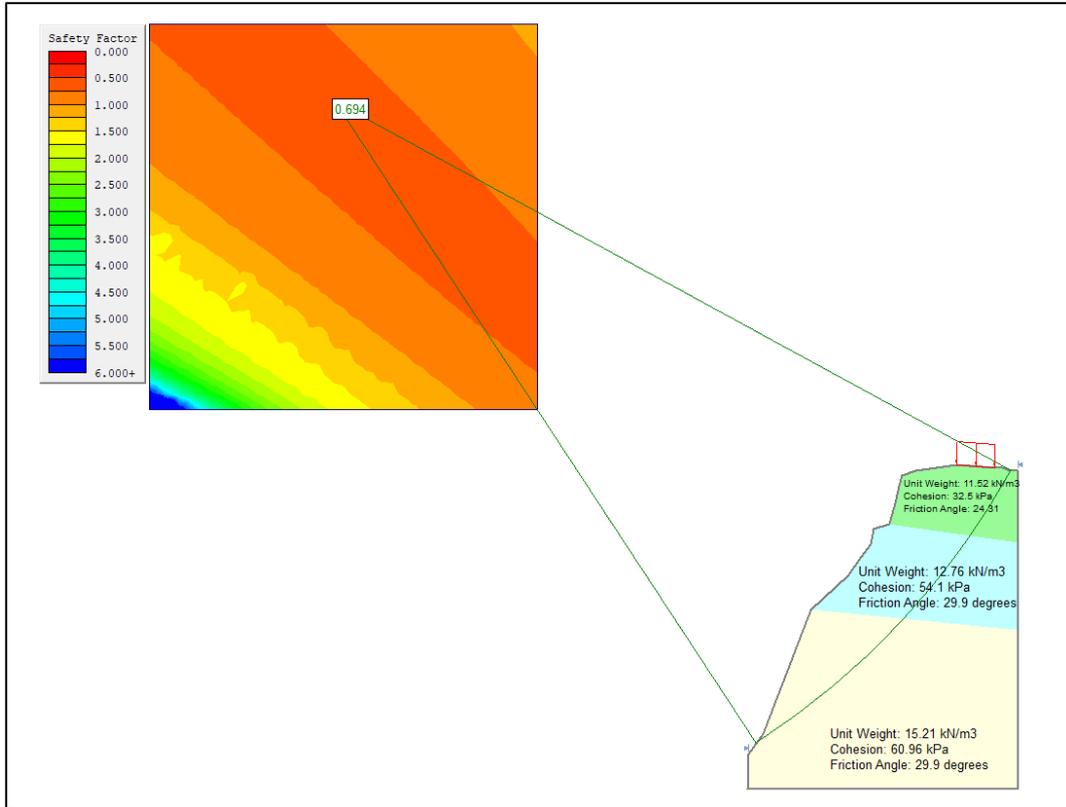
**Figura 3.1** Datos procesados de refracción (condición estática) Perfil 1

**Fuente:** Zona de estudio



**Figura 3.2** Back análisis Perfil 1

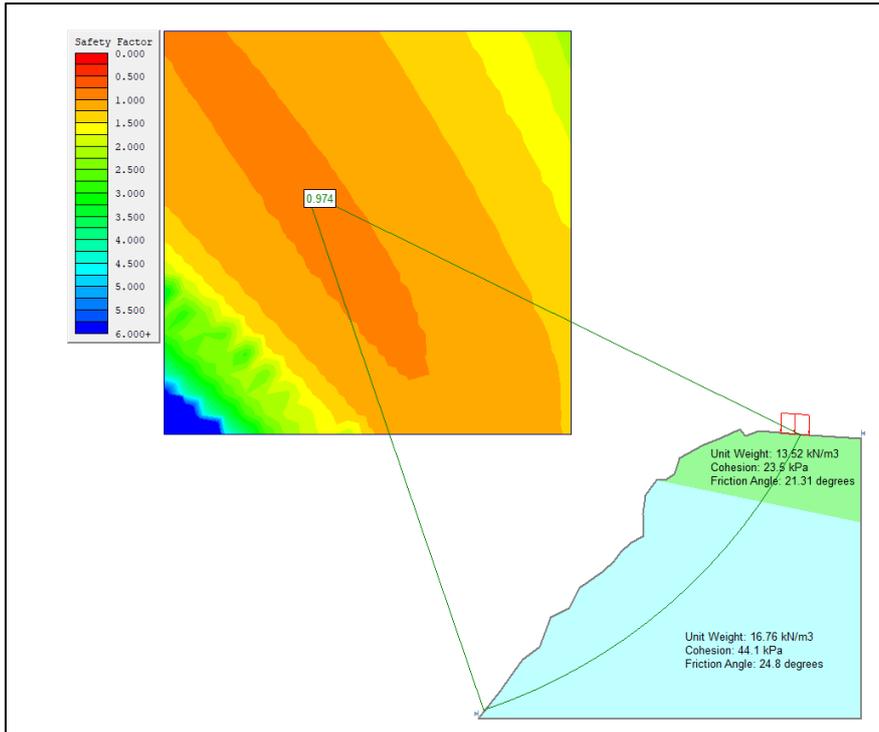
**Fuente:** Zona de estudio



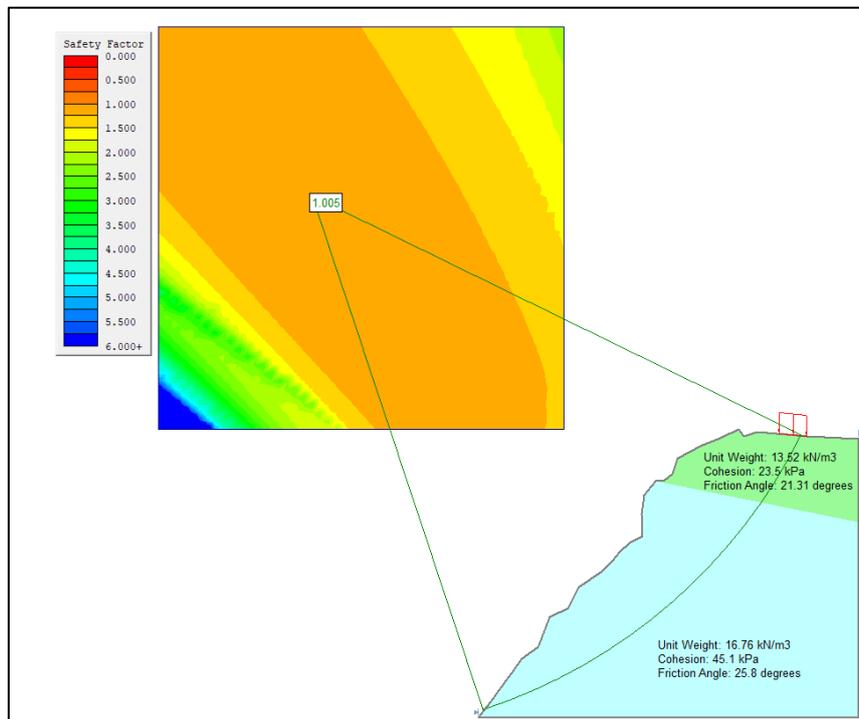
**Figura 3.3** Condiciones pseudoestáticas Perfil 1  
**Fuente:** Zona de estudio



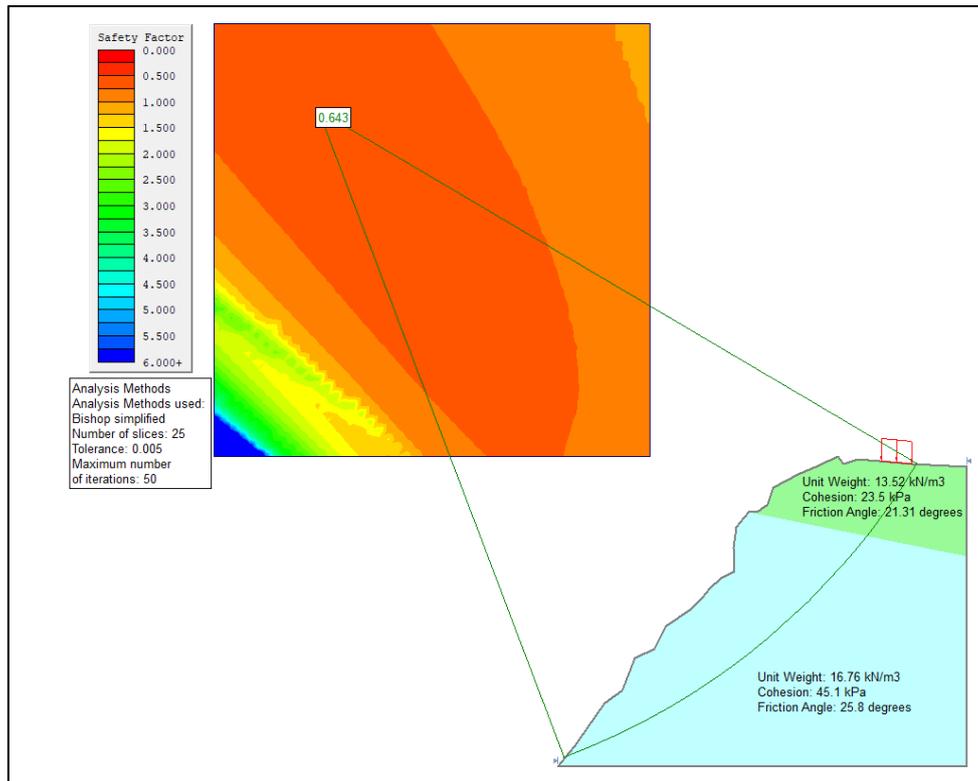
**Foto 3.6** Perfil 2



**Figura 3.4** Datos procesados de refracción (condición estática), Perfil 2  
**Fuente:** Zona de estudio



**Figura 3.5** Back análisis, Perfil 2  
**Fuente:** Zona de estudio

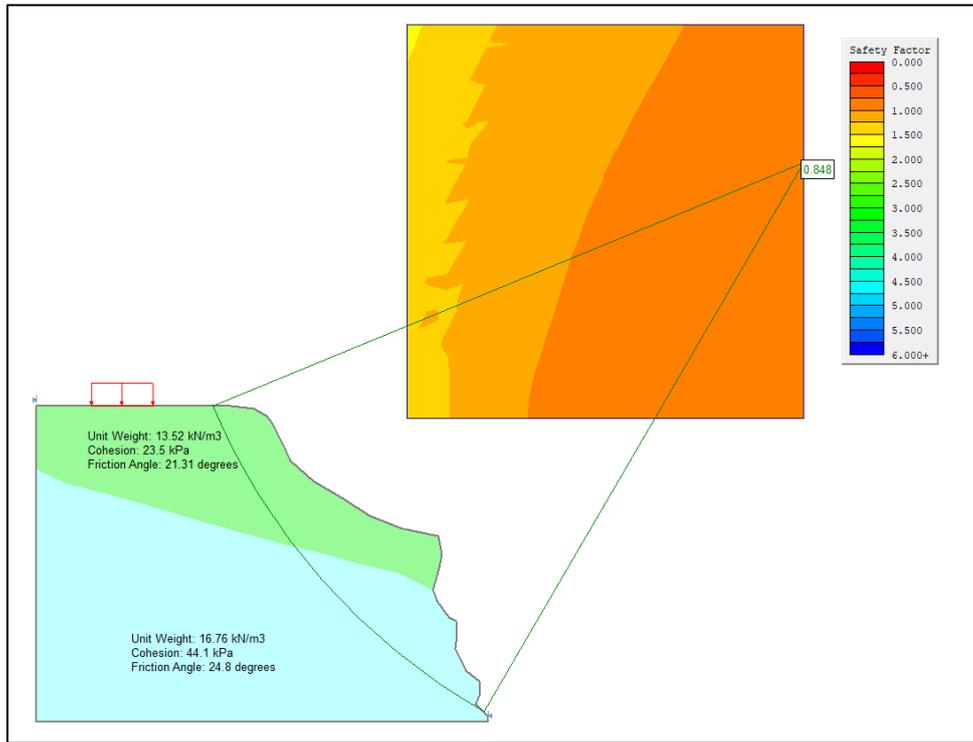


**Figura 3.6** Condiciones pseudoestáticas, Perfil 2  
**Fuente:** Zona de estudio

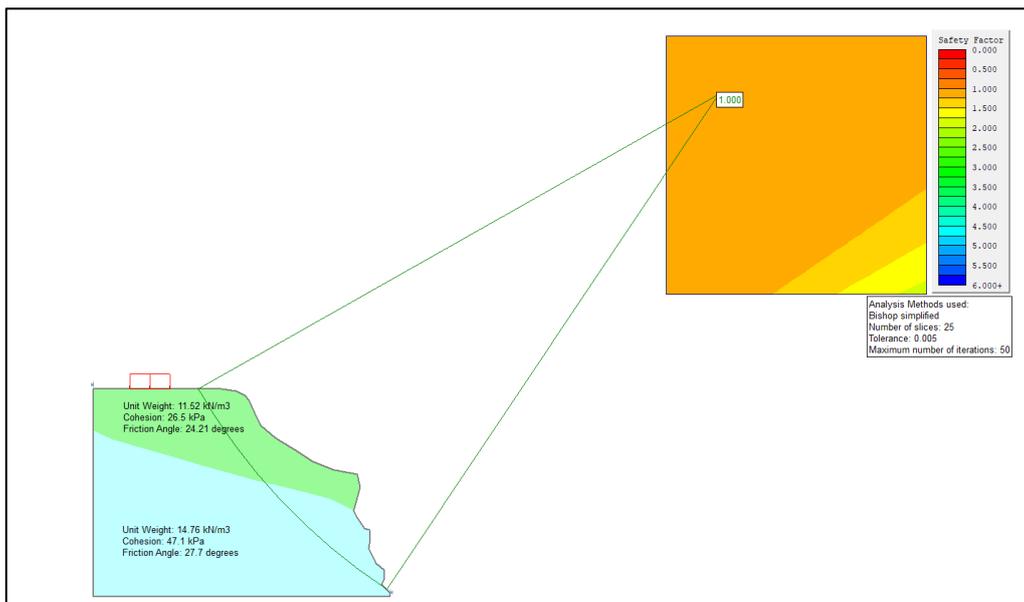


**Foto 3.7** Perfil 3

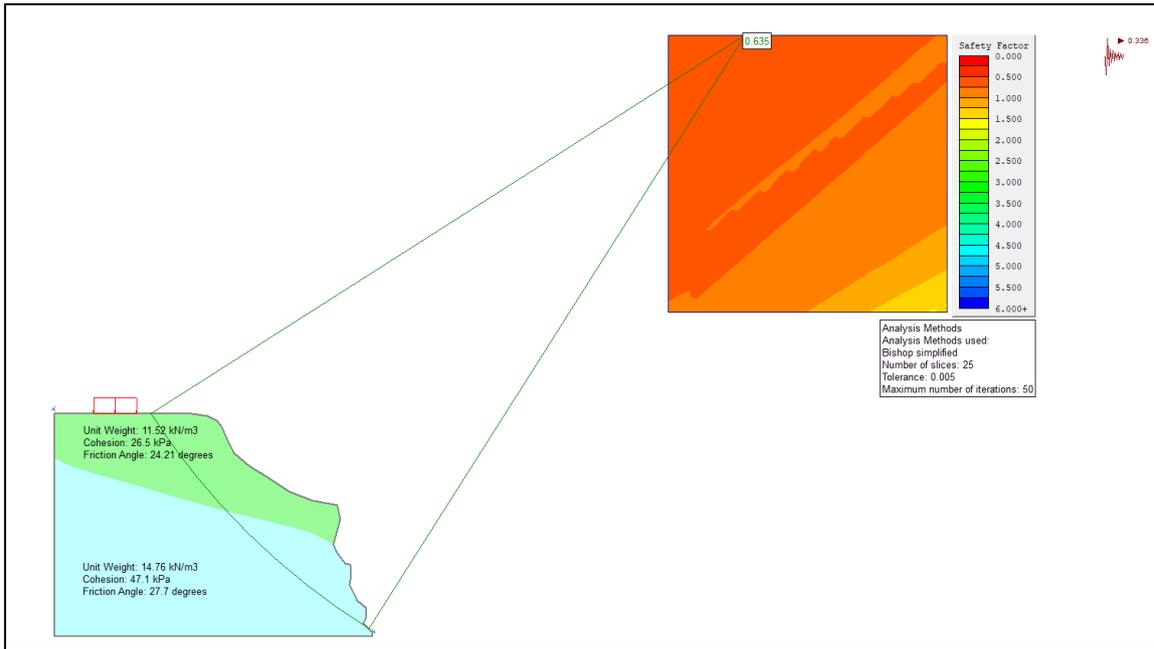
Para los análisis se tomó en cuenta una sobrecarga vehicular de un eje sencillo que debe ser colocada en KN que es de 6 Ton/m que transformado da 58.84 kN/m. los valores calculados por medio de la interpretación de los datos o las gráficas de refracción sísmica son muy cercanos a los que presentan en la modelación la falla.



**Figura 3.7** Datos procesados de refracción (condición estática) Perfil 3  
**Fuente:** Zona de estudio



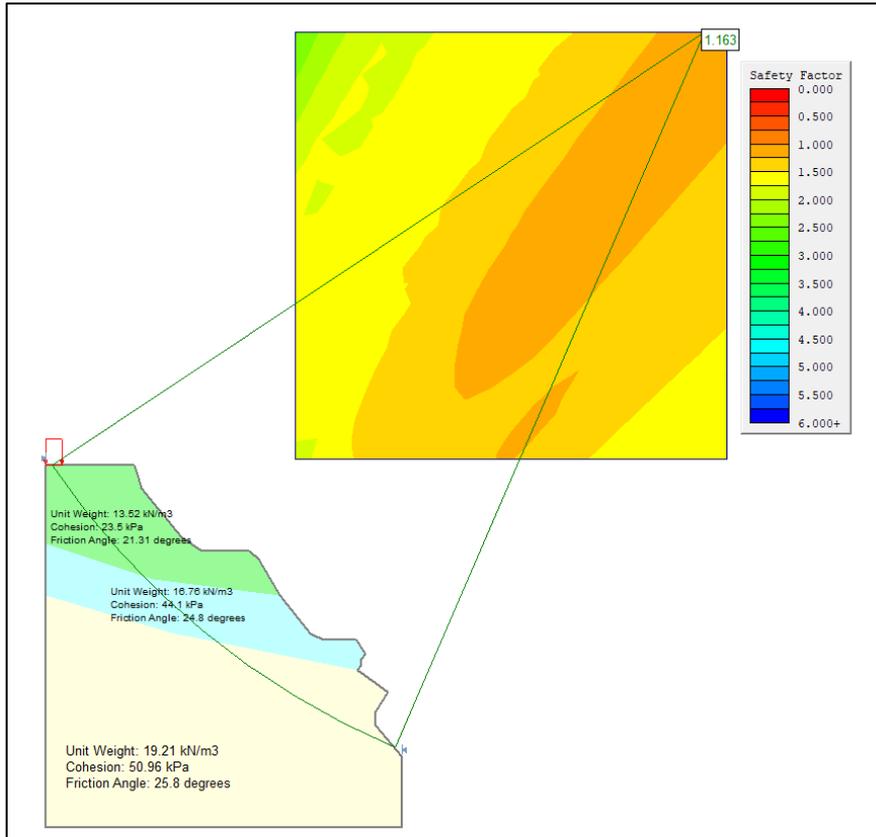
**Figura 3.8** Back análisis Perfil 3  
**Fuente:** Zona de estudio



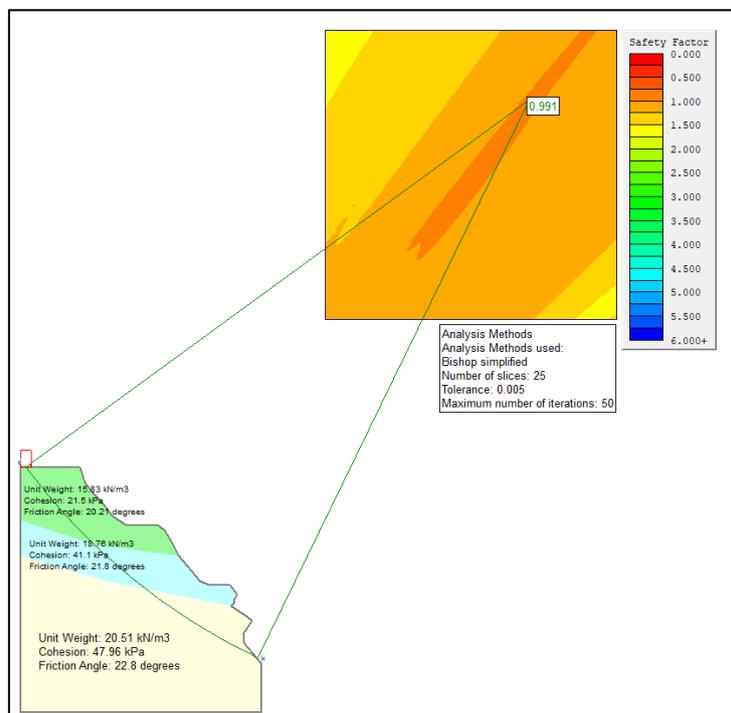
**Figura 3.9** Condiciones pseudoestáticas Perfil 3  
**Fuente:** Zona de estudio



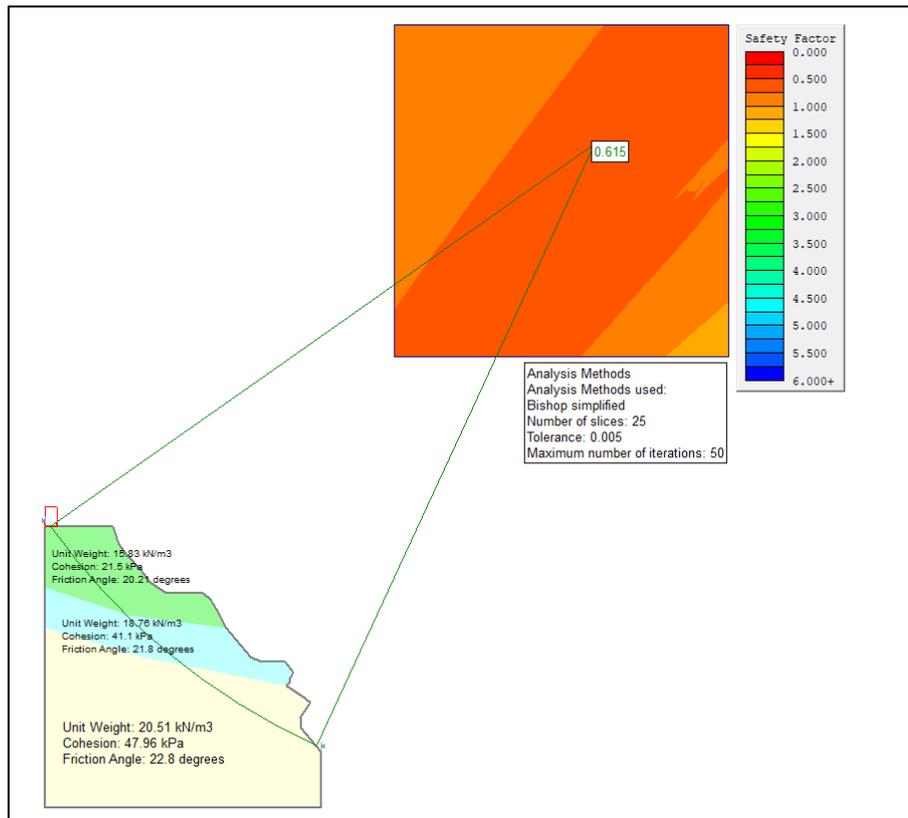
**Foto 3.8** Perfil 4



**Figura 3.10** Datos procesados de refracción (condición estática) Perfil 4  
**Fuente:** Zona de estudio



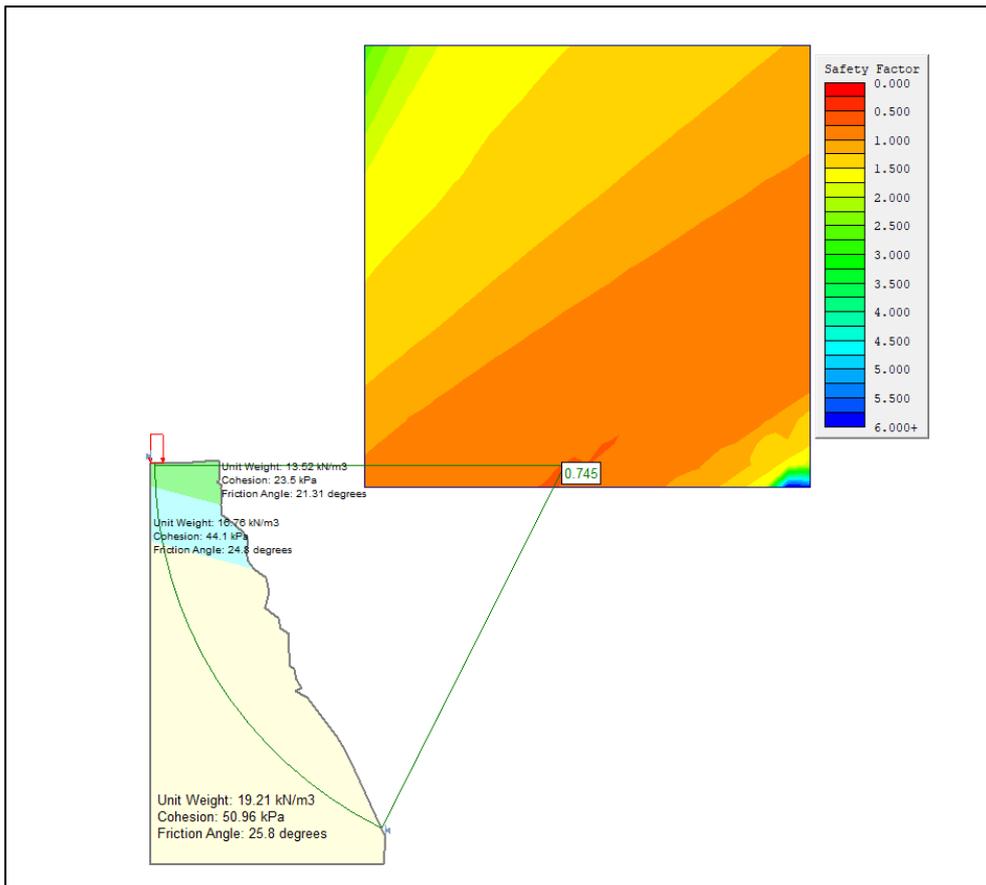
**Figura 3.11** Back análisis Perfil 4  
**Fuente:** Zona de estudio



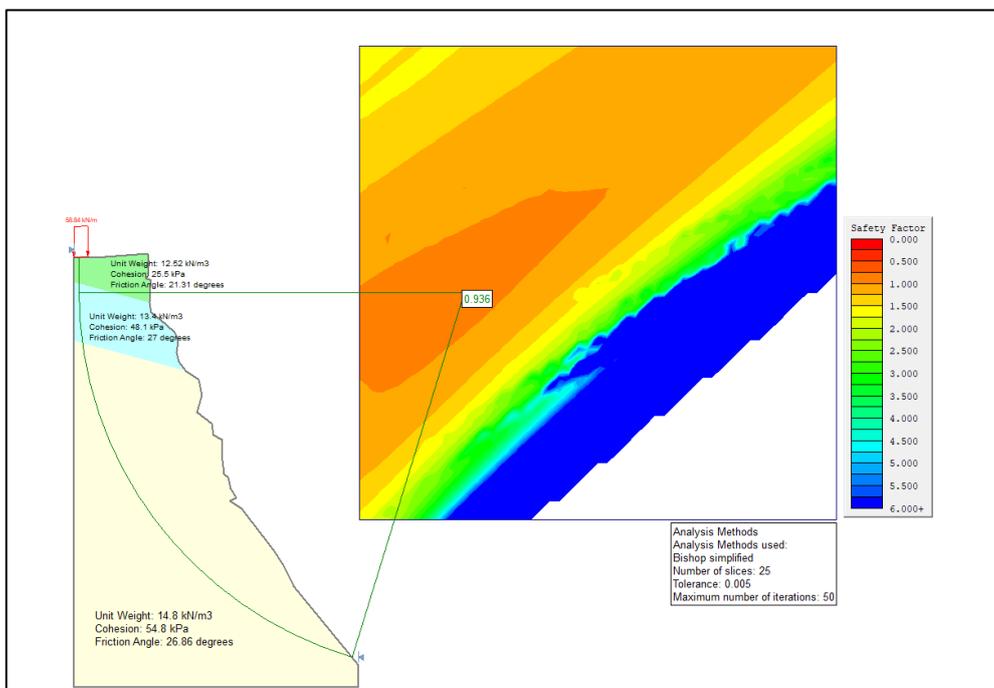
**Figura 3.12** Condiciones pseudoestáticas Perfil 4  
**Fuente:** Zona de estudio



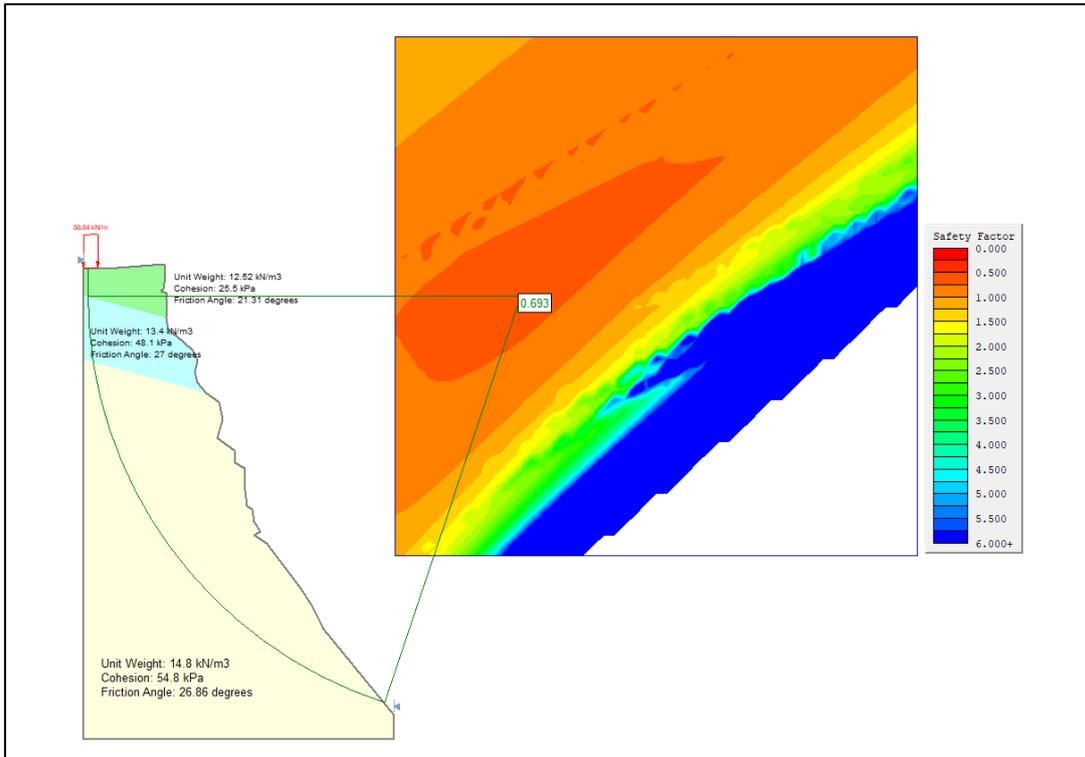
**Foto 3.9** Perfil 5



**Figura 3.13** Datos procesados de refracción (condición estática) Perfil 5  
**Fuente:** Zona de estudio



**Figura 3.14** Back análisis Perfil 5  
**Fuente:** Zona de estudio

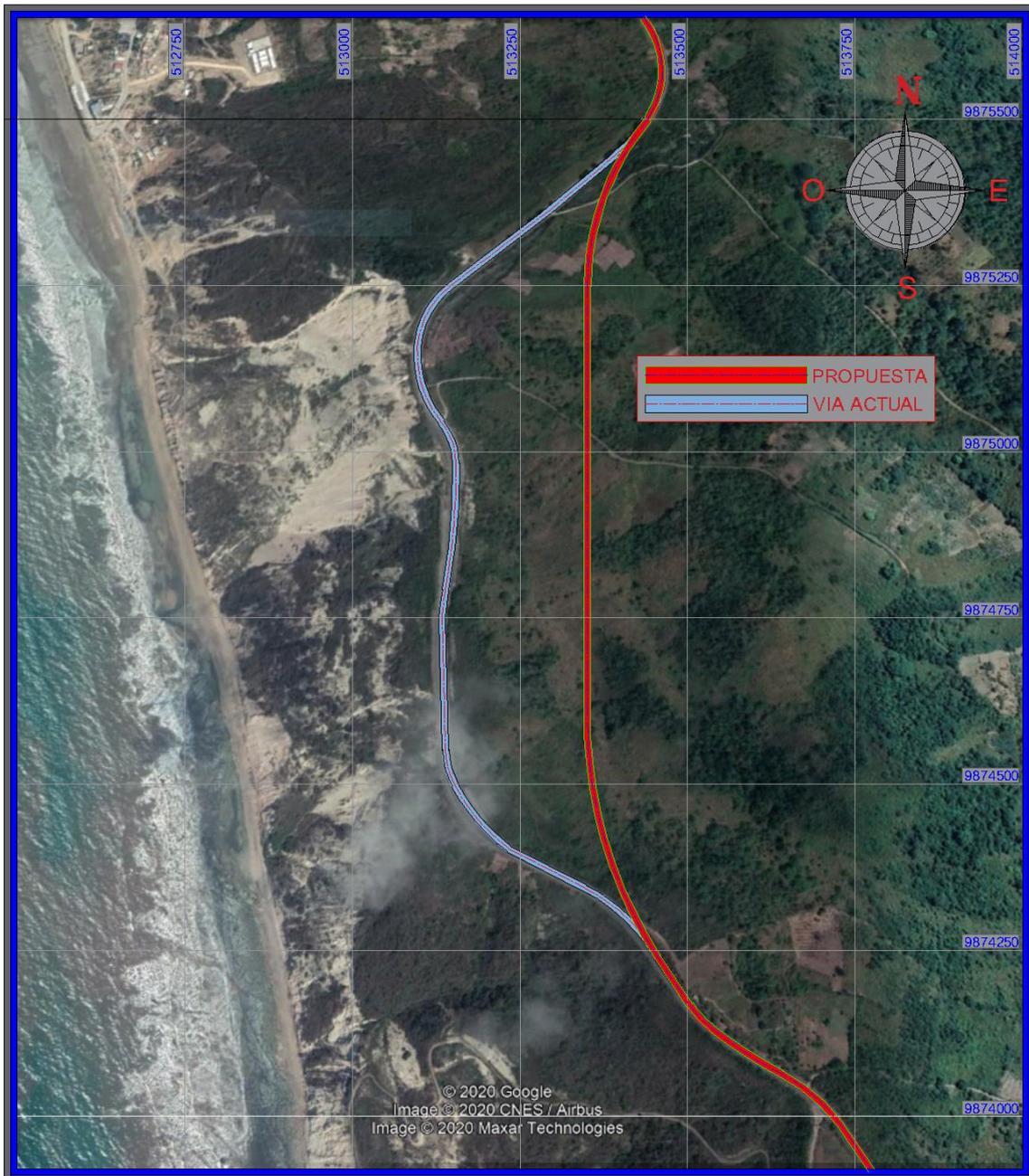


**Figura 3.15** Condiciones pseudoestáticas Perfil 5  
**Fuente:** Zona de estudio

Como se observa en los análisis de estabilidad del talud en condiciones pseudoestática, el factor de seguridad disminuye al ser afectado por el coeficiente horizontal  $K_h$  que es 0.336 calculado a partir de la norma NEC.

La superficie de falla de la zona de estudio evidencia que existe una susceptibilidad en esa zona por lo cual se hace imperativo realizar una obra de remediación en esa zona.

En la foto 3.10 que se muestra a continuación se visualiza una posible solución a la pérdida de parte del tramo de la Vía.



**Foto 3.10** Propuesta de solución

# CAPÍTULO 4

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Se evidencia por el registro histórico de imágenes satelitales y visita de campo, que el movimiento de masa del acantilado en las abscisas 32+200 hasta 32+700, se produjo por procesos erosivos de origen hídrico, por oleajes y movimientos de masas generando un desplazamiento en un área aproximada de 9.24.ha.
- Los cambios geomorfológicos en el acantilado de Santa Rosa se observaron que se han prolongado a través del tiempo, por lo tanto se realizó un análisis comparativo entre los años 2007 - 2020 para determinar el desplazamiento e inclinación promedio; en el año 2007 el área desplazada era de 3.45ha con una inclinación promedio de 13.60° del acantilado y en comparación con el año 2020 el área de desplazamiento es aproximadamente de 9.24ha generando en el acantilado una inclinación de 19.29° con una afectación en un tramo de la vía Ruta Spondylus.
- Mediante la clasificación RMR (Rock Mass Rating) se determinó el índice de calidad de la roca que es 19 el cual es menor a 21, determinando el macizo rocoso del acantilado de Santa Rosa de muy mala calidad en la que predomina la clase V, el RQD de 52.30%.
- El acantilado en estudio está condicionado por dos factores principales; dinámico y estático; el primero producido por la infiltración de agua (lluvias, spray marino, malos sistemas de alcantarillado) contribuyen al deslizamiento, el segundo factor está determinado por aspectos intrínsecos del talud.

- Mediante los parámetros del suelo se logró analizar la estabilidad del talud de cinco perfiles representados gráficamente con el software Slide v 5.0, por medio del método Bishop con la finalidad de determinar el factor de seguridad presente en la superficie de falla circular en la cual se obtuvieron perfiles en condiciones inestables con valores menores a un  $F_s < 1$ .
- En vista que los cinco perfiles analizados con el Software Slide v 5.0 por medio el metodo Bishop para el estudio y analisis de taludes fueron inestables, se sugiere como posible solución la opción de terrazas logrando obtener un  $F_s = 1.50$  en condiciones estables; este objetivo no se cumplió en su totalidad por la siguiente razón: no se pudo realizar la toma de datos necesarios para realizar todo el análisis pertinente por la inestabilidad del lugar.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Se recomienda realizar obras de protección y remediación para estabilizar el avance progresivo del retroceso en el acantilado ya que los agentes que han provocado este incidente estarán presentes conforme transcurra el tiempo.
- Considerando la situación de inestabilidad del macizo rocoso y por ende de la vía Ruta Spondylus como se ha observado en las imágenes en los diferentes años se debe de valorar la posibilidad de la construcción de una nueva ruta o alternativa desde la abscisa 32+200 hasta la abscisa 32+700.
- Es posible afinar el modelo geomecánico en un futuro tomar muestras de roca para estudios de resistencia a la compresión simple o PLT, donde se manifiestan cambios en las características geológicas al macizo rocoso.

- Inspeccionar que las descargas de agua lluvia no sean instaladas hacia el acantilado, para contrarrestar los efectos erosivos y de esta manera controlar el desgaste progresivo del talud.
- Realizar un estudio específico para establecer la posible solución de estabilización del talud, pero se sugiere como medida de remediación la implementación de terrazas.

## Bibliografía

- Anderson, M. G., y Richards, K. (1987). *Slope stability: Geotechnical engineering and geomorphology*. Retrieved from <https://www.amazon.com/Slope-stability-Geotechnical-engineering-geomorphology/dp/047191021X>
- Benavente, J., Gracia, F. J., Reunión, X., y De Geomorfología, N. (2006). *Trabajos de Geomorfología en España 2006-2008*.
- Benítez, S. (1980). *Estudio geológico para determinar la factibilidad del dragado en el lado Este del rompeolas del puerto de Manta, Informe técnico para la ampliación del puerto de Manta*. Manta.
- Blanco Chao, R., y Pérez Alberti, A. (2017). Formas litorales en la costa noroccidental gallega: los sectores acantilados entre Cabo Prioriño (Ferrol) y Punta Frouxeira (Valdoviño). *Geographicalia*, (33), 3. [https://doi.org/10.26754/ojs\\_geoph/geoph.1996331708](https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.1996331708)
- Castedo Ruiz, R. (2012). *Modelización de costas rocosas acantiladas*. Universidad Politécnica MADrid.
- Contreras, L. F., y Brown, E. T. (2019). Slope reliability and back analysis of failure with geotechnical parameters estimated using Bayesian inference. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 11(3), 628–643. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2018.11.008>
- Dra. Sibila A., G., Dr. Alejandro J., V., Dra. M. Cintia, P., Dr. Gerardo M.E., P., y Dra. M. Elizabeth, C. (2011). *Acantilado que retroceden. Caso balneario Las Grutas (Rio Negro)*. 3–4.
- Duncan, J., y Wright, S. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*.
- Fucks, E., Schnack, E. J., Scalise, A., Ahrendt, K., Vafeidis, N., y Sterr, H. (2015). Procesos modeladores en los acantilados de Las Grutas, provincia de Río Negro. *Revista de Geología Aplicada a La Ingeniería y Al Ambiente*, 0(34), 57–73.
- GADPSL, G. A. D. P. R. de S. L. (2018). *Diagnóstico San Lorenzo*. Retrieved from [http://www.wanfangdata.com.cn/details/detail.do?\\_type=perio&yid=tjhh201802005](http://www.wanfangdata.com.cn/details/detail.do?_type=perio&yid=tjhh201802005)
- Gonzales de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica* (1st ed.). Madrid.
- Haslett, S. (2000). *Coastal Systems* (Routledge, Ed.). New York.
- Ibadango, C. E. (2018). ESTUDIO DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES EN EL BARRIO LA MERCED BAJA-CANTÓN GUARANDA. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD.
- Laínez Medina, G. A. (2009). *Relevamiento y correlación geológica del sector oriental del puerto de Manta, Provincia de Manabpi, Ecuador*.
- Lawrence, P. L. (1994). Natural hazards of shoreline bluff erosion: a case study of Horizon View, Lake Huron. *Geomorphology*, 10(1–4), 65–81. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(94\)90008-6](https://doi.org/10.1016/0169-555X(94)90008-6)

- MIDUVI, M. de D. U. y V. (2015a). *NEC, Norma Ecuatoriana de la Construcción PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE*.
- MIDUVI, M. de D. U. y V. (2015b). *NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción GEOTÉCNIA Y CIMENTACIONES*.
- MTOP, M. de transporte y obras públicas del E. (2016). *Informe Geológico-Geotécnico de la solución para la recuperación de tramo de vía afectada Km. 32+200*.
- Naranjo Aguay, H., y Dranichnokow, T. (2012). *Cálculo de capacidad portante basad en geofísica y método convencional El caso del puente sobre el río Maicito* (UNIVERSIDA, Vol. 66; E. U. Abya-Yala, Ed.). Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Navarrete, E. (1985). *Estudio Micropaleontológico de la Formación San Mateo en el Corte Puerto López-Salango*. ESPOL.
- Núñez Ravelo, F., Hernández Labrador, M., y Ugas Pérez, M. (2017). Geomorfología de la duna remontante ubicada en el acantilado sur del Castillo de Araya, estado Sucre (Venezuela). *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 26(1), 51–63. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v26n1.52804>
- Palmstrom, A. (1996). Characterizing rock masses by the R<sub>Mi</sub> for use in practical rock engineering: Part 1: The development of the Rock Mass index (R<sub>Mi</sub>). *Tunnelling and Underground Space Technology*, 11(2), 175–188. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0886-7798\(96\)00015-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0886-7798(96)00015-6)
- Schillizzi, R., Gelos, E. M., y Spagnuolo, J. (2004). Procesos de retracción de los acantilados patagónicos entre la desembocadura de los Ríos Negro y Chubut, Argentina. *Asociación Argentina de Sedimentología Revista*, 11(1), 17–26.
- Strahler, A., y Strahler, A. (1989). *Geografía física. Barcelona: Omega* (Omega). Barcelona.
- Suárez Díaz, J. (2009). Análisis Geotécnico. In *Deslizamientos: Análisis geotecnico: Vol. I* (Geotecnolo, p. 588). Retrieved from <http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/45-tomoi.html?download=447:librodeslizamientosti-cap4>
- Sunamura, T. (1993). Geomorphology of Rocky Coasts. *The Journal of Geology*, 101(5), 684–684. <https://doi.org/10.1086/648262>
- Terzaghi, K. (1950, January 1). Mechanism of Landslides (S. Paige, Ed.). *Application of Geology to Engineering Practice*, p. 0. <https://doi.org/10.1130/Berkey.1950.83>
- Trehaile, A. S. (2004). Modelling the accumulation and dynamics of beach onshore platforms. *Marine Geology*, 206, 55–72.
- Trenhaile, A. S., y Trenhaile, D. E. S. A. S. (1987). *The Geomorphology of Rock Coasts*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=plruAAAAMAAJ>

Violante, C. (2009). Rocky coast: Geological constraints for hazard assessment. *Geological Society Special Publication*, 322, 1–31. <https://doi.org/10.1144/SP322.1>

# ANEXO 1

## Registro Fotográfico



**Foto. 1** Reconocimiento de la zona



**Foto. 2** Estación geomecánica



**Foto. 3** Estratos de suelo



**Foto. 4** Grietas de tracción



**Foto. 5** Reconocimiento de área



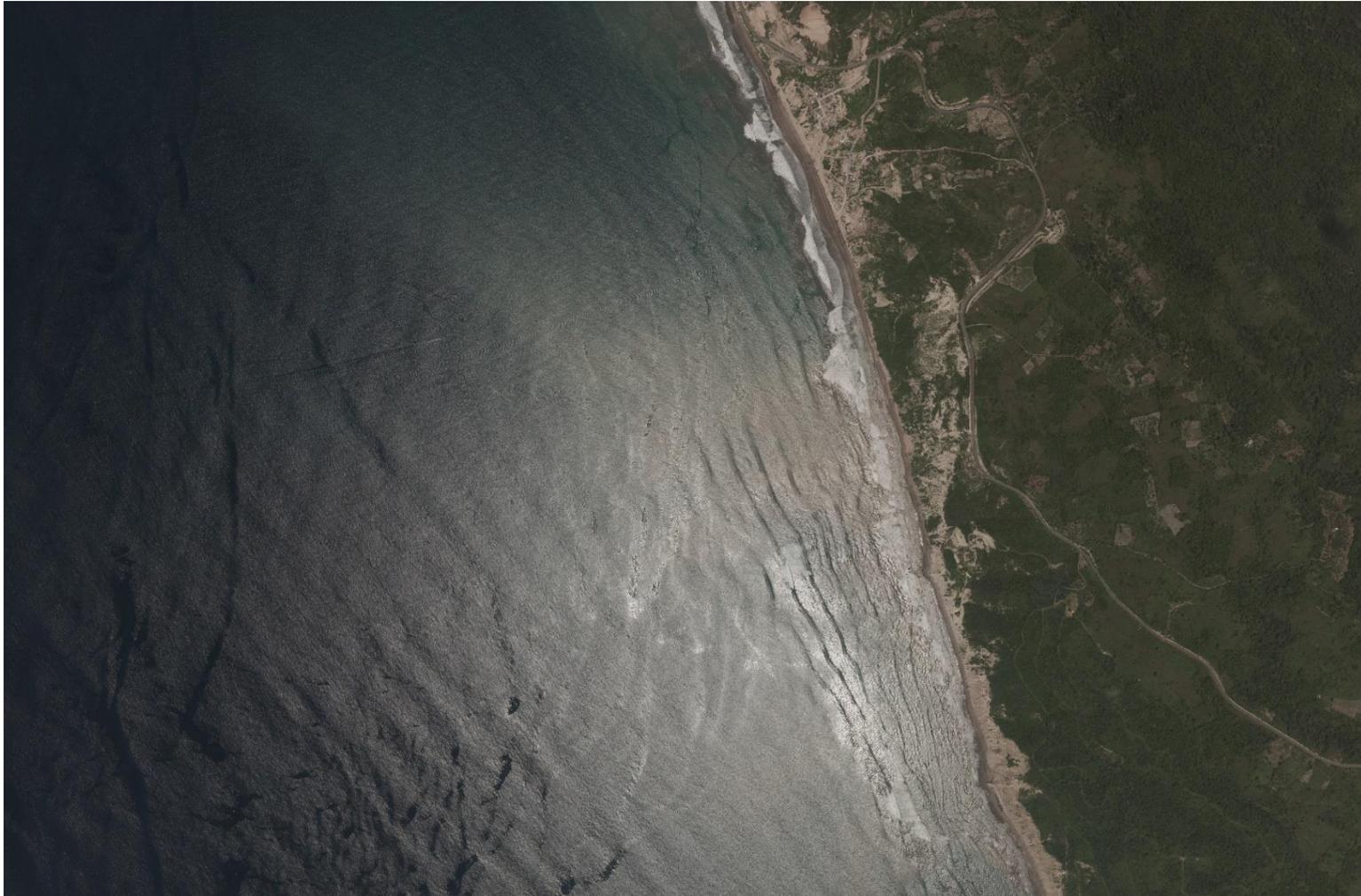
**Foto. 6** Referencia de estratos



**Foto. 7** Realización de Ortofoto



**Foto. 8** Ortofoto



**Foto. 9** Zona de estudio año 2014  
**Fuente:** Instituto Geofísico Militar - IGM