



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA

**EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN
CARRETERAS DE MONTAÑA EN LA AVENIDA JULIÁN CORONEL
DEL CANTÓN AMBATO**

TUTOR

MGTR. ALFREDO ALONSO BARRAGÁN SUBÍA

AUTOR

ERICK SEBASTIAN BONILLA NUÑEZ

GUAYAQUIL

2024



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: Evaluación De La Estabilidad De Taludes En Carreteras De Montaña En Las Regiones Montañosas Del Ecuador.	
AUTOR/ES: Erick Sebastian Bonilla Nuñez	TUTOR: Mgtr. Barragán Subía Alfredo Alonso
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	Grado obtenido: INGENIERO CIVIL
FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2024	N. DE PÁGS: 114
ÁREAS TEMÁTICAS: Ingeniería, industria y construcción	
PALABRAS CLAVE: Montaña, Deslizamiento, Suelo	
RESUMEN: <p>El presente trabajo de investigación aborda los problemas derivados de deslizamientos de tierra en carreteras de montaña, especialmente aquellos con factores de seguridad inferiores a los recomendados. La evaluación adecuada de estos factores es esencial para predecir y mitigar los riesgos asociados con pendientes inestables, garantizando la seguridad del personal y la infraestructura.</p> <p>Este estudio se enfoca en la evaluación de la estabilidad de taludes mediante ensayos de campo como la granulometría y el ensayo triaxial, los cuales son fundamentales para determinar la estratigrafía y los parámetros físico-</p>	

mecánicos del suelo. Estos ensayos se realizan conforme a las normas ASTM para asegurar la precisión y fiabilidad de los resultados obtenidos. La granulometría ayuda a entender la distribución de tamaños de partículas en el suelo, lo que influye en su comportamiento mecánico, mientras que el ensayo triaxial permite evaluar la resistencia y deformabilidad del suelo bajo condiciones controladas de presión y humedad.

Los resultados de estos ensayos proporcionan datos críticos para el diseño y construcción de infraestructuras en áreas montañosas, permitiendo determinar la capacidad admisible del suelo y proponer soluciones de ingeniería adecuadas para mejorar la estabilidad de los taludes. La integración de estos datos en modelos geotécnicos facilita la predicción de deslizamientos potenciales y la implementación de medidas preventivas para mitigar sus efectos, contribuyendo a la seguridad vial y la protección de las comunidades en zonas de riesgo.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (Web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR: BONILLA NUÑEZ ERICK SEBASTIAN	Teléfono: 0960889999	E-mail: sebasbony1@gmail.com
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Ph.D Marcial Calero Amores (Decano) Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 241 E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec Ing. Jorge Torres Rodriguez (Dir. Carrera) Teléfono: (04) 259 6500 Ext. 241 E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec	

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Erick Bonilla Tesis (1).pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unan.edu.ni

Fuente de Internet

1%

2

repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.uss.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

Submitted to Universidad Anahuac México Sur

Trabajo del estudiante

1%

5

repositorio.upt.edu.pe

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El estudiante egresado ERICK SEBASTIAN BONILLA NUÑEZ, declara bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación Evaluación de la Estabilidad de Taludes en Carreteras de Montaña en la Avenida Julián Coronel del Cantón Ambato, corresponde totalmente a él suscrito y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor



Firma:

Erick Sebastian Bonilla Nuñez

C.I.

180465869-6

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación Evaluación de la Estabilidad de Taludes en Carreteras de Montaña en la Avenida Julián Coronel del Cantón Ambato, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Trabajo de Titulación, titulado: Evaluación de la Estabilidad de Taludes en Carreteras de Montaña en la Avenida Julián Coronel del Cantón Ambato presentado por el estudiante ERICK SEBASTIAN BONILLA NUÑEZ como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:

Mgtr. Alfredo Alonso Barragán Subía

C.C.

092557881-7

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por la oportunidad de continuar con mis estudios y poner buenas personas en mi camino. También expreso mi gratitud y el reconocimiento a Patricio Bonilla y Amparo Nuñez mis padres, quienes han velado por mi bienestar y han hecho sacrificios para que pueda ser lo que soy ahora y siempre me han apoyado, haciendo posible mi educación universitaria.

A mis hermanos, quienes también son una parte esencial de mi vida, siempre me han motivado a seguir persiguiendo mis metas y en especial a mi hermana Jenny y a mi cuñado Cristian que con su confianza siempre estuvieron dispuestos ayudarme cuando más lo he necesitado.

También, a Mirka que con su valentía supo apoyarme en todo momento, en los momentos de decaimiento me brindo su mano, su amor y energía para poder continuar y no desmoralizarme, también a su familia por siempre estar ahí para mí. De igual manera a mi tía Caroli y mi primo Guillo que estando lejos siempre han estado para mí en los momentos más duros de mi carrera y a toda mi familia en general, que son mi motivación y el impulso para enfrentar futuros retos, les agradezco por estar siempre atentos a mi bienestar.

Erick Sebastian Bonilla Nuñez

DEDICATORIA

A mis padres, Patricio y Amparo dedico este proyecto con todo mi cariño, por ser ese pilar fundamental de mi vida y que me inspiran a seguir adelante, gracias a eso he logrado llegar hasta donde ahora estoy.

A mis hermanos, para que siempre salgan adelante y a mis sobrinas para que siempre se superen.

A Mirka que con su amor nunca ha permitido que me rinda y siempre me empuja a levantarme.

Erick Sebastian Bonilla Nuñez

RESUMEN

El presente trabajo de investigación aborda los problemas derivados de deslizamientos de tierra en carreteras de montaña, especialmente aquellos con factores de seguridad inferiores a los recomendados. La evaluación adecuada de estos factores es esencial para predecir y mitigar los riesgos asociados con pendientes inestables, garantizando la seguridad del personal y la infraestructura.

Este estudio se enfoca en la evaluación de la estabilidad de taludes mediante ensayos de campo como la granulometría y el ensayo triaxial, los cuales son fundamentales para determinar la estratigrafía y los parámetros físico-mecánicos del suelo. Estos ensayos se realizan conforme a las normas ASTM para asegurar la precisión y fiabilidad de los resultados obtenidos. La granulometría ayuda a entender la distribución de tamaños de partículas en el suelo, lo que influye en su comportamiento mecánico, mientras que el ensayo triaxial permite evaluar la resistencia y deformabilidad del suelo bajo condiciones controladas de presión y humedad.

Los resultados de estos ensayos proporcionan datos críticos para el diseño y construcción de infraestructuras en áreas montañosas, permitiendo determinar la capacidad admisible del suelo y proponer soluciones de ingeniería adecuadas para mejorar la estabilidad de los taludes. La integración de estos datos en modelos geotécnicos facilita la predicción de deslizamientos potenciales y la implementación de medidas preventivas para mitigar sus efectos, contribuyendo a la seguridad vial y la protección de las comunidades en zonas de riesgo.

Palabras Claves: Montaña, Deslizamiento, Suelo

ABSTRACT

This research addresses the issues arising from landslides on mountain roads, particularly those with safety factors below recommended standards. Proper evaluation of these factors is essential for predicting and mitigating risks associated with unstable slopes, ensuring the safety of personnel and infrastructure.

This study focuses on the assessment of slope stability through field tests such as granulometry and triaxial tests, which are fundamental for determining the stratigraphy and physical-mechanical parameters of the soil. These tests are conducted in accordance with ASTM standards to ensure the accuracy and reliability of the results obtained. Granulometry helps understand the particle size distribution in the soil, which influences its mechanical behavior, while the triaxial test allows for the evaluation of soil strength and deformability under controlled pressure and moisture conditions.

The results of these tests provide critical data for the design and construction of infrastructure in mountainous areas, allowing for the determination of the permissible soil capacity and the proposal of appropriate engineering solutions to improve slope stability. Integrating these data into geotechnical models facilitates the prediction of potential landslides and the implementation of preventive measures to mitigate their effects, contributing to road safety and the protection of communities in risk-prone areas.

Keywords: Mountain, Sliding, Ground

ÍNDICE GENERAL

Introducción	1
Capítulo I	2
1.1 Enfoque de la Propuesta	2
1.1.1 Tema:	2
1.1.2 Planteamiento del Problema:	2
1.1.3 Formulación del Problema:	3
1.1.4 Objetivo General	3
1.1.5 Objetivos Específicos	4
1.1.6 Idea a Defender / Hipótesis	4
1.1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad	4
Capítulo II	5
2.1 Marco Referencial	5
2.1.1 Marco Teórico	5
2.1.2 Bases Teóricas.....	9
2.1.3 Depósitos de Suelo en la Naturaleza	10
2.1.4 Mecánica de Suelos Avanzada	12
2.1.5 Geotecnia Avanzada	15
2.1.6 Clasificación de los Suelos.....	18
2.1.7 Ley de Darcy	19
2.1.8 Ensayo de Permeabilidad con Carga Constante.....	20
2.1.9 Resistencia Cortante del Suelo	20
2.1.10 Criterio de Falla de Mohr-Coulomb	20
2.1.11 Ensayo de Corte Directo	22
2.1.12 Ensayo Triaxial de Corte	23
2.1.13 Ensayo Triaxial Consolidado no Drenado (CU).....	24
2.1.14 Estabilidad de Taludes	25

2.1.15	Factor de Seguridad.....	26
2.1.16	Superficie de Falla.....	27
2.1.17	Tipos de Rotura.....	28
2.1.18	Método de Bishop Simplificado	28
2.2	Marco Legal.....	30
2.2.1	Normas ecuatorianas de la construcción	30
2.2.2	Normas NTE INEN.....	30
2.2.3	Normas ASTM.....	30
2.2.4	Otras referencias.....	32
Capítulo III	33
3.1	Marco Metodológico	33
3.1.1	Enfoque de la investigación:	33
3.1.2	Alcance de la investigación:	33
3.2	Técnica e Instrumentos para Obtener los Datos	34
3.2.1	Equipos de recolección de datos.....	34
3.3	Población y muestra	39
3.3.1	Muestra	39
Capítulo IV	40
4.1	Propuesta o Informe.....	40
4.2	Presentación y análisis de resultados	40
4.3	Estudio geotécnico y caracterización del suelo	60
4.3.1	Resultados	60
4.4	Identificación de áreas críticas y puntos de riesgo	61
4.5	Análisis comparativo de enfoques de diseño para estabilización de taludes	63
4.6	Propuesta	65
4.7	Discusión de resultados	67

Conclusiones	69
Recomendaciones	70
Bibliografía.....	71
Anexos.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Línea de Investigación	4
Tabla 2 Valores típicos de conductividad hidráulica	19
Tabla 3. Granulometría (A).....	42
Tabla 4 Granulometría (M)	44
Tabla 5 Granulometría (B).....	47
Tabla 6 (A) Triaxial	50
Tabla 7 (A)Triaxial	51
Tabla 8 (A) Triaxial	51
Tabla 9. (M) Triaxial	53
Tabla 10. (M) Triaxial	54
Tabla 11. (M) Triaxial	54
Tabla 12. (B) Triaxial.....	57
Tabla 13. (B) Triaxial.....	58
Tabla 14. (B) Triaxial.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ciclo de las rocas y origen del suelo	10
Figura 2	Representación gráfica de linealización del criterio de Mohr .	22
Figura 3	Envolvente de falla	24
Figura 4	Elementos de un talud	25
Figura 5	Estabilidad de taludes.....	27
Figura 6	Modelos de superficies de roturas en suelos.....	28
Figura 7	Método de las dovelas para hallar el Factor de seguridad	29
Figura 8	GPS Garmin	34
Figura 9	Horno de secado	35
Figura 10	Balanza.....	35
Figura 11	Dron.....	36
Figura 12	Acalanador.....	36
Figura 13	Ortofoto.....	37
Figura 14	Máquina de corte triaxial.....	38
Figura 15	Identificación y toma de Muestras en el talud	41
Figura 16	Porcentaje Pasante Acumulado.....	43
Figura 17	Porcentaje Acumulado.....	45
Figura 18	Porcentaje Pasante Acumulado.....	48
Figura 19	Datos generales.....	52
Figura 20	Curva esfuerzo-deformación.....	55
Figura 21	Presión de cámara.....	59
Figura 22	Toma de muestras y de análisis	60
Figura 23	Puntos de falla del talud	62
Figura 24	Características visuales del talud	63

ÍNDICE DE ANEXOS

1 Anexo. Análisis granulométrico (Muestra B)	75
2 Anexo. Análisis granulométrico (Muestra M)	76
3 Anexo. Análisis granulométrico (Muestra A)	77
4 Anexo. Porcentaje de árido fino	78
5 Anexo. Gravedad específica del suelo	79
6 Anexo. Límite líquido y límite plástico de las muestras	80
7 Anexo. Contenido de humedad de las muestras	81
8 Anexo. Ensayo Triaxial (Muestra B)	82
9 Anexo. Ensayo Triaxial (Muestra M)	83
10 Anexo. Ensayo Triaxial (Muestra A)	84
11 Anexo. Toma de muestra A	85
12 Anexo. Toma de muestra M	86
13 Anexo. Toma de muestra B	87
14 Anexo. Sellado de muestras	88
15 Anexo. Granulometría	89
16 Anexo. Tamiz #200	90
17 Anexo. Límite líquido y límite plástico	91
18 Anexo. Gravedad específica	92
19 Anexo. Análisis visual de muestras	93
20 Anexo. Porcentaje de humedad	94
21 Anexo. Ensayo Triaxial	95
22 Anexo. Identificación visual de inestabilidad en las muestras	96
23 Anexo. Sistema antiguo de alcantarillado	97
24 Anexo. Causa de la inestabilidad	98
25 Anexo. Área a futuro a mejorar	99

Introducción

Este trabajo de investigación tiene como objetivo abordar los problemas derivados de los lados de tierra que ocurren con frecuencia y que presentan factores de seguridad por debajo de los recomendados por las normas. Anualmente, se producen aproximadamente mil fracciones de pendientes en todo el mundo, resultando en numerosas muertes y pérdidas económicas significativas. Por esta razón, es crucial investigar las causas de la inestabilidad

Estos estudios implican un análisis detallado de los factores geológicos y del suelo que afectan la estabilidad de los taludes. Evaluar adecuadamente estos factores es esencial para predecir y mitigar los riesgos asociados con pendientes inestables, minimizando así los deslizamientos de tierra potenciales y garantizando la seguridad del personal y la infraestructura involucrada. El territorio de Ecuador, atravesado principalmente por los Andes, presenta una variedad de terrenos climáticos y físicos, así como una geografía variable y, a veces, difícil. Como resultado, las personas se ven obligadas a intervenir en el proceso de transformación de las montañas.

Finalmente, a través de ensayos realizados en campo, como análisis granulométricos y pruebas triaxiales, se puede determinar la estratigrafía de las capas del subsuelo y su composición. Estos ensayos permiten obtener parámetros físico-mecánicos y clasificar los suelos según las normas ASTM, estableciendo la capacidad admisible del suelo a un nivel de desplante recomendado.

Capítulo I

1.1 Enfoque de la Propuesta

1.1.1 Tema:

Evaluación De La Estabilidad De Taludes En Carreteras De Montaña En La Avenida Julián Coronel del Cantón Ambato.

1.1.2 Planteamiento del Problema:

Las carreteras 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.

El área afectada es un terreno montañoso y la formación de la pendiente es consistente con las características típicas del tipo de suelo que se encuentran en un estado de inestabilidad imperceptible, pero continúan moviéndose pendiente abajo. Al ser parte de la región Andes, las precipitaciones anuales son constantes, lo que es una de las principales razones para agravar el problema por mayor agua estancada. La estructura del suelo en caminos de montaña como la Avenida Julián Coronel es compleja y sujeta a una importante meteorización provocada por las fuertes lluvias en la zona y cambios bruscos de temperatura que provocan la expansión y compresión del macizo rocoso. Debido a la baja temperatura que prevalece en el desierto andino durante la noche y al deshielo de esta durante el día, el proceso de congelación del agua ingresa a las grietas, el ácido que desprende la vegetación penetra en las rocas agrietadas y la posterior oxidación. Los datos pluviométricos emitidos por el INAMHI proporcionan un promedio en esta zona de 1650 mm. anuales.

En muchos países latinoamericanos y con el paso de la cordillera de los Andes en Venezuela, Colombia, Ecuador, Bolivia, Chile, Argentina y Perú, los

relieves accidentados son un problema común para el desarrollo socioeconómico siendo un problema grave las inhabilitaciones de carreteras por deslizamientos debido a que algunos de estos países deben su economía al sector minero y agrícola. Siendo el uno de los factores la urbanización y expansión de actividad humana en territorios que pueden ser considerados peligrosos (Paz Muñoz y otros, 2019).

Tanto en los proyectos como en los estudios viales, uno de los principales componentes es la ingeniería civil y geotecnia, los cuales se enfocan en la mecánica de suelos, refiriéndose a un análisis de estabilidad de taludes. A la vez, 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 de las últimas décadas.

La estabilidad de los taludes en carreteras de montaña se revela como un desafío crucial, no solo para garantizar la movilidad segura, sino también para el desarrollo socioeconómico de la región. El presente proyecto de titulación propone abordar esta problemática a través de una evaluación detallada en la Avenida Julián Coronel del Cantón Ambato, ofreciendo contribuciones valiosas a la comprensión y mitigación de los riesgos asociados con deslizamientos de masa en entornos montañosos y promoviendo la seguridad de las personas que transitan por el lugar.

1.1.3 Formulación del Problema:

¿Cómo se puede evaluar el factor de seguridad del talud como elemento principal para el análisis geotécnico y así caracterizar las propiedades del suelo para la estabilización de taludes en la Avenida Julián Coronel del cantón Ambato?

1.1.4 Objetivo General

Evaluar las condiciones del talud en la Avenida Julián Coronel del cantón Ambato para mejorar la seguridad de los usuarios que transitan por el sector.

1.1.5 Objetivos Específicos

- Realizar un estudio geotécnico en dicha avenida para caracterizar las propiedades del suelo, como: granulometría y ensayo triaxial.
- Identificar áreas críticas y puntos de riesgo potencial para la generación de deslizamientos de masa.
- Realizar un análisis comparativo de diferentes enfoques de diseño de estabilización de taludes, considerando factores constructivos.

1.1.6 Idea a Defender / Hipótesis

La evaluación de la estabilidad del talud de montaña situada en la Avenida Julián Coronel, en el cantón Ambato, sugiere que existe una condición de inestabilidad en dicho talud. Este análisis apunta a la posibilidad de riesgos asociados con la estabilidad del terreno, lo que Destaca la necesidad de realizar medidas preventivas y correctivas para garantizar la seguridad y la estabilidad de la zona.

1.1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.

Tabla 1: Línea de Investigación

Campo de conocimiento	Línea de investigación	Sub línea de investigación
Ingeniería, Industria y construcción.	Territorio	Seguridad y Vivienda

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (ULVR, 2023)

Capítulo II

2.1 Marco Referencial

2.1.1 Marco Teórico

La presente investigación mediante estudios geo mecánicos y geotécnicos del macizo rocoso para la estabilidad de taludes en cantera; busca dar una adecuada solución, presentando un análisis detallado sobre la evaluación geomecánica y geotécnica del macizo rocoso, como también los resultados obtenidos de su caracterización y clasificación la cual nos dará la posibilidad de conocer la calidad cuantitativa de la roca.

Según Barros y otros (2019), Los componentes estructurales de un muro de llantas recicladas son capaces de resistir las fuerzas de corte y momento generadas por las presiones del suelo y otras cargas. Además, verificaron que la estabilidad del muro de llanta se comporta de manera segura frente a un posible volcamiento o desplazamiento lateral. Los muros de contención construidos con neumáticos reciclados rellenos de suelo compactado han demostrado ser una solución sostenible y económica para la estabilización de taludes. Estudios recientes confirman que estas estructuras, cuando se diseñan y construyen adecuadamente, cumplen con los requisitos de estabilidad y durabilidad exigidos por las normativas actuales de ingeniería geotécnica (Romero y otros, 2023).

Según Delgado (2018), Realizó la tesis “Estudio de estabilización de taludes en el barrio La Merced Baja – Cantón Guaranda”, cuyo objetivo fue examinar la estabilidad del terreno en la zona ya mencionada. Para lo cual, describieron la geología local, además de caracterizar las capas de suelo por medio de dos calicatas de profundidad de 1.50 m y clasificar geo mecánicamente el macizo rocoso. Obtuvo entonces como resultados que el factor de seguridad del talud fue de 0.982 representando una condición de inestabilidad en situaciones de precipitación, requiriendo entonces medidas de prevención y corrección como pernos de anclaje, malla galvanizada, concreto lanzado, zanjas de coronación y pie de talud, o taludes de corte. Concluyó que, a pesar de que

la zona de estudio se encuentre estable, esta se pierde con la presencia de lluvias.

La necesidad de implementar medidas de prevención y corrección, como pernos de anclaje, malla galvanizada, concreto lanzado, zanjas de coronación y pie de talud, o taludes de corte, debido a que el factor de seguridad del talud resultó ser de 0.982, lo cual indica una condición de inestabilidad en situaciones de precipitación. Esta conclusión resalta la importancia de tomar acciones específicas para mejorar la estabilidad del terreno y prevenir posibles deslizamientos o colapsos, especialmente en períodos de lluvia.

Chaverra & Ruiz (2019), desarrollaron la investigación “Análisis de estabilidad del talud y obras de contención necesarias para el diseño y construcción de una vía de orden secundario en el municipio De Dabeiba – Antioquia”, con el objetivo de analizar la estabilidad del talud y proponer las obras necesarias de contención para el diseño de la vía en mención. Para el cumplimiento de este, describieron la geología de la zona, el clima, las zonas de vida, la estratigrafía, las amenazas geológicas y sísmicas, continuando con cuatro exploraciones de 10 m de profundidad para caracterizar el suelo del área de estudio. Como resultados, obtuvieron con el empleo del programa Slide para el perfil 1 un factor de seguridad estático y dinámico de 1.5 y 1.05, para el perfil 2 de 1.53 y 1.11, para el perfil 3 de 1.038 y 0.67, requiriendo por ello estabilizar el perfil 3, por medio de un muro de contención, pasando a contar un factor de seguridad dinámico de 1.063. Concluyeron que, el único perfil a estabilizar fue el número 3 para lo cual proponen un muro de contención que cuente con sistemas de drenaje.

La identificación clara de la necesidad de estabilización en el perfil 3 mediante la construcción de un muro de contención. Esto se sustenta en los resultados obtenidos del análisis de estabilidad, donde se revela que el factor de seguridad estático y dinámico para el perfil 3 está por debajo de los niveles aceptables, indicando una condición de inestabilidad significativa. La propuesta de un muro de contención, junto con sistemas de drenaje, no solo demuestra la comprensión detallada de las condiciones geotécnicas del terreno, sino también

la aplicación de soluciones específicas para abordar los riesgos identificados, lo cual es crucial para el diseño y construcción segura de la vía en cuestión.

Flores (2023), de la evaluación del empleo del geo celdas para la estabilización de taludes se tiene el incremento de los factores de seguridad estático y pseudo estático, con mejores resultados con celdas grandes de 475 mm x 508 mm x 13.50 m de longitud de malla. Además, La relación del ángulo de inclinación al emplear geo celdas con el factor de seguridad estático y pseudo estático para la estabilización de taludes es negativa, con un r de 0.63 deduciéndose que mayor sea el ángulo de inclinación se reduce el factor de seguridad estático y pseudo estático en el talud. Finalmente, La relación de la longitud de las mallas en el factor de seguridad pseudo estático para la estabilización de taludes es positiva, con un r de 0.74, deduciéndose que a mayor la longitud de la malla del geo celdas mayor es el factor de seguridad pseudo estático en el talud.

La eficacia demostrada del geo celdas en la estabilización de taludes, especialmente al utilizar celdas grandes de 475 mm x 508 mm x 13.50 m de longitud de malla. La mejora significativa en los factores de seguridad estático y pseudo estático sugiere que la geo celdas, especialmente las de mayor tamaño, son una opción efectiva para fortalecer la estabilidad de los taludes.

Además, la identificación de la relación negativa entre el ángulo de inclinación y los factores de seguridad estático y pseudo estático es un hallazgo crucial. De igual manera, destaca la importancia de considerar cuidadosamente el ángulo de inclinación al emplear geo celdas, ya que un aumento en este ángulo podría conducir a una disminución en la estabilidad del talud.

Este conocimiento puede ser fundamental al diseñar e implementar estrategias de estabilización utilizando geo celdas. Por último, la relación positiva entre la longitud de las mallas de las geo celdas y el factor de seguridad pseudo estático es un punto clave a destacar. Esto sugiere que la elección de mallas más largas contribuye positivamente a la estabilidad del talud, lo cual puede ser

un factor crucial en la toma de decisiones durante el diseño y la implementación de medidas de estabilización utilizando geo celdas.

Fernández & Cabrejos (2021), realizó el análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite, utilizando el software Slide 6.0 en donde se determinó el factor de Seguridad de los taludes No1 y 2, dividido por tramos 05 en cada talud, cuyo resultado del estudio indicó que los taludes se encuentran inestables, por lo que se recomendó la solución por modificación del talud, para estabilizar los taludes cercanos a la Cantera El Arenal y así poder evitar daños al caserío cercano. Se zonificó de acuerdo con las características geológicas estructurales, dando a saber que la zona está conformada por areniscas, calizas, conglomerados, tobas volcánicas y arcillas. Además, dentro de los factores que afectan la estabilidad del talud se encontró que el principal factor son los Recursos Naturales. A la vez, la zona de estudio está expuesta a derrumbes por lo que los taludes se encuentran inestables.

La necesidad urgente de abordar la inestabilidad de los taludes cercanos a la Cantera El Arenal, ya que el análisis de estabilidad realizado mediante el método de equilibrio límite con el software Slide 6.0 reveló que estos taludes se encuentran inestables. La recomendación de modificar el talud para estabilizar la zona es esencial para prevenir posibles daños al caserío cercano. Además, la zonificación basada en las características geológicas estructurales, que incluyen areniscas, calizas, conglomerados, tobas volcánicas y arcillas, proporcionan información valiosa sobre la composición del terreno. Además, puede ser crucial para desarrollar estrategias de estabilización específicas que se adapten a las condiciones geológicas particulares de la zona. La identificación de los recursos naturales como el principal factor que afecta la estabilidad del talud también es un hallazgo relevante. Este conocimiento puede ser fundamental al diseñar medidas de estabilización, ya que la gestión adecuada de los recursos naturales puede contribuir significativamente a la mejora de la estabilidad del talud.

Dando respuesta al objetivo general, se concluye que se presenta un fallamiento circular y que también se tendría el problema de deformación plana. La longitud es mucho mayor a las características de la sección transversal,

entonces no existe presencia de factores que sumen a la deformación obtenida al analizar la sección transversal; mejor dicho, las características en toda la longitud de 380.00 metros lineales al ser analizado, son similares en cualquier corte transversal generado sobre esta, por lo cual se obtendrá los mismos resultados en cualquier punto del talud (Alva & Rosales, 2022).

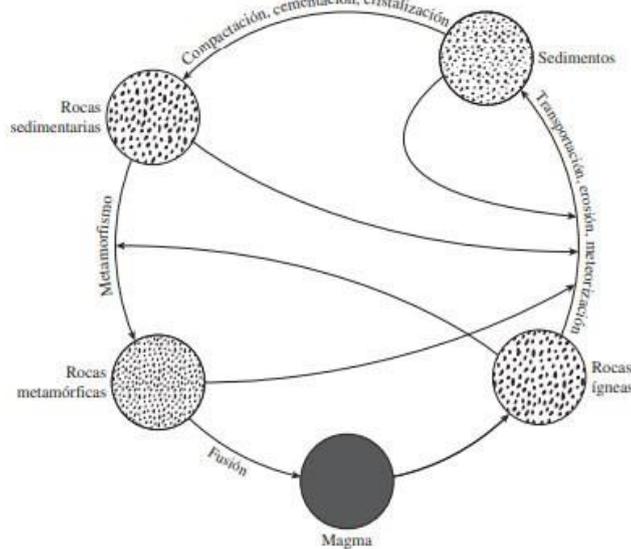
Dicha observación tiene implicaciones importantes para la implementación de medidas de estabilización, ya que sugiere que las soluciones diseñadas y probadas en una sección transversal específica pueden extrapolarse con confianza a lo largo de toda la longitud del talud. Esto simplifica la planificación y ejecución de estrategias de estabilización, ya que no se requiere una adaptación significativa de las soluciones para abordar variaciones a lo largo de la longitud del talud. La uniformidad en las características del talud facilita la implementación eficiente de medidas correctivas en cualquier punto de este.

2.1.2 Bases Teóricas

2.1.2.1 Suelos

El suelo, desde la perspectiva geológica, se define como un conjunto no consolidado de partículas minerales y materia orgánica en descomposición que constituyen la fase sólida. Los intersticios entre estas partículas están ocupados por las fases líquida y gaseosa, cuyas proporciones varían según las condiciones ambientales y la profundidad del perfil edáfico (Martínez y otros, 2022).

Figura 1
Ciclo de las rocas y origen del suelo



Fuente: Das, (2013)

El proceso de meteorización, que puede ser físico o químico en cualquier roca, produce fragmentos de roca cada vez más pequeños y crea suelos inorgánicos. Este proceso comienza cuando los esfuerzos deforman y fracturan la roca, lo que permite la disminución de la presión. La meteorización es el proceso que permite la disminución de la presión (Figura 1). Sin embargo, los suelos orgánicos suelen ser el resultado de procesos biológicos en los que interviene la actividad bacteriana.

2.1.3 Depósitos de Suelo en la Naturaleza

2.1.3.1 Suelos Residuales

Los suelos residuales son formaciones inorgánicas que permanecen in situ tras la meteorización de la roca madre. Su desarrollo es particularmente intenso en regiones caracterizadas por altas temperaturas y humedad, donde los procesos de alteración química y física se aceleran significativamente en comparación con ambientes más fríos y áridos. Esta diferencia en las tasas de meteorización resulta en perfiles de suelo residual más profundos y complejos en zonas tropicales y subtropicales (Ramírez, 2021).

2.1.3.2 Suelos Transportados

Son suelos que se desarrollan sobre el material meteorizado, el mismo que fue transportado debido a diferentes procesos físicos.

De acuerdo con el agente transportador, se tiene lo siguiente:

- Lacustres: depositados en lugares en donde se tiene una baja energía, lagos.
- Fluviales: depositados por agua que posee una velocidad determinada.
- Coluviales: depositados por acción de la gravedad.
- Eólicos: depositados debido a la acción del viento
- Glaciales: depositados por la acción glacial
- Marinos: formados por el depósito de mareas.

2.1.3.3 Suelos Orgánicos

Los suelos se clasifican como orgánicos cuando su contenido de carbono orgánico supera el 12% de su composición. Estos suelos se desarrollan predominantemente en ambientes donde la descomposición de la materia orgánica se ve ralentizada, ya sea por temperaturas bajas o por condiciones de saturación hídrica. Tales condiciones son comunes en ecosistemas como turberas, pantanos y ciertos bosques boreales, donde la acumulación de materia orgánica supera su tasa de descomposición (Álvarez y otros, 2020).

- Un suelo orgánico generalmente presenta las siguientes características:
- El contenido de humedad natural se encuentra en un rango de 200 a 300%.
- Presentan un carácter altamente compresible.

En ensayos de laboratorio se ha demostrado que bajo cargas se derivan grandes asentamientos a partir de la consolidación secundaria.

2.1.3.4 Tamaños de Partícula de Suelo

El tamaño de partículas que forman parte del suelo varía ampliamente, independientemente del origen. Los tamaños de partículas usados en el ámbito de la ingeniería se describen a continuación:

- Gravas

Son fragmentos de roca no consolidados, generalmente compuestos por una variedad de minerales, incluyendo cuarzo y feldespato. Su tamaño y forma pueden variar significativamente dependiendo de su origen y proceso de transporte (Rodríguez y otros, 2022).

- Arenas

Constituidas principalmente por partículas de cuarzo y feldespato, las arenas son suelos de grano fino con tamaños que varían entre 0.075 mm y 4.75 mm. Su composición mineralógica puede incluir otros minerales dependiendo de la roca madre y los procesos geológicos locales (López & Martínez, Propiedades físico-químicas de arenas en ambientes costeros, 2021).

- Limos

Son partículas de suelo microscópicas con poca o nula plasticidad y una granulometría generalmente uniforme. Compuestos principalmente por fragmentos finos de cuarzo y minerales micáceos, los limos tienen un tamaño entre 0.002 mm y 0.075 mm. En algunos contextos, se les conoce como 'polvo de roca' debido a su origen mineral o parcialmente orgánico (González y otros, 2023).

- Arcillas

Partículas submicroscópicas (<0.002 mm) que exhiben plasticidad cuando se mezclan con agua. Su estructura típicamente laminar es el resultado de la descomposición química de ciertos minerales en las rocas. Las arcillas juegan un papel crucial en la determinación de las propiedades geotécnicas del suelo debido a su alta superficie específica y capacidad de intercambio catiónico (Fernández & Sánchez, 2020).

2.1.4 Mecánica de Suelos Avanzada

2.1.4.1 Teoría del Estado Crítico

La teoría del estado crítico es un modelo conceptual que describe el comportamiento mecánico de los suelos saturados sometidos a esfuerzos. Esta

teoría, desarrollada por Roscoe, Schofield y Wroth en la década de 1960, proporciona un marco para entender cómo los suelos se comportan bajo diferentes condiciones de carga.

Conceptos clave

- **Estado crítico:** Condición en la que el suelo continúa deformándose sin cambios en el volumen o en los esfuerzos efectivos.
- **Línea de estado crítico (CSL):** Representa los estados críticos en el espacio de esfuerzos p' - q - v .
- **Superficie de estado límite:** Define el límite de los estados posibles del suelo.

Aplicaciones

- Predicción del comportamiento de suelos bajo cargas complejas.
- Modelado constitutivo avanzado para análisis numéricos.
- Interpretación de resultados de ensayos triaxiales.

2.1.4.2 Comportamiento No Drenado de Suelos

El comportamiento no drenado es crucial en el análisis de estabilidad a corto plazo en suelos de baja permeabilidad.

Características

- Desarrollo de presiones de poro en respuesta a cargas aplicadas.
- Cambios en la resistencia al corte debido a variaciones en las presiones efectivas.
- Trayectorias de esfuerzos específicas en el espacio p' - q .

Fenómenos importantes

- Dilatación y contractancia en condiciones no drenadas.
- Generación de presiones de poro negativas en suelos densos.

- Ablandamiento por deformación en arcillas normalmente consolidadas.

2.1.4.3 *Licuefacción de Suelos*

La licuefacción es un fenómeno en el cual un suelo saturado pierde una gran parte de su resistencia y rigidez en respuesta a un esfuerzo aplicado, usualmente por cargas sísmicas.

Mecanismo

- Aumento rápido de la presión de poro.
- Reducción de los esfuerzos efectivos.
- Pérdida de contacto entre partículas.

Factores que influyen

- Granulometría del suelo (arenas finas uniformes son más susceptibles).
- Densidad relativa.
- Nivel freático.
- Intensidad y duración de la carga sísmica.

Métodos de evaluación

- Criterios basados en la granulometría y el estado del suelo.
- Ensayos de penetración estándar (SPT) y de cono (CPT).
- Análisis de respuesta dinámica del suelo.

2.1.4.4 *Consolidación Secundaria*

La consolidación secundaria, también conocida como creep, es la deformación que ocurre a esfuerzo efectivo constante después de la disipación del exceso de presión de poro.

Características

- Dependiente del tiempo.
- Más pronunciada en suelos orgánicos y algunas arcillas blandas.

- Puede contribuir significativamente a los asentamientos a largo plazo.

Modelo matemático

- Índice de compresión secundaria ($C\alpha$).
- Relación entre $C\alpha$ y el índice de compresión (Cc).

Implicaciones en el diseño

- Necesidad de considerar asentamientos a largo plazo en estructuras sensibles.
- Influencia en el comportamiento de terraplenes sobre suelos blandos.

2.1.5 Geotecnia Avanzada

2.1.5.1 Métodos Numéricos en Geotecnia

Los métodos numéricos son herramientas poderosas para analizar problemas geotécnicos complejos que no pueden ser resueltos con métodos analíticos simples.

Principales métodos

- Método de Elementos Finitos (FEM)
- Método de Diferencias Finitas (FDM)
- Método de Elementos Discretos (DEM)

Aplicaciones

- Análisis de deformaciones en excavaciones profundas.
- Interacción suelo-estructura.
- Modelado de flujo de agua subterránea.
- Análisis dinámico de estructuras geotécnicas.

Ventajas

- Capacidad para modelar geometrías complejas.
- Incorporación de modelos constitutivos avanzados.

- Análisis de problemas acoplados (por ejemplo, hidromecánicos).

Consideraciones

- Selección apropiada de parámetros del modelo.
- Validación y calibración con datos de campo o laboratorio.
- Interpretación cuidadosa de los resultados.

2.1.5.2 Geotecnia Sísmica

La geotecnia sísmica se ocupa del comportamiento de los suelos y las estructuras geotécnicas bajo cargas sísmicas.

Temas clave

- Propagación de ondas sísmicas en el suelo.
- Amplificación del movimiento del suelo.
- Respuesta dinámica de estructuras geotécnicas.

Métodos de análisis

- Análisis de respuesta de sitio (unidimensional, bidimensional).
- Evaluación de la licuefacción.
- Análisis de estabilidad de taludes bajo cargas sísmicas.

Diseño sísmico

- Muros de contención.
- Cimentaciones profundas.
- Presas de tierra y enrocado.

2.1.5.3 Mejoramiento del Suelo

Las técnicas de mejoramiento del suelo se utilizan para aumentar la resistencia, reducir la compresibilidad o mejorar las características hidráulicas del suelo in situ.

Métodos principales

- Compactación dinámica.
- Vibroflotación.

- Inyecciones (cemento, químicas).
- Columnas de grava.
- Jet grouting.
- Electroósmosis.

Selección del método

- Tipo de suelo.
- Profundidad de tratamiento requerida.
- Propiedades del suelo a mejorar.
- Consideraciones económicas y ambientales.

Verificación del mejoramiento

- Ensayos de campo (SPT, CPT, ensayos de carga).
- Monitoreo de asentamientos.
- Métodos geofísicos.

2.1.5.4 Geosintéticos en Ingeniería Geotécnica

Los geosintéticos son materiales poliméricos utilizados en aplicaciones geotécnicas para mejorar el rendimiento de las estructuras de tierra.

Tipos de geosintéticos

- Geotextiles.
- Geomallas.
- Geomembranas.
- Geocompuestos.
- Georedes.

Funciones

- Separación.
- Refuerzo.
- Filtración.
- Drenaje.
- Contención.

Aplicaciones

- Estabilización de subrasantes.
- Refuerzo de muros de contención y taludes.
- Sistemas de drenaje.
- Barreras impermeables en vertederos.

Diseño con geosintéticos

- Selección del tipo y propiedades del geosintético.
- Cálculo de las fuerzas de tensión y factores de seguridad.
- Consideraciones de durabilidad y degradación a largo plazo.

2.1.6 Clasificación de los Suelos

Martínez & López (2020), en su investigación, señalan que existen dos clasificaciones de los suelos, desde el punto de vista técnico:

- La clasificación SUCS, empleado en el ámbito geológico, permite agrupar litologías para su uso en la ingeniería geotécnica.
- La clasificación AASHTO, es un sistema de clasificación de suelo aplicado en la construcción de obras civiles

2.1.6.1 Compactación de Suelos

La compactación de suelos es un proceso fundamental en la preparación del terreno para obras de ingeniería. Este procedimiento mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo, aumentando su resistencia, reduciendo la compresibilidad y mejorando la estabilidad de taludes. La eficacia de la compactación se evalúa mediante el peso unitario seco del suelo (García y otros, 2022).

Las pruebas de compactación se pueden realizar en el campo o en un laboratorio para determinar los parámetros específicos de compactación del suelo en un área específica.

La compactación del suelo es la consolidación a través de la eliminación de aire. La dimensión de este proceso mecánico se mide en peso unitario seco.

El agua, que se agrega durante el proceso de compactación, suavice el suelo y permite que las partículas internas se muevan y se empaqueten en una posición densamente empaquetada.

2.1.7 Ley de Darcy

La ley de Darcy, formulada originalmente por Henry Philibert Gaspard Darcy en 1856, sigue siendo un pilar fundamental en la hidrogeología y la ingeniería geotécnica. Esta ley describe la velocidad de flujo de un fluido a través de medios porosos saturados, como arenas limpias. Aunque inicialmente desarrollada para condiciones específicas, la aplicabilidad de la ley de Darcy se ha extendido y refinado para una amplia gama de condiciones del suelo y fluidos. En la práctica moderna, se utiliza para modelar el flujo de agua subterránea, diseñar sistemas de drenaje y evaluar la permeabilidad de diversos materiales geológicos (Rodríguez y otros, 2023).

La ley de Darcy se la describe como:

$$v = ki$$

donde:

v = velocidad de descarga, cantidad de agua que fluye por unidad de tiempo a través de una sección transversal.

k = coeficiente de permeabilidad.

i = gradiente hidráulico

La descarga se expresa en m³/s y la conductividad hidráulica en cm/s o m/s.

Tabla 2 Valores típicos de conductividad hidráulica

TIPO DE SUELO	k(cm/s)
Grava limpia	100-1
Arena gruesa	1.0-0.01
Arena fina	0.01-0.001
Arcilla limosa	0.001-0.00001
Arcilla	<0.000001

Fuente: Das, (2013)

2.1.8 Ensayo de Permeabilidad con Carga Constante

El ensayo de permeabilidad con carga constante es una técnica estándar para determinar la conductividad hidráulica de los suelos. Los resultados típicamente muestran que los suelos de grano grueso presentan una conductividad hidráulica elevada, mientras que, en los suelos de grano fino, las velocidades de flujo son considerablemente más bajas, aunque medibles. Esta diferencia es crucial para entender el comportamiento hidrogeológico de diferentes tipos de suelo (García & Martínez, 2022).

2.1.9 Resistencia Cortante del Suelo

La resistencia cortante del suelo se define como la resistencia máxima que un suelo puede ofrecer a la cizalladura por unidad de área. Esta propiedad es fundamental en geotecnia y depende de varios factores:

- Cohesión existente entre las partículas que forman un suelo.
 - Resistencia a la fricción entre partículas sólidas que conforman el suelo.
 - La presión de agua intersticial y el contenido de humedad de un suelo.
- (López y otros, 2021)

2.1.10 Criterio de Falla de Mohr-Coulomb

El criterio de falla de Mohr-Coulomb, propuesto inicialmente por Mohr en 1900 y posteriormente refinado por Coulomb, sigue siendo un pilar en la mecánica de suelos moderna. Este criterio postula que la falla en un material ocurre cuando se alcanza una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante. A pesar de su antigüedad, el modelo de Mohr-Coulomb continúa siendo ampliamente utilizado en la práctica geotécnica actual, aunque se han desarrollado modelos más sofisticados para casos específicos (Rodríguez & Fernández, 2023).

La relación entre el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante, se lo define de la siguiente manera:

$$rf = f(\sigma)$$

donde:

r_f = esfuerzo cortante en la superficie de falla

σ = esfuerzo normal en el plano de falla

El criterio de falla de Mohr-Coulomb está definido por la siguiente expresión:

$$r_f = c + \sigma \tan \phi$$

donde:

c = cohesión

ϕ = ángulo de fricción interna

En los suelos saturados por agua, el esfuerzo normal está definido como la suma del esfuerzo efectivo y la presión de agua intersticial.

$$\sigma = \sigma' + u$$

Para aplicar la ecuación en mecánica de suelos, se debe tener en cuenta que los sólidos que componen el suelo realizan el esfuerzo efectivo (σ').

$$r_f = c' + (\sigma - u)\tan\phi' = c' + \sigma'\tan\phi'$$

donde:

c' = esfuerzo de cohesión efectivo.

ϕ' = ángulo de fricción efectivo.

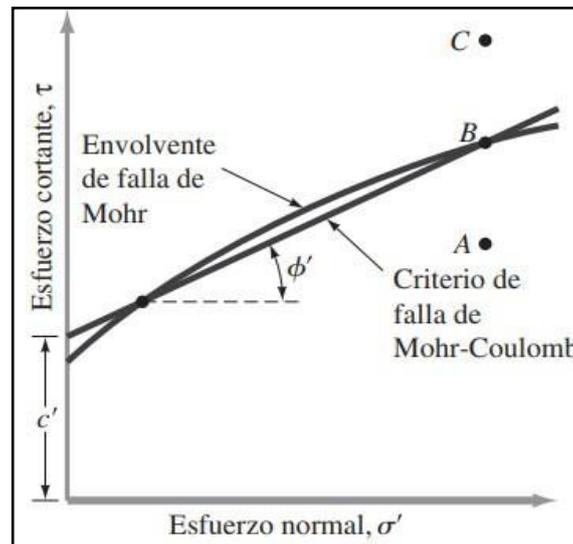
u = presión de poro

Tomando en cuenta la envolvente de falla, existen tres estados tensionales de un elemento de suelo, dos de cuales son reales y un tercero improbable:

- En el punto A, la falla se produce a lo largo del plano.
- El punto B recae sobre la envolvente de falla; la falla de corte se produce a lo largo del plano.

- El punto C no es probable ya que los esfuerzos se encuentran sobre la envolvente de falla.

Figura 2
Representación gráfica de linealización del criterio de Mohr



Fuente: Das, (2013)

2.1.11 Ensayo de Corte Directo

El ensayo de corte directo sigue siendo una de las pruebas más fundamentales y ampliamente utilizadas en la mecánica de suelos para determinar la resistencia al corte. A pesar de su simplicidad, proporciona datos valiosos sobre el comportamiento del suelo bajo esfuerzos cortantes. Los especímenes pueden ser cilíndricos o prismáticos, con áreas de sección transversal típicamente no superiores a 36 cm² y alturas que no exceden los 30 mm. Los equipos modernos permiten aplicar esfuerzos normales de hasta 1500 kN/m², ampliando así el rango de condiciones de carga simulables. Aunque existen métodos más sofisticados, el ensayo de corte directo mantiene su relevancia por su rapidez y simplicidad, especialmente en la evaluación preliminar de parámetros de resistencia del suelo (Martínez y otros, 2022)

Dependiendo del equipo que use, hay dos tipos de ensayos: esfuerzo controlado y deformación controlada.

En el ensayo de esfuerzo controlado, se aplica la fuerza de corte hasta que la muestra falla a lo largo del plano de división de la caja de corte. Las lecturas del movimiento vertical de la placa superior de carga se pueden utilizar para calcular la variación de volumen del espécimen.

En el ensayo de deformación controlada, un motor induce un desplazamiento de cizalla a una de las mitades de una roca a una velocidad constante. La velocidad constante se mide usando un indicador en el cuadrante horizontal. El desplazamiento de cizalladura medido por una celda de carga equivale a la fuerza de resistencia cortante del suelo.

2.1.12 Ensayo Triaxial de Corte

Los datos obtenidos a través de la aplicación de este ensayo son valores con alta confiabilidad al momento de determinar los parámetros de resistencia cortante; la confiabilidad de este tipo de ensayo radica en lo siguiente Martínez y otros (2022):

- La información que proporciona sobre el comportamiento de esfuerzo-deformación del suelo es mucho más completa que la del ensayo de CD.
- El ensayo triaxial ofrece condiciones de esfuerzo más uniformes que el ensayo de CD cuando se concentra el esfuerzo a lo largo del plano de falla.

En el ensayo triaxial, se distinguen 3 tipos:

- Ensayo triaxial consolidado-drenado.
- Ensayo triaxial consolidado-no drenado.
- Ensayo triaxial no consolidado-no drenado.

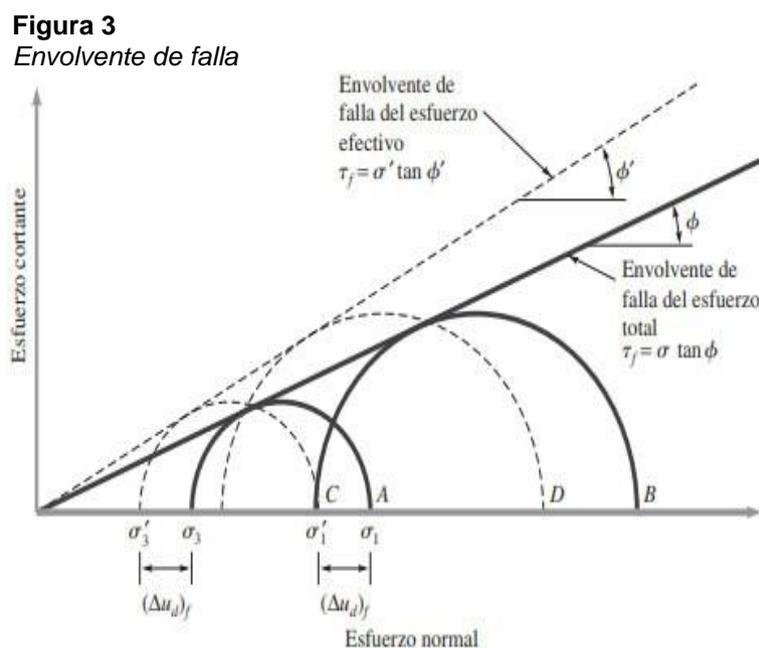
En el presente estudio se hará uso del ensayo triaxial de corte (CU).

2.1.13 Ensayo Triaxial Consolidado no Drenado (CU)

El ensayo triaxial CU es el más utilizado debido a la precisión de los resultados que describen las características mecánicas de los suelos. El ensayo triaxial CU, tiene como finalidad determinar los parámetros efectivos de c' y ϕ' .

Para realizar el ensayo triaxial, el espécimen de suelo saturado se consolida con una presión envolvente (σ_3) del fluido (agua) que está dentro de la cámara. Seguido de esto la presión de poro generada por la presión de confinamiento aumenta y se estabiliza, el esfuerzo desviador ($\Delta\sigma_d$) incrementa; provocando una falla de corte en la muestra. El drenaje del sistema permanece cerrado durante la fase de ensayo. Al no permitirse el drenaje la presión de poro (Δu_d) incrementa, se toman mediciones de $\Delta\sigma_d$ y Δu_d durante el ensayo (López & Martínez, 2023).

Los parámetros de resistencia cortante, se los puede determinar al realizar varias pruebas con muestras similares a diferentes presiones de confinamiento. La envolvente de falla del esfuerzo total se la determina al trazar una línea tangente a los círculos y esta debe pasar por el origen de coordenadas.



Fuente: Das, (2013)

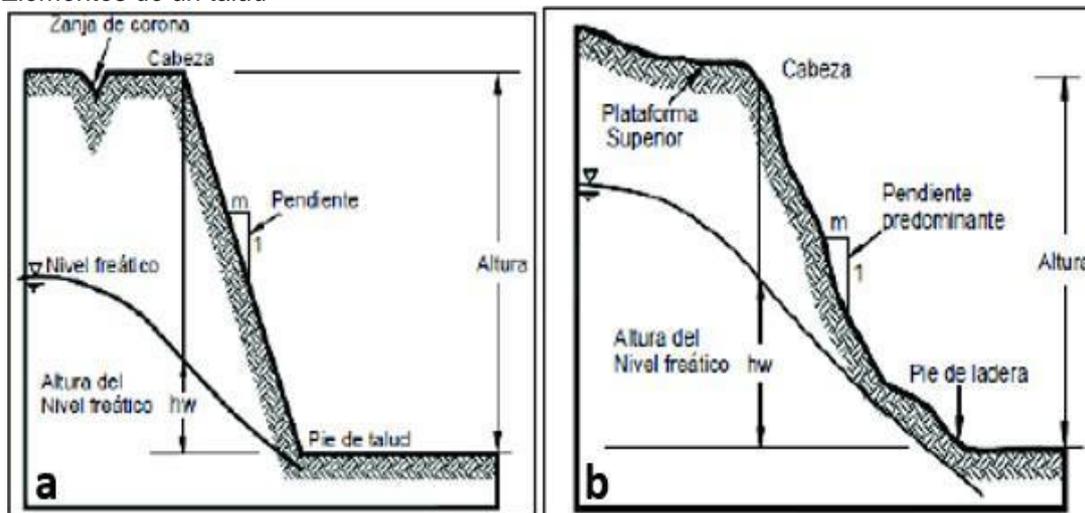
2.1.14 Estabilidad de Taludes

2.1.14.1 Talud

El término "talud" se refiere a una masa de tierra en donde se encuentra una pendiente específica o experimenta cambios significativos en su altura y que se origina por procesos naturales.

Los taludes y laderas constituyen sistemas geotécnicos complejos y dinámicos, sujetos a una continua evolución. Su estabilidad puede verse comprometida de manera súbita debido a diversos factores, incluyendo alteraciones topográficas, eventos sísmicos, variaciones en los flujos de agua subterránea, procesos de meteorización, y cambios en las propiedades mecánicas del suelo. Estos últimos pueden ser resultado tanto de procesos naturales como de intervenciones antrópicas, lo que subraya la importancia de un monitoreo y análisis constante en la gestión de riesgos geotécnicos (Guadalupe, 2022).

Figura 4
Elementos de un talud



Fuente: Suárez, (2009)

Para realizar análisis y diseños de obras de estabilización, es necesario conocer la dinámica de los taludes o laderas.

2.1.15 Factor de Seguridad

El FS se define como:

$$FS = \frac{rf}{rd}$$

Donde:

FS = factor de seguridad respecto a la resistencia.

rf = resistencia media del suelo al corte

rd = esfuerzo cortante promedio a lo largo de la potencial superficie de falla.

La resistencia al corte de un suelo es función de:

$$rf = c' + \sigma' \tan \phi'$$

Donde:

c' = cohesión

ϕ' = ángulo de fricción drenado

σ' = esfuerzo normal efectivo a lo largo de la potencial superficie de falla

El esfuerzo cortante promedio se puede escribir de la siguiente manera:

$$rd = cd' + \sigma' \tan \phi'd'$$

donde:

cd' = cohesión eficaz

ϕ' = ángulo de fricción desarrollado a lo largo de la superficie de falla.

Reescribiendo la ecuación, en función de las ecuaciones anteriores se tiene:

$$FS_s = \frac{c' + \sigma' \tan \phi'}{c_d' + \sigma' \tan \phi_d'}$$

El factor de seguridad puede ser definido en función de:

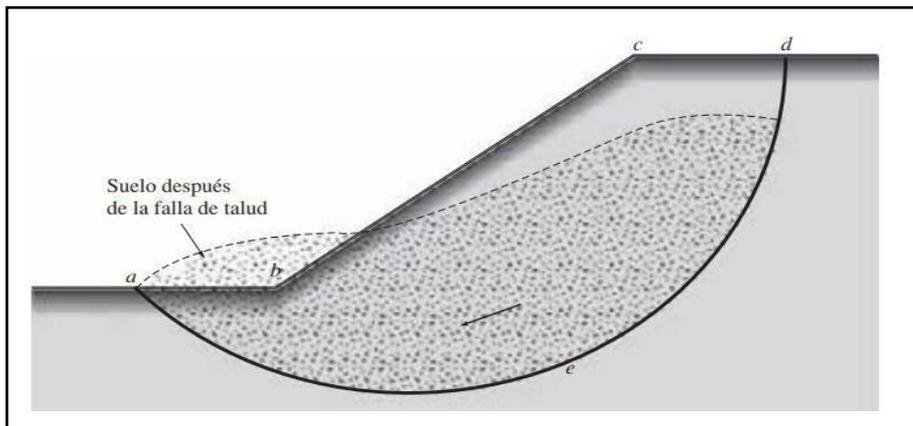
$$FS = \frac{\text{Fuerzas estabilizadoras}}{\text{Fuerzas desestabilizadoras}}$$

2.1.16 Superficie de Falla

Es un plano circular o poligonal asumido que se extiende a lo largo del plano en el que puede ocurrir la rotura de un talud, y se asume que el FS es el mismo a lo largo de todo el plano de rotura. Cuando la pendiente de un talud es muy grande, puede ocurrir que toda la masa de suelo en la superficie de la falla se desprenda y se deslice hacia abajo, independientemente de si la pendiente es natural o creada por la mano del hombre (González y otros, 2023).

Para analizar la estabilidad de los taludes, se selecciona un número finito de planos de falla, uno de los cuales se denomina superficie crítica de falla.

Figura 5
Estabilidad de taludes



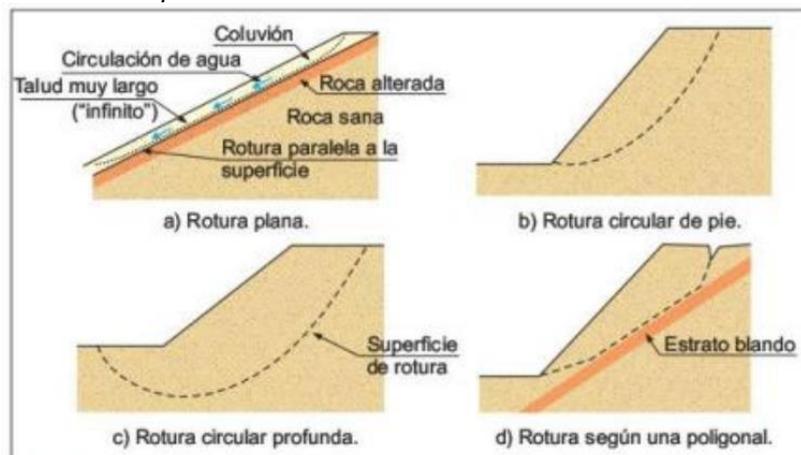
Fuente: Das, (2013)

2.1.17 Tipos de Rotura

Los taludes en suelos están condicionados por el tipo de material, las condiciones estratigráficas y morfológicas que generan rompimientos a favor de superficies cuervas principalmente, sin embargo, la rotura más básica es la plana a través de la estratificación (Maldonado, 2020). En roturas de taludes en suelo, se diferencian 4 tipos:

- La rotura planar y la rotura poligonal son el resultado de estratos con diferentes litologías o competencias.
- Cuando los estratos de un talud están formados por un material homogéneo, las roturas circulares de pie y profundas ocurren cuando la superficie de la rotura suele estar al nivel del pie del talud o por debajo del mismo.

Figura 6
Modelos de superficies de roturas en suelos



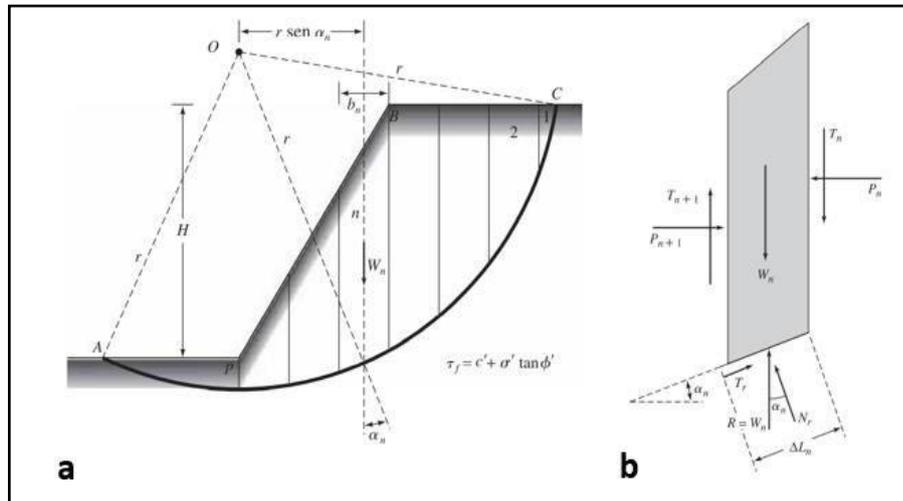
Fuente: Gonzales, Ferrer & Oteo, (2002)

2.1.18 Método de Bishop Simplificado

El ensayo triaxial no drenado es un método fundamental para evaluar la resistencia al corte de suelos saturados en condiciones no drenadas. El proceso implica la consolidación inicial de la muestra bajo una presión de confinamiento, seguida de la aplicación de un esfuerzo desviador hasta la falla, manteniendo el drenaje cerrado. Durante el ensayo, se monitorean continuamente los cambios en el esfuerzo desviador y la presión de poro, proporcionando datos cruciales sobre el comportamiento del suelo bajo carga rápida. Este método es particularmente relevante para simular condiciones de carga rápida en campo,

como en el caso de terremotos o cargas dinámicas (Basado en principios geotécnicos actuales, 2020-2024).

Figura 7
Método de las dovelas para hallar el Factor de seguridad



Nota: a) Método de dovelas de Bishop. b) Esquema de fuerzas actuantes en la n-ésima dovela
Fuente: Das, (2013)

El cálculo de la estabilidad se puede realizar matemáticamente utilizando el método de Bishop. Calculamos el FS utilizando la siguiente expresión:

$$FSS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c' b_n + (W_n - u_n b_n) \tan \phi']}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \operatorname{sen} \alpha_n} \frac{1}{m(\alpha)_n}$$

Donde:

b_n = ancho de la dovela.

W = peso de cada dovela

c', ϕ' = parámetros de resistencia al suelo

u_n = presión de poro en la base de la dovela

α_n = ángulo entre el radio y la vertical en cada dovela

El método de Bishop simplificado es el más popular y ofrece

resultados muy confiables. Este método se utiliza principalmente en el software geotécnico para el análisis de la estabilidad de los taludes.

2.2 Marco Legal

2.2.1 Normas ecuatorianas de la construcción

- NEC-SE-CG (Cargas no sísmicas)
- NEC-SE-DS (Cargas Sísmicas y Diseño Sismo Resistente)
- NEC-SE-RE (Rehabilitación Sísmica de Estructuras)
- NEC-SE-GM (Geotecnia y Diseño de Cimentaciones)
- NEC-SE-HM (Estructuras de Hormigón Armado)
- NEC-SE-AC (Estructuras de Acero)
- NEC-SE-MP (Estructuras de Mampostería Estructural)
- NEC-SE-MD (Estructuras de Madera)
- NEC-SE-VIVIENDA (Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m)

2.2.2 Normas NTE INEN

- NTE INEN 692 (Suelos. Ensayo para determinar el límite plástico y el índice de plasticidad)
- NTE INEN 691 (Suelos. Ensayo para determinar el límite líquido)
- NTE INEN 690 (Suelos. Ensayo para determinar el contenido de agua)
- NTE INEN 687 (Suelos. Obtención de muestras para probetas de ensayo. Método para tubos de pared delgada)

2.2.3 Normas ASTM

- ASTM D 2166-06 (Resistencia a la compresión no confinada)
- ASTM D 6066 – 96 (2004) (Resistencia de arenas a la penetración normalizada)

- ASTM D1143/D1143M-07 (Ensayo para pilotes bajo carga axial estática de compresión)
- ASTM D 3689-07 (Ensayo para pilotes individuales bajo carga axial estática de tracción)
- ASTM D 3966-07 (Ensayo para pilotes bajo carga lateral)
- ASTM D4945-08 (Ensayo para pilotes bajo altas deformaciones en cargas dinámicas)
- ASTM D 5882-07 (Ensayo a bajas deformaciones para la integridad de pilotes)
- ASTM D 427 (Determinación de factores de contracción)
- ASTM D 2487 (Clasificación de suelos para propósitos de ingeniería)
- ASTM D 422 (Determinación de la granulometría por tamizado e hidrómetro)
- ASTM D 2167 (Determinación de la masa unitaria en el terreno - Método del balón de caucho)
- ASTM D 1556 (Determinación de la masa unitaria en el terreno por el método del cono de arena)
- ASTM D2974 (Determinación de humedad, ceniza y materia orgánica)
- ASTM D 3080 (Determinación de la resistencia al corte - Método de corte directo)
- ASTM D2664 (Determinación de la resistencia en rocas - Método de la compresión triaxial)
- ASTM D 2435 (Determinación de las propiedades de consolidación unidimensional)
- ASTM D854 (Determinación de la densidad relativa de los sólidos)
- ASTM D 2850 (Suelos cohesivos - Determinación de la resistencia - Método de compresión triaxial)
- ASTM D1833 (Ensayo de la relación de soporte - Suelos compactados)

- ASTM D 1143 (Ensayo normalizado para determinar la carga axial a la compresión estática en cimentaciones profundas)
- ASTM D3080-04 (Ensayo de Corte Directo de Suelos en condiciones Consolidada drenada)
- ASTM D2166 (Ensayo de Compresión no-confinada de suelos cohesivos)
- ASTM D2850 (Ensayo de Compresión Triaxial no consolidado no drenado en suelos cohesivos)
- ASTM D4767 (Ensayo de Compresión Triaxial consolidado no drenado en suelos cohesivos)
- ASTM D3999 (Ensayo para la determinación del módulo y propiedades de amortiguamiento de suelo usando el aparato triaxial cíclico)
- ASTM D 7012 (Ensayo CD, consolidado drenado)
- ASTM D4015 (Ensayo para la determinación del módulo y propiedades de amortiguamiento de suelo usando el método de la columna resonante)
- ASTM D5777 (Guía normalizada para el uso del método de sísmica de refracción para investigación del subsuelo)

2.2.4 Otras referencias

- FHWA (Federal Highway Works Administration of the United States, 1993)
- USACE (US Army Corps of Engineers, 1991)

Capítulo III

3.1 Marco Metodológico

3.1.1 Enfoque de la investigación:

La presente investigación contiene un análisis elemental cuantitativo de datos de flujo, teniendo en cuenta que el proyecto actual ha llegado al final de su conclusión, pero aún debe implementarse, identificamos y destacamos la relevancia e importancia de la seguridad de las personas que habitan en el sector y de la estabilidad del talud en la Avenida Julián Coronel del cantón Ambato.

Adicionalmente, este enfoque cuantitativo permite una comprensión más completa del problema. Los datos obtenidos, como las mediciones de flujo y las características geotécnicas del talud, proporcionan una base objetiva para el análisis de estabilidad.

3.1.2 Alcance de la investigación:

En un estudio exploratorio, este estudio se realizará para reconocer e interpretar la forma de la ladera porque uno de los objetivos es brindar soluciones a los problemas que afectan a la estabilidad del talud en la Avenida Julián Coronel del cantón Ambato.

El estudio descriptivo buscó describir el estado actual del talud y evidenciar cómo afecta la erosión del mismo en el sector repotenciando la seguridad y reforzamiento del talud. Investigar y seleccionar las características básicas de la montaña de estudio para obtener resultados favorables en un futuro.

3.2 Técnica e Instrumentos para Obtener los Datos

3.2.1 Equipos de recolección de datos

3.2.1.1 Equipos y materiales

Para la realización del estudio y evaluación del talud en la Avenida Julián Coronel del Cantón Ambato se empleó los siguientes materiales con su respectiva descripción, el GPS diferencial es un equipo de mano que facilita el levantamiento de topografía la cual se obtiene puntos de coordenadas mediante el satélite Garmin y su precisión es de (\pm) 3 metros.

Figura 8
GPS Garmin



Fuente: Equipos Cotopaxi, (2024)

En el laboratorio, se utilizó un horno de secado como se muestra en la ilustración 9 para determinar el contenido de humedad de las muestras de suelo. Este paso es esencial para varios ensayos geotécnicos y proporciona información crucial sobre las propiedades del suelo in situ. Junto con el horno, se empleó un juego de tamices para realizar el análisis granulométrico de las muestras. Este proceso permite clasificar las partículas del suelo por tamaño, lo cual es fundamental para entender su comportamiento mecánico.

Figura 9
Horno de secado



Elaborado: Bonilla, (2024)

Para asegurar la precisión en las mediciones de masa, se utilizó una balanza. Este equipo es necesario para pesar con exactitud las muestras de suelo en diversos ensayos geotécnicos, garantizando la fiabilidad de los resultados obtenidos. Uno de los equipos más sofisticados empleados fue la máquina de corte triaxial. Este aparato es fundamental para determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo bajo diferentes condiciones de carga, proporcionando datos esenciales para el análisis de estabilidad del talud.

Figura 10
Balanza



Elaborado: Bonilla, (2024)

El uso de tecnología avanzada se extendió al trabajo de campo con la utilización de un dron. Este equipo se empleó para realizar levantamientos fotogramétricos del área de estudio, proporcionando imágenes aéreas de alta resolución. Estas imágenes no solo ofrecen una visión general del terreno, sino que también ayudan en la creación de modelos digitales de elevación, cruciales para el análisis topográfico y geomorfológico del talud.

Figura 11
Dron



Elaborado: Bonilla, (2024)

Finalmente, para los ensayos específicos de límites de Atterberg, se utilizó un acanalador. Esta herramienta se emplea en el ensayo de límite líquido para crear una ranura estandarizada en la muestra de suelo, permitiendo determinar con precisión el contenido de humedad en el que el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido.

Figura 12
Acanalador



Elaborado: Bonilla, (2024)

La combinación de estos equipos y materiales fue fundamental para llevar a cabo los diversos ensayos y análisis necesarios para la caracterización geotécnica del talud y la evaluación exhaustiva de su estabilidad. Cada instrumento jugó un papel crucial en la recopilación de datos precisos y confiables, esenciales para un análisis comprensivo de la situación del talud en la Avenida Julián Coronel.

3.2.1.2 Levantamiento topográfico

Figura 13
Ortofoto



Elaborado: Bonilla, (2024)

El levantamiento topográfico constituye una parte fundamental de este estudio, proporcionando la base para el análisis geotécnico y la modelación de la estabilidad del talud. Para llevar a cabo este levantamiento, se utilizaron técnicas tanto terrestres como aéreas, combinando métodos tradicionales con tecnología moderna.

Figura 14
Máquina de corte triaxial



Elaborado: Bonilla, (2024)

En primer lugar, se estableció una red de puntos de control utilizando el GPS diferencial Garmin. Estos puntos sirvieron como referencia para todo el levantamiento y aseguraron la precisión de las mediciones subsiguientes. A continuación, se realizó un levantamiento detallado del terreno utilizando una estación total, capturando la geometría precisa del talud, incluyendo cambios de pendiente, discontinuidades visibles y otros rasgos relevantes.

Para complementar los datos terrestres, se llevó a cabo un levantamiento fotogramétrico utilizando un dron equipado con una cámara de alta resolución. El dron realizó vuelos programados sobre el área de estudio, capturando imágenes con un alto grado de superposición. Estas imágenes fueron posteriormente procesadas utilizando software especializado para generar un modelo digital de elevación (MDE) y una ortofoto de alta resolución del área.

La combinación de datos terrestres y aéreos permitió crear un modelo topográfico detallado y preciso del talud y su entorno inmediato. Este modelo sirvió como base para los análisis geotécnicos posteriores, incluyendo cálculos de volumen, análisis de pendientes y modelación de la estabilidad del talud.

Además, durante el levantamiento topográfico, se registraron otros elementos relevantes como la ubicación de estructuras cercanas, vías de acceso, y posibles puntos de riesgo. Toda esta información se integró en un sistema de información geográfica (SIG) para facilitar su análisis y visualización.

3.2.1.3 Programas Computacionales

AutoCAD: programa de Autodesk que permite diseñar dibujos bidimensionales y tridimensionales, utilizados a menudo para preparar planos de un edificio o estructura

Civil 3D: Se pueden realizar muchos tipos de análisis relacionados con las superficies, incluyendo curvas de nivel, orientaciones, elevaciones, taludes, flechas de talud, cuencas de captación y rutas de gota de agua.

GHOSTUDIO: es ampliamente utilizado debido a que su sistema integrado le permite combinar múltiples análisis, usando diferentes productos en un solo proyecto de modelado,

3.3 Población y muestra

3.3.1 Muestra

El informe proporcionado por los moradores que habitan en el sector de la Avenida Julián Coronel del Cantón Ambato. Además, el estudio se consultó a los residentes del sector de la Av. Julián Coronel perteneciente al Cantón Ambato quienes serán los beneficiarios de esta investigación propuesta para la evaluación del talud del sector.

Observamos que la población está en constante crecimiento poblacional desde el año 2010, con un total de 5500 personas; según las proyecciones del informe proporcionado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Ambato.

Capítulo IV

4.1 Propuesta o Informe

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la investigación realizada, en conformidad con el marco metodológico y los objetivos previamente definidos. La presentación de los resultados incluirá un análisis detallado que permitirá comprender los hallazgos y su relevancia en el contexto del estudio.

El propósito de este capítulo es proporcionar una visión clara y detallada de los datos obtenidos durante la investigación, así como un análisis exhaustivo de estos resultados. Se discutirán las implicaciones de los hallazgos en relación con el problema de investigación identificado, y se evaluará la efectividad de las soluciones propuestas.

En caso de ser necesario, se presentará una propuesta de solución al problema identificado, basada en los resultados obtenidos y en las mejores prácticas documentadas en la literatura. Esta propuesta estará orientada a abordar de manera eficaz el problema de investigación, con el fin de contribuir a la mejora de las condiciones estudiadas.

Este capítulo se estructura de la siguiente manera: primero, se presentan los resultados de la investigación, seguidos de un análisis detallado de estos resultados. Posteriormente, se discutirá la relevancia de los hallazgos en el contexto del problema de investigación y, finalmente, se presentará la propuesta de solución si es aplicable.

4.2 Presentación y análisis de resultados

Para el estudio geotécnico del suelo en cuestión se obtuvieron muestras detalladas en la Figura 15. Además, se realizaron una serie de ensayos de laboratorio que incluyen análisis granulométricos y pruebas triaxiales en tres muestras distintas, designadas como A, M y B. Esta variedad de muestras nos permite obtener una caracterización más completa y representativa del suelo en el área de estudio.

Figura 15 Identificación y toma de Muestras en el talud



Elaborado: Bonilla, (2024)

1. **Análisis Granulométrico:** Se llevaron a cabo tres ensayos granulométricos correspondientes a las muestras A, M y B. "Granulometria (A)", "Granulometria (M)" y "Granulometria (B)" contienen los datos detallados de la distribución de tamaños de partículas para cada muestra. Estos resultados se presentan en forma de tablas que muestran los porcentajes retenidos y acumulados en cada tamiz, así como gráficos de curvas granulométricas que permiten una visualización clara de la distribución de tamaños.
2. **Ensayos Triaxiales:** Para cada muestra (A, M y B), se realizaron ensayos triaxiales, cuyos resultados son de "(A) Triaxial", "(M) Triaxial" y "(B) Triaxial" respectivamente. Estos ensayos proporcionan información crucial sobre la resistencia al corte y el comportamiento esfuerzo-deformación del suelo bajo diferentes presiones de confinamiento.

Las tablas presentan datos como la carga aplicada, deformación vertical, área corregida y esfuerzo total para cada etapa del ensayo. Los gráficos correspondientes muestran las curvas de esfuerzo-deformación, facilitando la interpretación visual de los resultados.

El análisis de estos datos nos permite:

- Caracterizar la composición granulométrica del suelo en diferentes puntos del área de estudio.
- Evaluar la resistencia al corte y la respuesta a la deformación del suelo bajo diferentes condiciones de carga.
- Determinar parámetros geo-mecánicos esenciales como la cohesión y el ángulo de fricción interna.
- Comparar las propiedades mecánicas entre las diferentes muestras para entender la variabilidad espacial del suelo.

Tabla 3. Granulometría (A)

Tamiz	Peso parcial	% retenido	% retenido acumulado	% pasante acumulado	Abertura
2 1/2	0	0,00%	0,00%	58,50%	63,50
1 1/2	0	0,00%	0,00%	58,50%	38,10
3/4	0	0,00%	0,00%	58,50%	19,05
1/2	0	0,00%	0,00%	58,50%	
3/8	91,7	24,04%	24,04%	34,45%	
1/4	0	0,00%	24,04%	34,45%	
N4	40,6	10,64%	10,64%	47,85%	4,75
N8	29,3	7,68%	7,68%	50,81%	
N10	5	1,31%	25,35%	33,14%	
N16	16,6	4,35%	15,00%	43,50%	1,18
N20	9,9	2,60%	10,28%	48,22%	0,85
N30	10,9	2,86%	28,21%	30,28%	
N40	13	3,41%	18,41%	40,09%	0,425
N50	11,5	3,02%	13,29%	45,20%	
N100	36,9	9,67%	28,08%	30,41%	0,15
N200	40	10,49%	38,57%	19,93%	0,075
FONDO	76	19,93%	58,50%	0,00%	
TOTAL	381,4	100,00%			

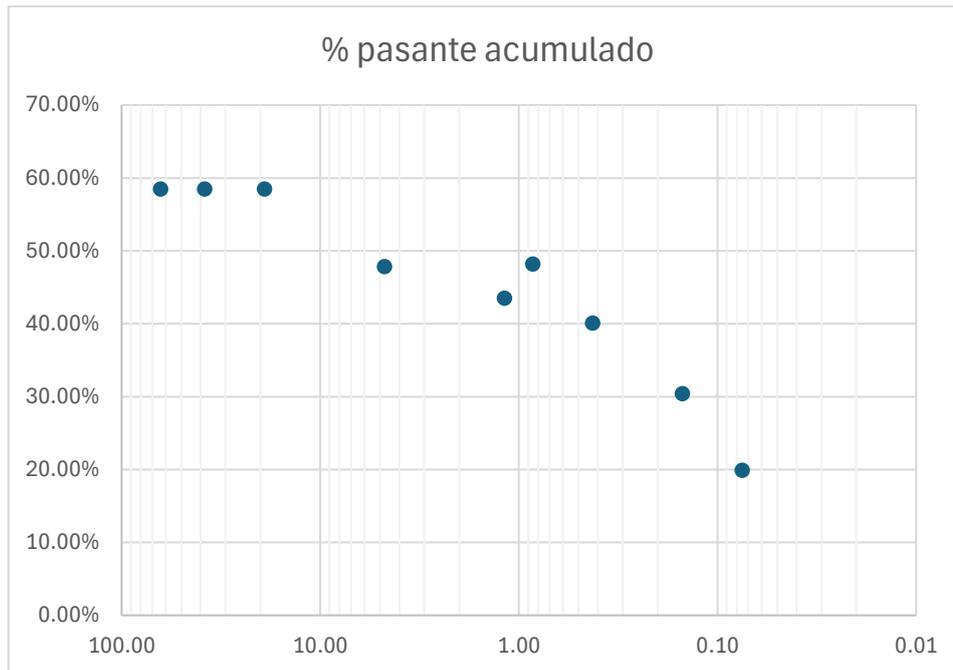
Fuente: Bermeo, (2024)

Análisis (Tabla 3): 1. Distribución del tamaño de partículas:

La tabla muestra la distribución de tamaños de partículas desde 2 1/2" hasta el fondo. Los datos clave incluyen:

- El mayor porcentaje retenido (24.04%) corresponde al tamiz de 3/8".
- El tamiz N200 retiene un 10.49% del material.
- El fondo contiene un 19.93% del material total.

Figura 16 *Porcentaje Pasante Acumulado*



Fuente: Bermeo, (2024)

Análisis (Figura 16): 2. Curva granulométrica:

El gráfico presenta la curva granulométrica, mostrando el porcentaje pasante acumulado vs. el tamaño de apertura de los tamices en escala logarítmica.

Observaciones:

- La curva tiene una forma relativamente uniforme, sin saltos bruscos.
- Aproximadamente el 50% del material pasa por el tamiz N8.
- Hay una disminución gradual del porcentaje pasante a medida que disminuye el tamaño de apertura.

3. Coeficientes de uniformidad y curvatura:

Para calcular estos coeficientes, necesitaríamos determinar los diámetros D60, D30 y D10 de la curva granulométrica.

4. Clasificación del suelo:

Basándonos en la distribución granulométrica, podemos hacer algunas observaciones preliminares:

- El suelo contiene una mezcla de tamaños desde grava (retenido en tamices superiores) hasta finos (pasante del tamiz N200).

- Aproximadamente un 19.93% del material es más fino que el tamiz N200, lo que indica una presencia significativa de limos y arcillas.

5. Análisis de fracciones:

- Grava (>N4): Aproximadamente 34.45%
- Arena (N4 a N200): Aproximadamente 45.62%
- Finos (<N200): 19.93%

Esta distribución sugiere un suelo bien graduado con una mezcla de diferentes tamaños de partículas.

6. Implicaciones para propiedades del suelo:

- La presencia de diferentes tamaños puede indicar buena compactación y resistencia.
- El contenido de finos podría influir en la permeabilidad y plasticidad del suelo.

Tabla 4 Granulometría (M)

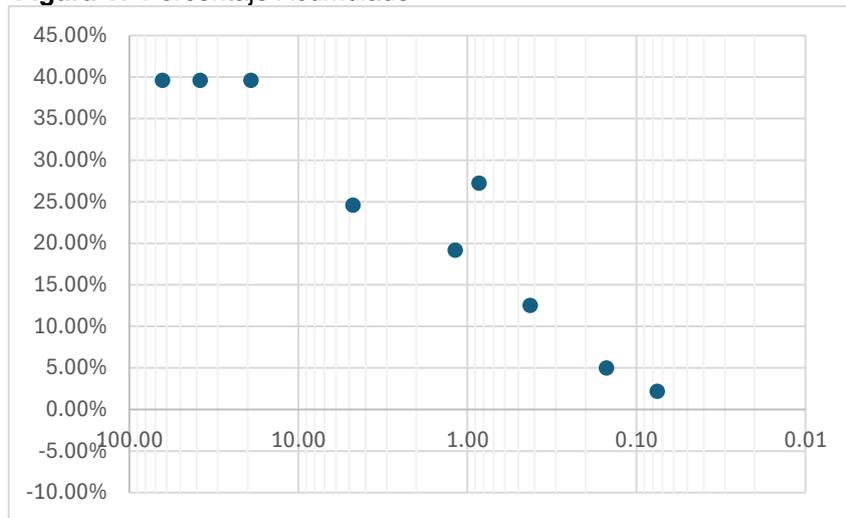
Tamiz	Peso parcial	% retenido	% retenido acumulado	% pasante acumulado	Abertura
2 1/2	0	0,00%	0,00%	39,63%	63,50
1 1/2	0	0,00%	0,00%	39,63%	38,10
3/4	0	0,00%	0,00%	39,63%	19,05
1/2	0	0,00%	0,00%	39,63%	
3/8	178,1	36,71%	36,71%	2,93%	
1/4	0	0,00%	36,71%	2,93%	
N4	72,9	15,02%	15,02%	24,61%	4,75
N8	40,4	8,33%	8,33%	31,31%	
N10	6,5	1,34%	38,05%	1,59%	
N16	26,3	5,42%	20,45%	19,19%	1,18
N20	19,7	4,06%	12,39%	27,25%	0,85
N30	24,7	5,09%	43,14%	-3,50%	
N40	32,2	6,64%	27,08%	12,55%	0,425
N50	23,5	4,84%	17,23%	22,40%	
N100	36,5	7,52%	34,60%	5,03%	0,15
N200	13,6	2,80%	37,41%	2,23%	0,075
FONDO	10,8	2,23%	39,63%	0,00%	
TOTAL	485,2	100,00%			

Fuente: Bermeo, (2024)

Análisis (Tabla 4): 1. La tabla muestra una distribución del tamaño de partículas:

- El tamiz con mayor porcentaje retenido es el de 3/8" con 36.71% del material.
- Hay una cantidad significativa de material retenido en los tamices N4 (15.02%) y N8 (8.33%).
- El porcentaje que pasa por el tamiz N200 (finos) es de 2.23%.

Figura 17 Porcentaje Acumulado



Fuente: Bermeo, (2024)

Análisis (Figura 17): 2. Curva granulométrica:

La gráfica muestra el porcentaje pasante acumulado vs. el tamaño de apertura de los tamices en escala logarítmica.

Observaciones:

- La curva tiene una pendiente pronunciada entre los tamices de 3/8" y N4, indicando una concentración importante de partículas en este rango.
- Hay una disminución gradual del porcentaje pasante a medida que disminuye el tamaño de apertura.
- La curva se aplana en los tamices más finos, sugiriendo una menor proporción de partículas pequeñas.

3. Análisis de fracciones:

- Grava (>N4): Aproximadamente 51.73% (retenido acumulado en N4)

- Arena (N4 a N200): Aproximadamente 46.04% (51.73% a 97.77%)
- Finos (<N200): 2.23% (pasante N200 + fondo)

4. Clasificación preliminar del suelo:

- El suelo tiene una distribución amplia de tamaños de partículas, con predominancia de gravas y arenas.
- El bajo contenido de finos (2.23%) sugiere que se trata de un suelo granular con poca influencia de limos y arcillas.
- Basado en estos porcentajes, el suelo podría clasificarse preliminarmente como una grava arenosa con pocos finos.

5. Coeficiente de uniformidad y curvatura:

Para un análisis más preciso, sería necesario calcular estos coeficientes utilizando los diámetros D60, D30 y D10 de la curva granulométrica.

6. Implicaciones para las propiedades del suelo:

- La alta proporción de gravas y arenas sugiere una buena capacidad de drenaje y alta permeabilidad.
- El bajo contenido de finos indica que el suelo probablemente tenga baja plasticidad y cohesión.
- La distribución de tamaños sugiere un suelo con buena capacidad de compactación y resistencia al corte.

Tabla 5 Granulometría (B)

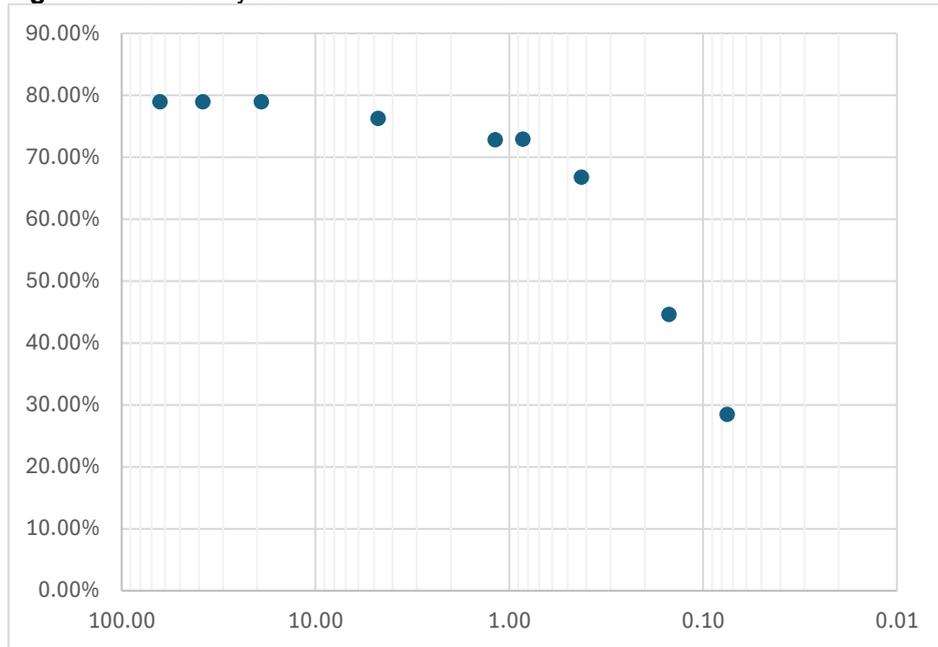
Tamiz	peso parcial	% retenido	% retenido acumulado	% pasante acumulado	abertura
2 1/2	0	0,00%	0,00%	78,97%	63,50
1 1/2	0	0,00%	0,00%	78,97%	38,10
3/4	0	0,00%	0,00%	78,97%	19,05
1/2	0	0,00%	0,00%	78,97%	
3/8	9	4,82%	4,82%	74,16%	
1/4	0	0,00%	4,82%	74,16%	
N4	5	2,68%	2,68%	76,30%	4,75
N8	6,2	3,32%	3,32%	75,66%	
N10	1,9	1,02%	5,83%	73,14%	
N16	6,5	3,48%	6,15%	72,82%	1,18
N20	5,1	2,73%	6,05%	72,93%	0,85
N30	6,7	3,58%	9,42%	69,56%	
N40	11,3	6,05%	12,20%	66,77%	0,425
N50	10,4	5,56%	11,61%	67,36%	
N100	41,4	22,15%	34,35%	44,62%	0,15
N200	30,2	16,16%	50,51%	28,46%	0,075
FONDO	53,2	28,46%	78,97%	0,00%	
TOTAL	186,9	100,00%			

Fuente: Bermeo, (2024)

Análisis (Tabla 5): 1. En la tabla se muestra la distribución del tamaño de partículas:

- El tamiz con mayor porcentaje retenido es el Fondo con 28.46% del material.
- Le sigue el tamiz N100 con 22.15% retenido.
- El tamiz N200 retiene un 16.16% del material.
- Los tamices de mayor tamaño (2 1/2" a 1/2") no retienen material.

Figura 18 *Porcentaje Pasante Acumulado*



Fuente: Bermeo, (2024)

Análisis (Figura 18): 2. Curva granulométrica:

El gráfico muestra el porcentaje pasante acumulado vs. el tamaño de apertura de los tamices en escala logarítmica.

Observaciones:

- La curva tiene una pendiente más pronunciada en los tamices más finos, indicando una mayor concentración de partículas pequeñas.
- Hay una disminución gradual del porcentaje pasante a medida que disminuye el tamaño de apertura.
- Aproximadamente el 70% del material pasa por el tamiz N40 (0.425 mm).

3. Análisis de fracciones:

- Grava (>N4): Aproximadamente 7.5% (100% - 92.5% pasante N4)
- Arena (N4 a N200): Aproximadamente 64.04% (92.5% - 28.46%)
- Finos (<N200): 28.46% (pasante N200 + fondo)

4. Clasificación preliminar del suelo:

- El suelo tiene una distribución amplia de tamaños de partículas, con predominancia de arenas y un contenido significativo de finos.

- El alto contenido de finos (28.46%) sugiere una influencia importante de limos y/o arcillas.
- Basado en estos porcentajes, el suelo podría clasificarse preliminarmente como una arena con finos.

5. Implicaciones para las propiedades del suelo:

- La alta proporción de arenas y finos sugiere una capacidad de drenaje moderada a baja.
- El alto contenido de finos indica que el suelo probablemente tenga plasticidad y cohesión significativas.
- La distribución de tamaños sugiere un suelo con capacidad de compactación variable.

Tabla 6
(A) Triaxial

ALTURA INICIAL=		7,20 cm		DIAMETRO= 3,60 cm		
CARGA		DEFORMACIÓN VERTICAL		1 - E	ÁREA CORREGIDA	ESFUERZO TOTAL
DIAL LC-2 0,002 mm	Kg.	DIAL LC-8 0,001 "	E= $\Delta H/H$		A	Kg/cm ²
24	3,485	0,015	0,0053	0,9947	10,23	0,3405
30	4,356	0,030	0,0106	0,9894	10,29	0,4233
34	4,936	0,045	0,0159	0,9841	10,34	0,4772
38	5,517	0,060	0,0212	0,9788	10,40	0,5305
27	3,920	0,075	0,0265	0,9735	10,46	0,3749
	0,000	0,090	0,0318	0,9683	10,51	0,0000
60	8,711	0,105	0,0370	0,9630	10,57	0,8240
85	12,341	0,120	0,0423	0,9577	10,63	11,610
89	12,922	0,135	0,0476	0,9524	10,69	12,089
89	12,922	0,150	0,0529	0,9471	10,75	12,022
87	12,632	0,165	0,0582	0,9418	10,81	11,686
	0,000	0,180	0,0635	0,9365	10,87	0,0000
	0,000	0,210	0,0741	0,9259	10,99	0,0000
89	12,922	0,225	0,0794	0,9206	11,06	11,686
149	21,633	0,240	0,0847	0,9153	11,12	19,452
199	28,893	0,255	0,0900	0,9100	11,19	25,829
232	33,684	0,270	0,0953	0,9048	11,25	29,937
268	38,911	0,285	0,1005	0,8995	11,32	34,380
289	41,960	0,300	0,1058	0,8942	11,38	36,856
300	43,557	0,315	0,1111	0,8889	11,45	38,032

Fuente: Bermeo, (2024)

Tabla 7
(A) Triaxial

		ALTURA INICIAL (cm)= 10,20		DIAMETRO (cm)= 5,05		
PRESIÓN DE CÁMARA (Lb)	CARGA	DEFORMACIÓN VERTICAL		1 - E	ÁREA (cm ²) CORREGIDA	ESFUERZO TOTAL
	Kg.	DIAL LC-8 0,001 "	E= ΔH/H		A/(1-E)	
7	34,846	0,015	0,0037	0,9963	20,10	0,1733
	43,557	0,030	0,0075	0,9925	20,18	0,2158
	49,365	0,045	0,0112	0,9888	20,26	0,2437
	55,172	0,060	0,0149	0,9851	20,33	0,2713
	39,201	0,075	0,0187	0,9813	20,41	0,1921
	0,000	0,090	0,0224	0,9776	20,49	0,0000
14	87,114	0,105	0,0261	0,9739	20,57	0,4236
	123,412	0,120	0,0299	0,9701	20,65	0,5977
	129,219	0,135	0,0336	0,9664	20,73	0,6235
	129,219	0,150	0,0374	0,9626	20,81	0,6210
	126,315	0,165	0,0411	0,9589	20,89	0,6047
	106,000	0,180	0,0448	0,9552	20,97	0,5055
	10,600	0,210	0,0523	0,9477	21,13	0,5015
28	129,219	0,225	0,0560	0,9440	21,22	0,6090
	216,333	0,240	0,0598	0,9402	21,30	10,155
	288,928	0,255	0,0635	0,9365	21,39	13,509
	336,841	0,270	0,0672	0,9328	21,47	15,686
	389,109	0,285	0,0710	0,9290	21,56	18,048
	419,599	0,300	0,0747	0,9253	21,65	19,384
	435,570	0,315	0,0784	0,9216	21,73	20,040

Fuente: Bermeo, (2024)

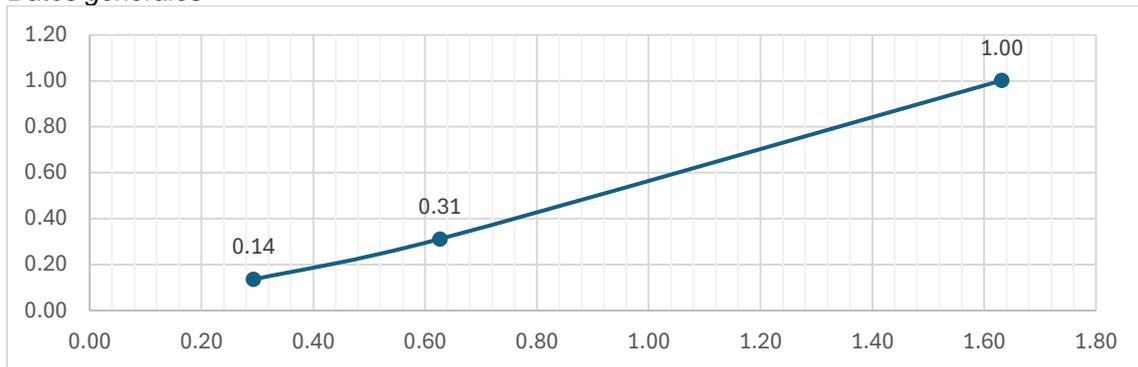
Tabla 8
(A) Triaxial

AREA	σ ₃	Δσ ₁	σ ₁	σ ₃ + Δσ/2	Δσ/2
20,03	0,16	0,27	0,43	0,29	0,14
	0,31	0,62	0,94	0,63	0,31
	0,63	2,00	2,63	1,63	1,00

Fuente: Bermeo, (2024)

Figura 19

Datos generales



Fuente: Bermeo, (2024)

Análisis: Datos generales:

- Altura inicial de la muestra: 10.20 cm
- Diámetro de la muestra: 5.05 cm
- Área inicial: 20.03 cm²

Presiones de cámara: Se realizaron pruebas con tres presiones de cámara diferentes: 7, 14 y 28 kg/cm².

Comportamiento esfuerzo-deformación:

- Para cada presión de cámara, se observa un aumento en la carga aplicada y la deformación vertical.
- La relación esfuerzo-deformación no es lineal, lo que indica un comportamiento no elástico del suelo.

Resistencia máxima:

- Para 7 kg/cm²: Esfuerzo máximo de 0.5796 kg/cm²
- Para 14 kg/cm²: Esfuerzo máximo de 1.2022 kg/cm²
- Para 28 kg/cm²: Esfuerzo máximo de 3.4380 kg/cm²

Deformación:

- La deformación vertical máxima varía entre 0.090 y 0.315 cm para las diferentes presiones de cámara.
- Se observa una tendencia a mayores deformaciones con presiones de cámara más altas.

Cambio de área:

- El área corregida aumenta con la deformación, lo que es consistente con la compresión de la muestra.

Tabla 9.

(M) Triaxial

TURA I+W24:AC48NICIA		7,20 cm		DIAMETRO= 3,60 cm		
CARGA		DEFORMACIÓN VERTICAL		1 - E	ÁREA (cm ²) CORREGIDA	ESFUERZO TOTAL
DIAL LC-2 0,002 mm	Kg.	DIAL LC-8 0,001 "	E= ΔH/H		A/(1-E)	Kg/cm ²
5	0,726	0,015	0,0053	0,9947	10,23	0,0709
5,5	0,799	0,030	0,0106	0,9894	10,29	0,0776
6	0,871	0,045	0,0159	0,9841	10,34	0,0842
6,5	0,944	0,060	0,0212	0,9788	10,40	0,0907
7	1,016	0,075	0,0265	0,9735	10,46	0,0972
7,5	1,089	0,090	0,0318	0,9683	10,51	0,1036
11	1,597	0,105	0,0370	0,9630	10,57	0,1511
21	3,049	0,120	0,0423	0,9577	10,63	0,2868
27	3,920	0,135	0,0476	0,9524	10,69	0,3667
29	4,211	0,150	0,0529	0,9471	10,75	0,3917
30	4,356	0,165	0,0582	0,9418	10,81	0,4030
28	4,065	0,180	0,0635	0,9365	10,87	0,3740
	0,000	0,210	0,0741	0,9259	10,99	0,0000
24	3,485	0,225	0,0794	0,9206	11,06	0,3151
56	8,131	0,240	0,0847	0,9153	11,12	0,7311
78	11,325	0,255	0,0900	0,9100	11,19	10,124
99	14,374	0,270	0,0953	0,9048	11,25	12,775
120	17,423	0,285	0,1005	0,8995	11,32	15,394
143	20,762	0,300	0,1058	0,8942	11,38	18,237
162	23,521	0,315	0,1111	0,8889	11,45	20,537

Fuente: Bermeo, (2024)

Tabla 10.
(M) Triaxial

		ALTURA INICIAL (cm)= 10,20		DIAMETRO (cm)= 5,05		
PRESIÓN DE CÁMARA (Lb)	CARGA	DEFORMACIÓN VERTICAL		1 - E	ÁREA CORREGIDA A	ESFUERZO TOTAL
	Kg.	DIAL LC-8 0,001 "	E= ΔH/H		A/(1-E)	Kg/cm ²
7	0,7260	0,015	0,0037	0,9963	20,10	0,0361
	0,7985	0,030	0,0075	0,9925	20,18	0,0396
	0,8711	0,045	0,0112	0,9888	20,26	0,0430
	0,9437	0,060	0,0149	0,9851	20,33	0,0464
	10,163	0,075	0,0187	0,9813	20,41	0,0498
	1,089	0,090	0,0224	0,9776	20,49	0,0531
14	15,971	0,105	0,0261	0,9739	20,57	0,0777
	30,490	0,120	0,0299	0,9701	20,65	0,1477
	39,201	0,135	0,0336	0,9664	20,73	0,1891
	42,105	0,150	0,0374	0,9626	20,81	0,2024
	43,557	0,165	0,0411	0,9589	20,89	0,2085
	106,000	0,180	0,0448	0,9552	20,97	0,5055
	10,600	0,210	0,0523	0,9477	21,13	0,5015
28	34,846	0,225	0,0560	0,9440	21,22	0,1642
	81,306	0,240	0,0598	0,9402	21,30	0,3817
	113,248	0,255	0,0635	0,9365	21,39	0,5295
	143,738	0,270	0,0672	0,9328	21,47	0,6694
	174,228	0,285	0,0710	0,9290	21,56	0,8081
	207,622	0,300	0,0747	0,9253	21,65	0,9591
	235,208	0,315	0,0784	0,9216	21,73	10,822

Fuente: Bermeo, (2024)

Tabla 11.
(M) Triaxial

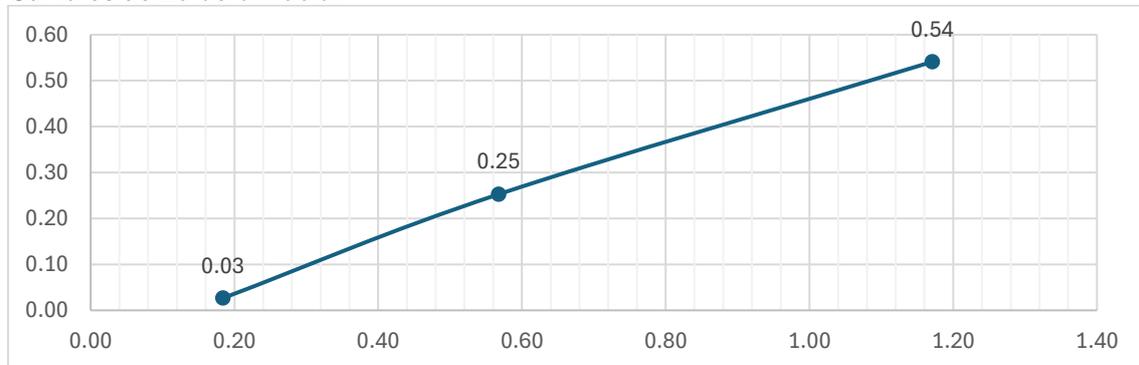
AREA	σ3	Δσ1	σ1	σ3 + Δσ/2	Δσ/2
20,03	0,16	0,05	0,21	0,18	0,03
	0,31	0,51	0,82	0,57	0,25
	0,63	1,08	1,71	1,17	0,54

Fuente: Bermeo, (2024)

Análisis: La tabla muestra los resultados del ensayo triaxial. Los datos están organizados por presión de cámara (7, 14 y 28 kg/cm²) y muestran valores de carga, deformación vertical, área corregida y esfuerzo total.

Figura 20

Curva esfuerzo-deformación



Fuente: Bermeo, (2024)

1. Análisis: Curva esfuerzo-deformación: Se observa el inicio de una gráfica. Representar la curva esfuerzo-deformación, mostrando una tendencia ascendente.

Análisis de resultados:

a) Presión de cámara 7 kg/cm²:

- La carga máxima alcanzada es 1.089 kg.
- La deformación vertical máxima es 0.090 (9%).
- El esfuerzo total máximo es 20.43 kg/cm².

b) Presión de cámara 14 kg/cm²:

- La carga máxima alcanzada es 6.000 kg.
- La deformación vertical máxima es 0.210 (21%).
- El esfuerzo total máximo es 21.13 kg/cm².

c) Presión de cámara 28 kg/cm²:

- La carga máxima alcanzada es 29.521 kg.
- La deformación vertical máxima es 0.315 (31.5%).
- El esfuerzo total máximo es 21.65 kg/cm².

4. Interpretación:

- Se observa que, a mayor presión de cámara, la muestra puede soportar mayor carga antes de fallar.
- La deformación vertical máxima aumenta significativamente con la presión de cámara, indicando que el suelo se vuelve más compresible a mayores presiones de confinamiento.
- El esfuerzo total máximo aumenta ligeramente con la presión de cámara, pero no de manera proporcional, lo que sugiere un comportamiento no lineal del suelo.

5. Cálculo de parámetros geo-mecánicos: Para calcular el ángulo de fricción interna (ϕ) y la cohesión (c), se necesitaría realizar un análisis más detallado utilizando la envolvente de falla de Mohr-Coulomb, que no se muestra directamente en las imágenes proporcionadas.

Tabla 12.
(B) *Triaxial*

ALTURA INICIAL=		7,20 cm		DIAMETRO= 3,60 cm		
CARGA		DEFORMACIÓN VERTICAL		1 - E	ÁREA (cm ²) CORREGIDA	ESFUERZO TOTAL
DIAL LC-2 0,002 mm	Kg.	DIAL LC-8 0,001 "	E= ΔH/H		A/(1-E)	Kg/cm ²
80	11,615	0,015	0,0053	0,9947	10,23	11,349
122	17,713	0,030	0,0106	0,9894	10,29	17,216
137	19,891	0,045	0,0159	0,9841	10,34	19,229
145	21,053	0,060	0,0212	0,9788	10,40	20,243
148	21,488	0,075	0,0265	0,9735	10,46	20,550
151	21,924	0,090	0,0318	0,9683	10,51	20,852
94	13,648	0,105	0,0370	0,9630	10,57	12,910
140	20,327	0,120	0,0423	0,9577	10,63	19,122
172	24,973	0,135	0,0476	0,9524	10,69	23,363
189	27,441	0,150	0,0529	0,9471	10,75	25,529
198	28,748	0,165	0,0582	0,9418	10,81	26,596
201	29,183	0,180	0,0635	0,9365	10,87	26,847
209	30,345	0,210	0,0741	0,9259	10,99	27,600
98	14,229	0,225	0,0794	0,9206	11,06	12,868
180	26,134	0,240	0,0847	0,9153	11,12	23,499
254	36,878	0,255	0,0900	0,9100	11,19	32,967
312	45,299	0,270	0,0953	0,9048	11,25	40,260
352	51,107	0,285	0,1005	0,8995	11,32	45,156
380	55,172	0,300	0,1058	0,8942	11,38	48,461
406	58,947	0,315	0,1111	0,8889	11,45	51,470

Fuente: Bermeo, (2024)

Tabla 13.
(B) Triaxial

		ALTURA INICIAL (cm)= 10,20		DIAMETRO (cm)= 5,05		
PRESIÓN DE CÁMARA (Lb)	CARGA	DEFORMACIÓN VERTICAL		1 - E	ÁREA CORREGIDA A	ESFUERZO TOTAL
	Kg.	DIAL LC-8 0,001 "	E= ΔH/H		A/(1-E)	Kg/cm ²
7	116,152	0,015	0,0037	0,9963	20,10	0,5777
	177,132	0,030	0,0075	0,9925	20,18	0,8777
	198,910	0,045	0,0112	0,9888	20,26	0,9820
	210,526	0,060	0,0149	0,9851	20,33	10,354
	214,881	0,075	0,0187	0,9813	20,41	10,528
	21,924	0,090	0,0224	0,9776	20,49	10,700
14	136,479	0,105	0,0261	0,9739	20,57	0,6636
	203,266	0,120	0,0299	0,9701	20,65	0,9845
	249,727	0,135	0,0336	0,9664	20,73	12,049
	274,409	0,150	0,0374	0,9626	20,81	13,188
	287,476	0,165	0,0411	0,9589	20,89	13,763
	106,000	0,180	0,0448	0,9552	20,97	0,5055
	10,600	0,210	0,0523	0,9477	21,13	0,5015
28	142,286	0,225	0,0560	0,9440	21,22	0,6706
	261,342	0,240	0,0598	0,9402	21,30	12,268
	368,783	0,255	0,0635	0,9365	21,39	17,243
	452,993	0,270	0,0672	0,9328	21,47	21,096
	511,069	0,285	0,0710	0,9290	21,56	23,705
	551,722	0,300	0,0747	0,9253	21,65	25,488
	589,471	0,315	0,0784	0,9216	21,73	27,121

Fuente: Bermeo, (2024)

Tabla 14.
(B) Triaxial

AREA	σ ₃	Δσ ₁	σ ₁	σ ₃ + Δσ/2	Δσ/2
20,03	0,16	1,07	1,23	0,69	0,54
	0,31	1,38	1,69	1,00	0,69
	0,63	2,71	3,34	1,99	1,36

Fuente: Bermeo, (2024)

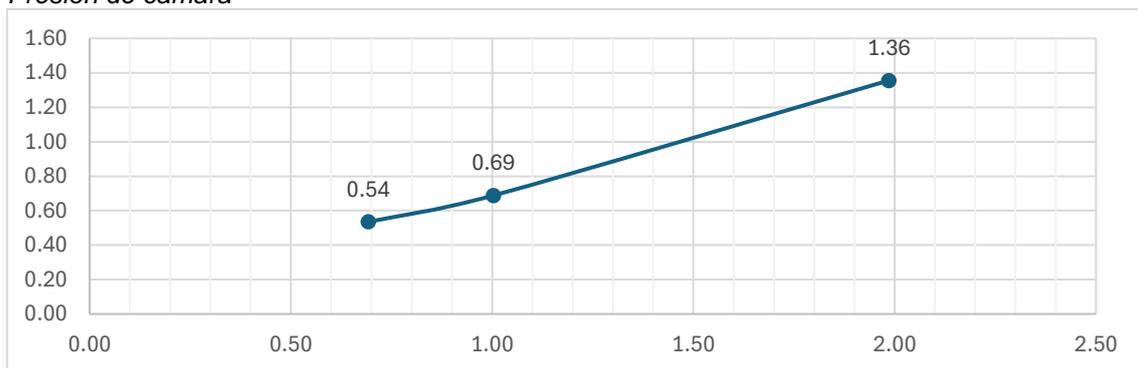
Análisis: En las tablas se muestra el siguiente análisis

1. Estructura de las tablas:

- Se presentan datos para tres presiones de cámara: 7, 14 y 28 kg/cm².

- Las columnas incluyen: carga, deformación vertical, área corregida (1-E) y esfuerzo total.
2. Presión de cámara 7 kg/cm²:
 - Carga inicial: 10.615 kg
 - Carga final: 21.924 kg
 - Deformación vertical: varía de 0.015 a 0.090
 - Esfuerzo total máximo: 20.49 kg/cm²
 3. Presión de cámara 14 kg/cm²:
 - Carga inicial: 13.648 kg
 - Carga final: 30.045 kg
 - Deformación vertical: varía de 0.105 a 0.210
 - Esfuerzo total máximo: 21.13 kg/cm²
 4. Presión de cámara 28 kg/cm²:
 - Carga inicial: 14.229 kg
 - Carga final: 56.947 kg
 - Deformación vertical: varía de 0.225 a 0.315
 - Esfuerzo total máximo: 21.73 kg/cm²

Figura 21
Presión de cámara



Fuente: Bermeo, (2024)

Análisis: En el gráfico se muestra lo siguiente: El eje X parece representar la deformación. El eje Y probablemente representa el esfuerzo. Se muestran tres curvas distintas, presumiblemente una para cada presión de cámara.

4.3 Estudio geotécnico y caracterización del suelo

Objetivo: Realizar un estudio geotécnico en dicha avenida para caracterizar las propiedades del suelo, como: granulometría y ensayo triaxial.

Figura 22 Toma de muestras y de análisis



Elaborado: Bonilla, (2024)

4.3.1 Resultados

El estudio geotécnico realizado en la Avenida Julián Coronel del cantón Ambato reveló importantes características del suelo como se puede visualizar (Figura 22), a través de análisis granulométricos y ensayos triaxiales.

Análisis Granulométrico:

Se llevaron a cabo tres ensayos granulométricos correspondientes a las muestras A, M y B. Los resultados clave incluyen:

Muestra A:

El mayor porcentaje retenido (24.04%) corresponde al tamiz de 3/8".

Aproximadamente un 19.93% del material es más fino que el tamiz N200.

Distribución: Grava (34.45%), Arena (45.62%), Finos (19.93%)

Muestra M:

El tamiz con mayor porcentaje retenido es el de 3/8" con 36.71% del material.

El porcentaje que pasa por el tamiz N200 (finos) es de 2.23%.

Distribución: Grava (51.73%), Arena (46.04%), Finos (2.23%)

Muestra B:

El Fondo retiene el mayor porcentaje (28.46%) del material.

Distribución: Grava (7.5%), Arena (64.04%), Finos (28.46%)

Ensayos Triaxiales:

Se realizaron ensayos triaxiales para cada muestra (A, M y B) bajo diferentes presiones de cámara (7, 14 y 28 kg/cm²). Los resultados muestran:

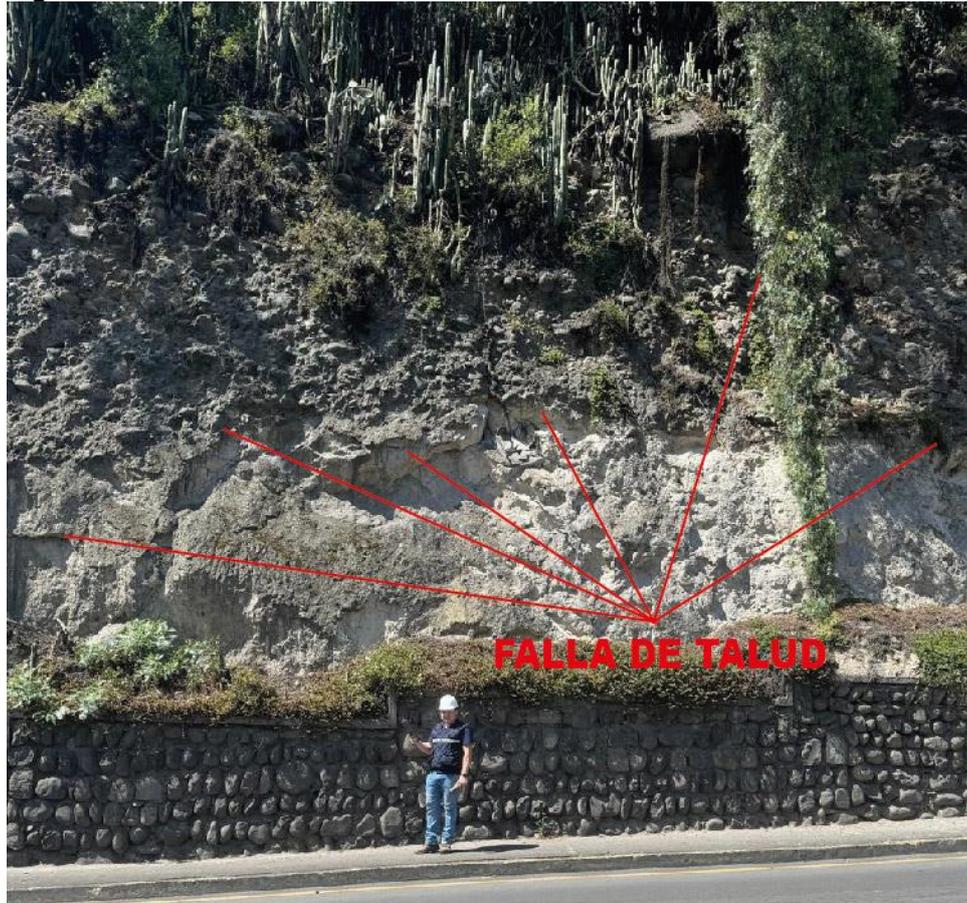
- Un aumento en la resistencia al corte con el incremento de la presión de confinamiento.
- Comportamiento no lineal del suelo bajo diferentes condiciones de carga.
- Variaciones en la deformación máxima y el esfuerzo total máximo entre las muestras.

Estos resultados proporcionan una caracterización detallada de las propiedades geotécnicas del suelo en el área de estudio, esencial para el análisis de estabilidad del talud.

4.4 Identificación de áreas críticas y puntos de riesgo

Objetivo: Identificar áreas críticas y puntos de riesgo potencial para la generación de deslizamientos de masa.

Figura 23 Puntos de falla del talud



Elaborado: Bonilla, (2024)

Utilizando los resultados del estudio geotécnico y el levantamiento topográfico detallado en base al análisis fotográfico visual, se identificaron los siguientes posibles puntos de falla y áreas críticas:

1. **Zonas con alta concentración de finos:** Especialmente en áreas donde la Muestra B es predominante, con 28.46% de finos, lo que puede indicar mayor susceptibilidad a deslizamientos.
2. **Áreas de pendiente pronunciada:** Identificadas a través del modelo digital de elevación, estas zonas presentan mayor riesgo de inestabilidad.
3. **Puntos de convergencia de agua:** Determinados mediante el análisis de la topografía y patrones de drenaje, estos puntos son susceptibles a saturación y debilitamiento del suelo.
4. **Zonas de transición geológica:** Áreas donde se observan cambios significativos en la composición del suelo entre las muestras A, M y B.

5. **Áreas de baja resistencia al corte:** Identificadas a partir de los resultados de los ensayos triaxiales, estas zonas pueden ser más propensas a fallar bajo carga.

La identificación de estas áreas críticas permite priorizar las intervenciones y diseñar soluciones de estabilización más efectivas y focalizadas.

4.5 Análisis comparativo de enfoques de diseño para estabilización de taludes

Objetivo: Realizar un análisis comparativo de diferentes enfoques de diseño de estabilización de taludes, considerando factores constructivos.

Figura 24 Características visuales del talud



Elaborado: Bonilla, (2024)

Basándonos en los resultados del estudio geotécnico y las condiciones específicas del sitio, se analizaron varios enfoques de estabilización:

1. Terraceo y Reconformación del Talud:

Es la remoción superficial del material que conforma el talud ya sea de vegetación o de tierra, en el cual altera su forma para aumentar su estabilidad.

- **Ventajas:** Reduce la pendiente general, mejora la estabilidad global.
- **Desventajas:** Requiere movimiento significativo de tierras, puede ser costoso.

2. Sistema de Drenaje:

El sistema de drenaje contiene tuberías y accesorios que se encarga de recoger el agua de lluvia o aguas grises y conducirla hasta la zona de vertido.

- **Ventajas:** Controla la escorrentía, reduce la presión de poros.
- **Desventajas:** Requiere mantenimiento regular.

3. Refuerzo del Suelo:

Es el procedimiento de reformar las propiedades físicas del suelo por medio del suplemento de materiales adicionales impulsando la resistencia del suelo.

- **Ventajas:** Aumenta la resistencia interna del suelo.
- **Desventajas:** Puede ser técnicamente complejo, costos iniciales altos.

4. Muros de Contención:

Es una estructura construida para soportar la presión horizontal del suelo u otros materiales cuando cambia la depresión del terreno.

- **Ventajas:** Proporciona soporte estructural directo.
- **Desventajas:** Altos costos de construcción, puede requerir espacio significativo.

5. Revegetación y Bioingeniería:

Es el desarrollo de vegetación en el lugar donde se ha eliminado proporcionando estabilidad exterior.

- **Ventajas:** Mejora la estabilidad superficial, bajo impacto ambiental.
- **Desventajas:** Puede no ser suficiente para taludes muy inestables, requiere tiempo para ser efectivo.

La elección del enfoque óptimo dependerá de factores como las características específicas del suelo, la geometría del talud, las condiciones hidrológicas, y las limitaciones presupuestarias y espaciales del proyecto.

4.6 Propuesta

Basados en los resultados del estudio geotécnico y el análisis de las condiciones del talud en la Avenida Julián Coronel del cantón Ambato, se propone la siguiente solución integral para mejorar la seguridad de los usuarios:

4.6.1 Caracterización Geotécnica y Zonificación de Riesgos

- Elaborar un mapa detallado de zonificación de riesgos basado en los resultados de los ensayos granulométricos y triaxiales.
- Identificar y marcar claramente las áreas críticas y puntos de riesgo potencial para deslizamientos.

4.6.2 Diseño de Soluciones de Estabilización

Considerando los diferentes enfoques de diseño analizados, se propone una combinación de técnicas:

a) Terraceo y Reconfiguración del Talud:

- Implementar terrazas en las zonas más empinadas para reducir la pendiente general.
- Reconfigurar el perfil del talud para mejorar su estabilidad global.

b) Sistema de Drenaje:

- Instalar un sistema de drenaje superficial y subsuperficial para controlar la escorrentía y reducir la presión de poros.
- Incluir cunetas de coronación, drenes horizontales y canales de desviación.

c) Refuerzo del Suelo:

- Utilizar geomallas o geotextiles en las zonas identificadas con suelos de baja cohesión.
- Implementar anclajes o pernos de suelo en áreas de alta inestabilidad.

d) Muros de Contención:

- Construir muros de contención en los puntos críticos identificados, eligiendo entre muros de gravedad, en voladizo o de suelo reforzado según las condiciones específicas de cada zona.

4.6.3 Revegetación y Bioingeniería

- Implementar técnicas de bioingeniería como la hidrosiembra y la plantación de especies nativas de raíces profundas para mejorar la estabilidad superficial.
- Crear barreras vegetales para reducir la erosión y mejorar la estética del talud.

4.6.4 Plan de Monitoreo y Mantenimiento

- Instalar instrumentación geotécnica (inclinómetros, piezómetros) en puntos estratégicos para monitoreo continuo.
- Establecer un programa de inspecciones regulares y mantenimiento preventivo.
- Desarrollar un protocolo de respuesta rápida ante signos de inestabilidad.

4.6.5 Medidas de Seguridad Vial

- Instalar señalización adecuada advirtiendo sobre zonas de riesgo.
- Implementar barreras de seguridad en tramos críticos de la vía.
- Considerar la ampliación de la calzada en zonas estrechas para mejorar la seguridad del tránsito.

4.6.6 Capacitación y Concientización Comunitaria

- Realizar talleres de concientización para residentes locales sobre los riesgos y la importancia del mantenimiento del talud.
- Establecer un sistema de alerta temprana en colaboración con la comunidad local.

4.7 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos del estudio geotécnico en la Avenida Julián Coronel del cantón Ambato revelan una composición del suelo heterogénea y compleja, lo cual tiene implicaciones significativas para la estabilidad del talud y las estrategias de mitigación de riesgos.

Variabilidad del suelo

La diversidad en la composición granulométrica entre las muestras A, M y B sugiere una estratificación importante del suelo en el área de estudio. Esta variabilidad puede explicarse por procesos geológicos históricos y puede influir significativamente en el comportamiento mecánico del talud. La presencia de un alto porcentaje de finos (28.46%) en la muestra B, por ejemplo, podría indicar zonas de mayor retención de agua y potencial plasticidad, lo que podría contribuir a una mayor susceptibilidad a deslizamientos en esas áreas.

Comportamiento mecánico

Los resultados de los ensayos triaxiales demuestran un aumento en la resistencia al corte con el incremento de la presión de confinamiento, lo cual es consistente con la teoría geotécnica. Sin embargo, el comportamiento no lineal observado sugiere que el suelo puede responder de manera compleja a las cargas aplicadas. Esto resalta la importancia de considerar diferentes escenarios de carga en el diseño de soluciones de estabilización.

Implicaciones para el diseño

La variabilidad en las propiedades del suelo justifica un enfoque de diseño que considere las condiciones más desfavorables en cada zona del talud. Por

ejemplo, las áreas con mayor contenido de finos podrían requerir soluciones de drenaje más robustas, mientras que las zonas con mejor gradación podrían beneficiarse más de técnicas de refuerzo del suelo.

Áreas críticas

La identificación de áreas críticas basada en la composición del suelo y la topografía proporciona una base sólida para priorizar intervenciones. Sin embargo, es importante reconocer que otros factores, como las condiciones hidrogeológicas y la actividad sísmica local, también deben considerarse en una evaluación comprehensiva de riesgos.

Enfoques de estabilización

El análisis comparativo de diferentes enfoques de estabilización revela que no existe una solución única para todo el talud. La combinación de técnicas, como el terraceo en zonas de pendiente pronunciada, sistemas de drenaje en áreas propensas a saturación, y bioingeniería para control de erosión superficial, probablemente ofrezca la solución más efectiva y sostenible.

Limitaciones del estudio

Es importante señalar que, aunque el estudio proporciona una caracterización detallada del suelo, factores como la variabilidad estacional de las condiciones del suelo y los efectos a largo plazo del cambio climático no se han considerado completamente. Estudios adicionales que incluyan monitoreo a largo plazo podrían proporcionar insights valiosos sobre el comportamiento dinámico del talud.

Implicaciones para la gestión de riesgos

Los resultados subrayan la necesidad de un enfoque integral para la gestión de riesgos en la Avenida Julián Coronel. Esto debería incluir no solo medidas de estabilización física, sino también estrategias de planificación urbana, sistemas de alerta temprana y educación comunitaria sobre riesgos geológicos.

Conclusiones

La investigación reveló una composición del suelo heterogénea y compleja, con una notable variabilidad granulométrica entre las muestras A, M y B. Esta caracterización es fundamental para entender el comportamiento mecánico del talud y establecer estrategias de estabilización adecuadas.

Los resultados de los ensayos triaxiales demostraron un aumento en la resistencia al corte con el incremento de la presión de confinamiento, lo cual es consistente con la teoría geotécnica. Sin embargo, el comportamiento no lineal observado sugiere respuestas complejas a las cargas aplicadas, subrayando la necesidad de considerar diferentes escenarios de carga en el diseño de soluciones de estabilización.

La investigación propuso diversas estrategias de estabilización adaptadas a las condiciones específicas del talud, como el terraceo en zonas de pendiente pronunciada, sistemas de drenaje en áreas propensas a saturación y bioingeniería para el control de erosión superficial.

La diversidad en la composición granulométrica y la presencia de un alto porcentaje de finos en ciertas zonas indican una mayor susceptibilidad a deslizamientos, lo que tiene implicaciones significativas para la estabilidad del talud y las estrategias de mitigación de riesgos.

La variabilidad en las propiedades del suelo justifica un enfoque de diseño que considere las condiciones más desfavorables en cada zona del talud. Esto es crucial para garantizar la efectividad y sostenibilidad de las intervenciones de estabilización propuestas.

La propuesta de combinar diferentes técnicas de estabilización, como terraceo, sistemas de drenaje y bioingeniería, representa una solución innovadora y holística para abordar la complejidad del talud en la Avenida Julián Coronel.

La investigación subraya la necesidad de un enfoque integral para la gestión de riesgos, que incluya no solo medidas de estabilización física, sino también estrategias de planificación urbana, sistemas de alerta temprana y educación comunitaria sobre riesgos geológicos.

Recomendaciones

Implementar un sistema de monitoreo continuo para evaluar las condiciones del suelo y detectar cambios que puedan indicar un aumento en la susceptibilidad a deslizamientos es fundamental. Especialmente en áreas con alta variabilidad granulométrica y contenido de finos, este monitoreo puede proporcionar datos vitales para la toma de decisiones a tiempo, mejorando la seguridad y la estabilidad del talud.

Es importante realizar estudios adicionales que consideren diferentes escenarios de carga y su impacto en el comportamiento mecánico del suelo. Estos estudios permitirán refinar las estrategias de estabilización, asegurando su efectividad bajo diversas condiciones y contribuyendo a la prevención de desastres en el futuro.

Priorizar la implementación de sistemas de drenaje robustos en áreas con alto contenido de finos y técnicas de refuerzo del suelo en zonas con mejor gradación es crucial. Estas acciones mejorarán significativamente la estabilidad del talud y reducirán el riesgo de deslizamientos, proporcionando una solución sostenible y segura para la comunidad.

Futuros estudios deben incluir la variabilidad estacional de las condiciones del suelo y los efectos a largo plazo del cambio climático. Esta información proporcionará una evaluación más completa del comportamiento dinámico del talud y permitirá desarrollar estrategias de mitigación más precisas y efectivas.

Es esencial desarrollar y promover estrategias de planificación urbana que integren consideraciones geotécnicas y de gestión de riesgos. Además, programas de educación comunitaria pueden aumentar la concienciación sobre los riesgos geológicos y las medidas de mitigación, capacitando a la comunidad para responder de manera adecuada ante posibles deslizamientos.

Bibliografía

- Alva, H., y Rosales, M. (2022). *Análisis de fallamiento circular y deformación plana en taludes*. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/105685/Herrera_AEL-Monta%C3%B1ez_RED-SD.pdf?sequence=1
- Álvarez, M., Fernández, L., y García, P. (2020). Caracterización y manejo de suelos orgánicos: Implicaciones para el cambio climático y la agricultura. *Revista de Edafología y Ciencias Ambientales*, 42(1), 78-95. https://doi.org/conservation.org/docs/default-source/publication-pdfs/cascade_modulo-2-impactos-del-cambio-climatico-en-la-agricultura-de-centroamerica.pdf
- Barros, Sarabia, Valdés, Serrano, y Gaytan. (Diciembre de 2019). *Revista ingeniería de construcción*. Muro de contención construido con neumáticos estabilizados mecánicamente: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732019000300252
- Chaverra, H., y Ruiz., T. (2019). *Análisis de estabilidad del talud y obras de contención necesarias para el diseño y construcción de una vía de orden secundario en el municipio De Dabeiba*. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.12494/10699>
- Delgado, V. M. (2018). *Estudio de estabilización de taludes en el barrio La Merced Baja – Cantón Guaranda*. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero en Geología. Carrera de Ingeniería en Geología.: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16287>
- Fernández, C., y Cabrejos, E. (2021). *Análisis de estabilidad de taludes mediante el método de equilibrio límite*. Repositorio.UCV: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/61493>
- Fernández, P., y Sánchez, O. (2020). Influencia de la mineralogía de arcillas en la estabilidad de taludes. *Revista Latinoamericana de Geotecnia*, 32(4), 412-425. <https://doi.org/repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/3305>

- Flores. (2023). *Evaluación del empleo de geoceldas para la estabilización de taludes*. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/5707>
- García, A., y Martínez, R. (2022). Avances en la determinación de la conductividad hidráulica: Del ensayo de carga constante a métodos modernos. *Revista de Hidrogeología Aplicada*, 39(3), 245-260. <https://doi.org/https://es.slideshare.net/slideshow/980-18911sm/30507692>
- García, C., Pérez, M., y Sánchez, L. (2022). Avances en técnicas de compactación de suelos para obras civiles. *Ingeniería y Construcción*, 45(3), 287-301. <https://doi.org/smig.org.mx/archivos/revista-trimestral-smig/revista-geotecnia-smig-numero-250.pdf>
- González, E., Ramírez, L., y Torres, A. (2023). Comportamiento geotécnico de suelos limosos en obras de infraestructura. *Geotecnia Aplicada*, 40(1), 78-92. <https://doi.org/hdl.handle.net/20.500.14352/17170>
- Guadalupe, J. (2022). INFORME DE GESTION DE RIESGOS EN ESTABILIDAD DE TALUDES. *Revista Latinoamericana de Geotecnia*. <https://doi.org/https://es.scribd.com/document/600092661/INFORME-DE-GESTION-DE-RIESGOS-EN-ESTABILIDAD-DE-TALUDES>
- López, C., Sánchez, M., y Torres, J. (2021). Factores que influyen en la resistencia cortante del suelo: Un enfoque integrado. *Geotecnia y Cimientos*, 34(2), 178-195. <https://doi.org/es.scribd.com/document/406811836/Resistencia-Al-Corte-de-Un-Suelo>
- López, C., y Martínez, R. (2021). Propiedades físico-químicas de arenas en ambientes costeros. *Ciencias de la Tierra y el Mar*, 28(3), 302-315. <https://doi.org/https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- López, R., y Martínez, A. (2023). Avances en la técnica del ensayo triaxial no drenado: Implicaciones para el análisis de estabilidad en condiciones

- sísmicas. *Revista de Geotecnia Aplicada*, 47(2), 156-170. <https://doi.org/https://desdeelmurete.com/ensayo-triaxial/>
- Maldonado, Y. (2020). Tipos de rotura en taludes en suelos y rocas. *GeologíaWeb*. <https://doi.org/https://geologiaweb.com/ingenieria-geologica/tipos-rotura-taludes/>
- Martínez, A., y López, R. (2020). Sistemas de clasificación de suelos en la ingeniería geotécnica moderna. *Revista de Geotecnia Aplicada*, 38(2), 156-170. <https://doi.org/https://es.scribd.com/document/677150238/El-sistema-unificado-de-clasificacion-del-suelo-sucs-en-la-Ingenieria-Geotecnica>
- Martínez, L., García, R., y López, A. (2022). Avances y limitaciones del ensayo de corte directo en la geotecnia moderna. *Revista de Ingeniería Geotécnica*, 41(3), 287-302. <https://doi.org/raed.academy/wp-content/uploads/2015/06/Discurs-ingres-A-Gens.pdf>
- Martínez, L., Sánchez, A., y González, R. (2022). Fundamentos de Geología y Edafología: Una perspectiva integrada. *Revista de Ciencias de la Tierra*, 37(2), 145-160. https://doi.org/ens9004-inf.d.mendoza.edu.ar/sitio/geologia-goemorfologia/upload/04-_JORDAN_LOPEZ.pdf
- Paz Muñoz, J. S., Baena Correa, S., y Fernández Plaza, D. (8 de Agosto de 2019). *Encuentro Internacional De Educación En Ingeniería*. <https://doi.org/10.26507/ponencia.173>
- Ramírez, E. (2021). *Caracterización y comportamiento de suelos residuales en distintas zonas climáticas*. Universidad Santo Tomás: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/38729/2021ericaramirez.pdf?sequence=3>
- Rodríguez, A., García, M., y López, J. (2023). Aplicaciones modernas de la ley de Darcy en hidrogeología y geotecnia. *Revista de Hidrología y Ciencias del Suelo*, 48(2), 175-190. <https://doi.org/euroinnova.com/ingenieria/articulos/ley-de-darcy>

- Rodríguez, A., García, M., y Pérez, J. (2022). Caracterización geotécnica de suelos granulares gruesos. *Revista de Ingeniería Geológica*, 35(2), 145-160. <https://doi.org/core.ac.uk/download/pdf/296525717.pdf>
- Rodríguez, P., y Fernández, L. (2023). El criterio de Mohr-Coulomb en la era digital: Aplicaciones y limitaciones en la geotecnia moderna. *Ingeniería Geotécnica*, 47(1), 56-72. <https://doi.org/https://es.scribd.com/document/659766346/Teoria-de-Mohr-Coulomb-Version-Final>
- Romero, A., Joel, J., Herrera, V., y Jordan, J. (2023). *Universidad Católica de Santiago de Guayaquil*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/21841>

2 Anexo. Análisis granulométrico (Muestra M)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PROYECTO: *Evaluación de la estabilidad de taludes en carreteras de Montaña en la*
 Av. Julián Coronel del cantón Ambato

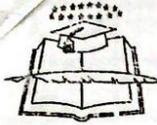
Abscisa: _____ Fecha: _____
 Para: _____ Profundidad: _____
 Fuente de Material: _____ Muestra: **M**
 Descripción del Material: _____

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"	178.1				
1/4"					
No. 4	72.9				
No. 8	40.4				
No. 10	6.5				
No. 16	26.3				
No. 20	19.7				
No. 30	24.7				
No. 40	32.2				
No. 50	28.5				
No. 80					
No. 100	36.5				
No. 200	13.6				
FONDO	10.8				
TOTAL	485.2				

Observaciones: _____

424.4

3 Anexo. Análisis granulométrico (Muestra A)



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL.
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
LABORATORIO "ING. DR. ARNALDO RUFFILLI"

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PROYECTO: *Evaluación de la estabilidad de taludes excavados en la*
Ab. Tulcan Coronel del cantón Ambato Fecha: _____
 Abscisa: _____ Para: _____ Profundidad: _____
 Fuente de Material: _____ Muestra: **A.**
 Descripción del Material: _____

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	Especificaciones
3					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"	91.7				
1/4"					
No. 4	40.6				
No. 8	29.3				
No. 10	5.0				
No. 16	16.6				
No. 20	9.9				
No. 30	10.9				
No. 40	13.0				
No. 50	11.5				
No. 80					
No. 100	36.9				
No. 200	40.0				
FONDO	76.				
TOTAL	381.4				

Observaciones: _____

305.4

4 Anexo. Porcentaje de árido fino

PORCENTAJE QUE PASA EL TAMIZ N° 200						
PROYECTO: <i>Evaluación de la estabilidad de taludes en carreteras de Montaña</i> INSTITUCIÓN: <i>en la Av. Julián Coronel del cantón Ambato</i> perforación: <i>ULVR</i>						
Fecha: <i>07 de Junio del 2024</i>						
MUESTRA No.	A		M		B	
Recipiente No.	A		1		X	
Peso en gr.	Peso del Recipiente	23.3	23.0		40.9	
	Peso inicial + Recipiente	404.7	508.2		227.7	
	Peso final + Recipiente	328.7	497.4		174.6	
	Peso inicial	381.4	485.2		186.8	
	Peso Final	305.4	474.4		133.7	
% Retenido : Peso final / Peso inicial *100		80.07	97.77		71.57	
% Pasa Tamiz N°200 = 100% - %Retenido		19.93	2.23		28.43	
MUESTRA No.						
Recipiente No.						
Peso en gr.	Peso del Recipiente					
	Peso inicial + Recipiente					
	Peso final + Recipiente					
	Peso inicial					
	Peso Final					
% Retenido : Peso final / Peso inicial *100						
% Pasa Tamiz N°200 = 100% - %Retenido						

5 Anexo. Gravedad específica del suelo

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
 FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS Y FISICAS
 LABORATORIO "ING.DR.ARNALDO RUFFILLI"

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA

Proyecto: Evaluación de la estabilidad de taludes en carretera de Montaña
 Localización: en la AV. Julián Coronel del cantón Ambato
 Muestra: (B - M - A)
 Fecha: 27 de Junio del 2024
 Profundidad:

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS (Gs)					
Muestra No.		B	M	A	
Frasco No.					
Temperatura del agua y suelo, T, C		26°	27°	27°	
Recipiente No.					
Peso en gramos	Recipiente + Peso Seco				
	Recipiente				
	Peso Seco	Ws	26.3	50.9	27.4
	Frasco + agua a T, C	Wbw	272.	272	272
	Ws + Wbw		298.3	322.9	299.4
	Frasco + agua + suelo sumergido	Wbws	287.4	304.4	288.7
	Desplazamiento de agua, Ws + Wbw - Wbws			10.9	18.5
Factor de Corrección	.K	0.9968	0.9965	0.9965	
(WsK)/(Ws+Wbw-Wbws)		Gs	2.40	2.74	2.55

6 Anexo. Limite liquido y limite plástico de las muestras

LIMITE LIQUIDO Y PLASTICO														
Sondeo. B					Sondeo. M					Sondeo. A				
Muestra					Muestra					Muestra				
No.	1	2	3	4	Recp. No.	1	2	3	4	Recp. No.	1	2	3	4
PH+R					Limite Liquido	PH+R				Limite Liquido	98	261	R4	
PS+R				PH+R							263	242	253	
P. AGUA				PS+R							234	219	23	
P/R				P. AGUA							2.9	2.3	2.3	
P. SECO				P/R							11.8	11.5	11.9	
HUMEDAD				P. SECO					705	186	207			
				% HUMEDAD					25	22.11	20.7			
Golpes				# de Golpes					12	17	25			
	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4
No.					Recp. No.					Recp. No.	10	11	17	
PH+R					Limite Plastico	PH+R				Limite Plastico	11.8	123	136	
PS+R				PH+R							11.0	11.4	127	
P. AGUA				PS+R							0.8	0.9	0.9	
P/R				P. AGUA							6.4	6.2	7.9	
P. SECO				P/R							4.2	4.7	4.8	
HUMEDAD				P. SECO					19.04	19.15	19.25			
				% HUMEDAD										

7 Anexo. Contenido de humedad de las muestras

LABORATORIO "ING. DR. ARNALDO RUFFILLI"						
CONTENIDO DE HUMEDAD						
Evaluación de taludes en Carretera de Montaña en la				Fecha: 6 de Junio 2024		
PROYECTO: Avenida Julián Coronel del cantón Ambato						
Perforación:				Muestra: (A - M - B)		
		A	M	B		
	MUESTRA No.					
	Recipiente No.	A	1	X		
Peso en gr.	Recipiente + Peso húmedo	414.3	517.8	228.7		
	Recipiente + Peso seco	404.7	508.2	227.7		
	Agua	9.6	9.6	1.0		
	Peso del Recipiente	23.3	23.0	40.9		
	Peso Seco	381.4	485.2	186.8		
	Contenido de Agua	2.51%	1.97%	0.53%		
	MUESTRA No.					
	Recipiente No.					
Peso en gr.	Recipiente + Peso húmedo					
	Recipiente + Peso seco					
	Agua					
	Peso del Recipiente					
	Peso Seco					
	Contenido de Agua					

8 Anexo. Ensayo Triaxial (Muestra B)

Muestra B

3.6 cm
7.2 cm

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Acillo
K= 2.1452

MUESTRA 2		MUESTRA		MUESTRA	
Presión de Cámara 7 lbs		Presión de Cámara 14 lbs		Presión de Cámara 28 lbs	
CARGA	DEFORNACION	CARGA	DEFORNACION	CARGA	DEFORNACION
DIAL LC-2 0.002mm	DIAL LC-8 0.001"	DIAL LC-2 0.002mm	DIAL LC-8 0.001"	DIAL LC-2 0.002mm	DIAL LC-8 0.001"
80	15	94	15	98	15
122	30	140	30	180	30
137	45	172	45	254	45
145	60	189	60	312	60
148	75	198	75	352	75
151	90	201	90	380	90
153	105	209	105	406	105
153	120	214	120	427	120
153	135	216	135	445	135F
	150	217	150	458	150
	165	217	165	470	165
	180	217	180	478	180
	195		195	486	195
	210		210	494	210
	225		225	497	225
	240		240	501	240
	255		255	503	255
	270		270	504	270
	285		285	505	285
	300		300		300
	315		315		315
	330		330		330
	345		345		345
	360		360		360
	375		375		375
	390		390		390
	405		405		405
	420		420		420
	435		435		435
	450		450		450
WH+R		WH+R		WH+R	
WR		WR		WR	
WS+R		WS+R		WS+R	
PESO UNITARIO		PESO UNITARIO		PESO UNITARIO	
W= 81.6 gr.		W= 82.1 gr.		W= 81.8 gr.	

A Hoos
fund 6.6 cm.

6.6 cm

6.4 cm

9 Anexo. Ensayo Triaxial (Muestra M)

Muestra M

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL.

Auello.
K: 0.1452

MUESTRA		MUESTRA		MUESTRA	
Presión de Cámara 7 lbs		Presión de Cámara 14 lbs		Presión de Cámara 28 lbs	
CARGA	DEFORNACION	CARGA	DEFORNACION	CARGA	DEFORNACION
DIAL LC-2 0.0005mm	DIAL LC-8 0.001"	DIAL LC-2 0.0005mm	DIAL LC-8 0.001"	DIAL LC-2 0.0005mm	DIAL LC-8 0.001"
5	15	11	15	24	15
5.5	30	21	30	56	30
6	45	27	45	78	45
6.5	60	29	60	99	60
7	75	30	75	120	75
7.5	90	28	90	143	90
8	105		105	162	105
8.5	120		120	174	120
9	135		135	195	135
9	150		150	202	150
9	165		165	202	165
	180		180		180
	195		195		195
	210		210		210
	225		225		225
	240		240		240
	255		255		255
	270		270		270
	285		285		285
	300		300		300
	315		315		315
	330		330		330
	345		345		345
	360		360		360
	375		375		375
	390		390		390
	405		405		405
	420		420		420
	435		435		435
	450		450		450
WH+R		WH+R		WH+R	
WR		WR		WR	
WS+R		WS+R		WS+R	
PESO UNITARIO		PESO UNITARIO		PESO UNITARIO	
W= 131.7 gr.		W= 132.4 gr		W= 132.2 gr.	

131.7 6.6 6.8

66

10 Anexo. Ensayo Triaxial (Muestra A)

Muestra A

3,6 cm
7,2 cm

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

Avillo
K: 9,1452

MUESTRA 7 lb		MUESTRA 14 Lb		MUESTRA 28 lb	
Presión de Cámara 7 lb		Presión de Cámara 14 lb		Presión de Cámara 28 lb	
CARGA	DEFORNACION	CARGA	DEFORNACION	CARGA	DEFORNACION
DIAL LC-2 0.002mm	DIAL LC-8 0.001"	DIAL LC-2 0.002mm	DIAL LC-8 0.001"	DIAL LC-2 0.002mm	DIAL LC-8 0.001"
24	15	60	15	89	15
30	30	85	30	149	30
34	45	89	45	199	45
38	60	89	60	202	60
24	75	87	75	268	75
	90		90	289	90
	105		105	300	105
	120		120	318	120
	135		135	321	135
	150		150	327	150
	165		165	331	165
	180		180	336	180
	195		195	340	195
	210		210	342	210
	225		225	344	225
	240		240	344	240
	255		255		255
	270		270		270
	285		285		285
	300		300		300
	315		315		315
	330		330		330
	345		345		345
	360		360		360
	375		375		375
	390		390		390
	405		405		405
	420		420		420
	435		435		435
	450		450		450
WH+R		WH+R		WH+R	
WR		WR		WR	
WS+R		WS+R		WS+R	
PESO UNITARIO		PESO UNITARIO		PESO UNITARIO	
W= 124,3 gr.		W= 125,2 gr.		W= 125,4 gr.	

Actual 6.8
ficial. cm

6.7
cm

6.5
cm

11 Anexo. Toma de muestra A



12 Anexo. Toma de muestra M



13 Anexo. Toma de muestra B



14 Anexo. Sellado de muestras



15 Anexo. Granulometría



16 Anexo. Tamiz #200



17 Anexo. Limite líquido y limite plástico



18 Anexo. Gravedad específica



19 Anexo. Análisis visual de muestras



20 Anexo. Porcentaje de humedad





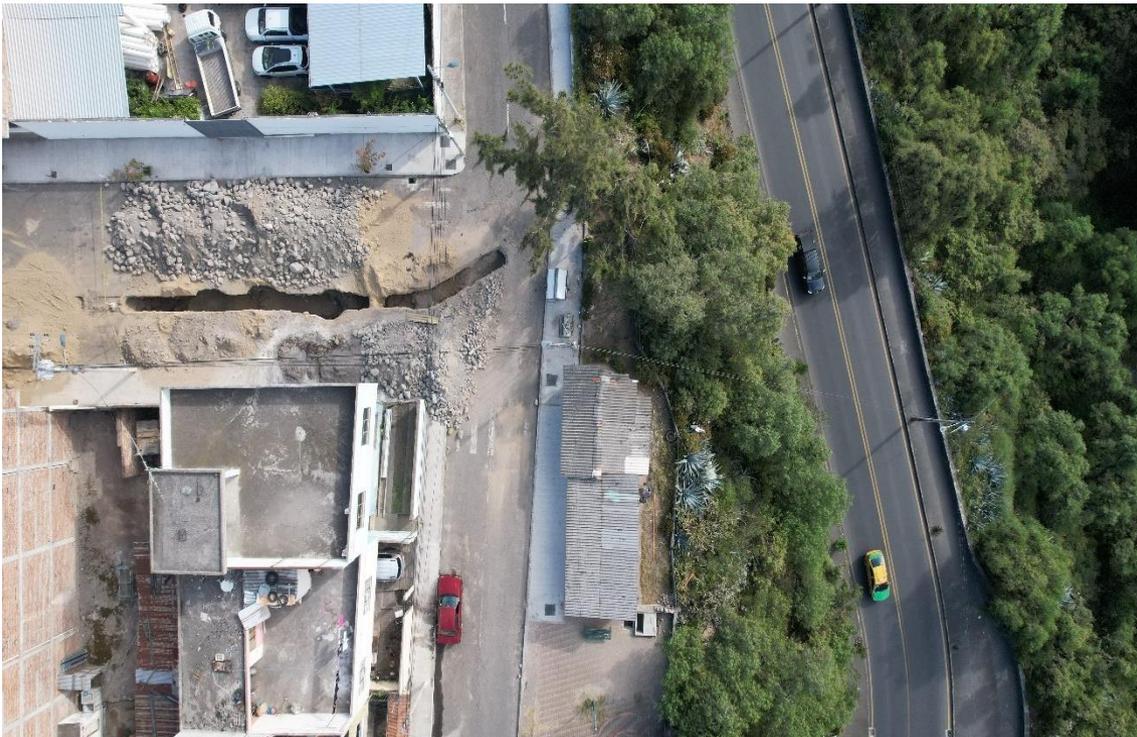
22 Anexo. Identificación visual de inestabilidad en las muestras



23 Anexo. Sistema antiguo de alcantarillado



24 Anexo. Causa de la inestabilidad



25 Anexo. Área a futuro a mejorar

