



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA**

UNAN - MANAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

Tema General:

**ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM
176, MUNICIPIO DE SANTO TOMAS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES.**

**SEMINARIO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO**

Integrantes: Adan Alberto Prado González

Juan Ramón Aguilar Guevara

Rinath José Cruz Talavera

Tutor: MSc. Gema Velásquez.

Asesor: Ing. Horacio Ulloa.

Asesora Metodológica: Karen Acevedo.

Enero, 2020.

DEDICATORIA

ADAN ALBERTO PRADO GONZÁLEZ

A Dios por quien lo imposible se hace posible y ha estado a mi lado en cada paso que doy.

A mi madre quien ha sido mi pilar en todo momento, velando por mi educación, cuidándome y por, sobre todo, por el amor que me ha dado y el valor mostrado para salir adelante. A mi hermana Jordaly que me cuida, me da ánimos para continuar y me acompaña en los buenos y malos momentos.

A mi padre y mis hermanos que nunca han dudado de mi capacidad y me animan.

A mi familia: mis abuelos, tíos y primos quienes me han apoyado en el camino y la vida, siendo un ejemplo a seguir.

A mis amigos que conocen bien por lo que hemos tenido que pasar para llegar hasta este punto de nuestra educación, a ellos que a pesar que son pocos son verdaderos y sus deseos siempre son los mejores.

A todos ellos con mucho cariño les dedico este trabajo, por todos ellos soy lo que soy.

JUAN RAMÓN AGUILAR GUEVARA

Primeramente, a Dios por quien lo imposible se hace posible y porque siempre ha estado a mi lado en cada paso que doy.

A mi madre Ivania Guevara y abuela Leonor Carrión quienes han sido mis pilares en todo momento, velando por mi educación, salud y, sobre todo, por el amor y apoyo que me han dado.

A mi hermano Henry quien me aconseja, anima y acompaña en los buenos y malos momentos.

A mi padre Juan Aguilar por su apoyo incondicional.

A mis amigos que conocen por lo que hemos tenido que pasar para llegar hasta este punto de nuestra educación, a ellos que a pesar que son pocos son verdaderos y sus deseos siempre son los mejores.

A todos ellos, les dedico este trabajo con mucho cariño.

RINATH JOSÉ CRUZ TALAVERA.

A Dios por ser mi camino, la verdad y la fuerza para culminar mi carrera y una de las metas más anheladas.

A mis padres, especialmente a mi madre por darme la vida, su amor y su apoyo incondicional ante las dificultades que pasé a lo largo de los años siendo ella el pilar en mi vida que siempre estuvo cuando más la necesité.

Al maestro Mario Chávez (q.e.p.d) por ser uno de los maestros que me enseñó el amor hacia la geología y me guio desde el primer año de mi carrera.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios por que nos ha dado vida, salud y fuerza para continuar, aún en los momentos de desánimo en nuestras vidas.

A nuestros padres por el amor, cariño, comprensión y apoyo que nos han brindado, a nuestras familias que con sus consejos y apoyo hemos podido enfrentar los retos que se nos han presentado.

Al profesor Msc. Mario Chavez (q.e.p.d), por todo el conocimiento y apoyo que nos brindó a lo largo de nuestro tiempo estudiantil.

A nuestra alma mater UNAN – Managua por la oportunidad de estudiar esta carrera y a todos nuestros maestros por transmitirnos sus conocimientos y experiencia en cada año de los que transitamos por esta universidad.

A la profesora Msc. Gema Velásquez, quien fue nuestra tutora en este trabajo guiándonos paso a paso en este proceso de aprendizaje.

Al profesor Msc. Horacio Ulloa por ser nuestro asesor y compartirnos sus conocimientos.

Al Ing. Cesar Aguilera, quien además de ofrecernos sus conocimientos ha sido un gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales.

A todos aquellos que nos ayudaron directa o indirectamente a realizar este documento.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA

2019: "AÑO DE LA RECONCILIACIÓN"

Managua 29 de noviembre, 2019

MSc. Elim Campo

Director
Departamento de Tecnología
Presente

Estimado Msc. Campo

El motivo de la presente es para comunicarle que he dirigido y revisado el trabajo de Seminario de Graduación elaborado por las Brs.: Adan Alberto Prado González, Juan Ramón Aguilar Guevara y Rinath José Cruz Talavera de la carrera de Ingeniería Geológica de la UNAN-Mangua. Dicho trabajo lleva por título "**Análisis de estabilidad de talud de la carretera NIC-7 en el Km 176, municipio de Santo Tomas del departamento de Chontales**".

Dado lo anterior, ratifico que el trabajo realizado contiene conocimientos que son científicamente aceptados y técnicamente prácticos, enmarcados en el tema.

Sin más a que referirme, me despido deseándole éxito en sus labores diarias.

Atentamente

MSc. Gema Velásquez Espinoza
Docente de la carrera de Ing. Geológica
Departamento de Tecnología/Facultad de Ciencias e Ingeniería

¡A la libertad por la Universidad!

RESUMEN

El presente desarrollo de esta investigación, tiene como finalidad realizar el estudio de la estabilidad del talud que se encuentra ubicado en el km 176 de la carretera Nic.7 en el municipio de Santo Tomás, Chontales, para brindar medidas de mitigación en la mejora del tránsito, ya que esta, es una de las carreteras más transitadas de la zona debido a que, es la conexión directa entre distintos municipios y comunidades ganaderas, las cuales utilizan este medio para el transporte de sus productos lácteos y la realización de distintas actividades agrícolas para la subsistencia de sus hogares.

En base al análisis realizado de estabilidad de taludes, se pretende brindar una solución al problema de dicha zona de estudio. Al principio de esta investigación se recopiló información de estudios previos, aunque la bibliografía era muy escasa en base a dicho lugar, agregando la falta de ensayos de laboratorios.

Como primer paso, se realizó el levantamiento topográfico a detalle, la toma de muestras para establecer la columna estratigráfica (del más antiguo al más joven), acompañados de la geología (fallas, fracturas), más los ensayos de laboratorio para obtener las propiedades físicas de las muestras de los suelos y rocas del talud.

Posteriormente, se procedió a introducir los datos recopilados en campo y datos de los ensayos de laboratorio en el software SLIDE, como parte de los requerimientos necesarios para la elaboración de un modelo estable del talud. Con los factores de seguridad que presentó el programa, se elaboraron las soluciones alternas para la estabilidad del talud, tomando en cuenta las soluciones más factibles y económicas para la zona de estudio.

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. ANTECEDENTES..... | 2 |
| 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 4 |
| 4. JUSTIFICACIÓN..... | 5 |
| 5. OBJETIVOS..... | 6 |
| 5.1 Objetivo General:..... | 6 |
| 5.2 Objetivos Específicos:..... | 6 |
| 6. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO | 7 |
| 6.1 Localización | 7 |
| 7. MARCO TEÓRICO | 9 |
| 7.1 Tectónica de América Central..... | 9 |
| 7.2 Geología Regional de Nicaragua..... | 12 |
| 7.2.1 Provincia Geológica Central..... | 14 |
| 7.3 Marco Conceptual..... | 17 |
| 7.3.1 Definición de ladera o Talud..... | 17 |
| 7.3.2 Partes de un Talud..... | 18 |
| 7.3.3 Los deslizamientos..... | 20 |
| 7.3.4 Partes de un Deslizamiento..... | 21 |
| 7.4 Clasificación de movimientos en masa..... | 23 |
| 7.4.1 Desprendimientos | 23 |
| 7.4.2 Volcamiento: | 24 |

| | |
|---|----|
| 7.4.3 Deslizamiento..... | 25 |
| 7.4.4 Expansión lateral..... | 26 |
| 7.4.5 Flujos..... | 27 |
| 7.4.6 Movimientos complejos: | 30 |
| 7.5 Análisis de inestabilidad de laderas o talud. | 30 |
| 7.5.1 Método de equilibrio límite..... | 30 |
| 7.5.2 Método ordinario o de Fellenius. | 32 |
| 7.5.3 Método de Bishop simplificado..... | 33 |
| 7.5.4 Método de Janbu Simplificado. | 34 |
| 7.5.5 Método de Spencer. | 35 |
| 7.6 Clasificación de macizos rocosos simple..... | 36 |
| 8. HIPÓTESIS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN | 37 |
| 8.1 Hipótesis..... | 37 |
| 8.2 Preguntas investigativas..... | 37 |
| 9. MARCO METODOLÓGICO | 38 |
| 9.1 Tipo de investigación. | 38 |
| 9.2 Área de estudio..... | 38 |
| 9.3 Universo y muestra..... | 38 |
| 9.4 Definición y operacionalización de variables, (MOVI)..... | 39 |
| 9.5 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 42 |
| 9.5.1 Trabajo de gabinete | 42 |
| 9.5.2 Trabajo de campo | 42 |
| 9.5.3 Fuentes de información..... | 43 |
| 9.6 Procedimientos para la recolección de datos e información. | 43 |
| 9.7 Plan de análisis y procesamiento de datos..... | 43 |

| | | |
|-------|--|----|
| 9.7.1 | Análisis geológico..... | 44 |
| 9.7.2 | Análisis de las propiedades físico-mecánicas de las rocas..... | 44 |
| 9.7.3 | Análisis de laboratorio: | 45 |
| 10. | ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS..... | 46 |
| 10.1 | Planimetría y Altimetría..... | 46 |
| 10.2 | Análisis Geológico | 50 |
| 10.3 | Fracturas presentes en el talud. | 60 |
| 10.4 | Análisis geotécnico. | 62 |
| 10.5 | Modelo de estabilidad del talud. | 72 |
| 10.6 | Discusión de resultados..... | 77 |
| 11. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 78 |
| 11.1 | Conclusiones | 78 |
| 11.2 | Recomendaciones | 80 |
| 12. | BIBLIOGRAFIA..... | 81 |
| 13. | ANEXOS | 84 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1. MAPA DE UBICACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 8 |
| FIGURA 2. TECTÓNICA DE AMÉRICA CENTRAL. FUENTE: (FRISCHBUTTER, 2002)..... | 9 |
| FIGURA 3. MAPA DE PROVINCIAS GEOLÓGICAS DE NICARAGUA. FUENTE: (HODGSON, OVERVIEW OF THE GEOLOGY AND MINERAL INDUSTRY OF NICARAGUA, 2001)..... | 13 |
| FIGURA 4. EFECTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DE LOS DESLIZAMIENTOS DE TIERRA. FUENTE: (BRABB, 1989)..... | 17 |
| FIGURA 5. TALUD ARTIFICIAL. FUENTE: (SUÁREZ, 1998). FIGURA 6. TALUD NATURAL. FUENTE: (SUÁREZ, 1998). | 18 |
| FIGURA 7 PARTES GENERALES DE UN TALUD O LADERA. FUENTE: (SUÁREZ, 1998). | 19 |
| FIGURA 8. NOMENCLATURA DE UN DESLIZAMIENTO. FUENTE: (SUÁREZ, 1998)..... | 22 |
| FIGURA 9. DESPRENDIMIENTOS, (COPONS, 2007)..... | 23 |
| FIGURA 10. ESQUEMA DEL VUELCO DE UNA MASA ROCOSA DESPRENDIDA DEL SUSTRATO ROCOSO. (COPONS LLORENS & TALLADA,2009) | 25 |
| FIGURA 11. ESQUEMA DE DESLIZAMIENTO ROTACIONAL (A) Y TRASLACIONAL (B) (COPONS LLORENS & TALLADA,2009) | 26 |
| FIGURA 12. ESQUEMA SIMPLIFICADO DE UNA EXPANSIÓN LATERAL. (COPONS LLORENS & TALLADA,2009) | 27 |
| FIGURA 13. ESQUEMA DE UNA COLADA FANGOSA. (COPONS LLORENS & TALLADA,2009).... | 28 |
| FIGURA 14. ESQUEMA DE UNA CORRIENTE DE DERRUBIOS. (COPONS LLORENS & TALLADA,2009) | 29 |
| FIGURA 15. ESQUEMA DE REPTACIÓN SUPERFICIAL EN UNA LADERA (COPONS LLORENS & TALLADA,2009) | 29 |
| FIGURA 16. MODELO ORDINARIO O DE FELLENIIUS. FUENTE: (FELLENIIUS, 1927). | 32 |
| FIGURA 17. ANÁLISIS DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN EN EL MÉTODO DE SPENCER. FUENTE: (SUÁREZ, 2002. | 36 |
| FIGURA 18. CURVAS DE NIVEL DEL TALUD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 47 |
| FIGURA 19. PERFILES Y CURVAS DE NIVEL DEL TALUD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 48 |
| FIGURA 20. PERFIL CENTRAL DEL TALUD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 49 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 21. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA..... | 57 |
| FIGURA 22. PERFIL GEOLÓGICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 59 |
| FIGURA 23. ROSETA DE FRACTURAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 61 |
| FIGURA 24. MODELO DEL TALUD EN SLIDE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 68 |
| FIGURA 25. ANÁLISIS DEL MODELAMIENTO DEL TALUD POR MEDIO DEL SOFTWARE SLIDE UTILIZANDO EL MÉTODO DE BISHOP SIMPLIFICADO (0.463). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA..... | 69 |
| FIGURA 26. ANÁLISIS DEL MODELAMIENTO DEL TALUD POR MEDIO DEL SOFTWARE SLIDE UTILIZANDO EL MÉTODO DE JANBU SIMPLIFICADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.... | 70 |
| FIGURA 27. ANÁLISIS DEL MODELAMIENTO DEL TALUD POR MEDIO DEL SOFTWARE SLIDE UTILIZANDO EL MÉTODO DE SPENCER. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 71 |
| FIGURA 28. PROPUESTA DE TALUD DESCAPOTADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 73 |
| FIGURA 29. TALUD DESCAPOTADO, MÉTODO BISHOP. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA..... | 74 |
| FIGURA 30. TALUD DESCAPOTADO, MÉTODO DE JANBU SIMPLIFICADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 75 |
| FIGURA 31. TALUD DESCAPOTADO, MÉTODO SPENCER. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 76 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| TABLA 1. MÉTODOS DE EQUILIBRIO LIMITE..... | 31 |
| TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE ESPACIADO. | 36 |
| TABLA 3. MOVI..... | 39 |
| TABLA 4. ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS (SUCS). | 45 |
| TABLA 5. CÁLCULOS GRANULOMÉTRICOS. | 63 |
| TABLA 6. GRAVEDAD ESPECIFICA. | 64 |
| TABLA 7. PESO ESPECÍFICO TOTAL. | 65 |
| TABLA 8. PORCENTAJE DE ABSORCIÓN | 66 |
| TABLA 9. PROPIEDADES UTILIZADAS EN EL PROGRAMA SLIDE..... | 67 |

ÍNDICE DE FOTOS.

| | |
|---|----|
| Foto 1. Km 176 carretera Nic-7. Coordenadas UTM-WGS84: N1335031 E707110. Fuente: elaboración propia..... | 46 |
| Foto 2. Coordenadas UTM-WGS84: N1335013 E707021. Fuente: elaboración propia. | 50 |
| Foto 3. Litología del talud. Coordenadas UTM-WGS84: N1335014 E707068. Fuente: elaboración propia..... | 51 |
| Foto 4. Suelo residual y toba riolítica. Coordenadas UTM-WGS84: N1335014 E707068..... | 52 |
| Foto 5. Suelo Residual y Aglomerado. Coordenadas UTM-WGS84: N1335014 E707068. Fuente: elaboración propia. | 53 |
| Foto 6. Toba lítica riolítica con clastos gruesos y un grado de alteración por oxidación avanzado coordenadas UTM-WGS84: N1335014 E707068. Fuente: elaboración propia. | 54 |
| Foto 7. Toba riolítica, coordenadas UTM-WGS84: N1335014 E707068. Fuente: elaboración propia..... | 55 |
| Foto 8. Estrato de toba riolítica cloritizada, coordenadas UTM-WGS84: N1335014 E707068. Fuente: elaboración propia. | 56 |

1. INTRODUCCIÓN

Los procesos de remoción en masa, son aquellos que involucran el movimiento de los materiales formadores de las laderas, bajo la influencia de la gravedad (conocido de igual forma como procesos gravitacionales). El término proceso de remoción en masa, agrupa a los diferentes tipos de movimiento de material (llámese rocas, detritos o derrubios, tierra o suelo) que ocurren en las laderas sin importar el mecanismo involucrado (INETER, 2005).

Los fenómenos de deslizamientos son muy frecuentes alrededor del mundo, debido a los procesos tectónicos en que estamos involucrados en el día a día, la sociedad está expuesta a distintos fenómenos y es nuestro deber como profesionales elaborar estudios en beneficios de la sociedad y responder a la evolución de los fenómenos de la tierra en la que nos encontramos envueltos al pasar de los años.

Con el pasar de los años, han ocurridos diversos fenómenos de deslizamiento ocasionando pérdidas económicas e incluso pérdidas de vidas humanas, por ejemplo: el deslizamiento en el poblado de Armero por el volcán Nevado del Ruíz en Colombia y el deslizamiento del Volcán Casita en Nicaragua, siendo estos los mayormente mencionados en la región, debido a los daños ocasionados en medida de pérdidas económicas y vidas humanas.

La elaboración de un estudio de inestabilidad de taludes, permitirá identificar las propiedades geotécnicas de los suelos y rocas, su pendiente, su porcentaje de absorción de agua y el peligro que representa debido a : su interacción antropogénica, su geología y su topografía irregular, con la ayuda de estas características, se propusieron medidas de mitigación para disminuir pérdidas humanas y económicas sobre un modelamiento del talud más estable y acorde a la zona de estudio en el tramo de carretera Nic.7.

2. ANTECEDENTES.

En la revisión bibliográfica, se encontraron los siguientes antecedentes tanto a nivel nacional como internacional:

- El Análisis realizado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura [MTI], (2014). Tuvo como objetivo evaluar las carreteras principales y secundarias de Nicaragua, obteniendo sitios vulnerables y críticos de la red vial nacional. Utilizaron una metodología cualitativa, la cual consistió en una descripción y clasificación general de puntos a lo largo de toda la red vial nacional. Esta clasificación de taludes nos brinda la información de donde están ubicados los taludes críticos y subcríticos en el país, lo que tomamos como referencia para poder definir el talud a evaluar.
- La evaluación de la Universidad de Cuenca-Ecuador, (2013). Tuvo como objetivo evaluar la estabilidad de taludes en un sector de la cantera de materiales pétreos Las Victorias, empleando una metodología descriptiva; caracterizando la geomecánica del macizo rocoso y determinando el factor de seguridad de los taludes. A partir de la información que nos proporciona este trabajo realizaremos la clasificación de los factores de seguridad y la evaluación de nuestro talud.
- El análisis elaborado por Barquero, A. (2012), tuvo como objetivo analizar taludes en proyectos viales, empleando una metodología cuantitativa; basada en evaluaciones de campo, clasificación de macizos rocosos y modelación de estabilidad a partir del principio de índice SMR para taludes. Este trabajo nos proporciona información de cómo evaluar, clasificar y modelar la estabilidad de taludes.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

- El proyecto de la Universidad de los Andes, (2001), se basó en proponer una respuesta a la problemática en inestabilidad de taludes, utilizando el método numérico, el cual consiste en realizar todos los cálculos requeridos en el método equilibrio límite, para evaluar la estabilidad de taludes en macizos rocosos, provee información de cómo ejecutar correctamente el método de equilibrio límite y así proponer una respuesta a nuestra problemática.
- Barton, N. y Choubey, V. (1997), describieron una ley empírica de fricción con el objetivo de extrapolar y predecir los datos de fuerza cortante en juntas rocosas mediante ensayos de laboratorios relativamente sencillos poniendo bajo presión el corte de roca y medir todas sus características. Usando una metodología cualitativa, que consistió en datos fijos y definidos. Este estudio aporta a nuestra investigación como diferenciar la fuerza cortante en juntas rocosas y la resistencia de cada una de ellas.
- El manual elaborado por Bieniawski, Z., (1989). Tuvo como propósito dar a conocer los aspectos geomecánicos y clasificación a detalle de las juntas rocosas, por medio de un método mixto entre pruebas “in situ” y ensayos de laboratorio para poder calcular un RMR final. Lo cual brinda información para los taludes rocosos, como es el caso de nuestra investigación, permitiendo obtener propiedades geomecánicas de los taludes.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Como parte del desarrollo de la infraestructura vial se requiere de la caracterización, identificación y análisis de puntos a lo largo de las carreteras del país, la cual ha sido una problemática en las últimas décadas. Tomando en cuenta lo antes mencionado, en el departamento de Chontales en el Municipio de Santo Tomas de la carretera Nic.7 en el Km 176, se encuentra puntualizado un talud de roca como uno de los sitios críticos de dicha carretera (MTI, 2014).

Las carreteras que se construyen en zonas accidentadas, están acompañadas de taludes naturales con pendientes pronunciadas, a esto se le suma la actividad antrópica y climática que poco a poco va erosionando el material que conforma el talud, provocando un deslizamiento de masa que daña o bloquea la carretera y en el peor de los casos, se convierte en una trampa mortal para quien la transita.

Tanto en los proyectos como en los estudios viales, uno de los principales componentes es la geotecnia, la cual se enfoca principalmente en la mecánica de suelos, refiriéndose a un análisis de estabilidad de taludes. Mientras tanto, su implementación en taludes de rocas es poca o nula. Cabe destacar que, en el municipio de Santo Tomás, esta es casi inexistente.

¿De qué manera la topografía y la actividad antrópica influye en la inestabilidad del talud en el km 176 de la carretera Nic.7 en el municipio de Santo Tomás, departamento de Chontales?

4. JUSTIFICACIÓN.

En respuesta a la problemática planteada, es necesario realizar el presente trabajo investigativo para dar a conocer la existente amenaza de inestabilidad del talud ubicado en el Km 176 en el Municipio de Santo Tomas en el departamento de Chontales. Dicha investigación aportará a la poca bibliografía existente en el país con respecto a la rama de geomecánica en la aplicación al análisis de estabilidad de taludes en roca.

Cabe destacar que la Nic.7 es la carretera principal de dicho municipio, el cual es destacado por su importante exportación de ganado y productos lácteos, esta última actividad mencionada es la principal atracción hacia pobladores de todo el país. La realización de este estudio implica que aportará información necesaria para tomar medidas de prevención y mitigación ante desastres por inestabilidad del talud.

5. OBJETIVOS.

5.1 Objetivo General:

- Analizar la estabilidad del talud de la carretera Nic.7, en el Km 176 del departamento de Chontales.

5.2 Objetivos Específicos:

- Realizar altimetría y planimetría del talud crítico en el Km 176 de la carretera Nic.7, con el fin de conocer las dimensiones del mismo.
- Caracterizar la geología del talud, para identificar las unidades litoestratigráficas encontradas en el sitio.
- Realizar un análisis geotécnico en el talud crítico del Km 176, para conocer las propiedades de suelos y rocas.
- Elaborar un modelo de estabilidad del talud, para conocer el factor de seguridad
- Proponer medidas de mitigación, para proveer una posible solución a la problemática planteada.

6. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

6.1 Localización

El departamento de Chontales se encuentra ubicado en la región central del país con coordenadas UTM-WGS84: N1336278 E674142 Z16P. Ocupa una extensión territorial de 6,481.27 Km². Posee una población de 177,040 habitantes (INEC, 2003). Dicho departamento limita al norte con el departamento de Boaco, al sur con Río San Juan, al este con la Región Autónoma Atlántico sur (R.A.A.S) y al oeste con el lago Cocibolca.

El área de estudio es un talud de la carretera ubicado a unos ciertos metros de la entrada del municipio de Santo tomas en el Km 176, con coordenadas UTM-WGS84: N1335025 E707070. Como se aprecia en la siguiente figura.

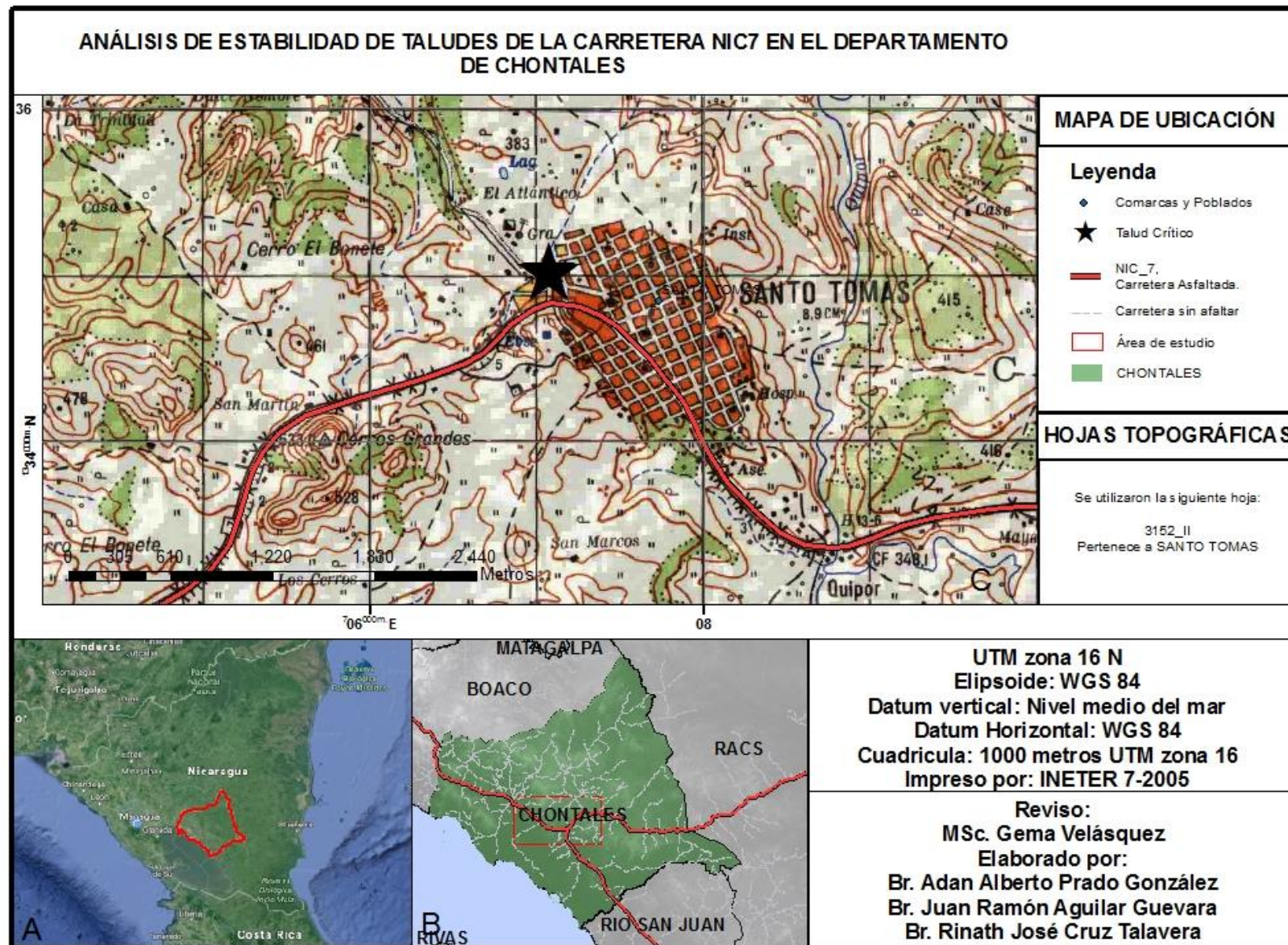


Figura 1. Mapa de ubicación. Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

7.1 Tectónica de América Central.

La región de América Central tectónicamente, se encuentra localizada en el límite occidental de la placa Caribe, entre las placas Norteamericana y Suramericana, interactuando con las placas Coco y Nazca, por consiguiente, presentando una historia geológica compleja que caracteriza la región (Frischbutter, 2002).

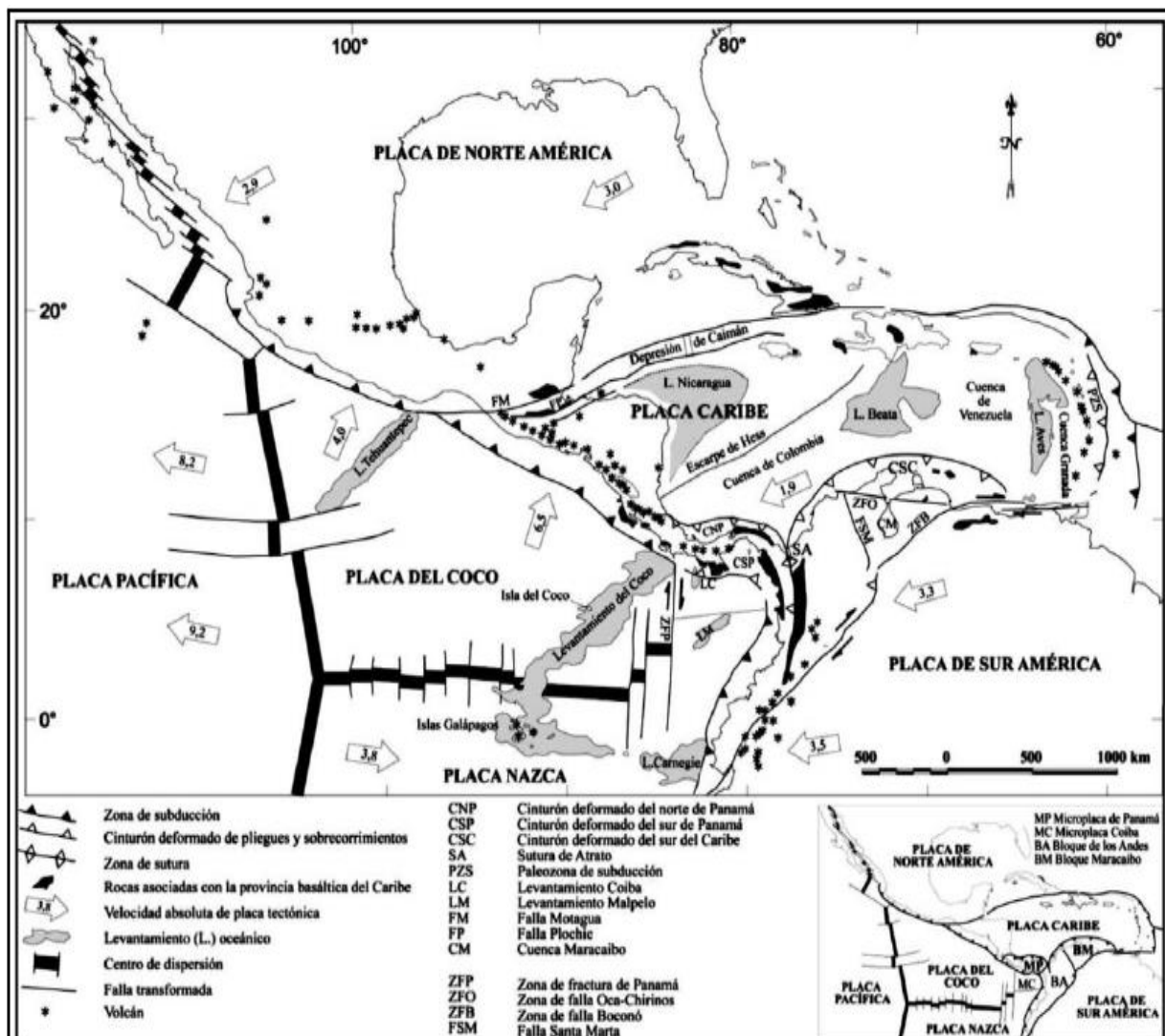


Figura 2. Tectónica de América Central. Fuente: (Frischbutter, 2002)

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

La placa Caribe se desarrolló debido a la posición relativa de la placa Norteamericana y Suramérica, después del rompimiento de Pangea en el Triásico-Jurásico tardío (Bullard D, 1965 y Pindell, 1985). Los márgenes de la Placa Caribe son complejos cinturones tectónicos activos que han estado evolucionando a lo largo del Cenozoico. Se caracterizan por fallas de desplazamiento horizontal y plegamiento compresivos, empuje, deformación y fallamiento extensional.

La placa Caribe limita al Norte con la placa Norteamericana; incluyendo el sistema de fallas Motagua-Polochic-Jocotán en Guatemala, Fosa Caimán, la fosa de Puerto Rico y fosa Muertos, predominando un desplazamiento horizontal en falla transformante. El límite sur con la placa Suramericana, que comprende una amplia zona de deformación caracterizada por fallamiento horizontal, estructuras de plegamientos, fallamiento compresional y extensional; al Este limita con la zona de subducción que forma las Islas Barbados y la Fosa de Tobago, ubicada entre las islas Barbados y las Antillas menores y al Oeste limita con la fosa Mesoamericana (Dengo y Case 1990).

América Central en su basamento, está constituida por bloques tectónicos de diferentes naturalezas (Dengo 1968), cuyos márgenes son complejos cinturones tectónicos activos que han evolucionado a lo largo del Cenozoico y se caracterizan por un fallamiento horizontal, plegamiento compresional, empuje y deformación (Dengo y Case 1990) estos bloques son:

Bloque Maya: Su naturaleza es continental compuesto por rocas ígneas y metamórficas, cubiertas por rocas sedimentarias del Paleozoico superior y se localiza en la porción norte de la placa Caribe. El Bloque Maya ocupa la parte norte de Guatemala, Belice y el estado de Chiapas y parte de Oaxaca y Veracruz, en México. Sin embargo, en la mayor parte de Centroamérica influyen principalmente los bloques Chortis y Chorotega (Dengo y Case 1990).

Bloque Chortis: De naturaleza continental compuesto por rocas metamórficas de edades Paleozoicas a Pre-Terciario, instruidas por numerosos plutones de diferentes edades. El Bloque Chortis está claramente separado del Bloque Maya por la zona de Falla Motagua - Polochic y al Suroeste por la Fosa Mesoamericana y comprende el sur de Guatemala, El Salvador, Honduras, el Norte de Nicaragua y el Banco de Nicaragua ubicado en la porción norte de la cuenca la Mosquitia en el Caribe (Dengo y Case 1990).

Bloque Chorotega: De naturaleza oceánica compuesto por una secuencia de ofiolitas de edad Cretácica, constituidas por basaltos en almohadillas, gabros, peridotitas y peridotitas serpentinizadas sobreyacidas por sedimentos con abundantes restos de fósiles (radiolaritas). El Bloque Chorotega comprende el Sur de Nicaragua, Costa Rica y Panamá hasta su parte Central. Se han definido tres estructuras amplias respecto a la Fosa Mesoamericana: la región de ante arco, el arco magmático y la región de tras arco (Dengo y Case1990).

Según Venable (1994), el límite entre los Bloques Chortis y Chorotega podría encontrarse en la parte de Norte de Nicaragua justo al Norte del área de Siuna. Este autor propone la existencia de un micro bloque entre el Chortis y el Chorotega, al que llamó Terreno Siuna. Originalmente esta área era atribuida al Bloque Chortis, sin embargo, dada a la particularidad de las condiciones genéticas lo caracterizó como un terreno de tipo arco de isla con características y depósitos minerales similares a los de Bloque Chorotega más que al Bloque Chortis.

7.2 Geología Regional de Nicaragua.

Nicaragua comprende la mayor extensión territorial de los países que conforman Centroamérica tectónicamente se encuentra en el límite Oeste de la Placa Caribe (Dengo, 1985), el cual se desarrolló debido a la convergencia con la Placa Cocos. La velocidad de convergencia es de aproximadamente 8 cm/año.

El territorio nicaragüense, en su totalidad se encuentra altamente fallado, fracturado o plegado. Existen sistemas de fallas principales y secundarias, cubriendo principalmente las provincias del Norte y Central (Lilljequist y Hodgson, 1983).

La configuración geológica de Nicaragua se originó aparentemente en el Paleozoico y culminó con la intensa actividad volcánica a principio del cuaternario (Giesecke, 1989).

Con la finalidad de definir la geología regional del territorio nicaragüense, McBirney y Williams (1965), dividen a Nicaragua en cuatro Provincias Geológicas; posteriormente en 1976 Hodgson en términos de la estructura geológica, subdividió a Nicaragua en cinco provincias. Las cuales han sido clasificadas de la siguiente forma:

- Cuenca de Sedimentación de la Costa del Pacífico (Provincia Geológica de la Costa del Pacífico):
- Depresión nicaragüense
- Provincia Geológica del Norte
- Provincia Geológica de la Costa Atlántica
- Provincia Volcánica Terciaria (Provincia Geológica Central)
(Hodgson, 2001)

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

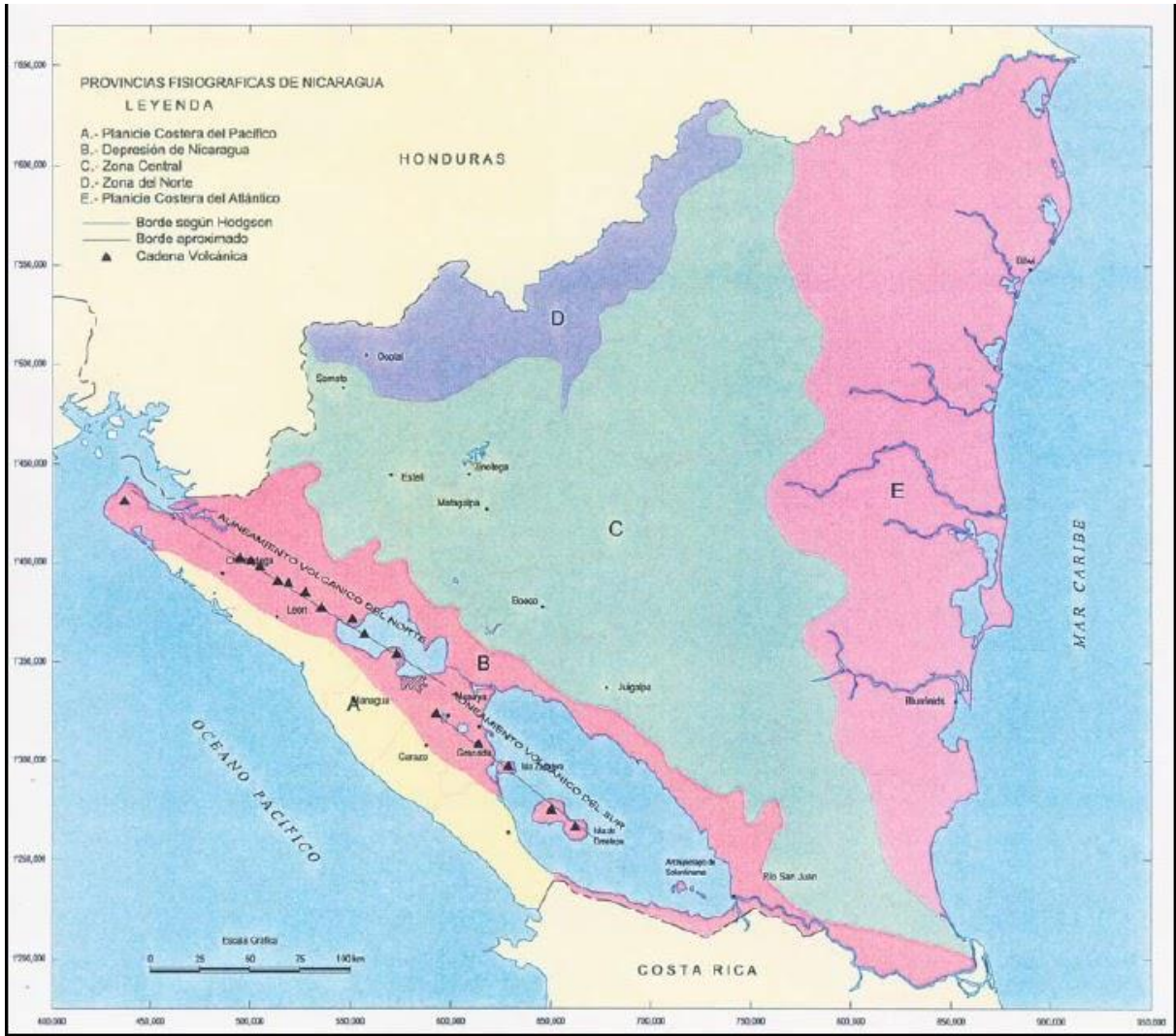


Figura 3. Mapa de Provincias Geológicas de Nicaragua. Fuente: (Hodgson, Overview of the Geology and Mineral Industry of Nicaragua, 2001)

7.2.1 Provincia Geológica Central.

El área de estudio se encuentra en la **Provincia geológica central**, geográficamente conocida como las Tierras Altas del Interior (William, 1965) comprende básicamente las siguientes regiones geológicas (Hodgson, 1978).

- La Provincia Volcánica del Coyol, incluyendo las mesas ignimbríticas que se extienden en dirección NO-SE, desde la frontera con Honduras, hasta el Departamento del Río San Juan.
- La Provincia Volcánica de Matagalpa.
- La Provincia de Pre-Matagalpa.
- La Región del SE, que ocupa la parte del antiguo canal interoceánico (Dengo, 1973).

En el NO, la Provincia Geológica Central descansa sobre la plataforma paleo mesozoica. Desde el punto de vista tectónico los principales sistemas de fallas del país que atraviesan la Provincia Geológica Central son:

- El Graben de Managua (N-S)
- El sistema de fallas de Punta Huete (NE-SO)
- El sistema e Matiguás (NO-SE)
- El sistema de Hess (aprox. O-E).

Los sectores centrales y Sur de la provincia central están cubiertos principalmente por depósitos volcánicos terciarios (tobas, basaltos, andesitas e ignimbritas) que pertenecen a los grupos Matagalpa y Coyol y descansan generalmente sobre las formaciones sedimentarias terciarias.

Los valles intramontañosos más importantes, ubicados en el centro y al norte de la Provincia Geológica Central son: Sébaco, Estelí, Jalapa, San Juan de Limay, El Sauce, Achuapa y Llanura Aluvial del río Coco, que están rellenos con depósitos aluviales de arena, grava, limo, arcillas y cascajo.

En el curso medio del río San Juan afloran rocas sedimentarias Mesozoicas correspondientes a las formaciones Machuca y Brito, las cuales están compuestas por rocas como: areniscas, lutitas, conglomerados y calizas: Esta zona elevada es drenada por una red ramificada de cursos de agua que han cavado cauces profundos en las capas de basalto, abriéndose paso hacia el Este con la Costa Atlántica y al Oeste con la Depresión nicaragüense.

Formaciones Geológicas de la Provincia Central

Formación Andesita-Aglomerado (Tmca-Tmcg)

Esta formación es la que presenta una malla de distribución dentro del grupo coyol. Aflora aisladamente del flujo andesítico, marcando el inicio de un vulcanismo, cuyos productos fueron arrojados por antiguos centros volcánicos, algunos de los cuales conservan aun rasgos de sus estructuras, altamente deformadas por erosión. Generalmente se presenta rodeando estructuras de calderas: Caldera santa Lucia, Norte de Boaco, del Castillo en Condega, del valle de Guayuacal de Yali, del pueblo de Jinotega etc. Ocupan terrenos montañosos elevados (Cerro Mayorquin en Terrabona, espesor de 500 m) y se trata de gruesos bancos de aglomerados, compuestos de bombas de diversos tamaños y forma, de composición basáltica, algunas vesiculares o amigdaloides. La matriz es una toba rojiza a violácea, el conjunto al igual de las vesiculares contiene minerales secundarios tales como cuarzo, ópalo blanco y opalo zeolita (natrolitas) y calcita, favoreciendo la cementación (Hodgson, 1978).

La andesita propiamente dicha comprende andesita de variada coloración, composición, textura de diferentes grados de alteración y meteorización, ha brecha andesítica, aglomerática, contiene minerales secundarios varios y generalmente asociados al conjunto, se encuentran diques y lentes hipabisales de diversa composición.

La morfología de la formación (Coyol Inferior), es ligeramente diferente a la morfología de las otras formaciones del Coyol, no se diferencia las extensas mesetas o grandes bancos horizontales, por el contrario, presenta morfología de relieve irregular y

variable, debido a las intensas deformaciones estructurales y la susceptibilidad a la meteorización.

Formación basáltica-aglomerática (Tpcb).

Esta formación es la mejor definida, cubre grandes extensiones con densos flujos en disposición horizontal, de grandes espesores y relieve en mesas (forma parte de las cumbres de las mesetas de Estelí, San Rafael del Norte y Jinotega).

Esta constituido casi homogéneamente por basalto piroxenico y olivino. Facies vesiculares se encuentran en las vecindades de los centros de erupción asociados. Sometido a la meteorización se rompe fácilmente en lajas permitiendo su extracción en las canteras y su empleo como balasto (Hodgson, 1978).

En la secuencia basáltica se intercala aglomerado, autobrechas y tobas líticas rojas escoriaceas en menor proporción. Su nivel inferior está constituido por aglomerado, que en algunas áreas fue incluida en el Coyol inferior (Tmcd), en unas áreas en esta formación y en otras áreas como unidad aislada (Tpca), estando en discordancia sobre las tobas aglomeraticas, grises verdosas y sedimentos volcánicos del grupo Matagalpa (llano del Zapotillo, Acoyapa Km 158 a él Rama) y se puede alinear en el mapa geológico (cuadrángulo de Sebaco). Las Facies aglomeradas no siempre está presente en la unidad basáltica y si se presenta, usualmente ocupa el basamento de la serie basáltica.

Formación sedimentaria tobacea (Tommi).

Esta formación está constituida predominantemente por depósitos piroclásticos, sedimentos tobaceos y depósitos de aguas muy someras de tipo lacustre y fluvial, toba retrabajadas, tobas aglomeraticas verdosas-blanquecinas y limolita tobaceas.

Afloramientos típicos se encuentran en Santo Tomas (A 500 m SW de Santo Tomas, aflora tobas con intercalación de sedimentos tobaceos y a 8 Km más al Sur el sedimento es de color verdoso y la toba está en contacto con andesita). En el área de Tecolostote (hacienda Santa rosa), en Cuapa sedimentos rojizos areniscas-tobaceas

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

se encuentran al Sur y Este del pueblo con rumbo NW y buzando hacia el SW (Hodgson, 1978).

7.3 Marco Conceptual.

Los deslizamientos de tierra son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Hrod, 1989).

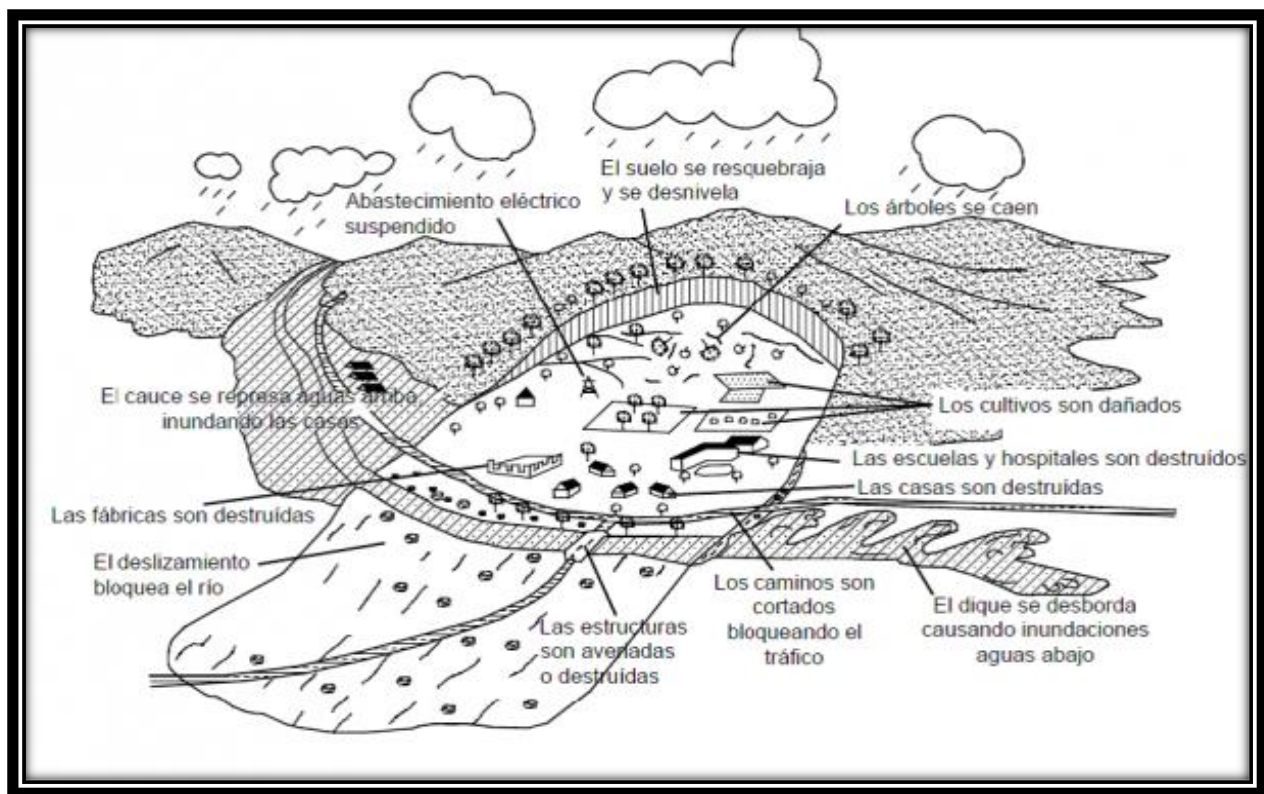


Figura 4. Efectos directos e indirectos de los deslizamientos de tierra. Fuente: (Brabb, 1989)

7.3.1 Definición de ladera o Talud.

Un Talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, sino que presenta una pendiente o cambios significativos de altura. En la literatura técnica se define como Ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y Talud cuando se conformó artificialmente (Suárez, 1998).

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas. Las laderas o taludes que han permanecido estables por muchos años, pueden fallar debido a cambios topográficos, sísmicos, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización, factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad. Un talud estable puede convertirse en un “Deslizamiento” (Suárez, 1998).

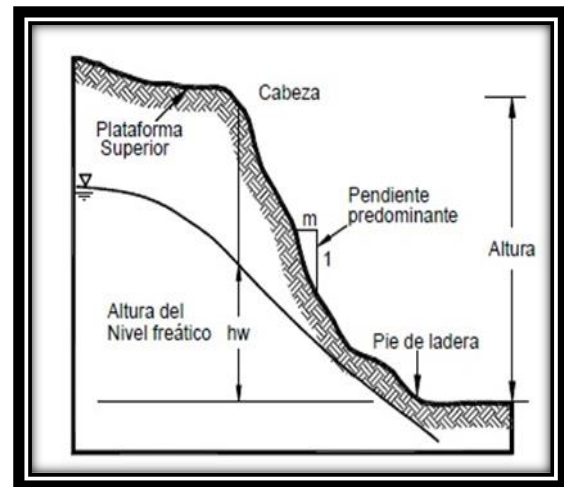
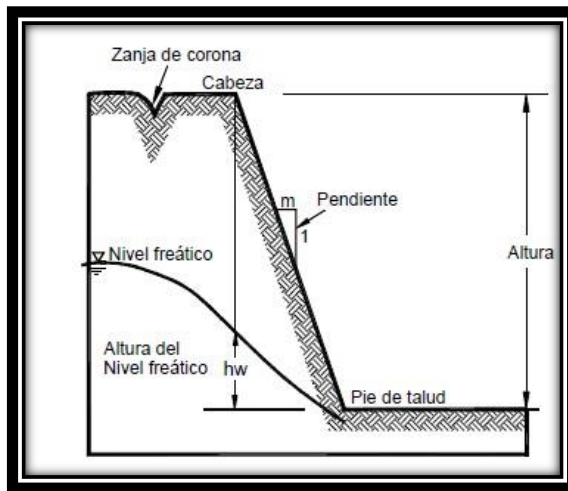


Figura 5. Talud Artificial. Fuente: (Suárez, 1998). Figura 6. Talud Natural. Fuente: (Suárez, 1998).

7.3.2 Partes de un Talud

La nomenclatura de taludes más utilizada en geotecnia, se basa en los sistemas de clasificación propuestos por (Varnes, 1958; Hutchinson, 1968 y Varnes, 1978). Este último sistema fue actualizado por Cruden y Varnes en el Special Report 247 del Transportation Research Board de los Estados Unidos (1996) y es el sistema de nomenclatura y clasificación más utilizado en el mundo.

Existen algunos términos para definir las partes de un talud. El talud comprende una parte alta o superior convexa con una cabeza, cima, cresta o escarpe, donde se presentan procesos de denudación o erosión; una parte intermedia semi-recta y una

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

parte baja o inferior cóncava con un pie, pata o base, en la cual ocurren principalmente procesos de depositación.

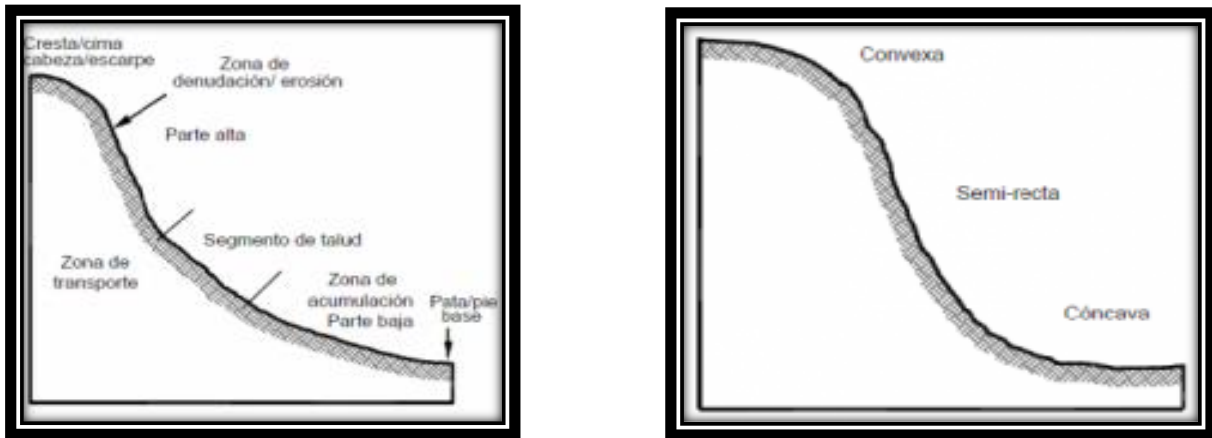


Figura 7 Partes generales de un Talud o Ladera. Fuente: (Suárez, 1998).

En un talud o ladera se definen los siguientes elementos constitutivos:

Pie, pata o base: El pie corresponde al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte inferior del talud o ladera. La forma del pie de una ladera es generalmente cóncava.

Cabeza, cresta, cima o escarpe: Cabeza se refiere al sitio de cambio brusco de la pendiente en la parte superior del talud o ladera. Cuando la pendiente de este punto hacia abajo es semi- vertical o de alta pendiente, se le denomina Escarpe. Los escarpes pueden coincidir con coronas de deslizamientos. La forma de la cabeza generalmente es convexa.

Altura: Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza generalmente no son accidentes topográficos bien marcados.

Altura de nivel freático: Es la distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua (la presión en el agua es igual a la presión atmosférica). La altura del nivel freático se acostumbra medirla debajo de la cabeza del talud.

Pendiente: Es la medida de la inclinación de la superficie del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m:1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: $45^\circ = 100\% = 1H:1V$. Los suelos o rocas más resistentes generalmente forman laderas de mayor pendiente y los materiales de baja resistencia o blandos, tienden a formar laderas de baja pendiente.

7.3.3 Los deslizamientos.

Son desplazamientos de masas de tierra o rocas (o ambos), por una pendiente abajo en forma súbita o lenta, es un fenómeno de la naturaleza que se define como “el movimiento pendiente abajo, lento o súbito de una ladera, formado por materiales naturales – roca – suelo, vegetación o bien de rellenos artificiales”. (Hutchinson, 1988)

Los deslizamientos o derrumbes se originan sobre todo en la época lluviosa o durante períodos de actividad sísmica, y se presentan de dos formas:

Deslizamientos lentos: estos dependen de las características del terreno por donde se deslizan, la velocidad del movimiento es tan lenta que no se percibe, este tipo de deslizamiento genera unos pocos centímetros de material al año. Se identifican por medio de una serie de características marcadas en el terreno.

Deslizamientos rápidos: los cuales son movimientos bruscos. La velocidad del movimiento es tal que la caída de todo el material puede darse en pocos minutos o segundos. Son frecuentes durante las épocas de lluvias o actividades sísmicas intensas. Como son difíciles de identificar, ocasionan importantes pérdidas materiales y de vidas.

Estos dependen de las siguientes variables: Tipos de rocas y suelos; Topografía (lugares montañosos con pendientes fuertes); Cantidad de lluvia en el área; Actividad sísmica de la zona; Actividad humana (cortes en ladera, falta de canalización de aguas, etc.); Erosión (por actividad humana y de la naturaleza).

7.3.4 Partes de un Deslizamiento.

De acuerdo a la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica (IAEG, 1990), Las partes que integran un deslizamiento son:

Cabeza: Es la parte superior de la masa de material que se mueve. La cabeza del deslizamiento no corresponde necesariamente a la cabeza del talud. Arriba de la cabeza está la corona.

Cima: Es el punto más alto de la cabeza, en el contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.

Corona: Es el material que se encuentra en el sitio (prácticamente inalterado), adyacente a la parte más alta del escarpe principal, por encima de la cabeza.

Escarpe principal: Es la superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material.

La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de la falla.

Escarpe secundario: Superficie muy inclinada producida por el desplazamiento diferencial dentro de la masa que se mueve. En un deslizamiento pueden formarse varios escarpes secundarios.

Superficie de falla: Corresponde al área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de esta, se desplaza. En algunos movimientos no hay superficie de falla.

Pie de la superficie de falla: Es la línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.

Base: Es el área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.

Punta o uña: Es el punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Cuerpo principal del deslizamiento: Es el material desplazado que se encuentra por encima de la superficie de falla. Se pueden presentar varios cuerpos en movimiento.

Superficie original del terreno: Es la superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.

Costado o flanco: Es un lado del movimiento (perfil lateral). Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo.

Derecha e izquierda: Se refiere al deslizamiento observado desde la corona hacia el pie. Para describir un deslizamiento se recomienda utilizar la orientación geográfica (Norte, Sur, Este, Oeste)

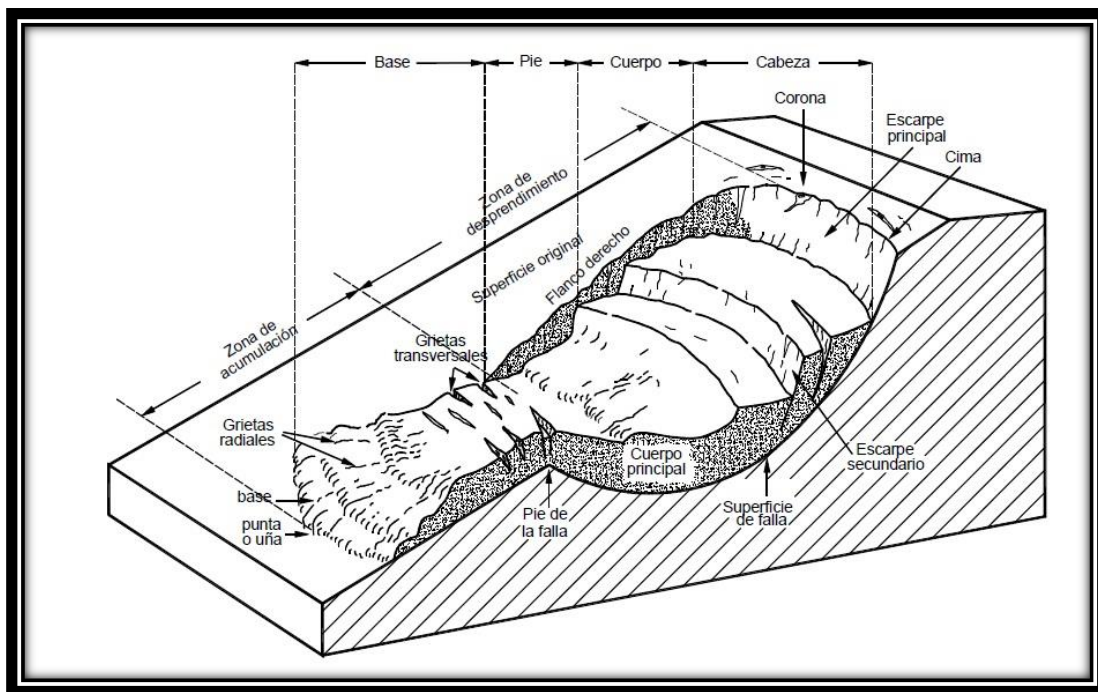


Figura 8. Nomenclatura de un deslizamiento. Fuente: (Suárez, 1998)

7.4 Clasificación de movimientos en masa.

7.4.1 Desprendimientos

Un desprendimiento (*rockfall* en inglés) es una masa rocosa, o de tierra, que se separa de una vertiente casi vertical y cae libremente a través del aire. La masa inestabilizada impacta en el terreno fragmentándose en porciones más pequeñas que siguen una trayectoria particular. Los volúmenes de los desprendimientos son extremadamente variables, desde las frecuentes caídas de bloques de pocos metros cúbicos, hasta la caída de grandes partes de una montaña que se manifiestan en casos muy excepcionales (Copons, 2007).

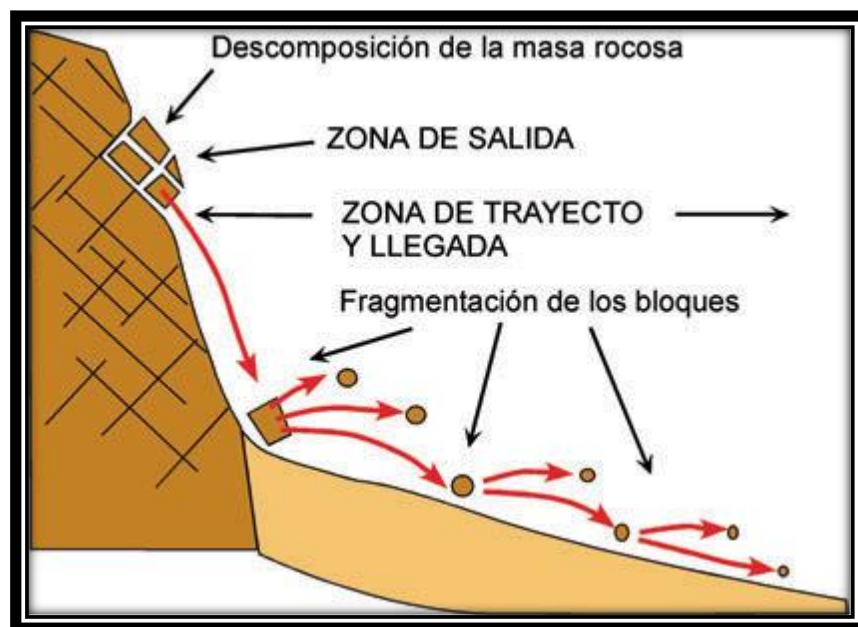


Figura 9. Desprendimientos, (Copons, 2007).

Esquema de un desprendimiento en donde se define: la zona de salida de la masa rocosa, la posterior fragmentación a lo largo de la zona de trayecto y la acumulación de bloques rocosos en la zona de llegada. (Esquema obtenido de Copons, 2007).

7.4.2 Volcamiento:

Los vuelcos (*topple* en inglés) son columnas rocosas, o de tierras, que muestran un movimiento de rotación hacia delante y hacia el exterior de una ladera alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad (Cruden y Varnes, 1996).

Los vuelcos se producen principalmente en escarpes en donde existen fracturas verticales en el terreno que son las causantes de separar las columnas rocosas, o de tierras, susceptibles al vuelco. Las velocidades son, en su inicio lentas, pero suelen acelerarse hasta ser extremadamente rápidas. Los efectos destructivos son similares a los desprendimientos

Existen tres tipos de volcamiento:

1. **Volcamiento a flexión.** Columnas continuas se rompen y separan unas de otras en flexión a medida que se inclinan hacia adelante (Figura 6).
2. **Volcamiento en V invertida.** Consiste en la inclinación múltiple de una serie de bloques con centro de giro en la superficie inferior del sistema de volcamiento, el cual puede convertirse en una superficie de falla.
3. **Flexión en bloque.** Flexión continua de columnas largas a través de desplazamientos acumulados a lo largo de las numerosas juntas.

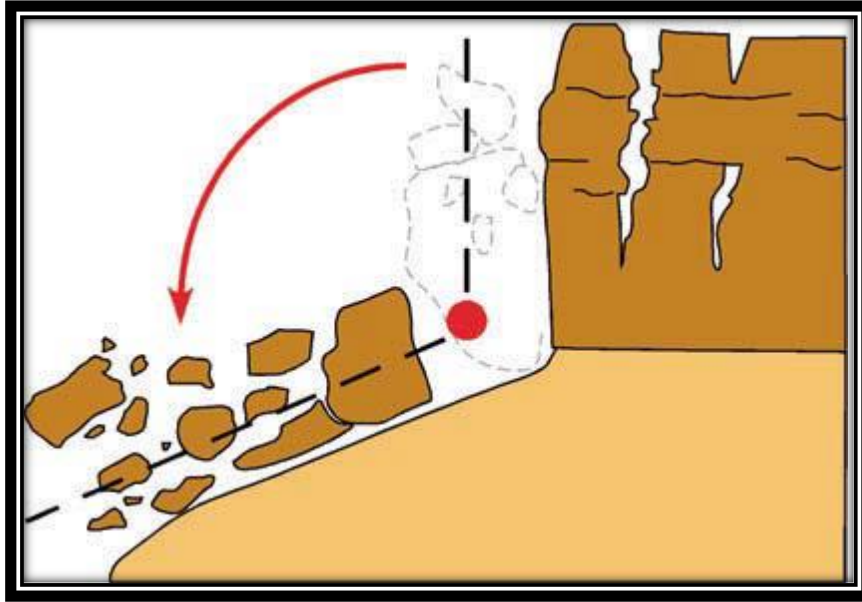


Figura 10. Esquema del vuelco de una masa rocosa desprendida del sustrato rocoso. (Copons Llorens & Tallada, 2009)

Esta masa pivota sobre un eje (punto rojo) hasta caer al suelo por gravedad donde los diferentes fragmentos se acumulan o ruedan ligeramente vertiente abajo.

7.4.3 Deslizamiento

Un deslizamiento (*slide* en inglés) es el movimiento de una porción de terreno a través de una superficie de rotura neta con la preservación general de la estructura interna original. Se puede diferenciar dos tipos de deslizamientos: los deslizamientos rotacionales en donde la superficie de rotura es circular, a modo de cuchara y los deslizamientos traslacionales donde la superficie de rotura es totalmente plana (Cruden y Varnes, 1996).

Los deslizamientos son especialmente frecuentes en laderas inclinadas, entre 20 y 50 grados, y con formaciones geológicas poco resistentes y cohesivas (lutitas arcillosas, margas, etc.). También son frecuentes en laderas formadas por rocas estratificadas con intercalaciones de capas delgadas de arcillas o lignitos. Es también la inestabilidad más frecuente en terraplenes antrópicos (Copons, 2007).

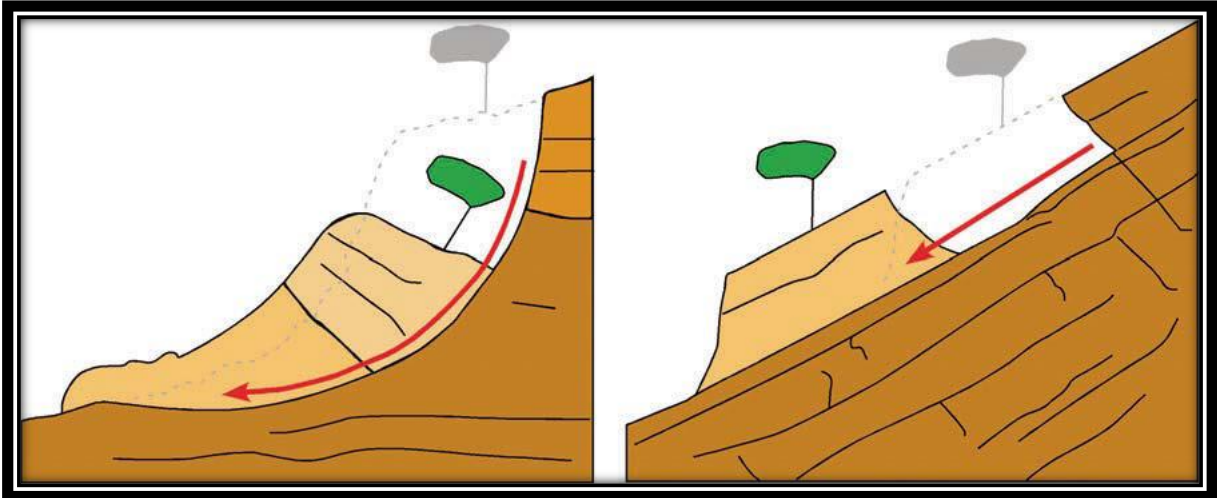


Figura 11. Esquema de deslizamiento rotacional (A) y traslacional (B) (Cops Llorens & Tallada, 2009)

7.4.4 Expansión lateral.

La expansión lateral (*lateral spread* en inglés) es un fenómeno caracterizado por el desplazamiento lateral de una vertiente combinado con la subsidencia de la cima. Las expansiones laterales más habituales se manifiestan en formaciones geológicas en donde existen formaciones duras situadas encima de una formación arcillosa propensa a la licuefacción. Como licuefacción se entiende a la transformación de un sedimento granular saturado en agua, poco consolidado y de una cierta consistencia, en una masa con las propiedades de un fluido debido a la vibración causada, por ejemplo, por un sismo, (Cruden y Varnes, 1996).

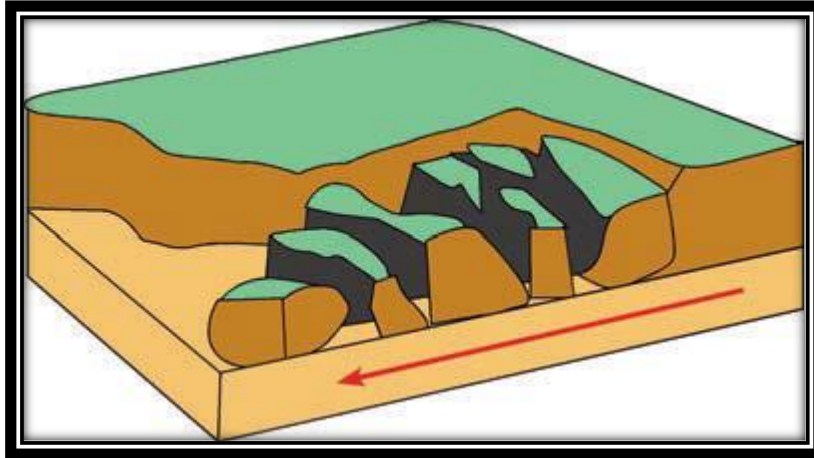


Figura 12. Esquema simplificado de una expansión lateral. (Copons Llorens & Tallada,2009)

La coloración más oscura representa una capa dura fragmentada por la inestabilidad, y la coloración más clara la capa licuefactada subyacente.

7.4.5 Flujos.

Un flujo (*flow* en inglés) es un movimiento continuo, similar a un líquido viscoso, que no preserva la estructura interna original del material desplazado, sino que adopta la morfología de la vertiente por la que discurre. Existen diferentes tipos de flujos, descritos por Corominas y Yagüe (1997) y Highland y Bobrowsky (2008):

La colada fangosa (*earthflow* en inglés) tiene lugar en materiales finos y cohesivos como son los limos y las arcillas. Se generan en vertientes moderadamente inclinadas, entre 20 y 50 grados, y sus velocidades son relativamente rápidas siendo normalmente del orden de metros/día hasta kilómetros/hora. Sus dimensiones son muy variables desde metros cuadrados hasta varios kilómetros cuadrados.



Figura 13. Esquema de una colada fangosa. (Copons Llorens & Tallada,2009)

La corriente de derrubios (*debris flow* en inglés) habitualmente es un flujo “turbulento” formado por un material fangoso con bloques rocosos. Normalmente, las corrientes de derrubios se manifiestan durante lluvias extremadamente fuertes. Tienen su inicio en un deslizamiento, o flujo, desencadenado en una vertiente. Cuando el material movilizado llega a un torrente, éste se mezcla con agua torrencial circulante convirtiéndose en un flujo turbulento.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

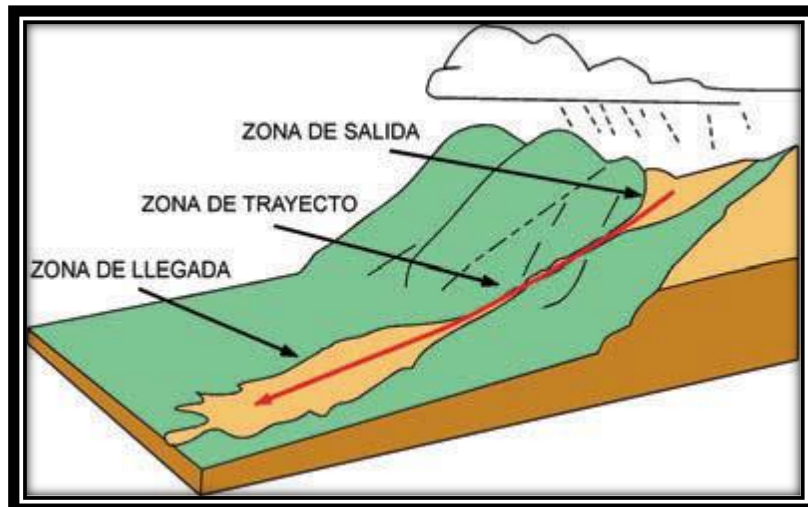


Figura 14. Esquema de una corriente de derrubios. (Copons Llorens & Tallada,2009)

La reptación superficial (*slow earthflow* o *creep* en inglés) es la inestabilidad de la parte más superficial del terreno (de decímetros a pocos metros de grosor) y que se desplaza mediante velocidades muy lentas (del orden de mm/año a dm/año). Es el tipo de movimiento de ladera más habitual y puede afectar a toda una vertiente, Su efecto destructivo es bajo, pero puede causar daños moderados en estructuras que suelen tener reparación.

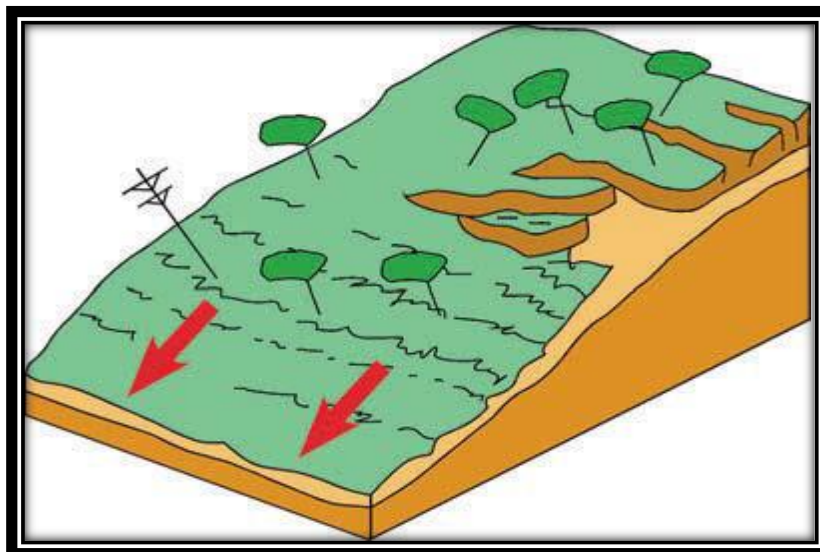


Figura 15. Esquema de reptación superficial en una ladera (Copons Llorens & Tallada,2009)

7.4.6 Movimientos complejos:

ocurren cuando el tipo de movimiento inicial se transforma en otro al ir desplazándose ladera abajo. A este tipo de deslizamiento que involucra varios tipos de movimientos, se le denomina Complejo.

El material involucrado es metaestable, con una estructura suelta y alta porosidad. Durante el colapsamiento, la carga del terreno es transferida a los fluidos de los poros (generalmente agua), lo que ocasiona un incremento en la presión de estos últimos y, por ende, la pérdida de resistencia, ocasionando el flujo deslizante (Hutchinson, 1988).

7.5 Análisis de inestabilidad de laderas o talud.

Por talud se entiende una porción de vertiente natural cuyo perfil original ha sido modificado con intervenciones artificiales relevantes con respecto a la estabilidad. Por derrumbe se entiende una situación de inestabilidad que concierne vertientes naturales y comprende considerables espacios de terreno (Catanzariti, 2016).

Evaluar la estabilidad de un talud implica un estudio en el cual se debe, entre otros eventos: caracterizar la resistencia del suelo, establecer el perfil del talud, así como las condiciones de filtración y agua subterránea y calcular su factor de seguridad, finalmente, a partir de este factor de seguridad se deberá determinar la superficie de falla crítica.

7.5.1 Método de equilibrio límite

El método del equilibrio límite consiste en estudiar el equilibrio de un cuerpo rígido, constituido por el talud y por una superficie de deslizamiento de cualquier forma (línea recta, arco circular, espiral logarítmica). Con tal equilibrio se calculan las tensiones de corte (τ) y se comparan con la resistencia disponible (τ_r), calculada según el criterio de rotura de Coulomb: De tal comparación deriva la primera indicación de estabilidad, con el coeficiente de seguridad: (Catanzariti, 2016).

$$F = \tau_r / \tau$$

El Factor de Seguridad es empleado por los Ingenieros para conocer cuál es el factor de amenaza de que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

el cual se diseña. Fellenius (1927), presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla.

$$F.S. = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}} \quad \text{Ecuación 1}$$

En superficies circulares donde existe un centro de giro y momentos resistentes y Actuantes:

$$F.S. = \frac{\text{Momento resistente disponible}}{\text{Momento actuante}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Tabla 1. Métodos de equilibrio limite.

| Métodos de equilibrio limite. | Superficies de falla. | Equilibrio. | Características. |
|---|----------------------------------|--------------------|---|
| Ordinario o de Fellenius (Fellenius 1927) | Circulares | Fuerzas | -No considera fuerzas entre las dovelas. -No satisface equilibrio de fuerzas. -El procedimiento del método es simple. -Impreciso para taludes planos Factores de seguridad bajos. |
| Bishop Simplificado (Bishop 1955) | Circulares | Momentos | -Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son=0. -Reduce número de incógnitas. -No se establecen condiciones de equilibrio para una dovela. |
| Jambu Simplificado (Jambu 1968) | De cualquier superficie de falla | Fuerzas | -Asume que no hay fuerzas de cortante entre dovelas. -No satisface equilibrio de momentos. Utiliza un factor de corrección Fo para tener en cuenta este posible error. -Los factores de seguridad son bajos. |
| Spencer (1967) | De cualquier superficie de falla | Momentos y fuerzas | -La inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada, pero son desconocidas. - Satisface el equilibrio estático. |

Fuente: (Abramson, L.W., Lee T.S., Sharma S., Boyce G.M., 1996)

Entre los métodos del equilibrio último hay algunos que consideran el equilibrio global del cuerpo rígido (Culman) mientras que otros, por falta de homogeneidad, dividen el cuerpo en rebanadas y consideran el equilibrio de cada una (Fellenius, Bishop, Janbu, etc.).

7.5.2 Método ordinario o de Fellenius.

Conocido también como método sueco, siendo el primer método para resolver problemas de taludes no homogéneos (Fellenius, 1927).

Este método considera una superficie de falla cilíndrica, la cual tiene rotación considerando un punto de giro que corresponde al centro del círculo que define la superficie de falla. La fricción es ignorada entre dovelas y solo se consideran las fuerzas tangenciales a lo largo de la superficie de falla que actúan en cada una de ellas

El factor de seguridad se calcula como una relación entre la suma de los momentos resistentes de cada dovela y la suma entre los momentos actuantes de cada dovela.

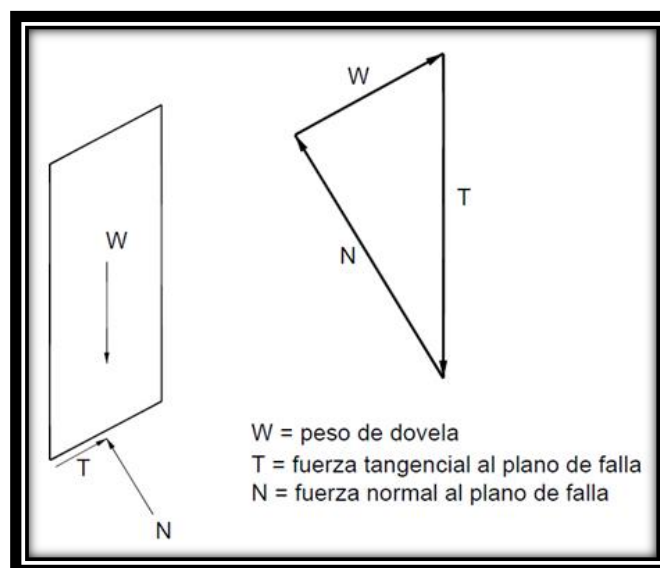


Figura 16. Modelo ordinario o de Fellenius. Fuente: (Fellenius, 1927).

Su factor de seguridad está definido como:

$$F.S : \frac{\Sigma (c\beta + N \tan \phi)}{\Sigma \text{Sen} \alpha} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde

- C Cohesión del ángulo
- Φ Ángulo de fricción del suelo
- β Ángulo de inclinación del talud
- N Fuerza normal ()
- W Peso de la dovela
- α Ángulo de inclinación de la superficie de falla

7.5.3 Método de Bishop simplificado.

Bishop (1955) presentó un método utilizando Dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las Dovelas.

Bishop en 1955 realizó un método con una solución dependiente al método de Fellenius. Bishop considera una superficie de falla cilíndrica con una masa de suelo que gira sobre su punto, el cual corresponde al centro del círculo el cual define la superficie de falla. Tampoco considera fricción entre dovelas solamente las fuerzas normales que actúan en estas. Propone la siguiente fórmula:

$$FS : \frac{1}{\Sigma (W \text{Sen} \alpha)} (c\beta + W \tan \phi \left(\text{Cos} \alpha + \frac{\text{Sen} \alpha \tan \alpha}{FS} \right)) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde

- C Cohesión del suelo
- ϕ Ángulo de fricción del suelo
- β Longitud de la superficie de falla
- W Peso de la dovela

Como el factor de seguridad está implícito en la ecuación, el método se reduce a una solución mediante tanteos. Con la aplicación de la informática esta acción se puede resolver de manera sencilla.

7.5.4 Método de Janbu Simplificado.

Janbú (1973) presenta un método de Dovelas para superficies de falla curvas, no circulares.

El método de Janbu simplificado, (Fredlund & Krahn, 1977) es similar al de Bishop modificado, con la diferencia de que toma en cuenta el equilibrio de fuerzas horizontales, mientras que Bishop modificado considera el equilibrio de momentos. La solución es sobre determinada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección F_0 para tener en cuenta este posible error. Los factores de seguridad son bajos.

El método toma en cuenta las fuerzas normales generadas entre las dovelas, sin considerar las fuerzas de fricción generadas entre estas:

$$FS : \frac{(\sum c_i(\cos\alpha) + (P - u_i)\tan\phi\cos\alpha)}{\sum P(\sin\alpha) + \sum kW \pm A - L\cos\alpha} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde

FS = Factor de seguridad

C = Cohesión del suelo

Φ = Ángulo de fricción del suelo

I = Longitud de superficie de falla

W = Peso de la Dovela

α = Inclinación de la superficie de falla

P = Fuerza normal total en base de las dovelas

U = Presión de poro

A = Carga uniforme en la superficie del talud

K = Coeficiente sísmico

L = Carga uniformemente repartida

7.5.5 Método de Spencer.

El método de Spencer es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de momentos como de esfuerzos. El procedimiento de Spencer (1967) se basa en la suposición de que las fuerzas entre dovelas son paralelas unas con las otras, o sea, que tienen el mismo ángulo de inclinación

La inclinación específica de estas fuerzas entre partículas, es desconocida y se calcula como una de las incógnitas en la solución de las ecuaciones de equilibrio. Spencer inicialmente propuso su método para superficies circulares pero este procedimiento se puede extender fácilmente a superficies no circulares. Spencer plantea dos ecuaciones una de equilibrio de fuerzas y otra de equilibrio de momentos, las cuales se resuelven para calcular los factores de seguridad F y los ángulos de inclinación de las fuerzas entre dovelas θ .

Para resolver las ecuaciones F y θ , se utiliza un sistema de ensayo y error donde se asumen los valores de estos factores (en forma repetitiva) hasta que se alcanza un nivel aceptable de error.

Una vez se obtienen los valores de F y θ se calculan las demás fuerzas sobre las dovelas individuales. El método de Spencer se considera muy preciso y aplicable para casi todo tipo de geometría de talud y perfiles de suelo y es tal vez, el procedimiento de equilibrio más completo y más sencillo para el cálculo del factor de seguridad (Jaime Suarez, 2002).

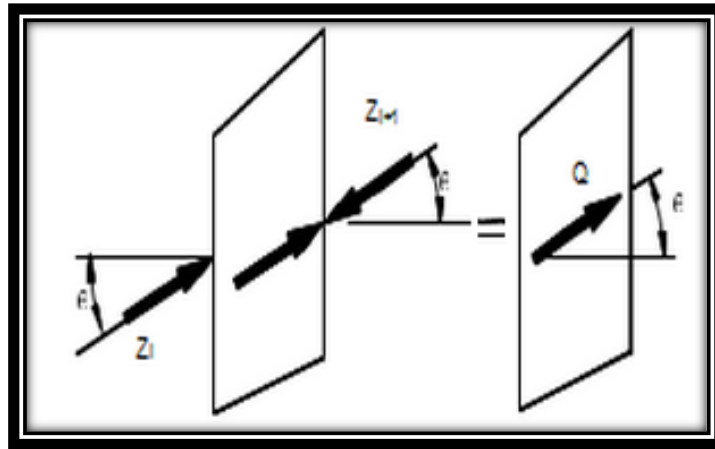


Figura 17. Análisis Del Ángulo De Inclinación En El Método De Spencer. Fuente: (Suárez, 2002).

7.6 Clasificación de macizos rocosos simple.

Se categorizo el macizo roco dependiendo de su espaciado de sus discontinuidades y se les otorgo una valoración a cada una de ellas.

Tabla 2. Clasificación de espaciado.

| DESCRIPCION | ESPACIADO DE JUNTAS | TIPO DE MACIZO ROCOSO | VALORACION |
|----------------------|---------------------|-----------------------|------------|
| Muy separadas | >2m | Solido | 201 |
| Separadas | 06-2 mm | Masivo | 15 |
| Moderadamente juntas | 200-600 mm | En bloques | 10 |
| Juntas | 60-200 mm | Fracturado | 8 |
| Muy juntas | <60 mm | Machado | 5 |

Fuente: Ingenieria Geologica, Luis I Gonzalez de Vallejo, 2004.

8. HIPÓTESIS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

8.1 Hipótesis

Con el trabajo investigativo a realizar se obtendrán datos del factor de seguridad, el cual será un valor menor al deseado (1.5), considerado como un valor inestable e inseguro, de acuerdo a los distintos análisis aplicados en taludes.

8.2 Preguntas investigativas.

El problema está clarificado en base a las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuál es el factor de seguridad que tiene el talud ubicado en el km 176 de la carretera Nic-7? en base a los modelamientos del programa SLIDE?

¿Cómo será el impacto en población de la ciudad de Santo Tomas al ocurrir un fenómeno de deslizamiento sobre el talud?

¿Cuál es la propuesta ante dicha amenaza para prevenir pérdidas humanas y/o materiales?

Estas preguntas de investigación se hacen bajo un enfoque cualitativo, ya que, se realizó una recolección de datos mediante pruebas de laboratorio y procesos en el programa antes mencionado (SLIDE), los cuales se analizaron para obtener conclusiones y recomendaciones a las instituciones adecuadas.

9. MARCO METODOLÓGICO

9.1 Tipo de investigación.

El presente trabajo investigativo tiene como finalidad brindar un modelo de estabilidad de taludes de la carretera Nic.7 en el departamento de Chontales. Se recompiló y analizó toda la información posible a encontrar, con el propósito de ampliar la bibliografía respecto al tema y al área en estudio.

El enfoque de esta investigación es Mixto, debido a que consiste en la aplicación de dos métodos, cualitativo y cuantitativo. Cualitativo, porque se realizó la descripción litológica del talud en campo, se determinó el tipo de movimiento que este presenta y posteriormente, se realizó la descripción geotécnica de las muestras recolectadas en el laboratorio. Cuantitativo, porque a partir de levantamiento altimétrico y planimétrico se obtuvieron valores numéricos de las dimensiones del talud, los cuales se complementaron con los datos geotécnicos que ayudaron a realizar el modelamiento, análisis y evaluación a través del Software SLIDE, para obtener del valor del factor de seguridad.

Según la naturaleza y profundidad de la investigación, el tipo de estudio realizado es descriptivo, puesto que implicó la caracterización de los suelos y rocas, identificando texturas, composición, color, clasificación, tipo de movimiento en que se encuentra sujeto el talud, así mismo el análisis y descripción geotécnica que determinaron las propiedades físico-mecánicas de los suelos y rocas.

9.2 Área de estudio.

El área de estudio se encuentra ubicada en el km 176 de la carretera Nic.7 en el municipio santo tomas del departamento de Chontales.

9.3 Universo y muestra.

Se considera como universo el municipio de Santo Tomás del departamento de chontales, debido a que allí está ubicada el área de estudio, y la muestra son los suelos y rocas que conforman los estratos del talud inestable en dicha área.

9.4 Definición y operacionalización de variables, (MOVI).

Tabla 3. MOVI.

| Objetivos específicos. | Variable conceptual | Sub-variables o dimensiones. | Variable operativa o indicador | Técnica de recolección de datos e información. | Instrumentos empleados |
|---|---------------------------------------|---|--|--|---|
| Realizar altimetría y planimetría del talud crítico en el km 176 de la carretera Nic.7, con el fin de conocer las dimensiones del mismo | -Altimetría -Planimetría | -Altitud o altura -Longitud | Altura, longitud y pendiente en metros. | Levantamiento topográfico. | -Estación total. -Trípode. -Prisma. -Libreta de campo. -Cinta métrica. -Baterías. -GPS. -Conos. -Machete. -Martillo. -Clavos. |
| Caracterizar la geología del talud, para identificar las unidades lito estratigráficas encontradas en el sitio. | -Litología. -Geología estructural. | -Tipos de rocas y suelos. -Fallas y fracturas. | -Tipos de materiales que hay en cada estrato. -Medición de fracturas. | Técnica de observación y fichas de registro o recolección de datos en campo. | -Mapas topográficos. -Brújula. -GPS. -Cinta métrica. -Pala. -Sacos. -Bolsas Plásticas. -Piquetas -Libreta de campo. -Lapiceros. |

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

| | | | | | |
|--|--|---|---|--|---|
| <p>Realizar un análisis geotécnico en el talud crítico del km 176, para conocer las propiedades de suelos y rocas.</p> | <p>-Propiedades físico-mecánicas del suelo. -Propiedades físico-mecánicas de las rocas</p> | <p>-Granulometría. -Esfuerzo de compresión simple. -porcentaje de absorción -Peso unitario. -Gravedad específica.</p> | <p>-Clasificación de suelo. -Resistencia de material.</p> | <p>Análisis en laboratorio y aplicación de software.</p> | <p>-Bolsas para muestras. -Horno. -Pesas o basculas digitales. -Taras. -Cinta métrica. -Marcador. -Cuarteador. -Mesas. -Tamices para granulometría -Máquina para compresión simple. -Morteros. -Sacos. -libreta de campo. -Lapiceros.</p> |
| <p>Elaborar un modelo de estabilidad de talud, para calcular su factor de seguridad.</p> | <p>Modelo de estabilidad</p> | <p>Factores de seguridad.</p> | <p>Encontrar factor de seguridad estable.</p> | <p>Modelos ejecutados a través de software.</p> | <p>Software. -Autocad. -SLIDE.</p> |

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

| | | | | | |
|--|--|------------------------|----------------------------------|--|-----------------------------------|
| Proponer medidas de mitigación, para proveer una posible solución a la problemática planteada. | Medidas de mitigación para la estabilidad de taludes | Factores de seguridad. | Modelos de estabilidad de talud. | Modelos ejecutados a través de software. | Software. -Autocad. -SLIDE. |
|--|--|------------------------|----------------------------------|--|-----------------------------------|

Fuente: elaboración propia.

9.5 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

9.5.1 Trabajo de gabinete

Durante esta fase se recopiló y analizó toda la información existente en nuestra área de trabajo, para así obtener la mayor cantidad de documentos previamente realizados como: tesis, artículos, estudios u otros trabajos, encontrando solamente un estudio realizado por el MTI (2014). Se utilizaron mapas geológicos de los municipios de Juigalpa y Santo Tomas. También se realizó el mapa de ubicación y columna estratigráfica del área esto último se realizó con la ayuda de Arc-Gis (versión 10.3) y AutoCAD (2016).

9.5.2 Trabajo de campo

En esta fase se realizaron giras de campo durante un mes (enero) con el fin de realizar la caracterización geológica de uno de los taludes críticos que se pueden encontrar en el trayecto de la carretera Nic.7 (ver Foto 1).

Se llevó a cabo un reconocimiento previo del área utilizando el método de observación para corroborar la ubicación del talud a analizar, luego se realizó un segundo viaje a campo con el fin de hacer el levantamiento la altimetría y planimetría a detalle del talud a estudiar. También se realizó un muestreo de cada estrato identificado y se clasificó como E1, E2, E3...E7 Hasta alcanzar el número máximo de estratos presentados en el talud (7), también se realizó una pequeña descripción de cada estrato y medición de un buzamiento y espesor. Se describieron las muestras según su granulometría y se clasificaron según parámetros geológicos. (ver Foto 3).

Se realizó un segundo viaje a campo para clarificar los datos obtenidos en el primer viaje y para obtener muestras nuevas para poder seguir realizando pruebas en el laboratorio.

9.5.3 Fuentes de información

Las fuentes de información son todos los documentos que de una forma u otra difunden los conocimientos. Es la persona, organización y objeto de los que obtienen datos para ser analizados; los datos pueden ser primarios o secundarios según de acuerdo a la información de la que proceden (Santesmases, 2009)

Fuentes primarias:

Dentro de las fuentes principales de información hemos obtenido monografías, así como obras de trabajo civil realizados por el MTI y reportes públicos de la comunidad tales como canales informativos o transmisiones por radio local.

Fuentes Secundarias

Dentro de las fuentes secundarias obtuvimos datos e información referente a las fuentes primarias tales como bibliografía, enciclopedias, tesis de evaluación de estabilidad de laderas con distintos enfoques y de distintos países.

9.6 Procedimientos para la recolección de datos e información.

La recolección de los datos de campo, se realizó mediante levantamiento topográfico en el talud del km 176 de la carretera Nic.7 municipio de Santo Tomas, departamento de Chontales, para conocer las dimensiones del talud, utilizando como herramienta principal: estación total, trípode, prisma, cinta métrica y GPS. Posteriormente se describieron siete estratos, de los cuales se extrajeron muestras de cada uno de ellos, para ejecutar los debidos ensayos de laboratorio con el fin de obtener sus propiedades físico-mecánicas.

9.7 Plan de análisis y procesamiento de datos.

Una vez obtenidos los datos y muestras de campo se realizó el procesamiento de estos, para el análisis y elaboración del informe final. Esta fase está dividida de la siguiente manera:

9.7.1 Análisis geológico

En esta etapa se analizaron e interpretaron las características geológicas del talud con la cual se logró obtener la diferenciación de litología para luego realizar la columna estratigráfica del área de estudio. Ver Anexos.

9.7.2 Análisis de las propiedades físico-mecánicas de las rocas.

Los ensayos fueron llevados a cabo con las muestras extraídas en campo, de igual manera, se realizaron pruebas de las propiedades física- mecánicas de suelos y roca en el laboratorio Geotécnico del IGG- CIGEO/ UNAN-MANAGUA. (Instituto de Geología y Geofísica). Según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS). Los ensayos estándar de mecánica de suelos realizados fueron Los siguientes:

- Ensayo granulométrico por tamizado ASTM D-422.
- Contenido de humedad ASTM D-2216.
- Gravedad específica ASTM D-2041 / 558

Ensayo de Propiedades Físicas. Los parámetros obtenidos por este ensayo son:

- Densidad seca y húmeda
- Porosidad aparente
- Absorción y peso específico aparente.

Los datos obtenidos a través de las etapas antes descritas fueron procesados y modelados con ayuda de los programas Arc-Gis (versión 10.3), AutoCAD (2016), lo que permitió obtener columna estratigráfica del área de estudio. Utilizando software para analizar la estabilidad de bloques de rocas “Geostudio”, “Slide” y “Rocfall” para realizar un modelamiento de caída de rocas.

9.7.3 Análisis de laboratorio:

Las muestras fueron llevadas a laboratorio donde se realizaron pruebas de propiedades física-mecánicas de suelos y roca en el laboratorio de Geotécnica del CIGEO (Centro de Investigaciones de Geología y Geofísica) UNAN-Managua. Según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). Los ensayos estándar de mecánica de suelos realizados fueron los siguientes (ver anexos):

Tabla 4. Ensayos de mecánica de suelos (SUCS).

| Ensayos | Normas estándares |
|--------------------------------------|-------------------|
| Análisis granulométrico por tamizado | ASTM D-422 |
| Porcentaje de humedad | ASTM D-2216 |
| Gravedad específica | ASTM D-558 |
| Densidad unitaria total | ASTM D-C29 |
| Densidad de saturación | ASTM D-2434 |
| Porcentaje de absorción | ASTM D-1557 |

Fuente: Elaboración propia.

El análisis consistió en pesar doscientos gramos de la muestra cuarteada (Anexo 1) y pasarlo por un paquete de tamices de diferentes diámetros, lo cual nos permitió clasificar el material de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Se procedió a cortar las muestras de rocas en cubos o rectángulos casi perfectos para poder calcular su volumen (Anexo 2).

Tomando las muestras en forma de cubo casi perfecto, se hicieron análisis de densidad unitaria total, densidad de saturación y porcentaje de absorción. El procedimiento consistió en medir las dimensiones de las muestras a lo largo, ancho y alto y, multiplicarlo para así obtener su volumen (Anexo 3).

10. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Este trabajo investigativo geológico-geotécnico, se realizó en base a pruebas de campo y de laboratorio adecuados a la geomecánica en el caso de estabilidad de taludes. Obteniendo datos importantes para la correcta ejecución de dicha investigación.

El análisis geotécnico planteó una alusión al conjunto de reconocimientos, ensayos y pruebas realizadas en laboratorio y en terreno, esto permitió caracterizar las diversas propiedades presentes en la zona de estudio.

10.1 Planimetría y Altimetría

Se realizó el primer viaje a campo para tomar medidas del talud (longitud y altitud) en distintos puntos. Con la ayuda de un equipo especializado (estación total) y su analista en campo (Foto 1).

En el segundo día, se tomaron puntos digitalizados y referenciados satelitalmente alrededor, a través y en la superficie del talud para así ser analizados y elaborar un modelo de elevación digital o curvas de nivel (Figura 18).



Foto 1. Km 176 carretera Nic-7. Coordenadas UTM-WGS84: N1335031 E707110.
Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Se propusieron 3 perfiles distintos (Figura 19), de extremo a extremo en diferentes puntos del talud para poder elegir el más representativo respecto a su altitud y ángulo de inclinación (Figura 20).



Figura 18. Curvas de nivel del talud. Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

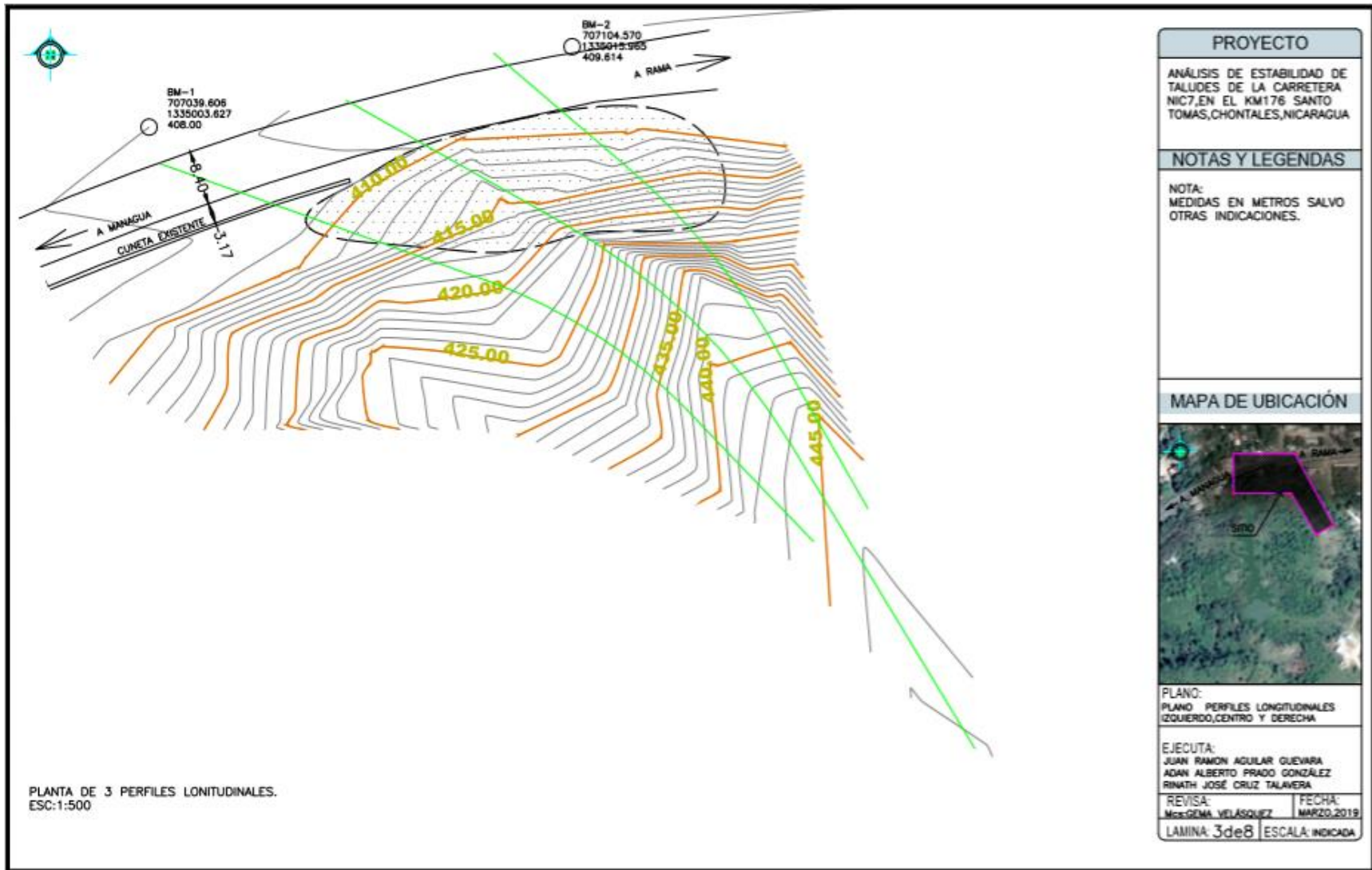


Figura 19. Perfiles y curvas de nivel del talud. Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Se logró diferenciar cada capa y su Angulo de buzamiento para así diferenciar cada uno de los estratos y proceder con la proyección el programa SLIDE.

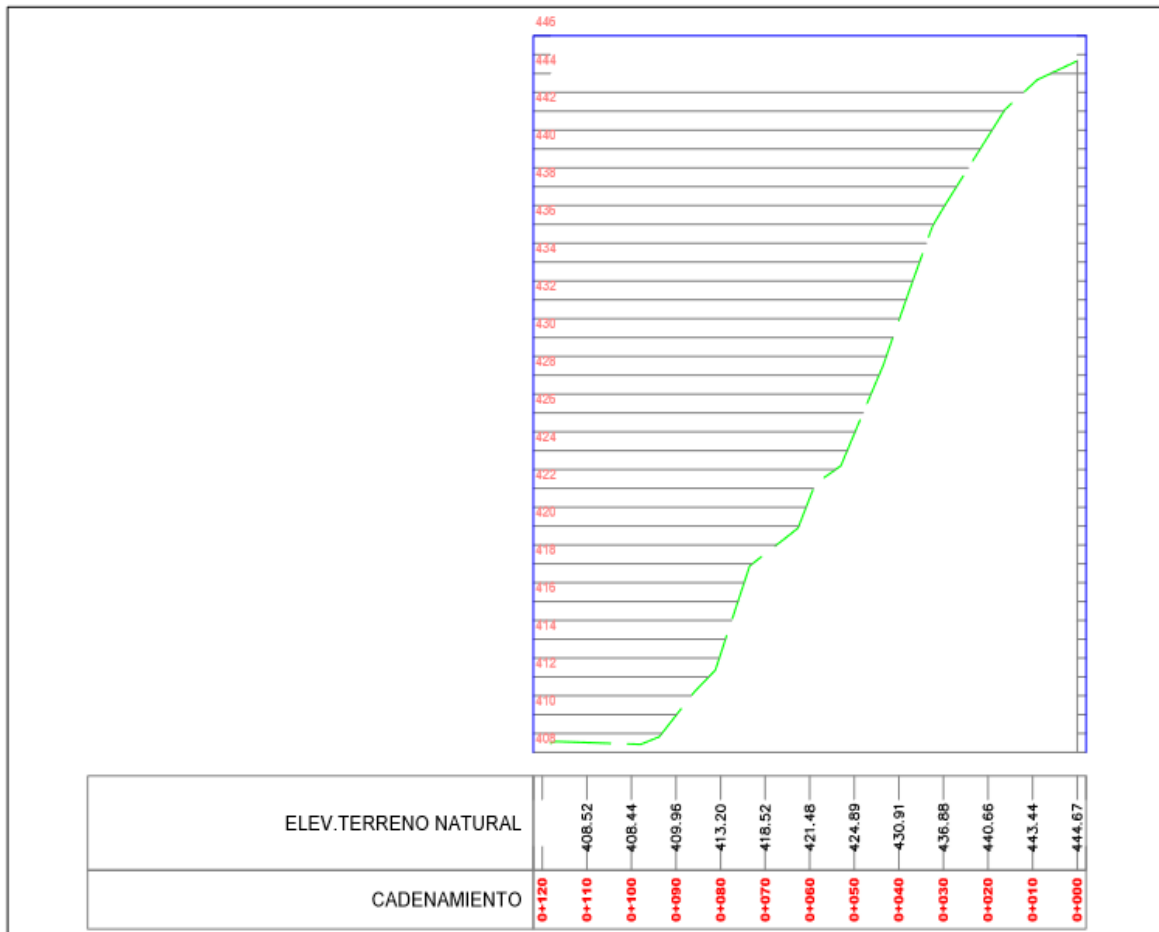


Figura 20. Perfil central del talud. Fuente: elaboración propia.

10.2 Análisis Geológico

Talud km 176 Santo tomas, Chontales

El talud ubicado en el Km 176 carretera Nic.7, tiene una longitud de 18 m y una altura máxima de 46 metros. Está conformado por 7 estratos de procedencia volcánica, correspondiente a la formación Coyol Superior.

Según la litología que presenta el talud, se logró determinar que está compuesto por toba riolítica con diferentes alteraciones, dentro de las cuales tenemos: toba riolítica cloritizada, toba riolítica con alteración argílica, toba lítica, aglomerados tobáceos y suelo fósil [Foto 2] (Foto 3).



Foto 2. Coordenadas UTM-WGS84: N1335013 E707021. Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES



Foto 3. Litología del talud. Coordenadas UTM-WGS84: N1335014 E707068. Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Suelo fósil de diferentes espesores dependiendo del punto a medir. Con un espesor máximo de 5.5 m se pueden observar clastos de diferentes tamaños al igual que la intercalación de toba riolítica, presenta un color rojizo (Foto 4).

Toba de composición riolítica, espesor de 1 m con un alto contenido de materia vítrea, con presencia de alteración argílica producto de las plagioclasas, con una textura afanítica y alteración intermedia por oxidación, meteorizada y cubierta por una capa fina de color blanquecino resultado de la exposición a la intemperie (Foto 4).



Foto 4. Suelo fósil y toba riolítica. Coordenadas UTM-WGS84: N1335014 E707068.

Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Suelo fósil, rico en hierro y magnesio, con un espesor de 6.5 m donde se observa la gran distinción de densidades entre roca y suelo, con un color café claro y húmedo debido al excesivo contacto con el agua (Foto 5).

Aglomerado tobáceos con un espesor total de 2 m, cubierto con una capa de material lodoso de estratos superiores. Provenientes de la meteorización de la toba riolítica descrita anteriormente, debido a la exposición a la intemperie y su contacto constante con el agua, se encuentran fragmentados (Foto 5).



Foto 5. Suelo Fósil y Aglomerado. Coordenadas UTM-WGS84: N1335014 E707068.

Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Toba lítica de composición riolítica, con un espesor de 5 m, es uno de los depósitos de toba donde su composición deja mostrar un color más oscuro debido a su alta oxidación, con leve presencia de cloritización, presentando líticos de feldespato, hierro, vidrio volcánico y sílice; redondos y semi redondos, con tamaños entre 3-4 mm, de textura porfídica siendo un depósito totalmente fracturado (Foto 6).



Foto 6. Toba lítica riolítica con clastos gruesos y un grado de alteración por oxidación avanzado coordenadas UTM-WGS84: N1335014 E707068. Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Toba riolítica definida por presentar una coloración rosada, esta coloración se debe a la presencia inicial de argilización, con textura fanerítica y un tamaño de granos de 5 mm hasta 3 cm (Foto 7).

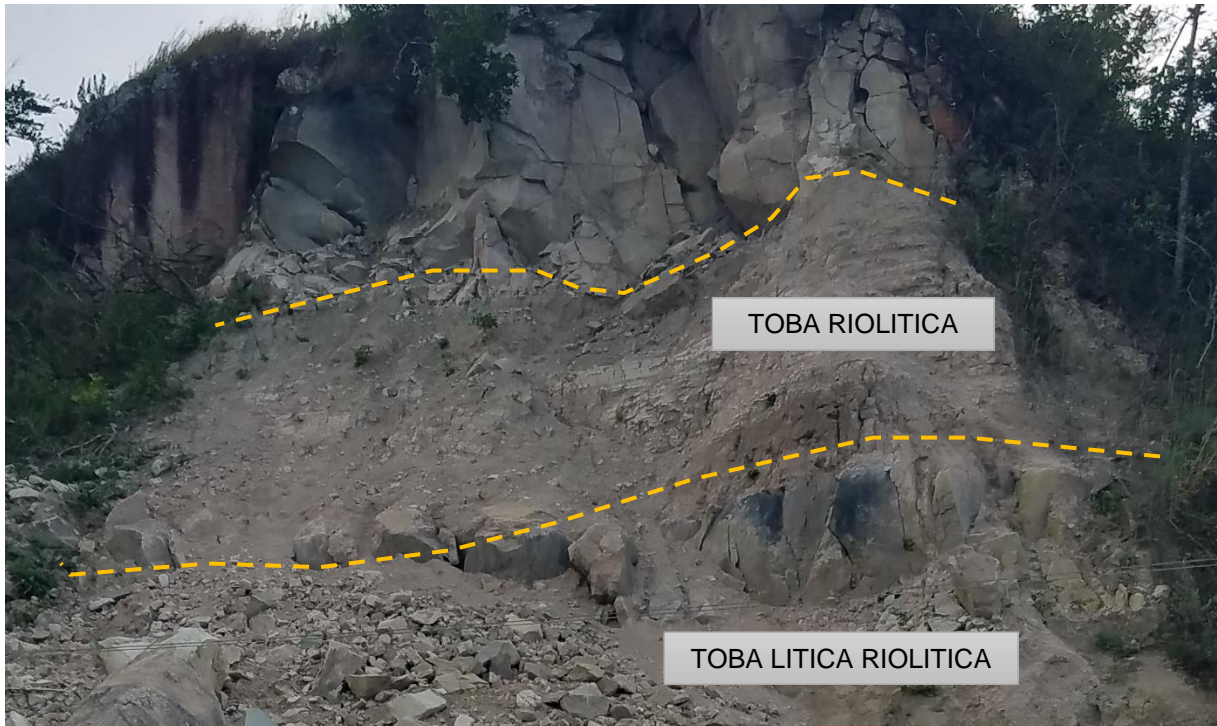


Foto 7. Toba riolítica, coordenadas UTM-WGS84: N1335014 E707068. Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

La toba riolítica cloritizada, es el estrato superior con mayor espesor (17 m), compactado y fracturado, conformado por una materia vítrea, con un alto contenido en plagioclasas con textura afanítica, con un color gris-verdoso provocado por la cloritización y un color un poco más claro en la cara expuesta a la intemperie (Foto 8)



Foto 8. Estrato de toba riolítica cloritizada, coordenadas UTM-WGS84: N1335014 E707068.

Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

En la caracterización geológica se definieron 7 estratos. El estrato inferior compuesto por suelo fósil (5.5 m), seguido de una intercalación de toba riolítica (1 m), para luego continuar con otro depósito de suelo fósil (6.5 m), posteriormente un estrato de aglomerado (2 m), seguido por 5 m de toba lítica y 5 m de toba riolítica, culminado con el estrato superior compuesto por toba riolítica cloritizada con un espesor de 17 m siendo este último el más grande (Figura 21).

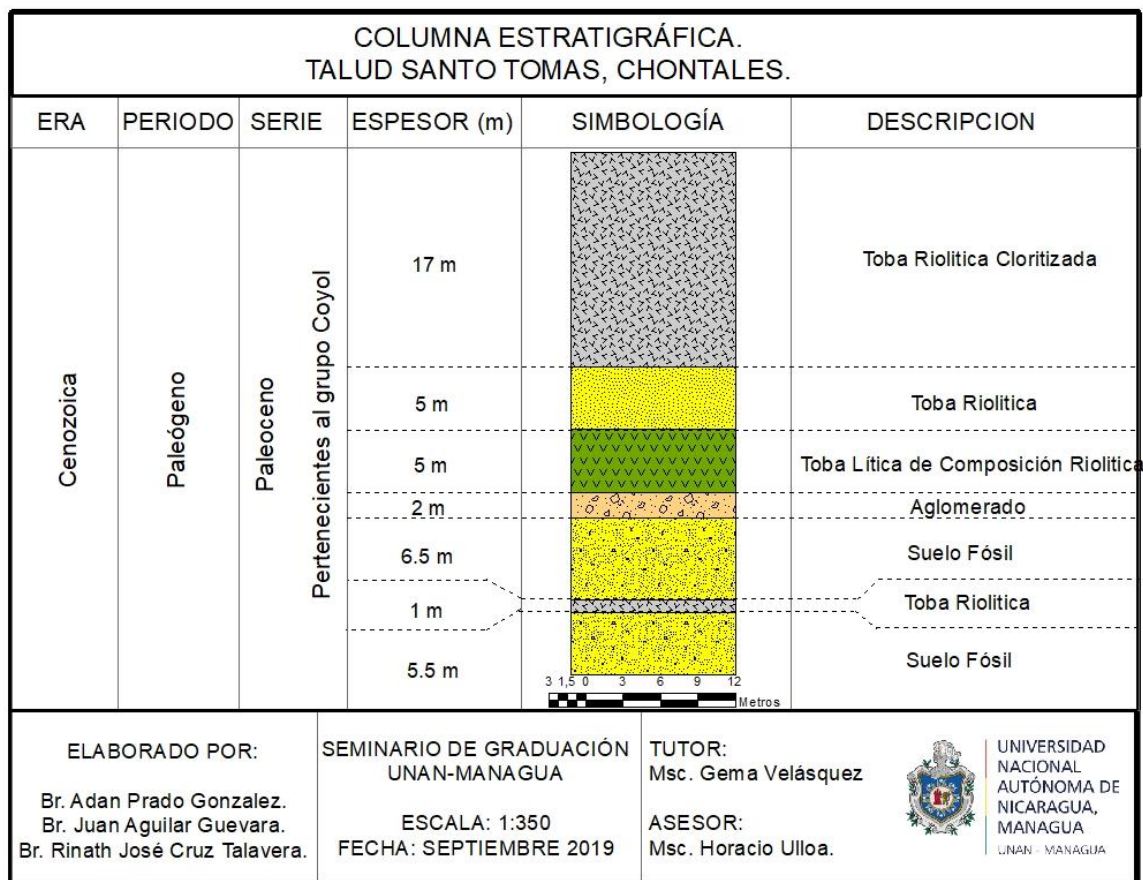


Figura 21. Columna Estratigráfica. Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Se elaboró un perfil geológico (Figura 22), el cual está orientado en sentido E-O, logrando apreciar los estratos ubicados en la parte superior, donde ya se ha desprendido material, desplazándose hasta el pie del talud debido a su alto grado de fracturación y contacto permanente con el agua.

En toda la longitud del talud se logró observar y constatar que las rocas están totalmente fracturadas y condicionadas a desprenderse, desde la corona del talud desplazándose hasta llegar a la parte inferior o pie de talud, en ocasiones ocupando espacio en la carretera transitada.

Debido al fracturamiento de las rocas, el talud es más susceptible a vibraciones de vehículos livianos y transporte pesado, los cuales transitan con mucha frecuencia en el área, así como también la actividad humana que ocurre en el flanco derecho por pobladores haciendo uso del lugar para viviendas.

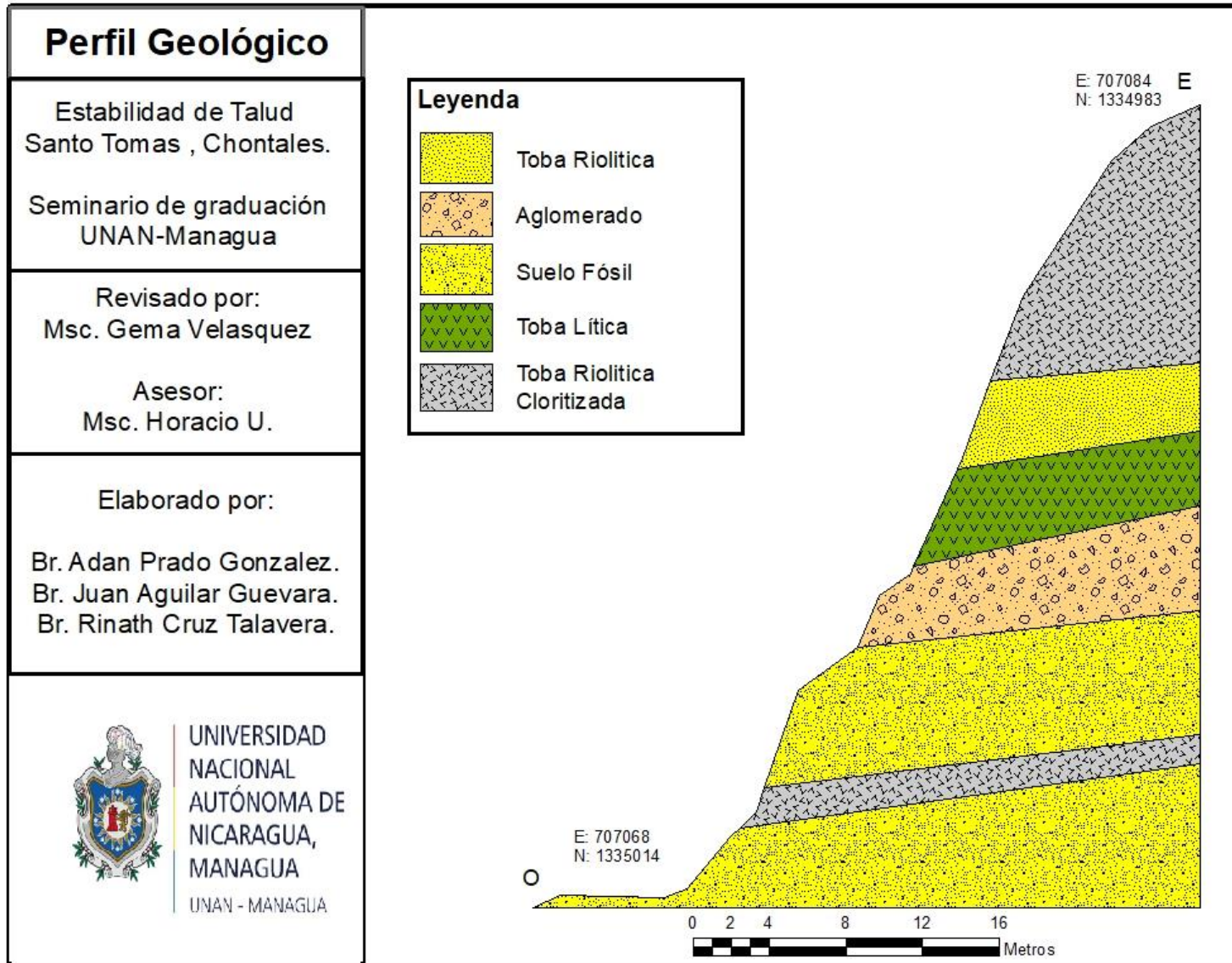


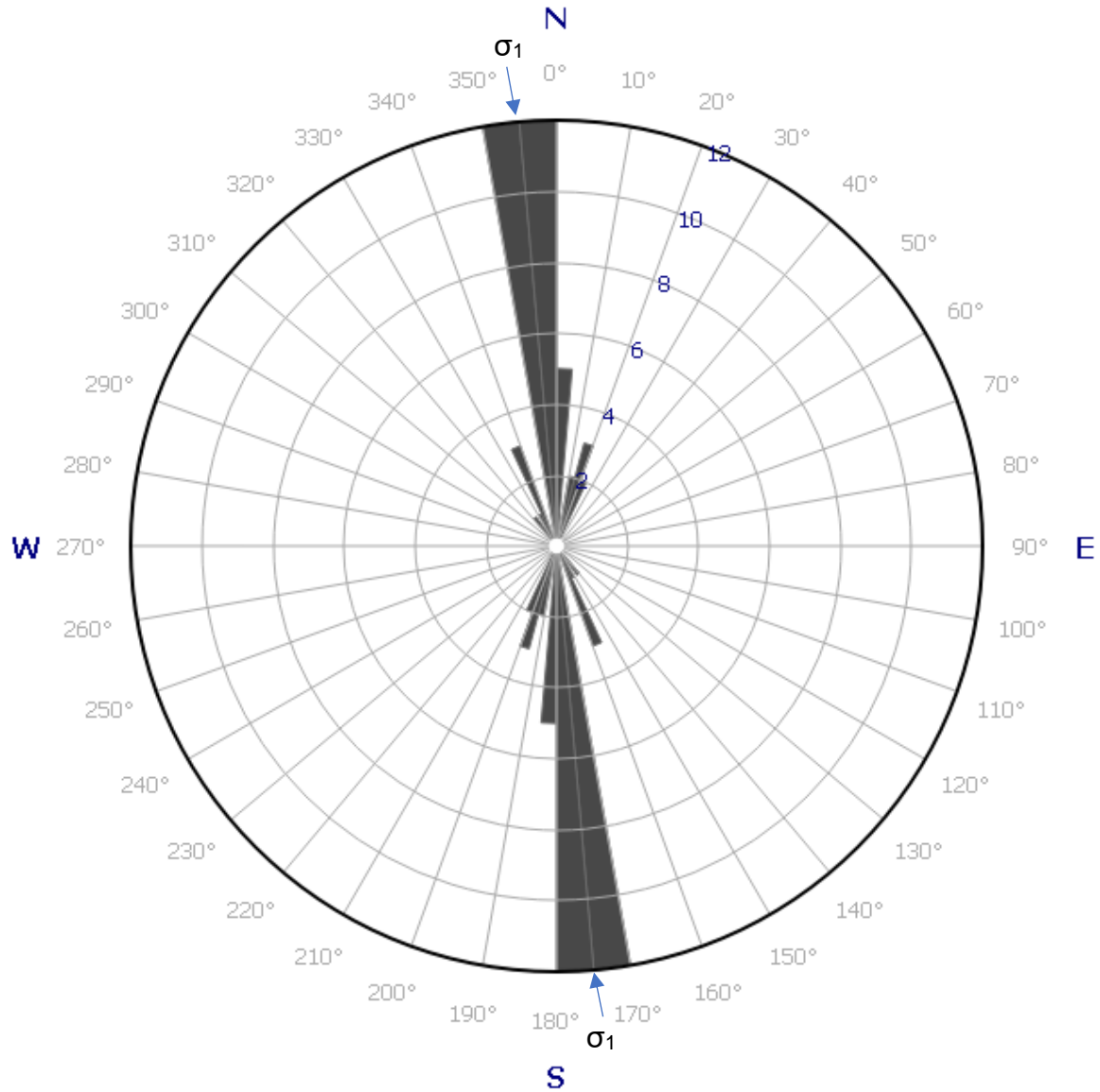
Figura 22. Perfil Geológico. Fuente: elaboración propia.

10.3 Fracturas presentes en el talud.

Una de las principales características presentes en el talud, es su alto grado de fracturamiento, lo cual tiende hacer un factor muy importante respecto a la estabilidad del mismo. Consta de un sistema de fracturas compleja, debido a la exposición constante al agua por las lluvias que se presentan en el municipio, estas presentan una dirección preferencial NO.

Debido al estado actual del talud se pudieron tomar 41 fracturas con su respectivo rumbo, buzamiento y longitud (anexo 6). Se recopilamos estos datos y procedimos a utilizar el software GEO ROSE para generar una roseta de fracturas y así poder calcular los esfuerzos posibles en el talud (Figura 23).

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES



σ_1 = Esfuerzo máximo.

Figura 23. Roseta de Fracturas. Fuente: elaboración propia.

La roseta de fracturas nos demuestra que el mayor esfuerzo compresional está en dirección NO a SE y el esfuerzo extensional está en dirección NE a SO. Estos esfuerzos pueden estar relacionados a la actividad volcánica del Terciario.

10.4 Análisis geotécnico.

Las investigaciones geotécnicas consistieron en la realización de trabajos de campo, laboratorio y una evaluación de estabilidad de talud con métodos aplicados a través de software especializado utilizando diferentes métodos para la completa elaboración de un modelo computarizado.

Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422.

Para realizar el ensayo granulométrico se utiliza una serie de tamices con distintos diámetros, los cuales son ensamblados en una columna unos encima del otro. En la parte superior se encuentra el tamiz de mayor diámetro, se agrega el material original (Suelo Fósil) y la columna de tamices es sometida a vibración y movimientos rotatorios.



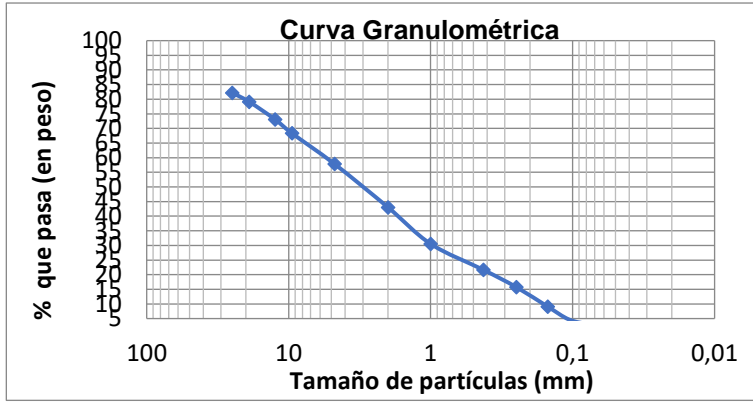
Luego al esperar unos minutos, se retiran los tamices desensamblándolos y tomando el contenido en cada uno de ellos por separados y se pesan el cual la suma de todos ellos debe corresponder al peso total del material inicial. (Conservación de la masa).

Una vez realizado el ensayo se procede a realizar la curva granulométrica, con los valores de porcentaje retenido en cada tamiz por separado. La curva granulométrica permite visualizar la tendencia de los tamaños de sus granos ya sea homogénea o heterogénea (diámetros).

Se muestra el porcentaje a detalle obtenido en los diferentes tamices de la muestra de suelo fósil (Tabla 5).

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Tabla 5. Cálculos granulométricos.

|  CENTRO DE INVESTIGACIONES GEOCIÉNTICAS DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOTÉCNICA CIGEO / UNAN GRANULOMETRÍA Y LÍMITES DE CONSISTENCIA | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---|-------------|--------------|--------------|--------|----|--|--------------|---------------|--------------|-------------|--------------|----|----|------|-------|---|----|----|------|--------|---|----|----|------|-------|---|----|----|------|--------|----|----|----|-------|--------|----|----|----|-------|--------|----|----|----|-------|--------|---|----|----|-------|--------|---|----|----|--------|--------|---|----|---|--------|-------|---|----|---|--------|-------|---|----|---|-------|-------|---|-----|--|------|---------|-----|--|--|---|--|
| SONDEO: <u>MUESTRA 1</u> | | FECHA: <u>22/02/2019</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN: _____ | | MUESTRA: M5 <u>E5</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso total de la muestra (gr): <u>1756.20</u> | | Método de ensayo: <u>Tamizado</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso después de lavado (gr): _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GRANULOMETRÍA ASTM D 422 | | <table border="1"> <tr> <td></td> <td colspan="2">ARENA</td> <td colspan="2">55</td> </tr> <tr> <td>GRAVA</td> <td>Gruesa</td> <td>Media</td> <td>Fina</td> <td>FINOS</td> </tr> <tr> <td>42</td> <td>15</td> <td>21</td> <td>19</td> <td>3</td> </tr> </table> | | | ARENA | | 55 | | GRAVA | Gruesa | Media | Fina | FINOS | 42 | 15 | 21 | 19 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | ARENA | | 55 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| GRAVA | Gruesa | Media | Fina | FINOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 42 | 15 | 21 | 19 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz</th> <th>PR</th> <th>%RP</th> <th>%RA</th> <th>%QP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 1/2"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>312.90</td> <td>18</td> <td>18</td> <td>82</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>53.70</td> <td>3</td> <td>21</td> <td>79</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>105.60</td> <td>6</td> <td>27</td> <td>73</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>83.10</td> <td>5</td> <td>32</td> <td>68</td> </tr> <tr> <td>N° 4</td> <td>185.20</td> <td>11</td> <td>42</td> <td>58</td> </tr> <tr> <td>N° 10</td> <td>259.50</td> <td>15</td> <td>57</td> <td>43</td> </tr> <tr> <td>N° 20</td> <td>220.00</td> <td>13</td> <td>69</td> <td>31</td> </tr> <tr> <td>N° 40</td> <td>155.80</td> <td>9</td> <td>78</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>N° 60</td> <td>103.00</td> <td>6</td> <td>84</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td>N° 100</td> <td>117.50</td> <td>7</td> <td>91</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>N° 140</td> <td>77.60</td> <td>4</td> <td>95</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>N° 200</td> <td>31.60</td> <td>2</td> <td>97</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Plato</td> <td>50.70</td> <td>3</td> <td>100</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Suma</td> <td>1756.20</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | Tamiz | PR | %RP | %RA | %QP | 1 1/2" | | | | | 1" | 312.90 | 18 | 18 | 82 | 3/4" | 53.70 | 3 | 21 | 79 | 1/2" | 105.60 | 6 | 27 | 73 | 3/8" | 83.10 | 5 | 32 | 68 | N° 4 | 185.20 | 11 | 42 | 58 | N° 10 | 259.50 | 15 | 57 | 43 | N° 20 | 220.00 | 13 | 69 | 31 | N° 40 | 155.80 | 9 | 78 | 22 | N° 60 | 103.00 | 6 | 84 | 16 | N° 100 | 117.50 | 7 | 91 | 9 | N° 140 | 77.60 | 4 | 95 | 5 | N° 200 | 31.60 | 2 | 97 | 3 | Plato | 50.70 | 3 | 100 | | Suma | 1756.20 | 100 | | | RESULTADOS Clasificación SUCS: SW Límite Líquido: Límite Plástico: clasificación AASHTO A-1-b D10: 0.15 D30: 1 D60: 4.9 Cc: 1.36 Cu: 32.67 | |
| Tamiz | PR | %RP | %RA | %QP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 1/2" | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1" | 312.90 | 18 | 18 | 82 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3/4" | 53.70 | 3 | 21 | 79 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1/2" | 105.60 | 6 | 27 | 73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3/8" | 83.10 | 5 | 32 | 68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° 4 | 185.20 | 11 | 42 | 58 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° 10 | 259.50 | 15 | 57 | 43 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° 20 | 220.00 | 13 | 69 | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° 40 | 155.80 | 9 | 78 | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° 60 | 103.00 | 6 | 84 | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° 100 | 117.50 | 7 | 91 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° 140 | 77.60 | 4 | 95 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° 200 | 31.60 | 2 | 97 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Plato | 50.70 | 3 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Suma | 1756.20 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Elaboración propia.

La muestra de Suelo fósil, se clasifico como arena limpia (SW). El mayor porcentaje corresponde a arena en un 55%, arena media en un 22%, arena fina en un 19% y arena gruesa en un 15%. Un 42% de grava y un 3% de fino obtenido en el tamiz número 200.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

El porcentaje obtenido en la malla número 200 es de un 3%, siendo un material no plástico sin arcillas ni limo. El rango para arenas con menos de 5% de fino está dado por: $Cu > 6$ y/o $1 > Cc < 3$.

Gravedad específica ASTM D - 2041.

Se define como Gravedad Especifica de los suelos a la relación del peso entre el aire, de un volumen dado de partículas sólidas.

La gravedad específica es una propiedad de los materiales muy importante. Se utiliza para el cálculo de volúmenes de vacíos. Es también utilizada en el análisis de hidrómetro y es útil para predecir el peso unitario del suelo, especialmente para agregados finos y gruesos (Tabla 6).

Tabla 6. Gravedad específica.

| Gravedad específica ASTM D-2041. | | | | | |
|---|----------------|------------|--------------------------|----------------|---------------------------|
| Proyecto: <u>Talud Santo Tomás, Chontales</u> | | | Fecha: <u>01/09/2019</u> | | |
| Estrato | Toba riolítica | Aglomerado | Toba lítica | Toba riolítica | Toba riolítica cloritzada |
| Alto (m) | 0.058 | 0.0586 | 0.0603 | 0.0566 | 0.0543 |
| Ancho (m) | 0.058 | 0.058 | 0.06 | 0.0556 | 0.0526 |
| Largo (m) | 0.0596 | 0.1166 | 0.126 | 0.0976 | 0.062 |
| Wt (Kg) | 0.3514 | 0.7625 | 0.8312 | 0.5875 | 0.3914 |
| volumen(m3) | 0.0002005 | 0.0003963 | 0.0004559 | 0.0003071 | 0.0001771 |
| peso específico total (Kg/m3) | 1752.67 | 1924.05 | 1823.33 | 1912.79 | 2210.26 |
| Gs(grav,especi) | 1.75 | 1.92 | 1.82 | 1.91 | 2.21 |

Fuente: elaboración propia.

La Gravedad Especifica se calcula de la siguiente manera:

$$Gs = W_{esp} / \gamma_{agua}$$

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Donde Wesp:

$$W_{\text{esp}} = W_t / V$$

Wt: peso seco del suelo

V: volumen total

γ agua: 1000 Kg/m³

Peso específico ASTM D - C29.

El peso específico de un agregado o muestra es la relación de su peso respecto a su volumen. La densidad seca de los suelos son valores importantes para así, determinar los esfuerzos ante sobrecarga, índices de poros, compactación máxima y la compactación porcentual de los suelos. El valor de la densidad también puede ayudar a evaluar la resistencia del suelo (Tabla 7).

Tabla 7. Peso específico total.

| Peso Específico (kg/m ³) | | | | | |
|---|----------------|------------|--------------------------|----------------|----------------------------|
| Proyecto: <u>Talud Santo Tomas, Chontales</u> | | | Fecha: <u>01/09/2019</u> | | |
| Estrato | Toba riolítica | Aglomerado | Toba lítica | Toba Riolítica | Toba riolítica cloritizada |
| Alto (m) | 0.058 | 0.0586 | 0.0603 | 0.0566 | 0.0543 |
| Ancho (m) | 0.058 | 0.058 | 0.06 | 0.0556 | 0.0526 |
| Largo (m) | 0.0596 | 0.1166 | 0.126 | 0.0976 | 0.062 |
| Wt (Kg) | 0.3514 | 0.7625 | 0.8312 | 0.5875 | 0.3914 |
| volumen(m ³) | 0.0002005 | 0.0003963 | 0.0004559 | 0.0003071 | 0.0001771 |
| peso específico total (Kg/m ³) | 1752.67 | 1924.05 | 1823.33 | 1912.79 | 2210.26 |

Fuente: elaboración propia.

para realizar los cálculos y obtener los datos en laboratorio, se utilizó una pulidora para cortar las rocas en cubos casi perfectos y medir su ancho, largo y alto para calcular el volumen y luego pesar cada una de las muestras.

$$\gamma_t = W_t / V$$

Donde:

γ_t : Peso específico total

Wt: Peso total

Vt: Volumen total

Porcentaje de absorción ASTM D - 1557

Podemos definir la absorción como la cantidad de agua adquirida por el material sumergido en agua durante 24 horas. Se expresa en porcentaje al peso del material seco el cual es capaz de absorber (Tabla 8).

Tabla 8. Porcentaje de absorción

| Porcentaje de absorción | | | | | |
|---|----------------|------------|--------------------------|----------------|----------------------------|
| Proyecto: <u>Talud Santo Tomas, Chontales</u> | | | Fecha: <u>01/09/2019</u> | | |
| Estrato | Toba riolitica | Aglomerado | Toba lítica | Toba riolítica | Toba riolítica cloritizada |
| Wt (Kg) | 0.3553 | 0.3906 | 0.5307 | 0.7668 | 0.3914 |
| Wh(Kg) | 0.3854 | 0.4236 | 0.5952 | 0.9163 | 0.4234 |
| % de absorción | 8.47 | 8.45 | 12.15 | 19.50 | 8.18 |

. Fuente: elaboración propia.

El procedimiento consistió en hacer la diferencia del peso saturado o sumergido en agua y el peso seco de cada muestra, esto se multiplicó por cien para obtener porcentaje de absorción de todas las muestras.

$$\%A = ((Wh - Wt) / Wt) * 100$$

Donde:







Wh: Peso de la muestra saturada.

Wt: Peso de la muestra Seca. (Variables en Ingles, Estados Unidos)

Análisis de los datos para el software SLIDE.

Se realizó un análisis de la ladera mediante al uso del programa Slide. En un perfil del talud Santo Tomas Chontales. Los datos requeridos para utilizar el software son: Cohesión, Peso unitario y su Angulo de fricción, para cada uno de los estratos presentes en el talud (Tabla 9). El análisis fue realizado en condiciones estáticas.

Tabla 9. Propiedades utilizadas en el programa SLIDE.

| SLIDE | | | | |
|----------------------------|-----------------------|------------------|--------------------|---|
| Propiedades | Peso Unitario (Kn/m3) | Cohesión (KN/m2) | Angulo de fricción | Color |
| Suelo Fósil | 16 | 5 | 35 |  |
| Toba riolítica | 17 | 50 | 35 |  |
| Anglomerado | 19 | 5 | 35 |  |
| Toba riolitica | 18 | 50 | 35 |  |
| Toba riolitica cloritizada | 19 | 50 | 35 |  |
| Toba riolítica | 22 | 50 | 35 |  |

Fuente: elaboración propia.

Se procedió a la recopilación de datos por cada una de las pruebas de laboratorio para de esta manera, obtener los datos necesarios que fueron utilizados en el programa SLIDE y obtener el modelamiento del talud respecto a cada uno de sus métodos.

Se utilizaron 3 métodos: Bishop, Spencer y Janbu simplificado. Estos métodos se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de la masa en el terreno potencialmente inestable. No toman en consideración las deformaciones del terreno. Los análisis suponen que la resistencia al corte se pierde total y simultáneamente a lo largo de la superficie de

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

falla. El Siguiete perfil está basado en resultados obtenidos en el levantamiento geológico y análisis geotécnico (Figura 24).

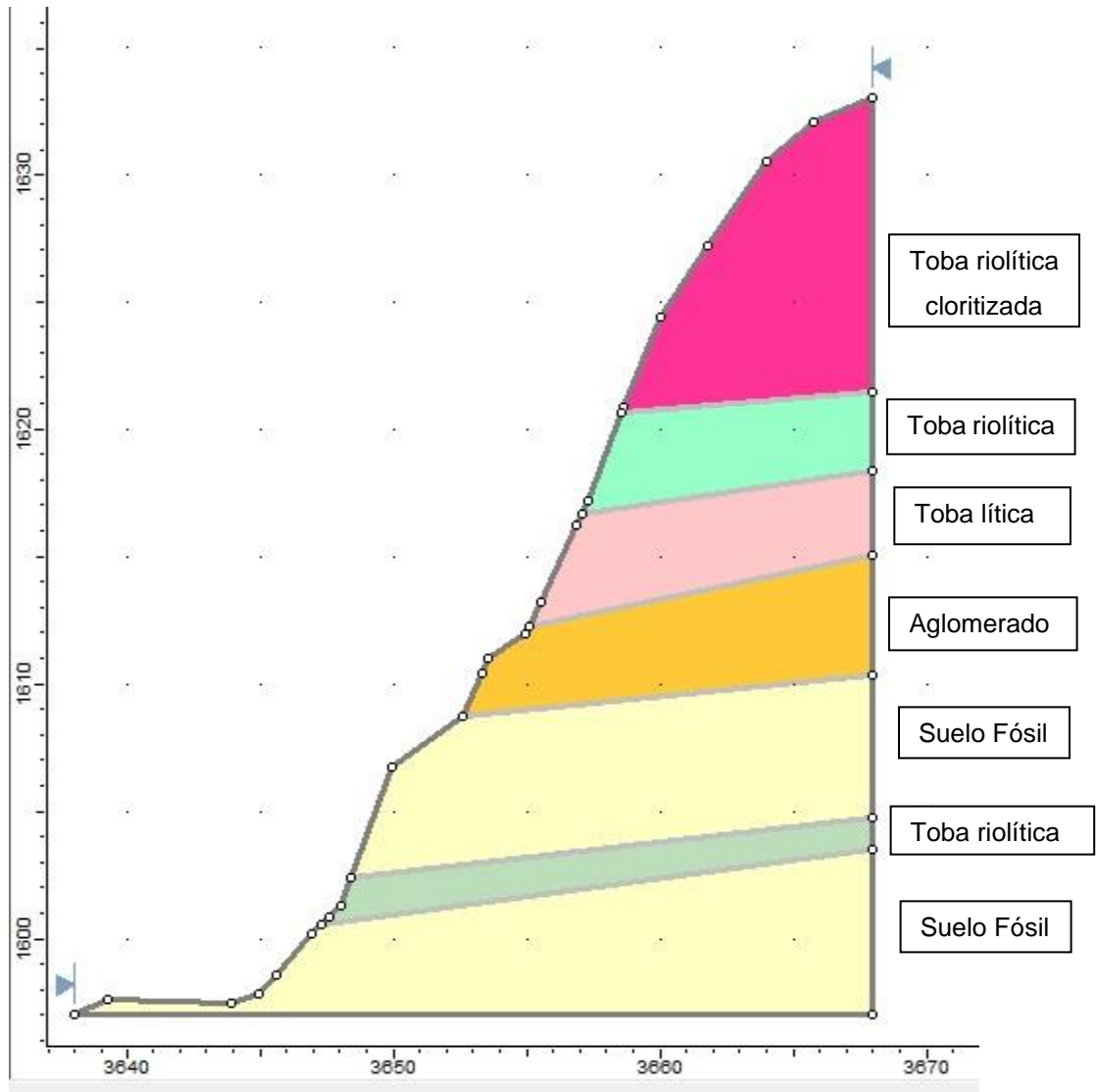


Figura 24. Modelo del talud en SLIDE. Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Se ingresaron los datos correspondientes para cada estrato en el software y se procedió a realizar el análisis de estabilidad. En los tres métodos empleados se obtuvieron valores de factores de seguridad inferiores de 0.5 indicando un valor inestable para el talud, donde el factor de seguridad tiene una relación entre las fuerzas resistentes y las fuerzas que inducen el deslizamiento, debido al peso propio de los suelos o rocas. En estos análisis se consideró solamente el peso propio de los materiales involucrados ya que en el lugar de estudio no existen infraestructuras directamente sobre el talud. (Figura 25).

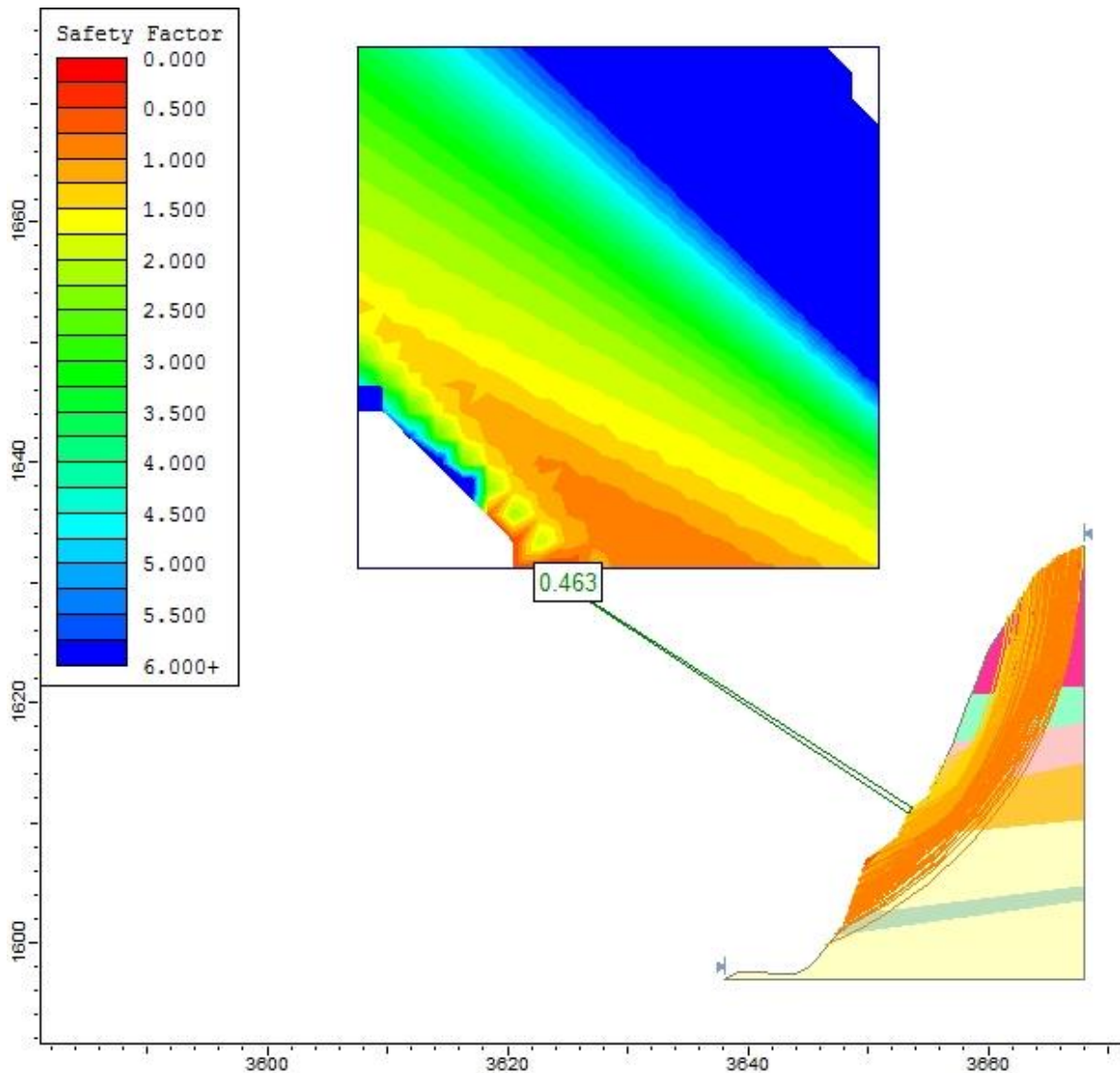


Figura 25. Análisis del modelamiento del talud por medio del software SLIDE utilizando el método de Bishop Simplificado (0.463). Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Al utilizar el programa con el método Janbu Simplificado, nos da como resultado un factor de seguridad de 0.460. El cual está muy por debajo de las normas de estabilidad el cual tiene como referencia un factor de seguridad de 1.5, con este resultado se reconoce que el talud es inestable e inseguro (Figura 26).

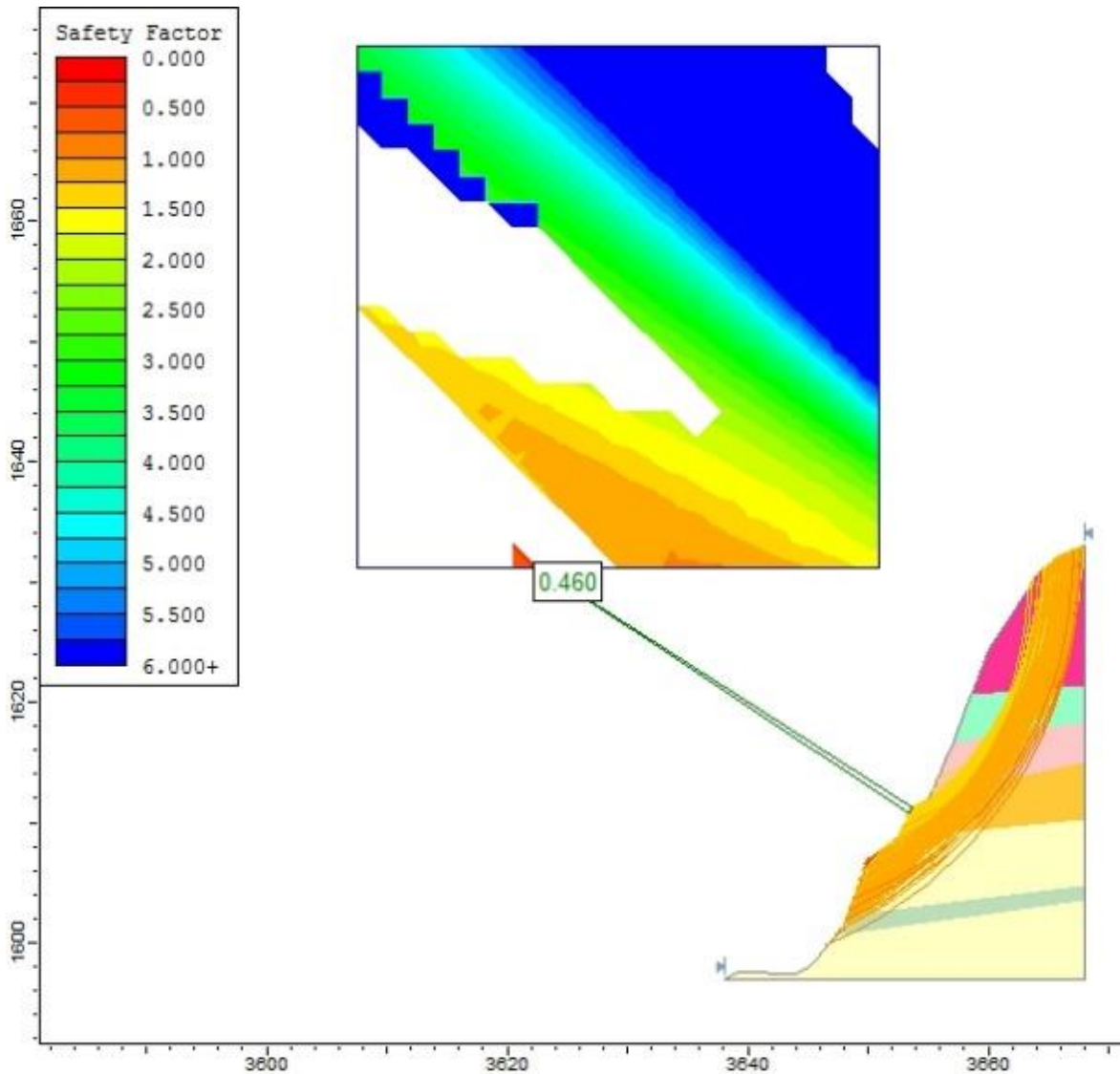


Figura 26. Análisis del modelamiento del talud por medio del software SLIDE utilizando el método de Janbu Simplificado. Fuente: elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Usando el software SLIDE con el método de Spencer, se obtuvo como tercer resultado un factor de seguridad de 0.460, siendo este un poco mayor al método anteriormente utilizado, aunque con una masa extremadamente menor a los modelamientos anteriores, no obstante, sigue siendo un resultado negativo dejando en evidencia que el talud es inestable (Figura 27).

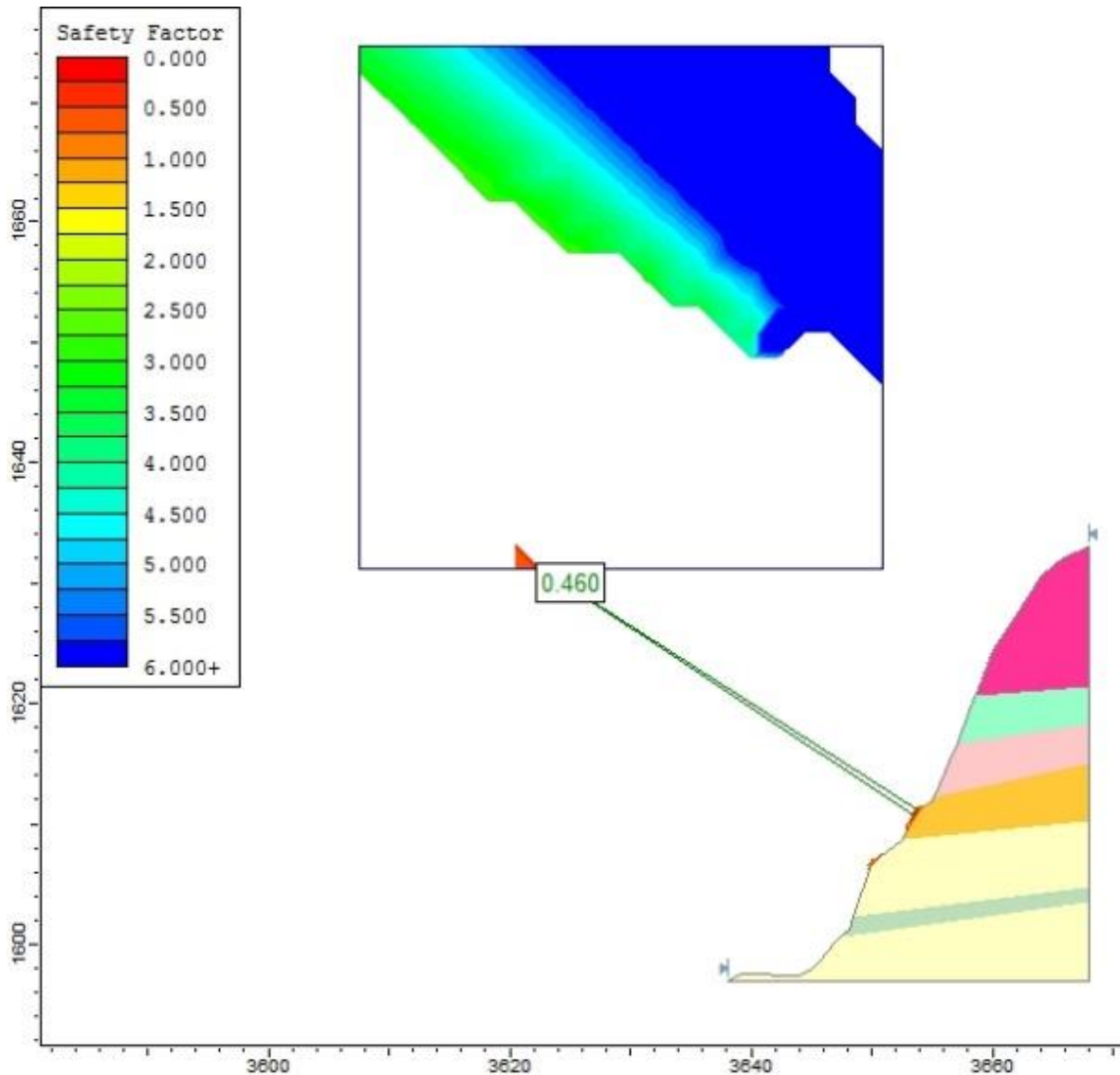


Figura 27. Análisis del modelamiento del talud por medio del software SLIDE utilizando el método de Spencer. Fuente: elaboración propia.

10.5 Modelo de estabilidad del talud.

Según el análisis, se obtuvo un factor de seguridad menor de 1.5 el cual nos hace saber que el talud estudiado es inestable e inseguro, por lo cual se procedió a usar técnicas de remediación.

La conformación es una de las técnicas más utilizadas cuando se trata de estabilidad de taludes para garantizar seguridad del mismo. Consta de los siguientes procedimientos:

- Tender el talud para disminuir su pendiente
- Dar forma a la superficie del talud incluyendo la pendiente misma
- Construir gradas o mejor conocidas como bermas para generar varios niveles del talud
- Remover material de la parte superior para reducir la altura.

Técnicas de remediación proveídas por MSc: Horacio Ulloa.

A través de los softwares AUTOCAD y SLIDE, se modificó la geometría de las secciones del talud, reduciendo su pendiente considerablemente, obteniendo un modelo semi-estabilizado (Figura. 28), con una superficie mínima de deslizamiento, Cabe mencionar que los tres métodos empleados en el programa dieron un factor de seguridad menor a 0.5 indicando que el talud sigue siendo inestable e inseguro, pero se logró minimizar el volumen de material a deslizarse en comparación al volumen que se podía deslizar cuando el talud se encontraba en su forma intacta.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

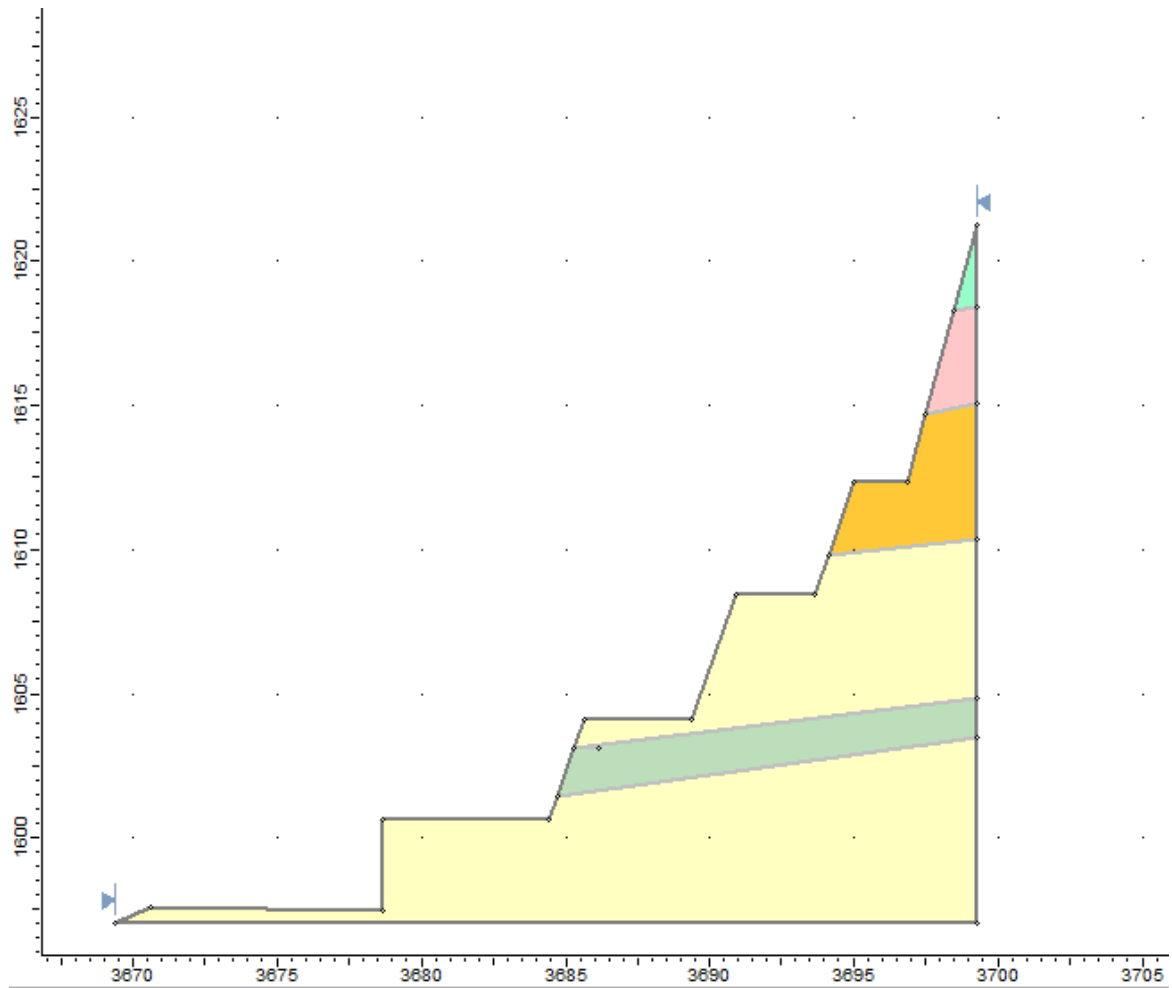


Figura 28. Propuesta de talud descapotado. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Utilizando el software SLIDE con el método de Bishop. Obtuvimos como resultado un factor de seguridad mínimo de 0.338 siendo un valor menor del deseado (Figura 29), donde se puede observar claramente que el volumen de material posiblemente a deslizarse es menor en comparación al volumen que se podía deslizar cuando el talud estaba intacto (Figura 25).

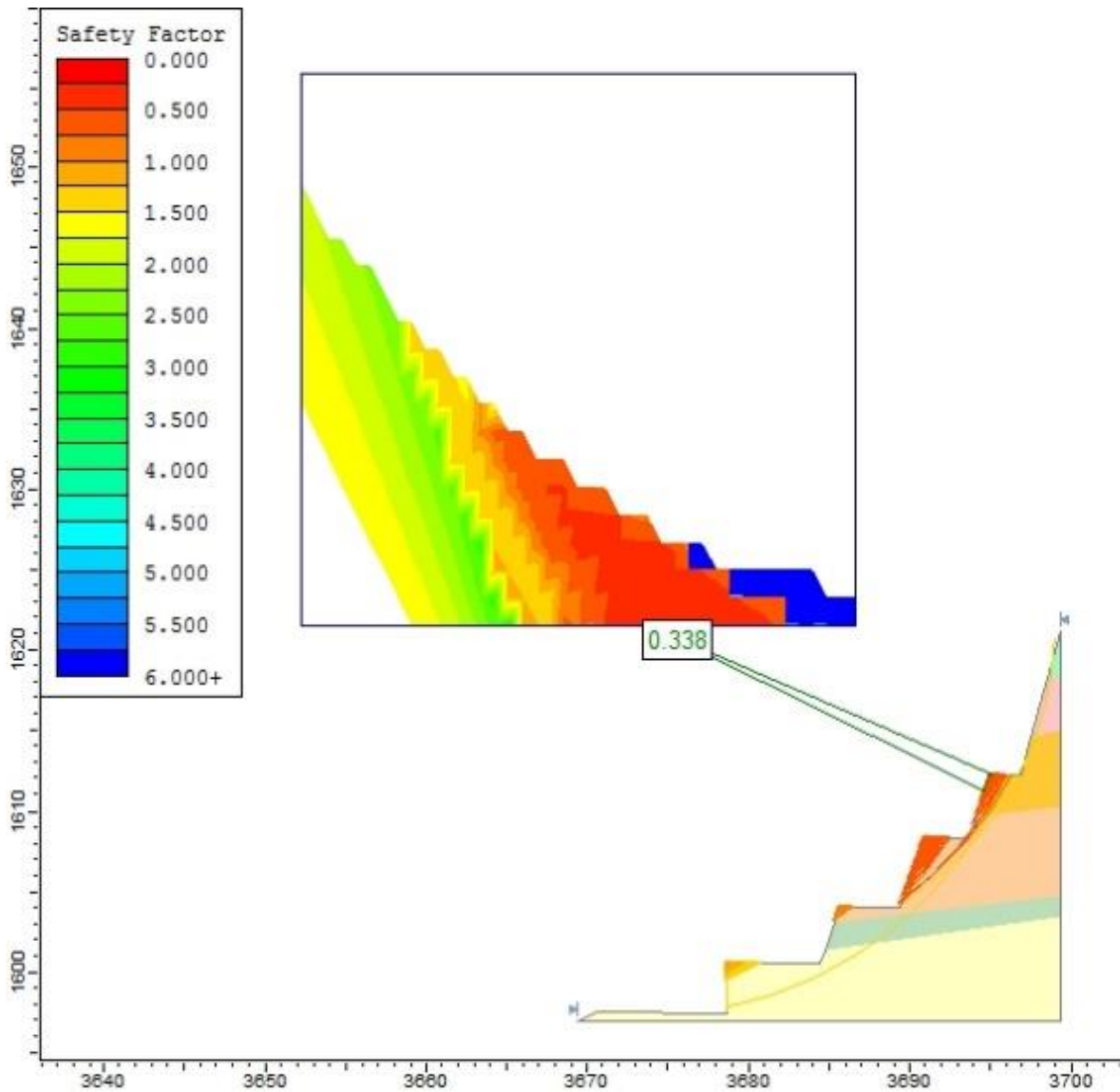


Figura 29. Talud descapotado, método Bishop. Fuente: Elaboración Propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Utilizando el método de Janbu Simplificado, nos dio como resultado un factor de seguridad mínimo de 0.319, este valor es considerado como inseguro e inestable, donde cabe mencionar que solo pequeñas porciones de masa podrían deslizarse (Figura 30).

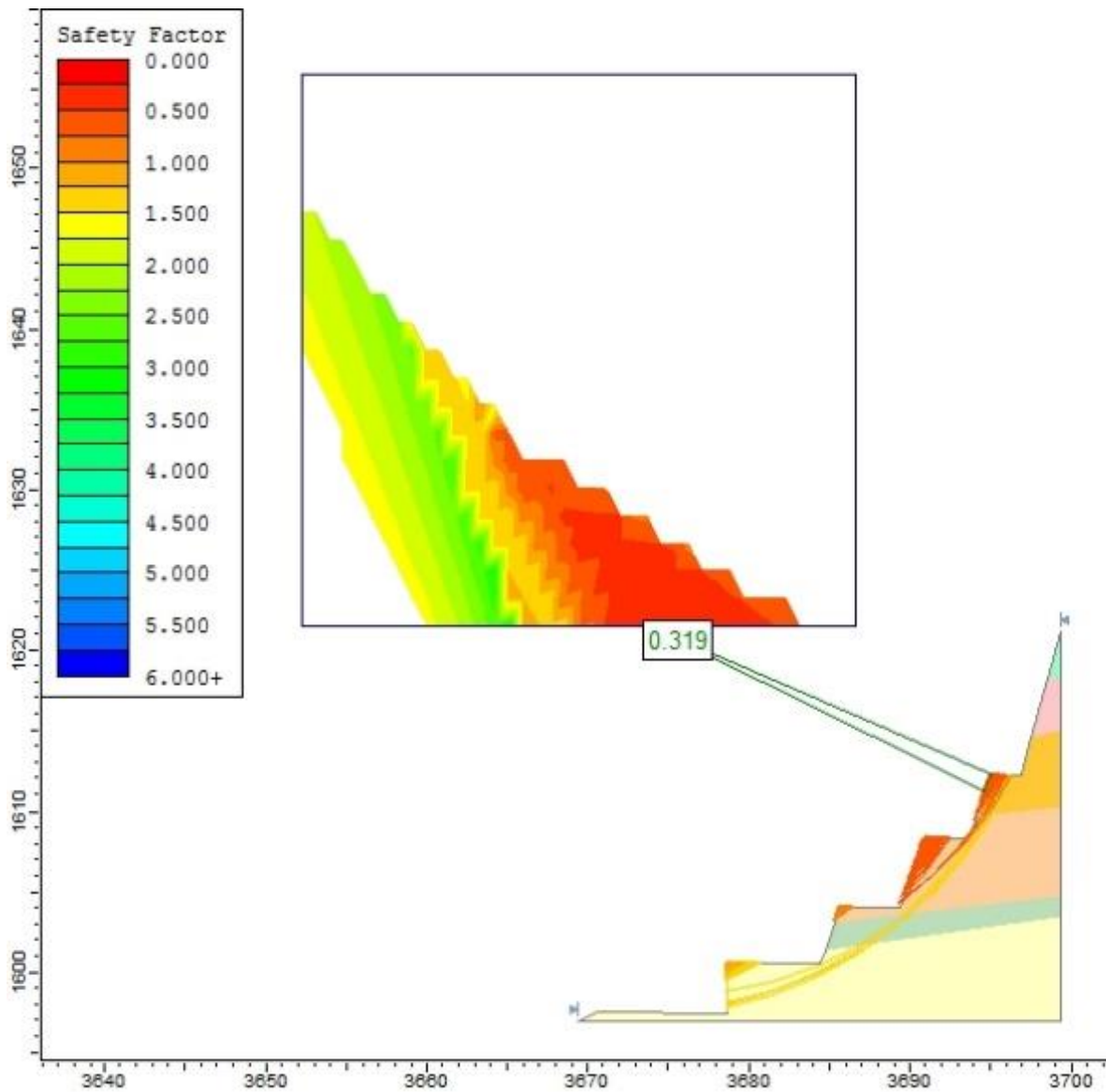


Figura 30. Talud descapotado, método de Janbu Simplificado. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Perfil del talud descapotado. Factor de seguridad mínimo de 0.396, donde solo pequeñas porciones de masa se deslizan las cuales están entre un rango de 0 a 1.5. Elaborado usando el software SLIDE utilizando el método de Spencer Simplificado (Figura 31)

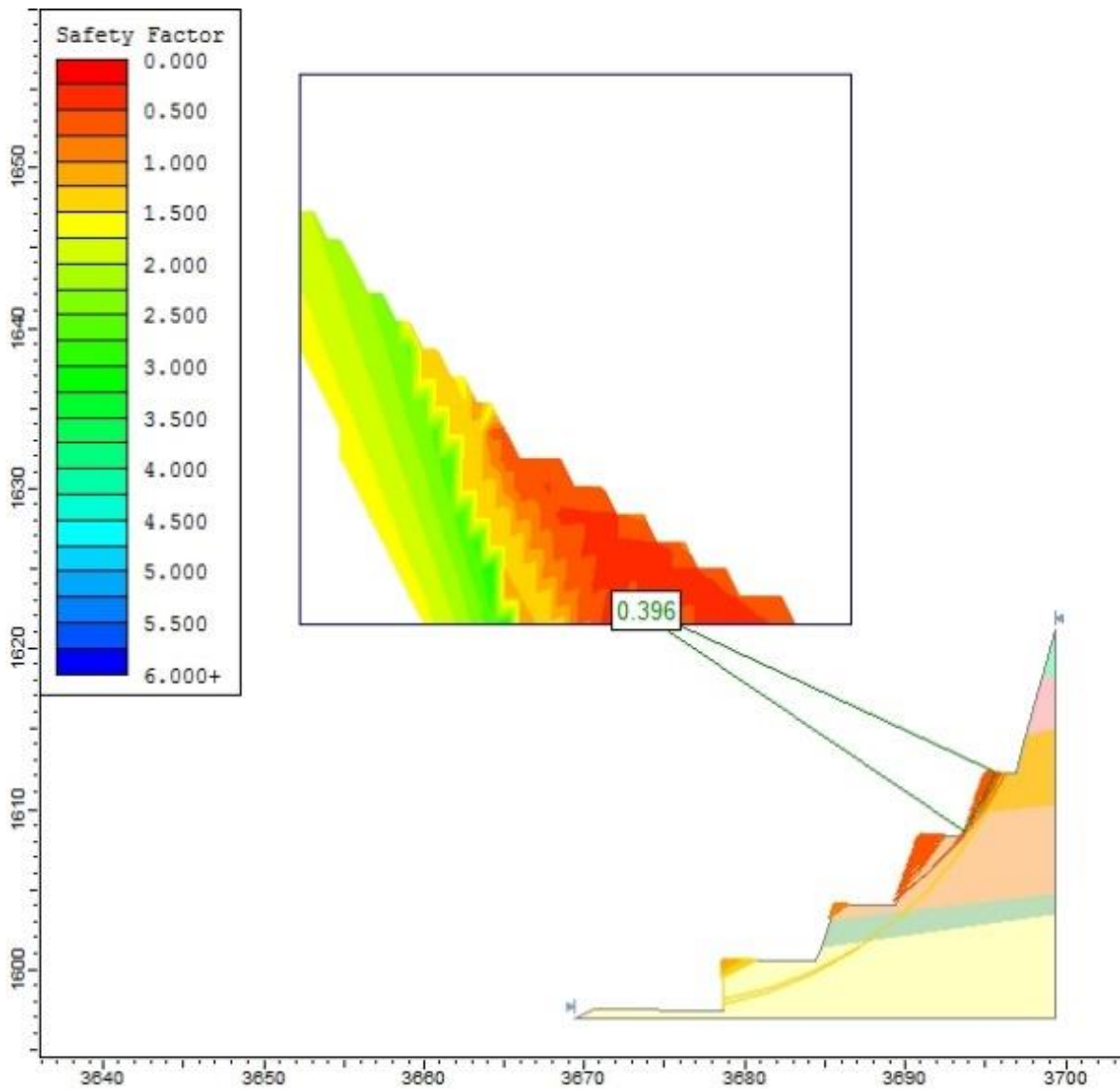


Figura 31. Talud descapotado, método Spencer. Fuente: Elaboración propia.

10.6 Discusión de resultados.

Los resultados del análisis indican que los valores de factor de seguridad del talud son menores de 0.5 los cuales están muy por debajo de valor estipulado por las normas de estabilidad, mismas que tienen como referencia un factor de seguridad de 1.5. También, presenta una topografía irregular con un alto grado de fracturamiento, todo esto nos indica que el talud estudiado es inestable e inseguro.

A partir de los resultados obtenidos, concluimos que estos guardan relación e planteamiento del (MTI,2014), el cual confirma la inestabilidad del talud y el riesgo que representa para en municipio de Santo Tomás, municipios cercanos y todas aquellas personas que transitan por la carretera NIC.7, ya sea para fines comerciales o para otras actividades.

Cabe destacar que el estudio realizado por el (MTI, 2014), nos ayudó a identificar el punto crítico o talud ubicado en el km 176 de la carretera Nic.7, en el municipio de Santo Tomas. Nuestra investigación complementa dicho estudio, con levantamiento topográfico, análisis geológicos y parámetros físico-mecánicos de las rocas-suelos, posteriormente ejecutados en el software slide y encontrando la solución más adecuada a la zona, tomando en cuenta el ámbito del costo económico de las medidas propuestas.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 Conclusiones

- Las características geológicas del talud corresponden desde la parte superior hasta la parte inferior mayormente a Tobas (ceniza y la pilli con una composición de roca y materia vítrea procedentes de actividad volcánica del terciario), producto de un flujo volcánico de previas erupciones en el área. Se identificaron deslizamientos, por desprendimiento y caídas de rocas con diferentes diámetros incluyendo material de suelo hasta rocas de 15 m de diámetro.
- Los factores condicionantes identificados en el talud fueron su geomorfología, litología, gran cantidad de fracturas y su pendiente inclinada. Agregando también que el clima y la actividad antrópica juega un rol muy importante debido a la oxidación de los materiales en cada estrato y alta actividad sísmica en la corona del talud.
- El desprendimiento del talud no solo ocurre por la pérdida de resistencia al esfuerzo cortante en la roca sino también por el alto grado de fracturamiento del talud el cual es el principal factor condicionante al desprendimiento.
- El análisis se empleó usando el Software SLIDE considerando las peores condiciones del sitio modelado, usando distintos métodos. Para poder ejecutar el programa se identificaron características estándares del material a partir de ensayos de laboratorio y documentos recopilados respecto a la clasificación de rocas y sus propiedades geomecánicas.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

- Los resultados dieron un factor de seguridad extremadamente bajo (0.338) con una alta cantidad de masa por desprender. Usando distintos modelos se llegó a un promedio de un factor de seguridad mínimo de 0.4, considerando 1.5 para ser estable.
- A partir de los resultados generados, se consideró el modelo de estabilización más apto del talud el cual consistió en un descapota miento casi completo del mismo. Se utilizó el software AutoCAD para poder modificar la geometría del talud.
- Al ser procesados por el software SLIDE se notó una diferencia entre los nuevos factores de seguridad, los cuales aún siguen inestables, pero con una cantidad de masa desprendida extremadamente menor.
- Además del método planteado, también se pueden realizar diferentes métodos para estabilizar el talud como utilizar sistemas de trincheras, barreras, mallas o muro de contención. También se puede emplear medidas de protección como muros de concreto, pilotes o gaviones y evitar que el material llegue a obstruir o bloquear la carretera principal.

11.2 Recomendaciones

Utilización de estaciones totales en los estudios similares a lo que conlleve estabilidad de taludes o procesos de remoción en masa para obtener datos más precisos.

Efectuar modelamientos del talud, con todos sus parámetros a evaluar; para representar los modelos más críticos y posteriormente evaluar sus medidas de mitigación.

A las autoridades municipales y el MTI, implementar métodos ingenieriles que faciliten un mejor análisis para la estabilización de taludes, en donde, incluyan pruebas de laboratorio de rocas y suelos e implementación de modelos de estabilidad mediante softwares y datos precisos recolectados in situ.

Implementación de medidas de mitigación, tales como las propuestas en este estudio; el método de banqueo (cambio de la topografía del talud), acompañado de mallas de gaviones, estas medidas se propusieron de acuerdo al coste económico bajo que representa y el cual semi-estabilizado el talud tomando en cuenta el riesgo por deslizamiento que presentaba.

Señalización en la carretera NIC.7 en el municipio de Santo Tomás departamento de Chontales, que representen el riesgo por deslizamiento en el tramo.

12. BIBLIOGRAFIA

Abramson, W., & Boyce, M. (2002). *Slope Stability and Stabilization method*.

ASTM. (2016). *Standar Test Method for Bulk density(unit Weigth) and Voids in Aggregate. American Standards of Testing of Materials*. New York.

Avellan. (2009). *Tefroestratigrafía de la parte occidental de Managua, Nicaragua: evolución de las estructuras volcánicas de Ticomo, Nejapa y Asososca, tesis de Maestría*. Managua.

Ayala Carcedo, F., & Andreu, F. (1987). *Manual de Taludes*. Madrid.

Barquero, A. (2012). *METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA PROYECTOS VIALES*. Costa Rica.

Barton, N. y Choubey, V. (s.f.). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*.

Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications : a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. Philadelphia.

Borsdorf, A. (febrero de 2012). Obtenido de Lateinamerika-Studien Online: <http://www.lateinamerika-studien.at/content/natur/naturesp/natur-654.html>

Brabb. (1989). *Landslides*. Colorado.

Brunsdén, D. (1979). *Process in Geomorphology*. New York.

Case, D. y. (1990). *The caribbean Region*. California.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Catanzariti, f. (13 de 06 de 2016). *Geostru*. Obtenido de <https://www.geostru.eu/es/estabilidad-de-taludes/>

Corominas y Yagüe. (1997). *Tipos de rotura en laderas y taludes*. Granada.

Cruden y Varnes. (1996). *Landslide Types and Processes*. Colorado.

Cruden, D. (1991). *A simple Definition of a Landslide Bulletin of the International Association*.

Denyer, P. (2005). *Geología y geotectónica de america central y el caribe*. Cartago.

Fredlund , D. G., & Krahn, J. (1977). "Comparison of slope stability methods of analysis" . *Canadian Geotechnical Journal*, págs. 429-439.

Highland y Bobrowsky. (2008). *The Landslide Handbook*. Estados Unidos.

Hodgson, G. (1978). *Geología Regional de Nicaragua*. Managua.

Hodgson, G. (2001). *Overview of the Geology and Mineral Industry of Nicaragua*. Managua.

Hutchinson. (1988). *General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology*. New York.

IGME. (1985). *Manual de ingeniería de Taludes, Instituto geológico y minero* . Madrid.

INEC. (Abril de 2003). www.inec.gob.ni. Obtenido de <http://www.inide.gob.ni/atlas/caracteristicasdep/Chontales.htm>

INETER. (2005). *Inestabilidad de laderas, Proyecto MET-ALARN*. Managua.

JICA. (2003). *Reuccion de vulnerabilidad en las carreteras principales de la republica de Nicaragua* . Managua.

Lambe, T. W. . (2004). *Mecanica de Suelos*. Mexico.

McBirney, A. (1965). *Volcanic History of Nicaragua*. . Los Angeles.

MTI. (2014). *Evaluacion sobre carreteras principales y secundarias de Nicaragua*. Managua.

Salete, E. (2006). *Estabilidad de Taludes*. Madrid.

Santesmases. (2009). *La medicion de datos cualitativos*. Madrid: 75.

Sharpe. (1938). *Landslide and related phenomena*. New York.

Universidad de Cuenca. (Abril de 2013). *Repositorio Institucional*. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4307>

Universidad de los Andes. (s.f.). *Análisis de estabilidad cuasi-tridimensional de un talud de suelo empleando el método de elementos finitos: Autopista San Cristóbal – La Fría*. Merida.

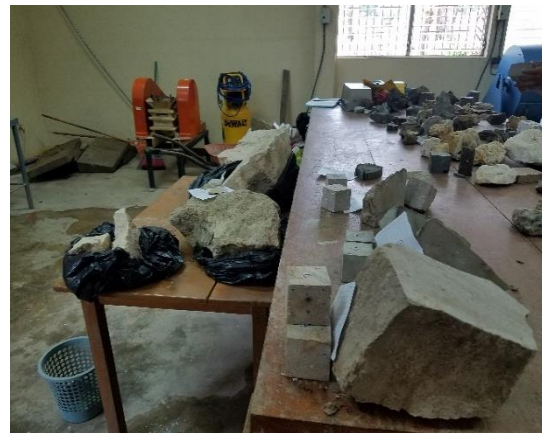
Velez, M. &. (2016). *Análisis probabilístico y de sensibilidad en la estabilidad de taludes utilizando la aplicación slope/w*. Colombia.

William, M. B. (1965). *Volcanic History of Nicaragua*. Managua.

13. ANEXOS



Anexo 1. A) se observa parte de las muestras del estrato de suelo usadas en la clasificación granulométrica para determinar el tipo de material. B) Utilización de tamices de diferentes diámetros de la muestra para clasificarla.



Anexo 2. A) Se observan el proceso para el corte de las muestras en un cubo/rectángulo casi perfecto para calcular su volumen. B) Las muestras tobaceas de composición riolítica, además de toba lítica y aglomerado.

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES



Anexo 3. A) Pesar las muestras individualmente obteniendo su peso exacto usando una pesa especializada. B) muestras cortadas en cubos y rectángulos después de su pesaje.



Anexo 4. Sumersión en agua los bloques de las muestras ya cortadas y nuevamente pesadas

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES



Anexo 4. A) Se tomaron las muestras y cada una de ellas fue sometida a presión usando Máquina de compresión, la cual nos permitió obtener el grado de fractura de cada una de ellas y así poder calcular sus propiedades geomecánicas. B) Muestra fracturada

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

Anexo 6. Datos de fracturas.

| Nº | Rumbo | | Buzamiento | Ancho (cm) | Largo (m) |
|----|-------|-----|------------|------------|-----------|
| | NE | NW | | | |
| 1 | | 4° | 74 | 3 | 1.6 |
| 2 | 3° | | 80 | 0.5 | 1.7 |
| 3 | | 5° | 85 | 0.7 | 1.8 |
| 4 | | 7° | 82 | 2 | 2.1 |
| 5 | | 3° | 80 | 1.5 | 2.2 |
| 6 | | 2° | 88 | 1 | 225 |
| 7 | | 4° | 68 | 0.6 | 2.3 |
| 8 | 2° | | 84 | 0.3 | 2.3 |
| 9 | 4° | | 80 | 2 | 1.4 |
| 10 | 15° | | 74 | 0.5 | 1.5 |
| 11 | | 4° | 88 | 1 | 1.3 |
| 12 | | 10° | 84 | 0.3 | 1.6 |
| 13 | | 22° | 88 | 0.4 | 1.7 |
| 14 | | 10° | 88 | 0.2 | 1.77 |
| 15 | | 8° | 82 | 0.6 | 2 |
| 16 | | 10° | 86 | 2.5 | 1.9 |
| 17 | 4° | | 86 | 0.5 | 1.76 |
| 18 | | 6° | 88 | 1.2 | 1.6 |
| 19 | | 2° | 78 | 0.7 | 1.64 |
| 20 | | 2° | 84 | 2 | 1.77 |
| 21 | 12° | | 80 | 2 | 2.6 |
| 22 | | 22° | 82 | 1 | 2.38 |
| 23 | | 8° | 88 | 1 | 1.15 |
| 24 | | 12° | 86 | 1 | 1.1 |
| 25 | | 36° | 90 | 0.6 | 1.4 |
| 26 | | 30° | 86 | 2 | 1.55 |
| 27 | 15° | | 76 | 7 | 1.9 |
| 28 | | 2° | 86 | 2 | 2.1 |
| 29 | 10° | | 78 | 0.6 | 2.1 |
| 30 | | 2° | 78 | 0.7 | 2.25 |
| 31 | | 2° | 82 | 1.5 | 2.2 |
| 32 | | 8° | 70 | 1.2 | 2.37 |
| 33 | | 4° | 88 | 0.6 | 2.5 |

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.7 EN EL KM 176, MUNICIPIO DE SANTO TOMÁS, DEL DEPARTAMENTO DE CHONTALES

| | | | | | |
|----|-----|-----|----|-----|-----|
| 34 | | 6° | 88 | 0.7 | 2.6 |
| 35 | | 8° | 78 | 0.6 | 1.2 |
| 36 | | 8° | 88 | 1 | |
| 37 | | 10° | 82 | 0.7 | 1.2 |
| 38 | 4° | | 86 | 1 | 1.3 |
| 39 | 20° | | 82 | 1 | 1.2 |
| 40 | 15° | | 88 | 0.8 | 1.3 |
| 41 | 20° | | 88 | 1 | 1.2 |

Fuente: elaboración propia.

Glosario.

Terminología empleada

- **AASHTO:** Asociación Americana de Oficiales de carreteras Estatales y Transportes.
- **ASTM:** Norma para clasificación de suelo en base a sus características físicas.
- **Nic.7:** Nomenclatura establecida para las carreteras según MTI dependiendo la zona departamental del país.
- **MTI:** Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- **Grupo Coyol:** litología compuesta por rocas volcánicas del periodo terciario, dividida en dos subgrupos; coyol superior y coyol inferior, ambas con distintas características litológicas.
- **Toba riolítica:** Roca ígnea extrusiva compuesta por distintos minerales como: vidrio volcánico, plagioclasas, feldespato potásico, cuarzo y algunos elementos máficos.
- **Alteración:** es la modificación de las propiedades fisicoquímica de los minerales de las rocas al estar en contacto con la superficie.
- **Argilización:** proceso de transformación de los feldespatos y otros silicatos aluminicos a arcilla.
- **Talud:** es una superficie inclinada con respecto a la horizontal sujetas a cambios en su formación ya sea por agentes endógenos o exógenos.