

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE HÁBITAT, INFRAESTRUCTURA Y
CREATIVIDAD

MAESTRIA EN GEOTECNIA APLICADA

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGISTER EN GEOTECNIA APLICADA

*ESTUDIO DE ESTABILIDAD DEL TALUD EN EL CAMPUS LA
DOLOROSA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
(UNACH), CANTÓN RIOBAMBA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO*

RENATO NICOLÁS GUAMÁN VELOZ

DIRECTOR: DR JAVIER TORRIJO

QUITO DM, 2025

Contenido

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN.....	6
1.1.1. ANTECEDENTES	6
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.3. JUSTIFICACIÓN	7
1.4. OBJETIVOS	8
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	8
1.5. ALCANCE	9
CAPITULO II REVISION DE LITERATURA	9
2.1. TALUD	9
2.1.1. TALUD NATURAL	10
2.1.2. TALUD ARTIFICIAL	10
2.2. MOVIMIENTOS EN MASA Y TIPOS DE FALLA	10
2.2.1 FALLA ROTACIONAL	10
2.2.2. FALLA TRASLACIONAL.....	11
2.2.3. FALLA POR FLUJOS	11
2.2.4. EROSIÓN REGRESIVA	11
2.3. FACTORES QUE AFECTAN A LA ESTABILIDAD DE TALUDES .	11
2.3.1. GEOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA.....	12
2.3.2. HIDROLOGIA E INFILTRACIÓN	13
2.3.3. CARGAS EXTERNAS	14
2.3.4. CONDICIONES GEOMETRICAS	14
2.3.5. SISMICIDAD	15
2.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	15
2.4.1. METODOS ANALÍTICOS SIMPLES	16
2.4.2. METODOS DE EQUILIBRIO LIMITE	17
2.4.3. METODOS NUMERICOS	19
2.5. MEDIDAS PARA ESTABILIZAR TALUDES	20
2.5.1. MODIFICACIÓN GEOMÉTRICA.....	20
2.5.2. DRENAJE SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO	21
2.5.3. REFUERZO ESTRUCTURAL	21
2.5.4. TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS.....	22

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	23
3.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	23
3.1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	23
3.1.2. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y CLIMÁTICAS	24
3.1.3. USO ACTUAL DEL SUELO Y ENTORNO DEL CAMPUS	26
3.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PREVIA	27
3.2.1. REVISIÓN CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA	28
3.2.2. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS Y GEOTECNICOS.....	29
3.3. CAMPAÑA DE CAMPO	30
3.3.1. RECONOCIMIENTO GEOLOGICO – GEOTECNICO	30
3.3.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO DEL TALUD	32
3.3.3. ENSAYOS IN SITU	33
3.4. ENSAYOS DE LABORATORIO	36
3.4.1. GRANULOMETRÍA Y CLASIFICACIÓN SUCS.....	36
3.4.2. LIMITES DE ATTERBERG.....	37
3.4.3. HUMEDAD NATURAL.....	38
3.4.4. ENSAYO TRAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO (UU)	38
3.4.5. PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS (Gs)	39
3.4.6. SINTESIS GEOTECNICA DEL TALUD	40
3.5. MODELO GEOTECNICO	41
3.5.1. PERFIL ESTRATIGRAFICO	42
3.5.2. PARAMETROS DE RESISTENCIA	43
3.6. ANALISIS DE ESTABILIDAD	44
3.6.1. CONDICIONES ESTATICAS	45
3.6.2 SOFTWARE EMPLEADO	49
3.7. CONCLUSION DE METODOLOGIA	51
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUCUSIÓN	51
4.1. RESULTADOS DEL ANALISIS ESTATICO.....	51
4.2. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	52
4.3. SINTESIS DE ANÁLISIS	52
CAPÍTULO V: PROPUESTAS DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN Y MITIGACIÓN.....	53

5.1. MEDIDAS DE CORTO PLAZO (PREVENTIVAS Y DE MANTENIMIENTO)	54
5.2. MEDIDAS DE MEDIANO PLAZO (PROTECCIÓN INTEGRAL)	55
5.3. MEDIDAS DE LARGO PLAZO (GESTIÓN INTEGRAL Y SOSTENIBILIDAD).....	56
5.4. CRITERIOS DE FACTIBILIDAD.....	57
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
6.1. CONCLUSIONES.....	57
6.2. RECOMENDACIONES	59

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1.1. ANTECEDENTES

La estabilidad de taludes constituye un aspecto esencial dentro de la ingeniería geotécnica, ya que su inadecuada evaluación puede derivar en deslizamientos y pérdidas materiales o humanas. Estos fenómenos, conocidos también como movimientos en masa, responden a una interacción compleja entre las características del terreno, la acción del agua, la sismicidad y las modificaciones antrópicas.

En Ecuador, la presencia de suelos de origen volcánico, pendientes pronunciadas y regímenes de lluvia intensa genera condiciones de vulnerabilidad para taludes naturales y artificiales. Estudios como el de Escobar y Flores (2017), en la ciudad de Macas, y el de Hidalgo (2022), en la vía Chunchi–Zhud, han demostrado que la combinación de parámetros geotécnicos desfavorables y la ausencia de medidas de control puede desencadenar fallas parciales o totales, afectando tanto a infraestructura como a la población circundante.

En el campus La Dolorosa de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), ubicado en el cantón Riobamba, se han identificado indicios de inestabilidad en determinados sectores de ladera, tales como erosión superficial, desprendimiento de material y la presencia de grietas menores en superficie. Estas evidencias resultan preocupantes si se considera que el campus concentra una alta población estudiantil, docente y administrativa que diariamente hace uso de su infraestructura. La seguridad de esta comunidad universitaria, junto con la preservación de las edificaciones y servicios básicos, incrementa la relevancia de realizar un estudio integral que abarque la caracterización geotécnica del terreno, el análisis de estabilidad de taludes y la definición de medidas de mitigación. De esta manera, no solo se busca garantizar la

continuidad de las actividades académicas, sino también prevenir riesgos asociados a la actividad sísmica de la región y a los períodos de precipitación intensa, que actúan como factores desencadenantes de procesos de inestabilidad.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El talud objeto de estudio forma parte del entorno natural de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) campus La Dolorosa y presenta un perfil geométrico irregular, compuesto por varios materiales de diferentes resistencias. Durante la época lluviosa, la infiltración y saturación parcial del terreno pueden reducir la resistencia al corte, aumentando el riesgo de deslizamientos.

La ausencia de un diagnóstico técnico actualizado impide conocer el factor de seguridad real del talud y dificulta la toma de decisiones preventivas. La eventual ocurrencia de un colapso podría comprometer áreas de circulación peatonal, infraestructura universitaria y redes de servicios básicos.

En este contexto surge la necesidad de determinar las condiciones actuales de estabilidad del talud, estimar su factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas, e identificar las medidas más viables para garantizar su estabilidad a largo plazo.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El presente estudio busca aportar un diagnóstico geotécnico puntual que permita reducir la incertidumbre sobre el comportamiento del talud de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) campus La Dolorosa. Su relevancia radica en:

- **Seguridad estructural y operativa:** la preservación de la integridad de las edificaciones y zonas de circulación del campus.
- **Prevención de riesgos:** mitigación de posibles eventos de remoción en masa, que pueden generar pérdidas económicas y daños humanos.
- **Aporte técnico:** aplicación de métodos de equilibrio límite y modelación numérica, siguiendo criterios normativos y referencias internacionales.
- **Optimización de recursos:** identificación de soluciones efectivas que permitan intervenir de forma focalizada y sostenible.

Además, la investigación fortalecerá el registro de casos locales de estabilidad de taludes, contribuyendo técnicamente a la investigación geotécnica de la región y sirviendo como referencia para futuros proyectos de infraestructura.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la estabilidad del talud ubicado en el campus La Dolorosa de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH).

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Levantar la información topográfica y geotécnica del área de estudio.
- Determinar los parámetros geotécnicos del suelo mediante ensayos in situ y de laboratorio.
- Modelar el talud utilizando métodos de equilibrio límite y criterios pseudoestáticos para sismo.
- Calcular el factor de seguridad bajo diferentes condiciones de carga y saturación.

- Proponer medidas de estabilización adaptadas a las condiciones del terreno y uso del área.

1.5. ALCANCE

El presente estudio se ajusta al análisis de estabilidad del talud ubicado en el campus La Dolorosa de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), abarcando la caracterización topográfica y geotécnica mediante levantamientos in situ y ensayos de laboratorio orientados a la obtención de parámetros de resistencia al corte, los cuales serán empleados en modelaciones computacionales utilizando métodos de equilibrio límite en condiciones estáticas y pseudoestáticas conforme a la zonificación sísmica establecida. El trabajo comprende la estimación del factor de seguridad del talud, la evaluación de su comportamiento ante diferentes escenarios de carga y la formulación de propuestas conceptuales de estabilización y drenaje adaptadas a las condiciones geotécnicas identificadas. No se contempla en este estudio la ejecución de obras ni el diseño estructural detallado de elementos de contención, y las conclusiones se basan en las condiciones de humedad y carga presentes al momento de la campaña de campo, las cuales podrían variar con el tiempo y modificar la respuesta mecánica del talud.

CAPITULO II REVISION DE LITERATURA

2.1. TALUD

En ingeniería geotécnica, se define talud como la superficie inclinada que limita un volumen de suelo o roca respecto a un plano horizontal de referencia. La estabilidad de un talud depende del equilibrio entre las fuerzas resistentes y las fuerzas actuantes principalmente el peso propio, cargas externas y presiones de agua.

En función de la inclinación, se habla de taludes suaves (pendiente $< 20^\circ$), moderados ($20^\circ\text{--}45^\circ$) y pronunciados ($> 45^\circ$). Esta clasificación influye directamente en la evaluación del riesgo y en la selección de las medidas de estabilización necesarias (Oña, 2024; Hidalgo, 2022).

2.1.1. TALUD NATURAL

Son aquellos que se han formado por procesos geológicos y geomorfológicos como erosión fluvial, glaciaciones, actividad volcánica o movimientos tectónicos.

2.1.2. TALUD ARTIFICIAL

Son aquellos que son generados por actividades humanas, como cortes en carreteras, excavaciones para cimentaciones, rellenos o escombreras mineras.

2.2. MOVIMIENTOS EN MASA Y TIPOS DE FALLA

Los movimientos de masa constituyen uno de los fenómenos más relevantes en la geotecnia aplicada, ya que implican el desplazamiento de materiales por efecto de la gravedad. Se originan cuando las fuerzas actuantes superan la resistencia al corte del material.

2.2.1 FALLA ROTACIONAL

Caracterizada por una superficie de rotura curva, suele presentarse en suelos cohesivos o en depósitos homogéneos. El material se desplaza en bloques que rotan hacia adelante

y hacia abajo. Este tipo de falla es común en suelos arcillosos saturados, donde las condiciones de drenaje lento favorecen el colapso progresivo.

2.2.2. FALLA TRASLACIONAL

En este caso, la superficie de falla es plana o ligeramente ondulada y el movimiento se produce de forma casi paralela a dicha superficie. Es típica en taludes estratificados o con planos de debilidad bien definidos, como capas de arcilla intercaladas con arena.

2.2.3. FALLA POR FLUJOS

Las fallas por flujos se producen cuando el material pierde completamente su estructura y se comporta como un fluido viscoso. Pueden ser de detritos, lodos o lava volcánica alterada.

2.2.4. EROSIÓN REGRESIVA

Ocurre cuando la base del talud sufre pérdida de material debido a escorrentía, filtraciones o acción de ríos, generando el retroceso progresivo de la coronación. Este fenómeno es frecuente en zonas de alta pluviosidad sin sistemas de drenaje adecuados.

2.3. FACTORES QUE AFECTAN A LA ESTABILIDAD DE TALUDES

La estabilidad de un talud está determinada por el balance entre las fuerzas resistentes principalmente cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ) y las fuerzas actuantes, compuestas por el peso propio, las cargas externas y las presiones de agua. Cuando las

fuerzas actuantes superan las resistentes, se produce la falla. Este balance se expresa comúnmente mediante el factor de seguridad (FS), definido como:

$$FS = \frac{RESISTENCIA\ DISPONIBLE}{ESFUERZOS\ ACTUANTES}$$

Ecuación. 01

Un valor de $FS > 1$ indica que las fuerzas resistentes superan a las actuantes, pero en diseño geotécnico se exigen márgenes superiores.

A continuación, se describen los principales factores que influyen en la estabilidad del talud.

2.3.1. GEOLOGIA Y ESTRATIGRAFIA

La disposición de las capas de suelo y roca, su espesor y su orientación respecto a la superficie del talud condicionan fuertemente la estabilidad. Materiales con planos de estratificación o fracturamientos inclinados hacia la ladera generan superficies potenciales de falla traslacional.

En la zona andina ecuatoriana, gran parte de los taludes están conformados por depósitos piroclásticos, cenizas volcánicas y suelos residuales derivados de rocas andesíticas o basálticas. Estos materiales, aunque livianos, presentan alta porosidad y permeabilidad, lo que incrementa su susceptibilidad a cambios de humedad (Escobar & Flores, 2017).

2.3.2. HIDROLOGIA E INFLITRACIÓN

La infiltración de agua de lluvia o de fuentes artificiales (fugas de tuberías, riego no controlado) es uno de los factores más críticos para la estabilidad de un talud. El aumento de la presión intersticial reduce el esfuerzo efectivo (σ'), que es la parte del esfuerzo total que realmente contribuye a la resistencia al corte del suelo. Según el principio de Terzaghi (1943):

$$\sigma' = \sigma - u \quad \text{Ecuación. 02}$$

Donde:

σ' : Esfuerzo Efectivo

σ : Esfuerzo Total

u : Presión de Poro

Cuando la presión de poro (u) aumenta debido a saturación, la resistencia al corte (τ_f) dada por la ecuación de Mohr–Coulomb:

$$\tau_f = c + \sigma' * \tan \phi \quad \text{Ecuación. 03}$$

Donde:

c : Cohesión del suelo

ϕ : Angulo de fricción interna del suelo

La resistencia al corte disminuye considerablemente, favoreciendo la falla. En zonas como Riobamba, donde la precipitación anual supera los 800 mm y se concentra en periodos lluviosos, la infiltración rápida en suelos de origen volcánico puede provocar deslizamientos superficiales casi inmediatos tras lluvias intensas.

2.3.3. CARGAS EXTERNAS

Cargas adicionales sobre la coronación, como edificaciones, acumulación de materiales o tránsito de maquinaria pesada, incrementan las tensiones cortantes en la base del talud. Si el diseño original no consideró dichas cargas, el factor de seguridad puede reducirse drásticamente.

En proyectos viales y más en terrenos montañosos, es habitual que la sobrecarga provenga de terraplenes adyacentes o muros de contención insuficientemente anclados (Hidalgo, 2022). Para el caso de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) campus La Dolorosa, se deberá evaluar la influencia de edificaciones cercanas y redes de servicios que atraviesan la parte alta del talud.

2.3.4. CONDICIONES GEOMETRICAS

La geometría del talud específicamente la altura (H) y el ángulo de inclinación (β) influye directamente en el equilibrio. Taludes altos y pronunciados concentran mayores esfuerzos cortantes en su base. La relación H /base es un indicador simple para estimar su susceptibilidad: cuanto mayor sea este valor, mayor será la probabilidad de inestabilidad si no existen refuerzos adecuados.

Los estudios previos en la zona muestran que taludes con pendientes superiores a 60° en suelos poco cementados requieren medidas de estabilización activa para garantizar la seguridad (Oña, 2024).

2.3.5. SISMICIDAD

El Ecuador se encuentra en una zona tectónicamente activa donde las aceleraciones sísmicas horizontales pueden alcanzar valores considerables, especialmente en el Callejón Interandino. El análisis pseudoestático, recomendado por la normativa NEC, incorpora la aceleración horizontal equivalente en el cálculo de estabilidad, la cual introduce una fuerza adicional que tiende a desestabilizar el talud.

El factor de seguridad en condiciones sísmicas suele reducirse un 10–30 % respecto al valor en estática, dependiendo de la magnitud del sismo y las características del material (Kramer, 1996).

2.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

El análisis de estabilidad de taludes busca determinar el factor de seguridad (FS), que representa la relación entre la resistencia disponible del material y las solicitaciones actuantes sobre la posible superficie de falla.

En ingeniería geotécnica, los métodos para calcular el FS se dividen en tres grandes grupos: métodos analíticos simples, métodos avanzados de equilibrio límite y métodos numéricos. Cada uno presenta ventajas y limitaciones, y su selección depende de la geometría del talud, el tipo de material, las condiciones de carga y la disponibilidad de datos.

2.4.1. METODOS ANALÍTICOS SIMPLES

2.4.1.1. METODO DE FELLENIUS

Este método, desarrollado por Fellenius en 1927, es uno de los más utilizados para estimar el FS en superficies de falla circulares. Considera el equilibrio de momentos respecto al centro de la superficie de rotura y divide el talud en dovelas verticales para el análisis.

La ecuación básica es:

$$FS = \frac{\Sigma(c*l+W*Cos(\alpha)*Tan(\phi)}{\Sigma W*Sin(\alpha)} \quad \text{Ecuación. 04}$$

Donde:

c: Cohesión del suelo

ϕ : Ángulo de fricción interna del suelo

l: Longitud de la base de la dovela

W: Peso de la dovela

α : Ángulo entre la base de la dovela y la horizontal

Su principal ventaja es su simplicidad y rapidez de aplicación, lo que lo convierte en una herramienta útil para cálculos preliminares. Sin embargo, al no considerar las fuerzas de interacción entre dovelas ni el efecto detallado de las presiones de poros, presenta limitaciones en casos de geometría irregular, condiciones de saturación o cargas externas significativas, por lo que su uso se restringe a análisis iniciales y de carácter exploratorio.

2.4.2. METODOS DE EQUILIBRIO LIMITE

Estos métodos representan un avance significativo respecto a los enfoques simples ya que incluyen en el análisis las interacciones entre dovelas y en muchos casos permiten la evaluación simultánea del equilibrio de fuerzas y momentos.

2.4.2.1. METODO DE BISHOP SIMPLIFICADO

El método de Bishop, propuesto en 1955 es ampliamente reconocido por su buen equilibrio entre precisión y simplicidad computacional. Aunque mantiene la restricción a superficies circulares, introduce en el cálculo las fuerzas normales entre dovelas, lo que mejora la estimación del FS especialmente en presencia de niveles freáticos.

La principal ventaja de este método es su buena precisión para problemas con geometría relativamente simple y presencia de agua, aunque su limitación radica en que no es aplicable a superficies no circulares y requiere iteraciones para converger al resultado final.

2.4.2.2. METODO DE JAMBU

El método de Jambu, formulado en 1954 es versátil y se adapta a superficies de falla no circulares por lo que resulta apropiado en taludes con estratigrafía heterogénea o presencia de planos de debilidad inclinados. Su fundamento es el equilibrio de fuerzas horizontales y para obtener el FS global se requiere un factor de corrección. Aunque su capacidad para modelar geometrías complejas es una ventaja relevante, la precisión puede ser menor que la de métodos como Spencer o Morgenstern–Price especialmente cuando las condiciones del talud implican interacciones complejas entre dovelas.

2.4.2.3. METODO DE SPENCER

En 1967 Spencer propuso un método que satisface simultáneamente el equilibrio de fuerzas y momentos para cada dovela lo que lo convierte en una de las opciones más precisas dentro del marco del equilibrio límite. Su formulación no impone restricciones a la forma de la superficie de falla por lo que puede analizar configuraciones geométricas y condiciones de carga muy diversas. La principal ventaja de este método es su alta confiabilidad que lo ha llevado a ser un estándar en la validación de otros modelos sin embargo su aplicación manual es poco práctica debido a la complejidad de las iteraciones necesarias por lo que generalmente se implementa en software especializado.

2.4.2.4. METODO DE MORGENSTERN-PRICE

El método desarrollado por Morgenstern y Price en 1965 es uno de los más completos y flexibles, ya que permite definir la función de distribución de fuerzas tangenciales entre dovelas y admite cualquier forma de superficie de falla. Esta flexibilidad lo hace especialmente útil en contextos donde la superficie potencial de rotura no es evidente o en taludes con heterogeneidad litológica. Su principal fortaleza radica en que cumple rigurosamente el equilibrio de fuerzas y momentos al tiempo que permite modelar efectos de presiones de poros, cargas externas y condiciones sísmicas. No obstante, su complejidad matemática lo hace dependiente de herramientas computacionales para su resolución.

2.4.3. METODOS NUMERICOS

Los métodos numéricos entre ellos los de elementos finitos (FEM) y diferencias finitas (FDM), representan una alternativa más sofisticada ya que no requieren asumir una forma predeterminada de la superficie de falla. En su lugar modelan el macizo como un conjunto de elementos discretos y simulan el incremento progresivo de cargas hasta alcanzar la condición de falla.

2.4.3.1. ELEMENTOS FINITOS (FEM)

Este enfoque presente en software como PLAXIS 2D/3D y RS2 permite representar de forma precisa el comportamiento no lineal del suelo, considerar secuencias constructivas y analizar el efecto del drenaje. Su gran precisión y capacidad para modelar interacciones complejas son ventajas notables, aunque la necesidad de datos geotécnicos detallados y el mayor tiempo de modelación constituyen sus principales limitaciones.

2.4.3.2. DIFERENCIAS FINITAS (FDM)

En métodos como FLAC3D, las ecuaciones de equilibrio se resuelven mediante aproximaciones en diferencias finitas. Este enfoque es especialmente útil para estudios dinámicos y problemas con geometrías tridimensionales complejas. Su flexibilidad y capacidad para simular grandes deformaciones son aspectos positivos pero la sensibilidad de los resultados depende de la calidad de la malla y a la precisión de los parámetros de entrada obliga a un manejo cuidadoso y experto del modelo.

2.5. MEDIDAS PARA ESTABILIZAR TALUDES

La estabilización de taludes constituye el conjunto de técnicas y procedimientos orientados a mejorar las condiciones de seguridad de una ladera y a mitigar los riesgos de falla asociados a factores intrínsecos del terreno o a condiciones externas de carga e infiltración. La selección de una medida adecuada depende de la geometría del talud, la naturaleza de los materiales, la presencia de agua, el nivel de riesgo aceptable y la viabilidad económica de la solución. En la práctica las medidas se agrupan en estrategias de modificación geométrica, control del agua y refuerzo estructural, que pueden aplicarse de manera individual o combinada, según la magnitud del problema (Hidalgo, 2022; Oña, 2024).

2.5.1. MODIFICACIÓN GEOMÉTRICA

Una de las estrategias más antiguas y efectivas consiste en modificar la geometría del talud con el objetivo de reducir las solicitaciones cortantes internas. Técnicas como el reperfilado, la reducción de pendiente y el terraceo buscan redistribuir las cargas y generar superficies más estables. El reperfilado se aplica especialmente en taludes de excavación en suelos blandos, donde una ligera disminución del ángulo de inclinación incrementa significativamente el factor de seguridad. El terraceo por su parte consiste en subdividir el talud en bancos escalonados lo que facilita el drenaje superficial y disminuye la altura libre de cada tramo reduciendo el empuje activo.

Aunque estas soluciones son relativamente económicas y de fácil ejecución, requieren disponer de espacio suficiente y en muchos casos generan un mayor volumen de excavación que debe ser gestionado adecuadamente.

2.5.2. DRENAJE SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO

El agua es uno de los factores más críticos en la inestabilidad de taludes ya que incrementa la presión intersticial y reduce la resistencia efectiva del suelo. Por ello el control hidráulico constituye una medida de estabilización prioritaria.

El drenaje superficial incluye la construcción de cunetas, canales perimetrales, revestimientos en coronación y sistemas de recolección de escorrentía que impiden la infiltración directa en la ladera. Estas soluciones además de económicas son esenciales en zonas de alta pluviosidad como Riobamba donde los taludes volcánicos responden rápidamente a los cambios de humedad.

El drenaje subterráneo en cambio busca reducir directamente la presión de poros mediante la instalación de drenes horizontales, pozos de alivio o sistemas de bombeo. Esta técnica es especialmente recomendable en suelos cohesivos saturados donde el agua atrapada en el interior genera condiciones críticas de inestabilidad. Su principal limitación radica en el costo de ejecución y mantenimiento además de la necesidad de un diseño cuidadoso para evitar la obstrucción de los drenes con finos.

2.5.3. REFUERZO ESTRUCTURAL

Cuando las condiciones geométricas y geotécnicas del terreno superan las capacidades de las medidas pasivas es necesario recurrir a soluciones estructurales que aporten resistencia adicional al macizo. Entre estas destacan:

- Muros de contención: estructuras de gravedad en voladizo o de suelo reforzado que contrarrestan los empujes activos. Son soluciones robustas aunque de alto costo y con requerimientos de cimentación.

- Soil Nailing o suelo claveteado: técnica que consiste en introducir barras de acero en el terreno acompañadas de un revestimiento superficial de concreto lanzado. Este sistema incrementa la resistencia interna y limita deformaciones resultando adecuado en taludes de suelos finos o residuales.
- Anclajes activos: similares al Soil Nailing, pero con elementos pretensados que transmiten esfuerzos de manera directa al macizo. Se utilizan en obras de gran altura o cuando los factores de seguridad son críticos.
- Revestimientos y mallas: aplicados principalmente en taludes rocosos o de materiales sueltos donde el riesgo proviene de desprendimientos superficiales más que de fallas profundas.

El refuerzo estructural proporciona altos niveles de seguridad aunque implica inversiones significativas y un mayor impacto constructivo lo que obliga a evaluar su pertinencia en función del nivel de riesgo y la disponibilidad de recursos.

2.5.4. TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS

Además de las medidas principales existen soluciones complementarias orientadas a la protección y el mantenimiento de los taludes. Entre ellas destacan la revegetación con especies nativas que contribuye a la estabilidad superficial y mejora la infiltración controlada y el uso de geomantas o geotextiles para proteger la superficie de la erosión hídrica. Aunque estas técnicas no suelen ser suficientes por sí solas para estabilizar un talud con riesgo estructural son un complemento valioso dentro de un sistema integral de mitigación.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El área de estudio corresponde al campus La Dolorosa de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH) situado en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. El talud se localiza en las coordenadas UTM 762471.463 E y 9813993.227 N en el sistema de referencia WGS 84 zona 17 Sur. La superficie de la ladera se encuentra comprendida entre las cotas 2782 y 2776 m.s.n.m.

La ubicación específica del talud se reconoce en una disposición diagonal respecto al bloque F del campus siguiendo una trayectoria lineal paralela al cerramiento perimetral colindante con la calle Guayaquil. Esta condición lo sitúa en la zona posterior de las instalaciones próximo al ingreso vehicular por la puerta trasera donde se encuentra un parqueadero destinado a docentes y personal universitario. Esta accesibilidad facilita el desarrollo de campañas de campo permitiendo el traslado de equipos topográficos, geotécnicos y de muestreo sin mayores restricciones logísticas.

En cuanto a sus referencias inmediatas el talud sirve de soporte al cerramiento antiguo del campus el cual es una estructura de hormigón y mampostería de ladrillo que actualmente presenta signos evidentes de deterioro, socavación y erosión del terreno. Dichas condiciones generan un entorno de interés prioritario para la caracterización geotécnica y el análisis de estabilidad, considerando que el área cumple funciones de resguardo y seguridad del predio universitario además de encontrarse próxima a áreas académicas de uso intensivo.



Imagen1: Cerramiento, talud y calicata (Imagen: Ing. Renato Guamán)



Imagen 2: Mapa de localización Talud UNACH campus La Dolorosa (Imagen: Ing. Renato Guamán)

3.1.2. CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS Y CLIMÁTICAS

El talud objeto de estudio forma parte de la morfología característica del valle interandino de Riobamba un entorno dominado por relieves de laderas moderadas a abruptas, originadas por procesos volcánicos y fluviales a lo largo del tiempo geológico. La zona se emplaza sobre depósitos piroclásticos y suelos residuales derivados de rocas

andesíticas y basálticas, los cuales presentan una elevada porosidad y heterogeneidad en sus estratos. Estas condiciones geotécnicas comunes en los suelos volcánicos del Callejón Interandino los hacen altamente sensibles a los cambios de humedad con comportamientos que pueden variar desde estados cohesivos relativamente estables hasta condiciones de colapso o pérdida de resistencia cuando se saturan.

Desde un punto de vista geomorfológico, el talud corresponde a una ladera de pendiente moderada a fuerte cuya superficie muestra evidencias de erosión superficial y socavación localizadas principalmente asociadas a la escorrentía pluvial no controlada. La presencia del cerramiento antiguo construido sobre su corona representa un factor de carga adicional que influye en el estado tensional de la ladera. La erosión observada en la base y los procesos de meteorización avanzada confirman que se trata de un sector con estabilidad condicionada por factores hidrológicos y antrópicos.

En lo climático el campus La Dolorosa se sitúa en la zona de clima frío andino, con una temperatura media anual cercana a 12 °C y una precipitación promedio de 800–1 000 mm anuales concentrada principalmente en los meses de marzo a mayo y octubre a noviembre (INAMHI, 2022). Este régimen pluviométrico favorece la ocurrencia de procesos de infiltración rápida en los materiales piroclásticos lo que a su vez incrementa las presiones de poro y disminuye la resistencia efectiva del suelo. Además, la alternancia entre periodos lluviosos e intervalos secos acelera los procesos de agrietamiento y erosión superficial, factores que deben ser considerados en el análisis de estabilidad del talud.

En síntesis, la combinación de una geología de origen volcánico, una pendiente pronunciada y un clima caracterizado por lluvias concentradas convierte al talud en un entorno geotécnicamente susceptible.

3.1.3. USO ACTUAL DEL SUELO Y ENTORNO DEL CAMPUS

El área donde se emplaza el talud presenta un uso del suelo predominantemente institucional, destinado a la infraestructura académica y administrativa de la Universidad Nacional de Chimborazo. El sector inmediato corresponde a la zona posterior del campus La Dolorosa, en la cual se ubican edificaciones de uso docente, áreas verdes y espacios de circulación interna. La presencia del bloque F, localizado de manera diagonal respecto al talud, y el cerramiento perimetral antiguo colindante con la calle Guayaquil, constituyen las principales referencias físicas y funcionales del entorno.

El espacio adyacente al pie del talud mantiene una cobertura vegetal discontinua y sin control técnico, conformada por especies herbáceas y arbustivas que, aunque ofrecen cierta protección contra la erosión superficial, no garantizan la estabilidad de la ladera frente a eventos de saturación intensa. En la corona del talud, la construcción de un cerramiento de hormigón y mampostería de ladrillo ha modificado las condiciones de carga y drenaje natural, generando puntos de socavación y erosión regresiva que afectan directamente su estabilidad.

Desde el punto de vista funcional, el entorno del talud cumple un rol estratégico dentro de la dinámica universitaria, ya que se encuentra próximo a accesos vehiculares secundarios, estacionamientos para docentes y áreas de tránsito peatonal. Esta condición implica un nivel de exposición moderado a alto frente a potenciales procesos de inestabilidad, considerando que un eventual deslizamiento podría comprometer tanto la seguridad de las personas como la infraestructura existente.

En términos de planificación, el uso actual del suelo en el campus La Dolorosa no contempla medidas de control o mitigación específicas en el talud, lo cual refuerza la pertinencia de realizar un estudio geotécnico detallado que permita identificar las condiciones actuales y plantear medidas de estabilización adecuadas para garantizar la funcionalidad y seguridad de este espacio académico.

3.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN PREVIA

La recopilación de información previa constituye un paso esencial para contextualizar el área de estudio, identificar sus características generales y disponer de una base de comparación frente a los resultados obtenidos en campo y laboratorio. En el caso del campus La Dolorosa de la UNACH este proceso se sustentó en la revisión de información cartográfica y satelital de acceso público complementada con antecedentes geológicos y geotécnicos de investigaciones previas desarrolladas en la provincia de Chimborazo.

3.2.1. REVISIÓN CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

Debido a que el área de estudio corresponde a un predio cerrado de la Universidad Nacional de Chimborazo no se cuenta con cartografía oficial de detalle publicada por el GAD Municipal de Riobamba ni levantamientos previos disponibles para uso público. Como línea base se recurrió a imágenes satelitales y modelos de terreno proporcionados por Google Earth Pro que permiten identificar la ubicación exacta del talud y su relación con las edificaciones cercanas y la topografía general del sector.



Imagen 3: Vista Satelital del campus y talud con Google Earth (Imagen: Ing. Renato Guamán)

Si bien este tipo de información presenta limitaciones en cuanto a precisión métrica su uso resulta pertinente en la fase inicial de caracterización, especialmente para la delimitación del área de influencia, la identificación de pendientes aproximadas y la planificación de la campaña de campo. Posteriormente, estos datos fueron contrastados

con el levantamiento topográfico in situ realizado durante la investigación, que constituye la fuente principal para el modelado geotécnico.

3.2.2. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS Y GEOTECNICOS

El cantón Riobamba se encuentra emplazado en un entorno de origen predominantemente volcánico, caracterizado por depósitos piroclásticos, tobas, coladas andesíticas y depósitos fluvio–lacustres que en conjunto configuran un subsuelo heterogéneo y de elevada porosidad (Hall & Mothes, 2008). Estas condiciones geológicas explican la presencia de suelos residuales con comportamiento variable frente a la saturación donde la resistencia al corte depende en gran medida del contenido de humedad y del grado de meteorización de los materiales.

Diversos estudios académicos desarrollados en la provincia de Chimborazo han reportado que los suelos derivados de cenizas volcánicas tienden a presentar una composición arenosa–limosa con baja densidad relativa y alta susceptibilidad a procesos de erosión y pérdida de resistencia bajo cargas adicionales. Estos antecedentes si bien provienen de zonas con diferentes contextos geomorfológicos, aportan información relevante como referencia para el análisis del campus La Dolorosa de la UNACH donde los materiales muestran características similares.

Es importante señalar que los valores de parámetros geotécnicos disponibles en estas investigaciones solo se consideran como referencias comparativas dado que las propiedades del suelo pueden variar significativamente en distancias cortas debido a la heterogeneidad volcánica. Por esta razón la validez del análisis se apoya principalmente en la campaña de campo y los ensayos de laboratorio propios los cuales permiten

establecer parámetros representativos y ajustados a las condiciones específicas del talud en estudio.

3.3. CAMPAÑA DE CAMPO

La campaña de campo permite obtener información directa y representativa de las condiciones del talud objeto de estudio. Este trabajo se desarrolló en el campus La Dolorosa de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH), combinando técnicas de reconocimiento visual, levantamientos topográficos y ensayos in situ. La integración de estas actividades garantiza la caracterización del talud y la definición de parámetros básicos para el análisis de estabilidad.

3.3.1. RECONOCIMIENTO GEOLOGICO – GEOTECNICO

El reconocimiento geológico–geotécnico del talud del campus La Dolorosa se realizó mediante inspección visual directa y apertura de calicatas, con el objetivo de identificar las condiciones morfológicas, estratigráficas y los principales indicadores de estabilidad. A partir de las mediciones topográficas levantadas en sitio, se determinó que la ladera presenta una altura aproximada de 4,5 metros y una inclinación media de 22°.

Durante la excavación de calicatas y el recorrido de observación se identificaron dos estratos diferenciados: el primero corresponde a un relleno de aproximadamente 1,5 metros de espesor, compuesto por material heterogéneo sin control técnico. A partir de esta profundidad se reconoció un segundo estrato conformado por arenas con gravas, lo que evidencia una transición hacia un suelo natural con mayor capacidad de soporte, aunque susceptible a filtraciones de agua debido a su carácter granular. Esta condición

estratigráfica adquiere relevancia en el análisis, puesto que la presencia de un estrato de relleno puede comportarse como una superficie de debilidad frente a sollicitaciones externas o incrementos de humedad.

En cuanto a los signos de inestabilidad, el recorrido evidenció pequeños desprendimientos de material en la parte alta del talud, asociados a la pérdida de confinamiento del relleno, así como socavación localizada tanto en la corona como en la base de la ladera. Estos procesos, aunque de baja magnitud, constituyen un indicio de evolución hacia fallas superficiales si no se implementan medidas de control.

La cobertura vegetal es escasa y poco efectiva para la protección de la superficie, limitada a una capa discontinua de césped y la presencia de algunos arbustos y árboles pequeños en mal estado fitosanitario. En ciertos sectores se observaron raíces expuestas, lo cual refleja erosión del suelo circundante y reducción de la estabilidad superficial.

En el aspecto hidrológico, se constató que el talud carece de sistemas de drenaje superficial o subterráneo, por lo que el agua de lluvia se infiltra directamente en la ladera. En la zona superior se detectó un nivel alto de filtración, lo que constituye un factor crítico para la estabilidad, ya que favorece la acumulación de humedad en el estrato de relleno y la reducción de la resistencia efectiva del suelo granular subyacente.

En síntesis, el reconocimiento geológico–geotécnico permitió establecer que el talud presenta una morfología moderada, con estratos de relleno y arenas–gravas, procesos incipientes de erosión y desprendimientos localizados, además de una clara influencia de la infiltración pluvial como factor de deterioro progresivo. Estos resultados orientan la necesidad de un análisis más detallado mediante ensayos in situ y de laboratorio, así como la evaluación de alternativas de estabilización que prioricen el control hídrico y el reforzamiento superficial.



Imagen 4: Reconocimiento Geotécnico y toma de calicatas (Imagen: Ing. Renato Guamán)

3.3.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO DEL TALUD

El levantamiento topográfico constituye una etapa fundamental para obtener la geometría precisa del talud y elaborar los modelos que servirán de base para el análisis geotécnico. En el caso del campus La Dolorosa, se llevó a cabo un registro detallado de cotas y coordenadas mediante un levantamiento topográfico.

La información se obtuvo a partir de una combinación de topografía instrumental y apoyo en herramientas digitales. Para el registro de puntos de control y secciones transversales se utilizó equipo topográfico convencional (GNSS diferencial), lo que permitió lograr precisiones milimétricas en coordenadas UTM bajo el sistema WGS 84, zona 17S. Adicionalmente, se emplearon imágenes satelitales y perfiles de Google Earth Pro como referencia preliminar, útiles para contrastar la morfología del terreno y verificar el emplazamiento general del talud dentro del campus.

El levantamiento permitió definir que la ladera presenta una altura media de 4,5 m y un ángulo de inclinación aproximado de 22°, valores que concuerdan con lo observado en el reconocimiento geotécnico. A partir de los datos obtenidos, se elaboraron curvas de nivel y perfiles transversales representativos.

En conclusión, el levantamiento topográfico constituye la base geométrica del estudio, garantizando que los análisis posteriores se desarrollen con una representación fiel de la realidad del talud y su entorno.

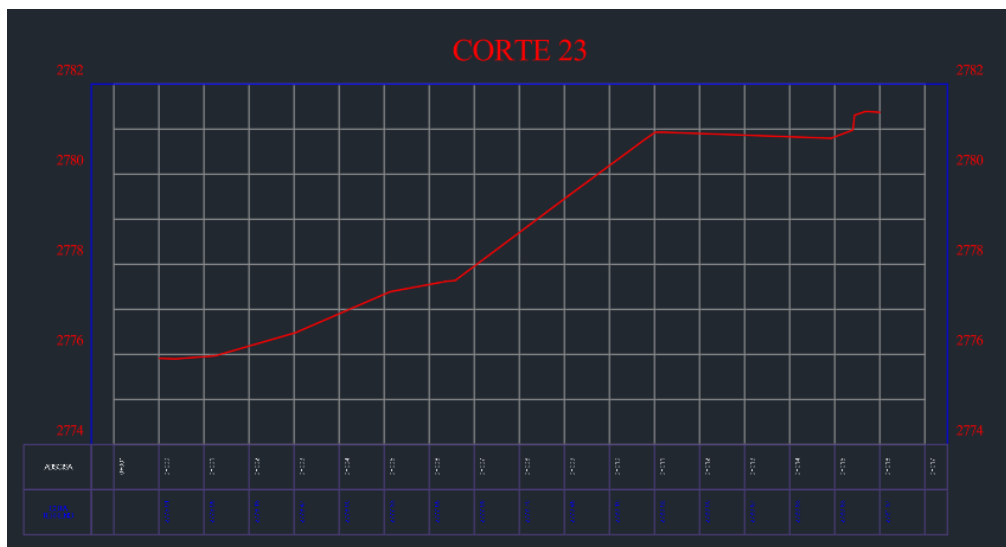


Imagen 5: Perfil del talud en CIVIL 3D (Imagen: Ing. Renato Guamán)

3.3.3. ENSAYOS IN SITU

Con el objetivo de caracterizar las condiciones del subsuelo en el sector del talud del campus La Dolorosa, se realizaron ensayos in situ que permiten obtener parámetros geotécnicos representativos y contrastar las observaciones hechas durante el reconocimiento visual. Los ensayos aplicados fueron ensayo de penetración estándar (SPT), sísmica de refracción y apertura de calicatas de exploración.

3.3.3.1. CALICATAS DE EXPLORACION

Se excavaron calicatas con profundidades entre 1.5 a 2,0 m, con el propósito de observar directamente la estratigrafía del talud y verificar la presencia o ausencia de nivel freático. Las descripciones estratigráficas confirmaron la existencia de un relleno superficial heterogéneo de aproximadamente 1,5 m, seguido por un estrato granular conformado por arenas con gravas.

Durante la inspección no se detectó la presencia de un nivel freático, aunque se observaron zonas con humedad localizada en la parte superior, probablemente vinculadas a procesos de infiltración superficial. Estos hallazgos coinciden con la naturaleza permeable de los materiales identificados y resaltan la importancia del agua como factor de riesgo en escenarios de lluvia intensa.

3.3.3.2. SISMICA DE REFRACCION

La sismica de refracción es un método geofísico ampliamente utilizado en la ingeniería geotécnica, pues permite obtener el perfil de velocidades de propagación de ondas sísmicas en el subsuelo y, a partir de ello, inferir propiedades dinámicas y litológicas de los estratos. En el caso del talud estudiado, se ejecutó una línea de refracción en dirección transversal, cubriendo la sección más representativa de la ladera.

El análisis de tiempos de arribo de las ondas P permitió identificar un primer estrato de baja velocidad, correspondiente al relleno superficial descrito en las calicatas, cuya naturaleza suelta y heterogénea justifica la respuesta dinámica menos rígida. A partir de los 1,5 m de profundidad, se registró un incremento significativo de la velocidad, lo que indica el paso a un material granular más competente (arenas con gravas), coincidente con la información obtenida en campo.

Este ensayo resultó especialmente útil para corroborar la continuidad lateral de los estratos y confirmar la ausencia de horizontes blandos profundos que pudieran constituir superficies potenciales de falla.



Imagen 6: Ensayo de Sísmica de refracción (Imagen: Ing. Renato Guamán)

3.3.3.3. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT)

El ensayo de penetración estándar es una de las técnicas de exploración geotécnica más empleadas a nivel mundial, ya que proporciona un índice cuantitativo de resistencia relativa del suelo a partir del número de golpes necesarios para hincar un muestreador estándar. En el talud del campus La Dolorosa, los valores obtenidos fueron bajos en el estrato superficial de relleno. En contraste, los valores aumentaron en el estrato subyacente de arenas y gravas, lo que corresponde a un material de compacidad media a densa, con resistencia significativamente mayor. Estos resultados ratifican lo observado en calicatas y lo inferido en la sísmica de refracción, consolidando la

interpretación de un perfil compuesto por un relleno superficial débil sobre un estrato granular más competente.

3.4. ENSAYOS DE LABORATORIO

La caracterización del material del talud se complementó con ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras obtenidas en las calicatas. El objetivo de estos ensayos fue establecer los parámetros físicos y mecánicos que definen el comportamiento del suelo frente a sollicitaciones estáticas y dinámicas. Los procedimientos se ejecutaron conforme a normativa vigentes, garantizando la validez de los resultados para fines de diseño y análisis geotécnico.

3.4.1. GRANULOMETRÍA Y CLASIFICACIÓN SUCS

El análisis granulométrico se realizó mediante tamizado en seco y análisis por hidrómetro según ASTM D6913, determinando la distribución de tamaños de partícula. Los resultados obtenidos en las tres calicatas mostraron suelos clasificados como arena con grava y presencia de finos en baja proporción, los cuales representan materiales de alta permeabilidad y baja plasticidad. De acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), corresponden a la clase SM (arena limosa).

La curva granulométrica evidenció un porcentaje de material que pasa el tamiz N°200 inferior al 25 %, lo que confirma la escasa presencia de fracción fina. Esta condición es coherente con la infiltración observada en campo, dado que los suelos

granulares permiten el paso rápido del agua, incrementando la susceptibilidad a procesos erosivos.

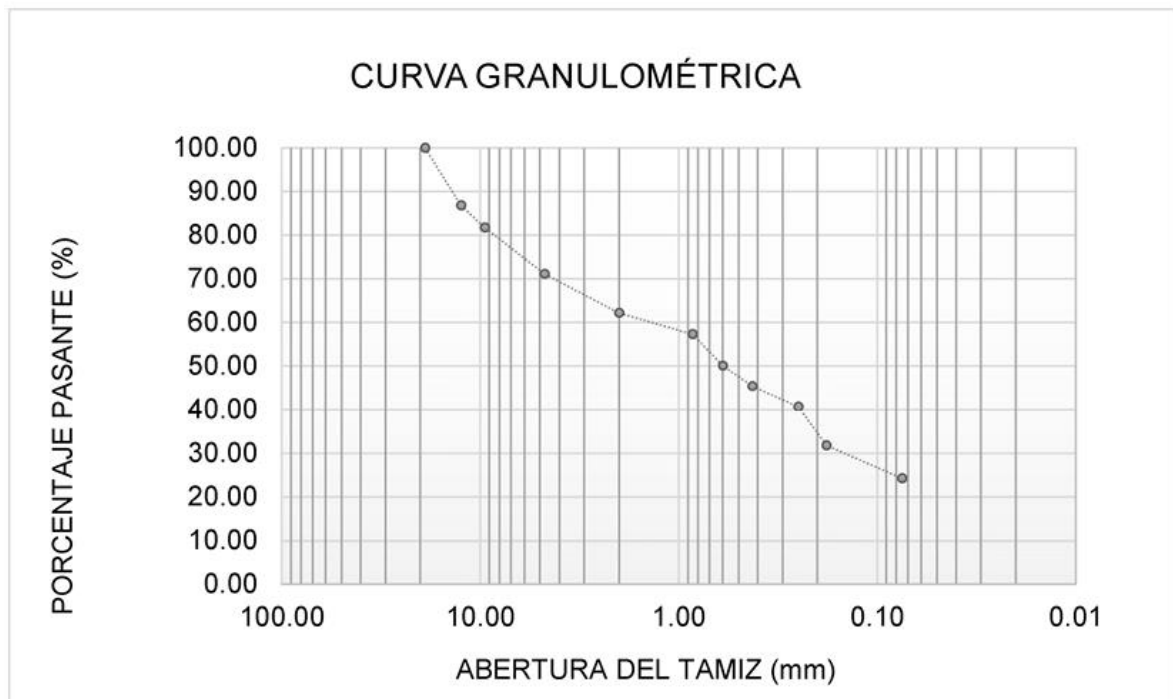


Imagen 7: Curva Granulométrica de la muestra #1 (Imagen: Informe de Mecánica de Suelos)

3.4.2. LIMITES DE ATTERBERG

Los ensayos de consistencia (ASTM D4318) reportaron valores de límite líquido y límite plástico no plásticos, lo que significa que el suelo carece de cohesión significativa y no desarrolla plasticidad bajo variaciones de humedad. Este resultado ratifica que los materiales presentes corresponden a un suelo predominantemente granular, en el cual la resistencia depende de la fricción interna y del estado de compactación más que de propiedades cohesivas.



Imagen 8: Límite Líquido de la muestra #1 (Imagen: Informe de Mecánica de Suelos)

3.4.3. HUMEDAD NATURAL

El contenido de humedad natural (w) de las muestras osciló entre 2,2 % y 4 %, valores bajos que reflejan el carácter granular y permeable del suelo. Esto contrasta con la observación de zonas puntuales con humedad en campo, que responden más a infiltraciones superficiales que a la presencia de un nivel freático permanente.

5. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL						
NORMA: ASTM D2216						
PRUEBA N°	CÁPSULA No.	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO CÁPSULA (g)	% HUMEDAD	PROMEDIO
1	F3	52.85	52.21	24.65	2.32	2.20
2	B4	49.79	49.28	24.65	2.07	

Imagen 9: Humedad Natural de la muestra #1 (Imagen: Informe de Mecánica de Suelos)

3.4.4. ENSAYO TRAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO

(UU)

Con el fin de evaluar la resistencia al corte de los suelos, se realizaron ensayos triaxiales UU (ASTM D2850) sobre muestras alteradas. Los resultados indicaron

valores de cohesión despreciables ($c \approx 0$ kPa) y un ángulo de fricción interna promedio de 41° – 44° , parámetros característicos de suelos granulares con comportamiento friccional dominante.

Estos valores, obtenidos en condiciones no drenadas, confirman que la resistencia del talud depende principalmente de la fricción interna y de la condición de saturación, siendo la infiltración pluvial el factor más crítico que puede reducir el factor de seguridad.

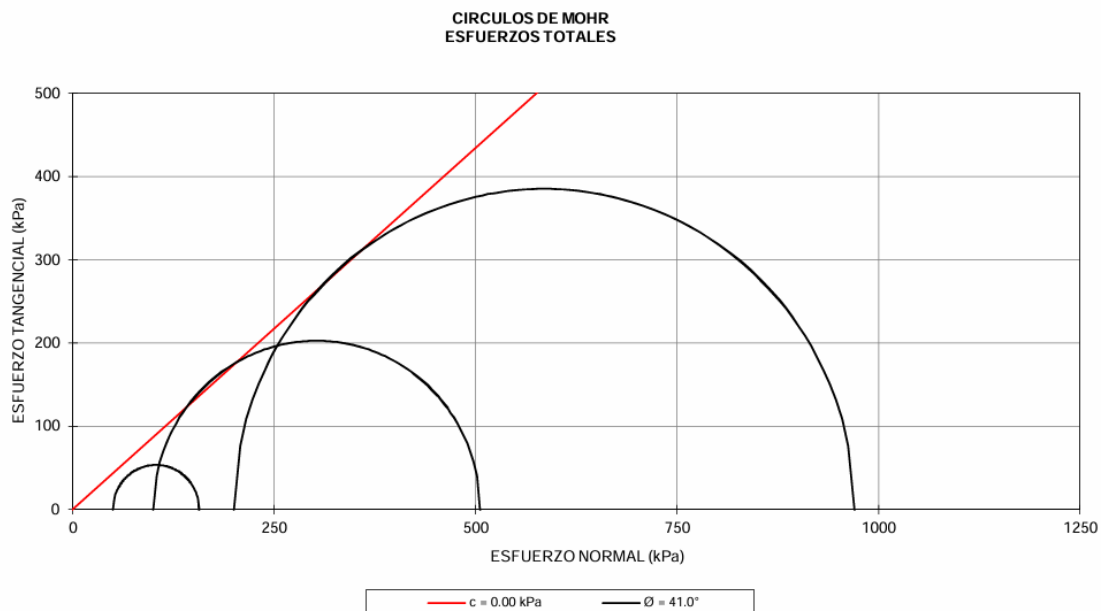


Imagen 10: Circulos de Mohr Triaxial UU de la muestra #1 (Imagen: Informe de Mecánica de Suelos)

3.4.5. PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS (Gs)

El peso específico de los sólidos (G_s) constituye uno de los parámetros fundamentales en la caracterización física de los suelos, ya que permite establecer la relación entre la masa de las partículas minerales y el volumen que estas ocupan en condiciones secas. Su determinación es esencial para el cálculo de índices de vacíos, grado de saturación y densidad relativa, parámetros que intervienen directamente en la

evaluación de la estabilidad de taludes y en la estimación de la respuesta mecánica del terreno.

En el presente estudio, el ensayo se realizó mediante el método del picnómetro siguiendo la norma ASTM D854. Los resultados obtenidos arrojaron un valor promedio de $G_s = 2,66 \text{ g/cm}^3$, lo que corresponde al rango típico de suelos de origen volcánico, particularmente aquellos constituidos por arenas y gravas con bajo contenido de minerales arcillosos. Este valor respalda lo observado en los análisis granulométricos y en la clasificación SUCS.

Desde el punto de vista geotécnico, un G_s en torno a 2,65 indica que los suelos del talud presentan un comportamiento coherente con materiales granulares de alta fricción interna, condición favorable para resistir esfuerzos cortantes bajo estados no saturados.

3.4.6. SINTESIS GEOTECNICA DEL TALUD

La caracterización de laboratorio realizada sobre las muestras obtenidas en calicatas y sondeos del talud del campus La Dolorosa permitió establecer de manera integral las propiedades físicas y mecánicas de los suelos que lo conforman. Los resultados de granulometría evidenciaron que se trata de un material predominantemente granular (arenas con gravas) con baja proporción de finos, lo que se traduce en alta permeabilidad y escasa plasticidad. Esta condición fue confirmada mediante los ensayos de Atterberg, que reportaron suelos no plásticos, descartando la presencia de fracciones arcillosas con cohesión significativa.

El análisis del contenido de humedad natural, con valores entre 2,2 % y 4 %, reflejó la condición de suelos secos al momento de la exploración, aunque con evidencia

de zonas húmedas superficiales asociadas a la infiltración pluvial. El peso específico de los sólidos (G_s), con un valor promedio de $2,66 \text{ g/cm}^3$, se encuentra en el rango típico de suelos de origen volcánico, lo que respalda la clasificación obtenida y permite calcular índices volumétricos representativos para el análisis de estabilidad.

Finalmente, el ensayo triaxial UU confirmó el carácter friccional de los suelos, obteniéndose una cohesión prácticamente nula ($c \approx 0 \text{ kPa}$) y un ángulo de fricción interna elevado ($41^\circ\text{--}44^\circ$), condición que otorga buena capacidad de resistencia en estado seco, pero que puede verse comprometida de manera significativa bajo saturación.

En conjunto, los resultados de laboratorio permiten concluir que el talud está conformado por suelos arenosos y gravosos, no plásticos, con baja humedad natural y alta fricción interna, lo cual favorece su comportamiento en condiciones secas, pero lo hace vulnerable a la infiltración de agua de lluvia, que se convierte en el principal factor de riesgo para su estabilidad.

3.5. MODELO GEOTECNICO

El modelo geotécnico constituye la síntesis de la información recopilada en campo, en laboratorio y mediante métodos geofísicos, y tiene como objetivo representar de manera conceptual y numérica las condiciones del subsuelo que controlan la estabilidad del talud. En este estudio, el modelo se elaboró a partir de la integración de datos provenientes de calicatas, ensayos triaxiales (UU), sísmica de refracción y análisis de laboratorio, con el fin de definir la estratigrafía, los parámetros de resistencia y las condiciones hidráulicas más representativas del sitio.

3.5.1. PERFIL ESTRATIGRAFICO

El análisis estratigráfico del talud del campus La Dolorosa permitió identificar dos unidades principales:

Estrato I: Relleno antrópico. Con un espesor aproximado de 1 - 1,5 m, compuesto por materiales heterogéneos con presencia de residuos de construcción, sin control de compactación. Se caracteriza por su baja densidad relativa y elevada permeabilidad, condiciones que favorecen la infiltración pluvial y explican los pequeños desprendimientos observados en la parte superior del talud.

Estrato II: Arenas con presencia de gravas. Subyacente al relleno, conformado por materiales granulares de compacidad media a densa, con valores de N60 entre 22 y 27 en los ensayos SPT. Este estrato corresponde al suelo natural, más competente y con mayor resistencia al corte, aunque igualmente susceptible a saturación rápida debido a su alta permeabilidad.

En las calicatas no se identificó un nivel freático permanente, aunque sí se registraron zonas con humedad localizada, vinculadas a procesos de infiltración en la corona del talud.

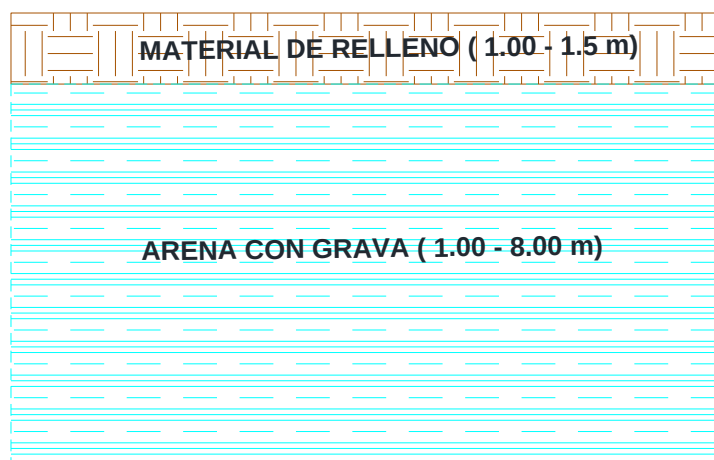


Imagen 11: Perfil Estratigráfico del Terreno (Imagen: Ing. Renato Guamán)

3.5.2. PARAMETROS DE RESISTENCIA

Los parámetros de resistencia adoptados para el análisis de estabilidad se determinaron a partir de los ensayos de laboratorio efectuados sobre las muestras recolectadas en las calicatas abiertas en el sector del talud. La caracterización física inicial incluyó granulometría, límites de Atterberg, humedad natural y gravedad específica de los sólidos, mientras que la resistencia al corte se evaluó mediante ensayos triaxiales no consolidados–no drenados (UU).

Los resultados de granulometría confirmaron que el suelo corresponde a arenas con presencia de grava, con bajo porcentaje de finos y un comportamiento no plástico (NP) según los límites de Atterberg. El contenido de humedad natural fue bajo, con valores entre 2,2 % y 4 %, lo que coincide con la ausencia de un nivel freático permanente en las calicatas y con la naturaleza altamente permeable de los materiales. El peso específico de los sólidos (G_s) se determinó en un valor promedio de 2,66 g/cm³, característico de suelos volcánicos con predominancia de partículas granulares.

El ensayo triaxial UU proporcionó los parámetros de resistencia al corte, obteniéndose una cohesión despreciable ($c \approx 0$ kPa) y un ángulo de fricción interna comprendido entre 41° y 44°. Este resultado confirma que el comportamiento mecánico del suelo es eminentemente friccional, es decir, la resistencia depende de la interacción entre partículas y de la condición de humedad, más que de aportes cohesivos.

En conclusión, el material que compone el talud del campus La Dolorosa puede describirse como un suelo granular no cohesivo, de elevada fricción interna, baja humedad natural y alta permeabilidad. Estos parámetros constituyen la base para el modelado geotécnico y permiten reproducir de manera realista la condición de estabilidad actual de la ladera.

Parámetro	Calicata T1	Calicata T2	Calicata T3
Clasificación SUCS	SM – Arena limosa con grava	SM – Arena limosa con grava	SM – Arena con grava con pocos finos
Plasticidad (LL, LP, IP)	No plástico	No plástico	No plástico
Humedad natural (w)	2,20 %	3,41 %	3,88 %
Peso específico de sólidos (Gs)	2,673 g/cm ³	2,663 g/cm ³	2,673 g/cm ³
Cohesión (c)	0,00 kPa	0,00 kPa	0,00 kPa
Ángulo de fricción (φ)	41,3°	43,99°	40,98°
Densidad húmeda (γ _m)	15,55 kN/m ³	15,17 kN/m ³	17,30 kN/m ³
Densidad seca (γ _d)	15,21 kN/m ³	14,65 kN/m ³	16,66 kN/m ³

Tabla 1: Resultado de Parámetros Geotécnicos de la Muestras (Tabla: Ing. Renato Guamán)

3.6. ANALISIS DE ESTABILIDAD

El análisis de estabilidad del talud ubicado en el campus La Dolorosa de la Universidad Nacional de Chimborazo se efectuó mediante el software GeoStudio – SLOPE/W, desarrollado por Bentley Systems, el cual permite estimar el factor de seguridad (FS) a partir de los métodos clásicos de equilibrio límite. La finalidad de este análisis fue evaluar la condición actual de estabilidad del talud bajo dos escenarios principales:

- Condición estática, considerando únicamente el peso propio del suelo.
- Condición pseudoestática, incorporando los efectos de la acción sísmica de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

El enfoque metodológico se estructuró en cinco etapas fundamentales:

- Definición de la geometría del talud: A partir del levantamiento topográfico detallado y del modelo estratigráfico elaborado en el numeral 3.5, se ingresó la geometría real de la ladera. El talud presenta una altura aproximada de 4,5 m y un ángulo medio de 22°, condiciones que fueron representadas mediante coordenadas reales obtenidas en campo.
- Asignación de propiedades geotécnicas: Se definió un único tipo de suelo correspondiente a arenas con gravas de origen volcánico, según los resultados de laboratorio.

- Selección del método de análisis: Se aplicaron los métodos de equilibrio límite Morgenstern–Price, Bishop simplificado y Janbu, a fin de comparar la sensibilidad del modelo frente a las diferentes formulaciones. Estos métodos, basados en la discretización del talud en rebanadas verticales, permiten estimar el FS global considerando las fuerzas de peso, fricción y cohesión que actúan en el terreno.
- Simulación computacional: La modelación se realizó en el entorno de SLOPE/W, donde se definió la superficie de búsqueda circular automática y se estableció una red de puntos potenciales de falla. Se consideraron condiciones de borde no drenadas y un nivel de saturación superficial parcial, acorde con las observaciones de campo.
- Interpretación de resultados: Los valores de FS obtenidos fueron comparados con los rangos establecidos por la NEC y criterios internacionales determinando el nivel de estabilidad actual del talud.

3.6.1. CONDICIONES ESTATICAS

El análisis en condición estática se desarrolló en el software GeoStudio – SLOPE/W (Bentley Systems), utilizando los métodos de equilibrio límite Bishop Simplificado, Janbu y Morgenstern–Price, con el propósito de determinar el factor de seguridad (FS) del talud bajo la acción exclusiva de la gravedad.

La geometría del modelo fue elaborada a partir del levantamiento topográfico y del perfil estratigráfico, representando una ladera con una altura de 4,5 m y una inclinación promedio de 22°. La modelación incluyó un único material representativo del terreno: arena con grava de origen volcánico, cuyas propiedades se muestran a continuación:

Peso unitario (γ) = 15,55 kN/m³

Cohesión (c) = 0 kPa

Ángulo de fricción interna (ϕ) = 41.3°

El modelo fue discretizado mediante una malla de rebanadas verticales, con búsqueda automática de superficies potenciales de falla. Se analizó el comportamiento del talud considerando condiciones de saturación parcial en la parte superior y sin presencia de nivel freático.

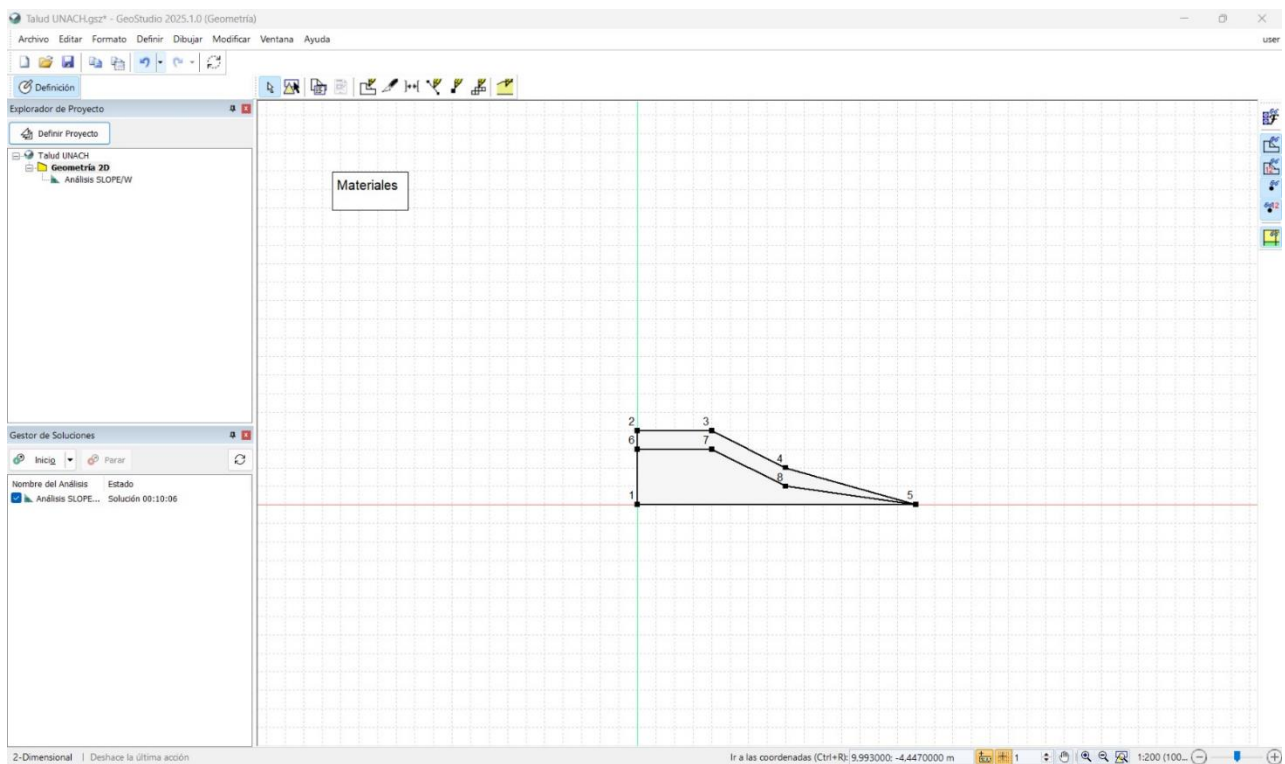


Imagen 12: Geometría del Talud Modelado en GEOSTUDIO (Imagen: Ing. Renato Guamán)

Los resultados obtenidos para los distintos métodos se resumen en la siguiente tabla:

Método de análisis	Factor de seguridad crítico (FS)
Bishop Simplificado	2,856
Janbu Simplificado	2,811
Morgenstern–Price	2,856

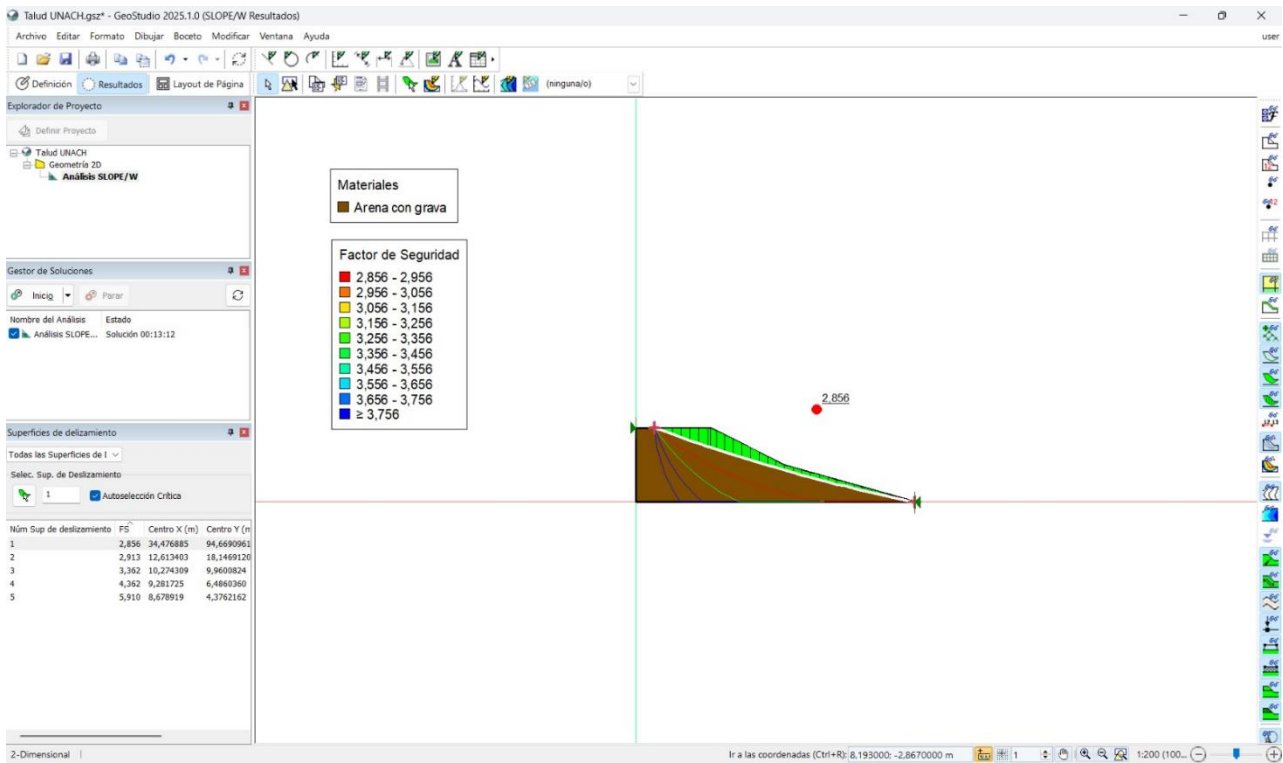


Imagen 13: Resultado del método de Bishop Simplificado ($FS = 2,856$) (Imagen: Ing. Renato Guamán)

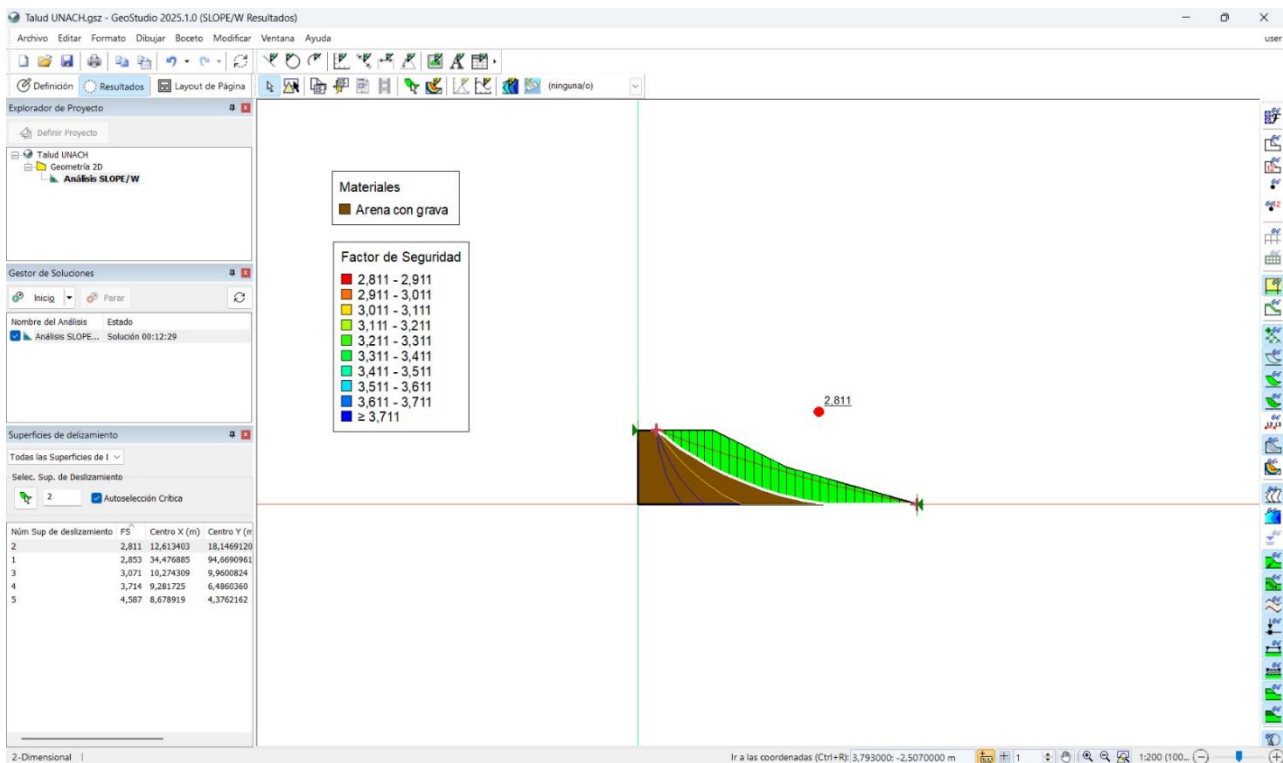


Imagen 14: Resultado del método de Janbu ($FS = 2,811$) (Imagen: Ing. Renato Guamán)

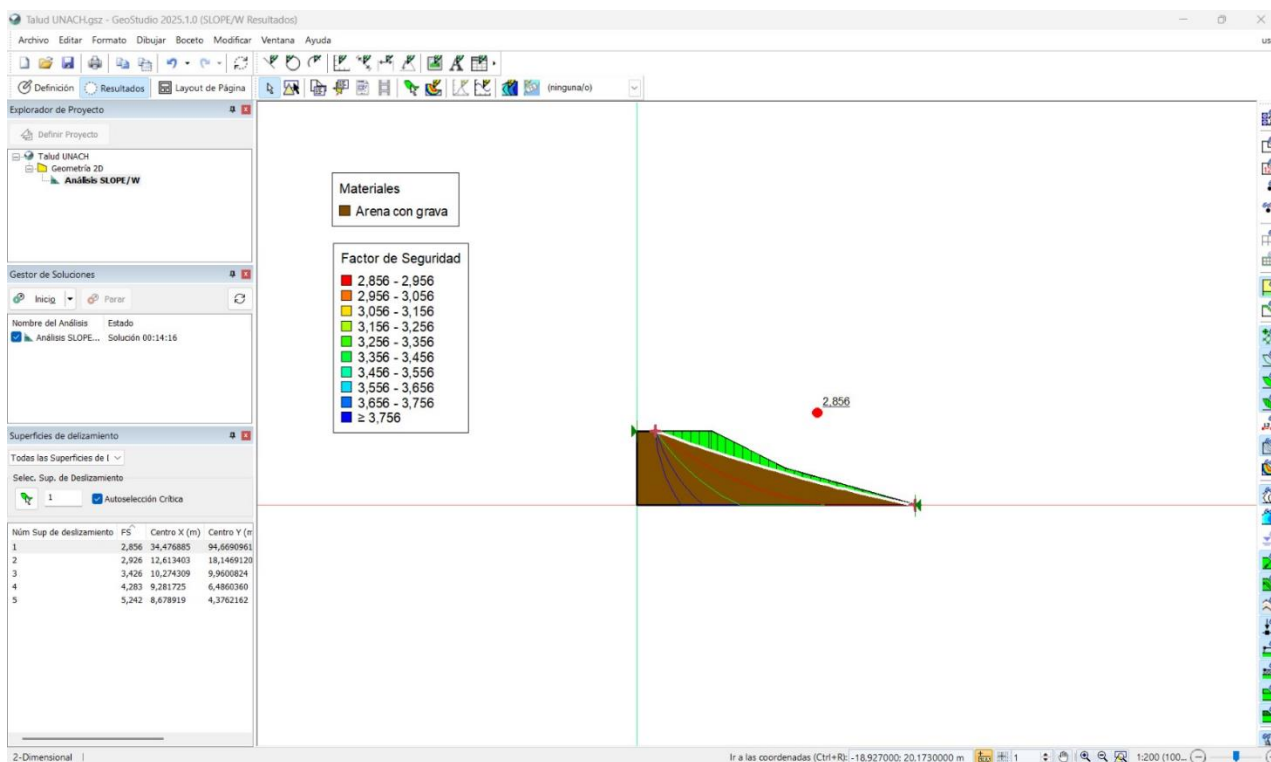


Imagen 15: Resultado del método de Morgenstern–Price ($FS = 2,856$) (Imagen: Ing. Renato Guamán)

Los factores de seguridad obtenidos se sitúan en el rango de $FS = 2,81\text{--}2,85$, valores que superan ampliamente el umbral mínimo de 1,50 establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-GC, 2015) y criterios internacionales. Este resultado indica que el talud presenta una condición de estabilidad alta bajo condiciones estáticas.

La superficie crítica de falla identificada es circular superficial, localizada en el estrato superior del talud. No se observan indicios de desplazamientos profundos ni superficies de falla extendidas hacia la base, lo cual es coherente con la composición granular densa del suelo.

A nivel general, el análisis evidencia que el talud del campus La Dolorosa se encuentra estable en su condición actual, siendo el material resistente y el bajo contenido de humedad factores determinantes en la estabilidad. Sin embargo, se

recomienda verificar el comportamiento bajo condiciones sísmicas y de saturación, debido a la alta permeabilidad del suelo y la ausencia de un sistema de drenaje superficial eficiente.

3.6.2 SOFTWARE EMPLEADO

Para el desarrollo del análisis de estabilidad del talud se empleó el software GeoStudio – SLOPE/W, desarrollado por la empresa Bentley Systems, herramienta ampliamente utilizada en ingeniería geotécnica a nivel internacional para la evaluación de estabilidad de taludes mediante los métodos de equilibrio límite (LEM, Limit Equilibrium Methods).

3.6.2.1. FUNDAMENTO DEL PROGRAMA

El software SLOPE/W permite calcular el factor de seguridad (FS) de un talud, definiéndolo como la relación entre las fuerzas o momentos resistentes y las fuerzas o momentos actuantes que tienden a producir el deslizamiento. Para ello, el programa discretiza el talud en una serie de rebanadas verticales, sobre las cuales aplica las ecuaciones de equilibrio de fuerzas y momentos.

Dependiendo del método seleccionado, el programa puede considerar superficies de falla circulares, no circulares o poligonales, y analizar condiciones estáticas, pseudoestáticas o con presión de poros. Además, permite incorporar efectos de agua, cargas externas, estructuras de soporte y variaciones en las propiedades del suelo.

3.6.2.2. METODOS DE CALCULO IMPLEMENTADOS

Entre los métodos disponibles en SLOPE/W se encuentran los siguientes:

- Bishop Simplificado (1955): analiza el equilibrio de momentos para superficies circulares, asumiendo fuerzas interrebanadas horizontales.
- Janbu Simplificado (1954): considera el equilibrio de fuerzas, siendo aplicable a superficies no circulares.
- Morgenstern–Price (1965): resuelve simultáneamente el equilibrio de fuerzas y momentos, permitiendo definir una función de distribución de las fuerzas interrebanadas.
- Spencer (1967): considera equilibrio completo con una relación constante de fuerzas interrebanadas.

Estos métodos están validados por la literatura geotécnica y son reconocidos por normativas internacionales como la FHWA (2019), AASHTO (2020) y la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-GC, 2015). En este caso se implemento los 3 primeros métodos.

3.6.2.3. JUSTIFICACION DE SU EMPLEO

El software fue seleccionado por su versatilidad, validación académica y compatibilidad con los estándares internacionales de geotecnia. Además, su aplicación es coherente con el nivel de detalle requerido en un estudio de estabilidad de taludes para fines de investigación académica y de ingeniería aplicada.

De esta manera, GeoStudio – SLOPE/W garantiza una evaluación integral de la estabilidad del talud bajo condiciones controladas, permitiendo representar de forma precisa los escenarios estáticos y pseudoestáticos que se analizan en los capítulos siguientes.

3.7. CONCLUSION DE METODOLOGIA

El desarrollo metodológico permitió integrar la información obtenida en campo, laboratorio y modelación numérica, garantizando una representación fiel del comportamiento geotécnico del talud del campus La Dolorosa. A partir del modelo estratigráfico definido y de los parámetros geotécnicos determinados, se realizó el análisis de estabilidad en condiciones estáticas mediante el software GeoStudio – SLOPE/W, aplicando los métodos de equilibrio límite Bishop simplificado, Janbu simplificado y Morgenstern–Price.

Los resultados arrojaron factores de seguridad entre 2,81 y 2,86, evidenciando que el talud presenta una condición de estabilidad alta. Esta etapa metodológica constituye la base del análisis interpretativo desarrollado en el Capítulo IV, donde se discuten los resultados obtenidos y se plantean las implicaciones geotécnicas para el sitio de estudio.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DEL ANALISIS ESTATICO

Los análisis efectuados en condición estática, empleando los tres métodos de equilibrio límite disponibles en SLOPE/W, mostraron factores de seguridad consistentemente superiores a 2,8, lo que indica que el talud se encuentra estable frente a las cargas gravitacionales.

El método de Bishop simplificado arrojó un valor de $FS = 2,856$, el método de Janbu simplificado $FS = 2,811$, y el método de Morgenstern–Price $FS = 2,856$. Las

diferencias observadas son menores al 2 %, lo cual demuestra la coherencia del modelo numérico.

La superficie crítica de falla es de tipo circular superficial, confinada en el estrato superior de la ladera, donde se concentra la mayor infiltración pluvial. No se identificaron superficies de falla profundas ni mecanismos de deslizamiento que involucren el material granular más denso del subsuelo.

4.2. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC-SE-GC (2015), para taludes en condición estática se requiere un factor de seguridad mínimo de 1,50. Los valores obtenidos superan ampliamente este límite, situando el talud en la categoría de “estable con amplio margen de seguridad”.

El comportamiento observado es coherente con la naturaleza del material, una arena con grava no cohesiva, **de** alta fricción interna **y** bajo contenido de humedad natural (2,2–4,0 %). Estas condiciones explican la estabilidad global de la ladera y la ausencia de deslizamientos significativos.

Los pequeños desprendimientos superficiales y zonas de socavación detectadas en campo se atribuyen a procesos erosivos y concentraciones de escorrentía pluvial, más que a un mecanismo de falla global.

4.3. SINTESIS DE ANÁLISIS

En base a los resultados, se concluye que el talud del campus La Dolorosa presenta una condición estructural estable, con una superficie de falla potencial

superficial y localizada, sin riesgo inminente de deslizamiento profundo. El factor de seguridad alto ($FS > 2,8$) refleja un comportamiento estable, aunque condicionado a la eficiencia del drenaje superficial y al control de infiltración de aguas lluvias.

Estos resultados sirven de fundamento para definir medidas preventivas y de mantenimiento, que se detallan en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO V: PROPUESTAS DE MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN Y MITIGACIÓN.

El presente capítulo tiene como objetivo establecer acciones técnicas y preventivas orientadas a mantener las condiciones de estabilidad del talud ubicado en el campus La Dolorosa de la Universidad Nacional de Chimborazo. Dado que los resultados del análisis estático evidenciaron factores de seguridad superiores a 2,8, el talud se clasifica como estable en su estado actual. Por tanto, las medidas propuestas buscan prevenir procesos erosivos, controlar la infiltración pluvial y preservar la integridad del terreno y de la infraestructura colindante.

Las acciones se estructuran según su horizonte temporal de aplicación: corto, mediano y largo plazo, considerando la factibilidad técnica, económica y ambiental de cada intervención.

5.1. MEDIDAS DE CORTO PLAZO (PREVENTIVAS Y DE MANTENIMIENTO)

Dado que el talud es estable bajo condiciones estáticas, se propone la implementación de medidas preventivas de bajo impacto, orientadas al control del agua superficial y la preservación del material de la ladera:

- Cuneta de coronación: construcción de una cuneta revestida con pendiente controlada hacia los puntos de descarga existentes, evitando la infiltración directa de escorrentía en la cabeza del talud.
- Reperfilado y compactación superficial: nivelación del terreno superior para reducir la pendiente y controlar el flujo de agua sobre la superficie del talud.
- Revegetación con cobertura densa (hidrosiembra o gramíneas locales): favorece la estabilidad superficial y reduce la erosión por lluvia directa.
- Drenaje de pie de talud: colocación de una zanja drenante con grava lavada y geotextil filtrante, para evitar saturación en la base.
- Mantenimiento del cerramiento existente: reparación de secciones socavadas e incorporación de un zócalo impermeable con drenaje puntual.

Estas acciones permiten controlar el ingreso de agua y disipar esfuerzos superficiales, garantizando que el talud mantenga sus condiciones estables sin necesidad de estructuras de contención adicionales.

5.2. MEDIDAS DE MEDIANO PLAZO (PROTECCIÓN INTEGRAL)

El segundo grupo de medidas corresponde a acciones de mediano plazo, dirigidas a reforzar el comportamiento del talud frente a condiciones ambientales más severas, como lluvias prolongadas o pérdidas de vegetación. A diferencia de las acciones inmediatas, estas medidas buscan proteger integralmente la superficie del talud y mejorar el control de infiltraciones internas.

En esta etapa se recomienda implementar las siguientes estrategias:

- Sistema de drenaje superficial y subterráneo: integración de canales de coronación, bajantes y subdrenes longitudinales con materiales filtrantes y tuberías perforadas, garantizando la evacuación eficiente del agua.
- Protección superficial con geomantas o mallas antierosivas: instalación de sistemas sintéticos anclados al terreno, que reduzcan la velocidad del flujo pluvial y eviten desprendimientos menores.
- Monitoreo geotécnico semestral: inspecciones periódicas para registrar condiciones de humedad, aparición de grietas o asentamientos superficiales, acompañadas de reportes fotográficos.

Estas medidas permiten mantener un equilibrio funcional entre el control hidráulico y la conservación ambiental, al combinar elementos de ingeniería y restauración ecológica.

5.3. MEDIDAS DE LARGO PLAZO (GESTIÓN INTEGRAL Y SOSTENIBILIDAD)

Las acciones de largo plazo se enmarcan en una estrategia de gestión integral y sostenible del talud, orientada a garantizar la seguridad del campus universitario a futuro. En esta fase, las medidas se consolidan como parte de un plan institucional de mantenimiento y monitoreo geotécnico continuo.

Se plantean las siguientes acciones:

- Plan de manejo pluvial integral: desarrollo de un sistema general de drenaje que considere la totalidad del campus La Dolorosa, evitando que las aguas de cubiertas, vías o espacios verdes desemboquen directamente sobre la ladera.
- Instalación de instrumentación geotécnica básica: colocación futura de piezómetros o inclinómetros, que permitan registrar variaciones en el contenido de humedad o desplazamientos en el tiempo.
- Evaluación periódica de estabilidad (cada 3–5 años): actualización de los modelos numéricos de estabilidad ante cambios en las condiciones de carga, sismo o uso del terreno.
- Programa institucional de mantenimiento: incorporación del monitoreo del talud dentro de las rutinas de mantenimiento del campus, con personal capacitado en control de drenajes y conservación vegetal.

Estas acciones aseguran que la estabilidad del talud se mantenga a largo plazo, promoviendo una gestión preventiva y adaptativa frente a los factores naturales y antrópicos que podrían alterar el equilibrio actual.

5.4. CRITERIOS DE FACTIBILIDAD

Las medidas propuestas fueron seleccionadas en función de su efectividad técnica, simplicidad constructiva y bajo costo de implementación. Todas las acciones son viables de ejecutar con recursos institucionales, no demandan maquinaria pesada y respetan el entorno natural del campus.

Su aplicación progresiva permitirá mantener la estabilidad comprobada del talud y prevenir procesos erosivos futuros, consolidando un manejo sostenible del suelo y del agua dentro del área universitaria.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Se logró recopilar y procesar la información topográfica y geotécnica necesaria para caracterizar integralmente el talud del campus La Dolorosa. El levantamiento permitió definir una geometría representativa con una altura promedio de 4,5 m y una inclinación de 22° , mientras que los estudios de campo y laboratorio evidenciaron un perfil estratigráfico conformado por materiales arenosos con presencia de grava, propios de depósitos volcánicos de la zona de Riobamba. Esta información constituyó la base fundamental para el modelado y análisis posterior de estabilidad.
- Los ensayos realizados permitieron obtener parámetros físicos y mecánicos confiables, destacando valores de peso unitario $\gamma = 15.55 \text{ kN/m}^3$, peso específico de sólidos $G_s = 2.66$, cohesión $c \approx 0 \text{ kPa}$, y ángulo de fricción interna $\phi = 41^\circ\text{--}44^\circ$. La ausencia de plasticidad (NP) y

el bajo contenido de humedad natural (2,2 %–4 %) confirman que se trata de un material granular no cohesivo, de alta fricción y baja susceptibilidad a la deformación. Estos parámetros fueron determinantes para el modelado en GeoStudio – SLOPE/W y garantizan la representatividad del comportamiento real del suelo.

- Se desarrolló exitosamente la modelación numérica en el software GeoStudio – SLOPE/W , aplicando los métodos de Bishop simplificado, Janbu simplificado y Morgenstern–Price bajo condiciones estáticas. Los resultados obtenidos mostraron factores de seguridad (FS) comprendidos entre 2,81 y 2,85, indicando que el talud se encuentra en un estado de equilibrio estable. Si bien el análisis pseudoestático no se ejecutó dentro del presente alcance, el modelo queda preparado para su aplicación en una fase posterior, cumpliendo con la metodología propuesta en los objetivos.
- En la condición estática y sin nivel freático permanente, el talud presentó un $FS > 2,8$, lo que supera ampliamente el valor mínimo exigido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-GC, 2015). Este resultado demuestra que el talud posee una reserva de estabilidad suficiente frente a las cargas gravitacionales actuales. Las observaciones de campo y los análisis complementarios indicaron que la saturación localizada, producto de lluvias intensas o escorrentías no controladas, podría reducir los márgenes de seguridad superficiales, pero sin comprometer la estabilidad global de la ladera.
- Con base en los resultados obtenidos, se estableció un conjunto de medidas preventivas y de control hidráulico destinadas a mantener la

estabilidad actual del talud. Estas incluyen la construcción de cunetas de coronación y drenajes de pie, la revegetación con especies nativas o hidrosiembra, y la protección superficial con geomantas antierosivas. A mediano y largo plazo, se recomienda la implementación de un plan de monitoreo geotécnico y la evaluación pseudoestática para completar el estudio del comportamiento del talud frente a cargas sísmicas.

6.2. RECOMENDACIONES

- Implementar de forma prioritaria un sistema de drenaje superficial que incluya una cuneta de coronación revestida y bajantes controladas, con el fin de evitar la infiltración directa del agua de lluvia en la parte superior del talud.
- Establecer una cobertura vegetal permanente mediante hidrosiembra o la plantación de especies nativas de raíces profundas, que contribuyan a reducir la erosión y a mantener la estabilidad superficial del terreno.
- Realizar inspecciones técnicas periódicas, especialmente después de la temporada de lluvias, para verificar el estado del drenaje, la vegetación y el cerramiento, registrando los cambios mediante fichas de monitoreo y fotografías comparativas.
- Considerar en una etapa posterior la evaluación pseudoestática del talud, aplicando los coeficientes sísmicos definidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-GT, 2015), con el fin de complementar la evaluación integral de estabilidad bajo escenarios sísmicos.

- Incorporar el manejo y mantenimiento del talud dentro del plan institucional de gestión del campus La Dolorosa, asignando responsables técnicos para su supervisión, mantenimiento y actualización periódica del modelo geotécnico.
- Mantener un enfoque de prevención y sostenibilidad, priorizando el control del agua y la conservación del suelo por sobre intervenciones estructurales, garantizando así la estabilidad del talud a largo plazo y la preservación del entorno natural del campus.