



**Impacto de los movimientos en masa: Evaluación comparativa entre modelos de estabilidad
y observación en campo.**

Wesly Yesith Cañola Martinez

Informe final Practica Semestre de industria para optar al título de Ingeniero Civil

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria

Asesor

Gustavo Alberto Uribe Wills, Ingeniero Civil

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Cita	(Cañola Martínez, 2025)
Referencia	Cañola Martínez, W. (2025). <i>Impacto de los movimientos en masa: Evaluación comparativa entre modelos de estabilidad y observación en campo</i> [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a todas las personas que han estado durante este proceso, los que confiaron y brindaron su apoyo durante este largo camino lleno de experiencias, de verdad muchas gracias.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la empresa Geogral por confiar en mí, brindarme la oportunidad de realizar mi práctica académica y desarrollar todo lo aprendido durante esta etapa profesional.

Agradezco especialmente a mi asesor interno Gustavo Uribe Wills y a mi asesor externo Juan David Roldán por su orientación, paciencia y apoyo durante este proceso. Sus experiencias y conocimientos me aportaron en mi crecimiento profesional y personal. También quiero agradecer a todo el equipo de trabajo de Geogral por su apoyo, disposición y amabilidad que hicieron de esta experiencia una etapa enriquecedora y gratificante.

Gracias a mis amigos y familiares que también me han apoyado durante todo mi proceso.

Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract	9
1. Introducción.	10
2. Objetivos.	11
2.1 Objetivo general.	11
2.2 Objetivos específicos.....	11
3. Marco teórico.	12
4. Metodología.	14
4.1 Fase 1.....	14
Modelación Talud 1.	16
Modelación Talud 2.	18
4.2 Fase 2.....	20
Recorrido de campo talud 1.	20
Recorrido de campo talud 2.	23
4.3 Fase 3.....	25
4.4 Fase 4.....	26
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	27
PRESUPUESTO	28
5. Análisis de resultados.....	29
Análisis de resultados Talud 1.	29
Análisis de resultados Talud 2.	30
6. Conclusiones y recomendaciones.....	32
Referencias	34

Anexos.....35

Lista de tablas

Tabla 1 *Factores de seguridad mínimos directos para el caso estático y dinámico.....15*

Tabla 2 *Recomendaciones propuestas.33*

Lista de figuras

Figura 1. <i>Modelo de estabilidad, ladera antes de intervenir.</i>	16
Figura 2. <i>Modelo de estabilidad condición actual estática talud 1.</i>	16
Figura 3. <i>Modelo de estabilidad condición actual dinámica talud 1.</i>	17
Figura 4. <i>Modelo de estabilidad ladera sin intervenir talud 2.</i>	18
Figura 5. <i>Modelo de estabilidad condición estática talud 2.</i>	19
Figura 6. <i>Modelo de estabilidad condición dinámica talud 2.</i>	19
Figura 7. <i>Cronograma de actividades</i>	27
Figura 8. <i>Presupuesto para el desarrollo del proyecto</i>	28

Lista de fotos

Foto 1 <i>Vista general del talud 1</i>	20
Foto 2 <i>Grietas observadas en el suelo.</i>	21
Foto 3 <i>Capas de suelo expuestas a la intemperie.</i>	22
Foto 4 <i>Vista general del talud 2.</i>	23
Foto 5 <i>Grietas observadas en el concreto lanzado.</i>	24
Foto 6 <i>Intervenciones antrópicas ajenas a la estructura.</i>	25

Siglas, acrónimos y abreviaturas

APA	American Psychological Association
FS	Factor de seguridad
NRS-10.	Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente de 2010
V.6	Versión 6
UdeA	Universidad de Antioquia
H	Horizontal
V	Vertical

Resumen

Los movimientos en masa representan una amenaza significativa para la seguridad humana como para la integridad de las infraestructuras, afectando especialmente la estabilidad de taludes. Ante este panorama, surge la necesidad de evaluar las herramientas y enfoques que permitan predecir y mitigar estos riesgos de manera efectiva.

Esta propuesta tiene como objetivo realizar una evaluación comparativa entre modelos de estabilidad de taludes y observaciones directas en campo, para determinar la precisión y efectividad de los modelos en la predicción del comportamiento del terreno y así mismo proponer medidas preventivas que garanticen la seguridad ante un evento de inestabilidad. La metodología consistió en el uso de software especializado (Slide V.6) de Rocsciense para modelar escenarios de estabilidad y la recolección de datos observacionales en visitas técnicas a áreas críticas.

Se analizaron factores como las condiciones geomorfológicas, factores de seguridad, presencia de grietas, intervenciones antrópicas y vegetación. La comparación de ambos enfoques permitió establecer una correlación entre los resultados obtenidos en los modelos y las condiciones reales, identificando fortalezas y limitaciones, donde finalmente se propusieron medidas de prevención con el fin de aportar estabilidad y seguridad a las estructuras.

Palabras clave: estabilidad, falla, taludes, análisis, movimientos en masa.

Abstract

Mass movements represent a significant threat to human safety and infrastructure integrity, especially affecting slope stability. Against this background, it is necessary to evaluate tools and approaches to effectively predict and mitigate these risks.

The objective of this proposal is to perform a comparative evaluation between slope stability models and direct field observations, to determine the accuracy and effectiveness of the models in predicting the behavior of the terrain and to propose preventive measures to ensure safety in the event of an instability event. The methodology consisted of using specialized software from the Rocscience family (Slide V.6) to model stability scenarios and collecting observational data during technical visits to critical areas.

Factors such as geomorphological conditions, safety factors, presence of cracks, anthropogenic interventions and vegetation were analyzed. The comparison of both approaches allowed establishing a correlation between the results obtained in the models and the real conditions, identifying strengths and limitations, where finally preventive measures were proposed to guarantee the stability and safety of the structures.

Keywords: stability, slopes, analysis, mass movements

1. Introducción.

Geogral es una empresa de ingeniería de consultoría especializada en diseñar proyectos geotécnicos urbanos, de infraestructura y minería.

Con el fin de realizar análisis más detallados en los proyectos a ejecutar, la empresa Geogral combina la geotecnia de campo y oficina entendiendo en este caso en particular que los taludes se pueden tratar como un problema dinámico en el tiempo, que con su evolución puede presentar cambios en las medidas requeridas para su estabilización. En la actualidad no se tiene una relación estrecha entre lo que realmente pasa en el campo con lo que me refleja un software mediante modelamiento matemático.

Los movimientos en masa, como deslizamientos y flujos de tierra, representan riesgos importantes en regiones de geología inestable, afectando al medio ambiente, la infraestructura y la seguridad humana. En este proyecto, basado en el estudio por movimientos en masa en taludes ubicados en la vía Mar 2 se realizó los análisis necesarios para conocer las condiciones en las cuales se encuentran los taludes y proponer medidas de prevención.

Por consiguiente, el autor de esta propuesta toma la iniciativa de realizar una comparación entre los modelos de estabilidad de taludes, utilizando la herramienta de predicción conocida como Slide V.6 de la familia Rocsciense y realizando visitas a campo de los sitios objeto de estudio. Donde se identificaron las fortalezas y limitaciones de cada enfoque, enfatizando la importancia de combinar estos para poder realizar análisis más detallados y así mismo determinar las condiciones en las que se encuentra el sitio en cuanto a su estabilidad para poder proponer medidas de prevención en el caso que sea necesario.

Este aporte permite a Geogral poder tener en cuenta las limitaciones de cada enfoque, con el objetivo de poder realizar análisis más detallados que aporten al proceso de toma de decisiones para las medidas de prevención ante algún indicio de inestabilidad y contribuir al diseño de infraestructuras más seguras y adaptadas a su entorno geológico.

2. Objetivos.

2.1 Objetivo general.

Evaluar el impacto de los movimientos en masa en taludes mediante una comparación entre los modelos de estabilidad de taludes y las observaciones realizadas en campo, con el fin de identificar falencias, limitaciones, correlaciones entre ambos enfoques y optimizar las estrategias de mitigación de riesgos para mejorar la seguridad en áreas vulnerables.

2.2 Objetivos específicos.

- 2.2.1** Analizar la precisión de los modelos de estabilidad de taludes utilizando herramientas como Slide evaluando su capacidad predictiva en condiciones geotécnicas específicas de las zonas críticas.
- 2.2.2** Realizar un análisis observacional de los taludes en campo mediante visitas técnicas, recopilando datos sobre las condiciones reales del terreno, la topografía y los factores que puedan influir en el comportamiento del talud.
- 2.2.3** Comparar los resultados obtenidos de los modelos de estabilidad con los datos observacionales en campo, identificando las fortalezas y limitaciones de cada enfoque para determinar un diagnóstico más completo del talud.
- 2.2.4** Proponer medidas de prevención basadas en los análisis comparativos, con el fin de garantizar la seguridad ante un evento de inestabilidad.

3. Marco teórico.

La forma en que se mueven las masas de tierra depende de varios factores, si se trata de suelos, rocas o ambas. En estas clasificaciones se considera el mecanismo y el tipo de rotura, conjunto con otros aspectos, como el contenido de agua en el terreno, la velocidad y magnitud del movimiento, entre otros. (SANHUEZA PLAZA & RODRIGUEZ CIFUENTES, 2013).

Los tipos de movimientos se pueden clasificar en deslizamientos, flujos y desprendimientos, estos se pueden producir sobre una o varias superficies de rotura cuando se supera la resistencia al corte de las superficies de suelo o roca, también cuando abunda la presencia de agua en el terreno y finalmente cuando se produce erosión, movimientos sísmicos, entre otros.

Un factor que puede determinar los movimientos en masa son la intervención antrópica, causada por acciones humanas como las excavaciones, voladuras y las sobrecargas (SANHUEZA PLAZA & RODRIGUEZ CIFUENTES, 2013).

La comprensión de la estabilidad de un talud es esencial, ya que estos pueden presentar distintos tipos de falla; por deslizamiento superficial, por rotación, por falla local, por base, por translación, por flujo y por licuación por lo que se debe realizar un análisis preciso con el objetivo de brindar seguridad y prevenir desastres (Lugo & Emel, 2018).

Los movimientos en masa, especialmente en terrenos montañosos, ponen en peligro la vida de las personas y obstaculizan el crecimiento socioeconómico y el desarrollo de la zona afectada. Además, afectan infraestructuras como carreteras, redes de transporte y comunicación, puentes, entre otros

La estabilidad de un talud depende de una adecuada investigación de parámetros como la cantidad de pendiente, las características litológicas, la meteorología, las características de la masa rocosa, las características estructurales, etc. (Biswajit & Soumik, 2024). Esta estabilidad es cuantificada a través del factor de seguridad, el cual depende de las cargas actuantes, y de las características geométricas y físicas de la masa de suelo. La determinación del factor de seguridad puede ser abordada mediante el empleo de teorías simplificadas de resistencia de materiales, como los métodos de equilibrio límite, o bien, mediante técnicas más precisas como el Método de los Elementos Finitos, conduciendo, en ambos casos, a soluciones determinísticas. Sin embargo, la obtención de la superficie de deslizamiento crítica, o de menor factor de seguridad, de una

estructura de suelo no puede ser obtenida en virtud del carácter heurístico de la misma (Beneyto et al., 2011).

En los últimos 25 años se han realizado grandes avances en el ámbito del análisis estático de la estabilidad y la deformación. Los análisis pueden realizarse de una forma más completa y desde el punto de vista de la mecánica más precisa de lo que era imposible sin ordenadores. Ahora es posible realizar análisis más precisos porque se ha desarrollado el método de elementos finitos ya que permite dar una representación más adecuada del comportamiento tensión-deformación de los suelos implicados (Duncan, 1996).

Para el desarrollo de esta comparación realizada en el marco de esta propuesta, donde la estabilidad de las zonas de estudio son aspectos muy importantes desde la perspectiva de definir con certeza el comportamiento de estabilidad esperado. Por lo que se convierte relevante la determinación del factor de seguridad, asociado a la estabilidad de la infraestructura.

El factor de seguridad consiste esencialmente en un análisis comparativo entre el esfuerzo cortante desarrollado en la superficie potencial de fallo dentro de las zonas a evaluar versus la resistencia cortante del material, ya sea suelo, roca o mezclas entre estas (Colombia. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010, Abril).

4. Metodología.

La metodología aplicada en esta propuesta tuvo un enfoque mixto, ya que combinó elementos cuantitativos y cualitativos en sus distintas fases para poder lograr un análisis integral de la estabilidad de taludes, las fases realizadas fueron las siguientes:

4.1 Fase 1.

Inicialmente se comenzó por realizar una búsqueda de información teórica y técnica relevante para comprender los factores determinantes en la estabilidad de un talud. Como parte de este proceso, se revisó la literatura existente de este tema que me permitió identificar los elementos más influyentes en la estabilidad de taludes, como la topografía, geología, el clima, las condiciones del suelo y la intervención antrópica.

Adicionalmente, se recopiló información clave suministrada por la empresa y el contratista. Esta información incluyó:

- 4.1.1 Topografía de la zona: Datos cartográficos y planos detallados que permitieron identificar la morfología del terreno.
- 4.1.2 Estudios previos y antecedentes: Registros históricos del comportamiento de los diferentes sitios críticos.
- 4.1.3 Información geológica: Datos específicos sobre los tipos de fallas presentes en la zona y perfil estratigráfico.
- 4.1.4 Requerimientos sísmicos: Datos sobre los efectos de la aceleración en la zona de estudio.

A partir de esta información surgió la necesidad de evaluar la capacidad predictiva de los modelos de estabilidad para los sitios críticos, realizados en el software Slide para luego realizar la comparación de lo observado durante las salidas a campo con el fin de poder realizar análisis más detallados para el entendimiento de la historia del comportamiento de la ladera.

El primer enfoque objeto de esta propuesta se desarrolla considerando las condiciones específicas de cada sitio, luego de obtener las variables específicas y configurar los parámetros geomecánicos en el modelo tales como el ángulo de fricción, cohesión y peso unitario aportados desde el perfil estratigráfico. Se definió la geometría, se configuraron las condiciones de borde y

cargas aplicadas sobre el terreno como sobrecargas y niveles freáticos condiciones aproximadas a la realidad.

El software Slide V.6 para elementos finitos se ejecutó por el método de equilibrio límite para poder determinar la resistencia al corte de cada ladera y así obtener el factor de seguridad considerando en cada caso su condición antes de su intervención y la condición de la ladera actualmente, esta última se presenta en condición estática y condición dinámica.

Los factores de seguridad obtenidos con el software Slide, se presentan en base a la **Tabla 1**. En esta tabla se clasifican los factores de seguridad en intervalos para los casos estáticos y dinámicos (sismo) los cuales se adoptaron considerando que los taludes son fijos, esto según lo estipulado por la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente del 2010.

Tabla 1

Factores de seguridad mínimos directos para el caso estático y dinámico.

Condición	FSBM		FSBUM	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga muerta + Carga Viva Normal	1,5	1,25	1,8	1,4
Carga muerta + Carga Viva Máxima	1,25	1,1	1,4	1,15
Carga muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1,1	1	No se permite	No se permite
Taludes - Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1,5	1,25	1,8	1,4
Taludes - Condición Seudo-estática con Agua subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1,05	1	No se permite	No se permite

Nota. De “Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (cap H.2.4-1)”, Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010.

FSBM: Factor de seguridad básico mínimo.

FSBUM: Factor de seguridad básico último mínimo.

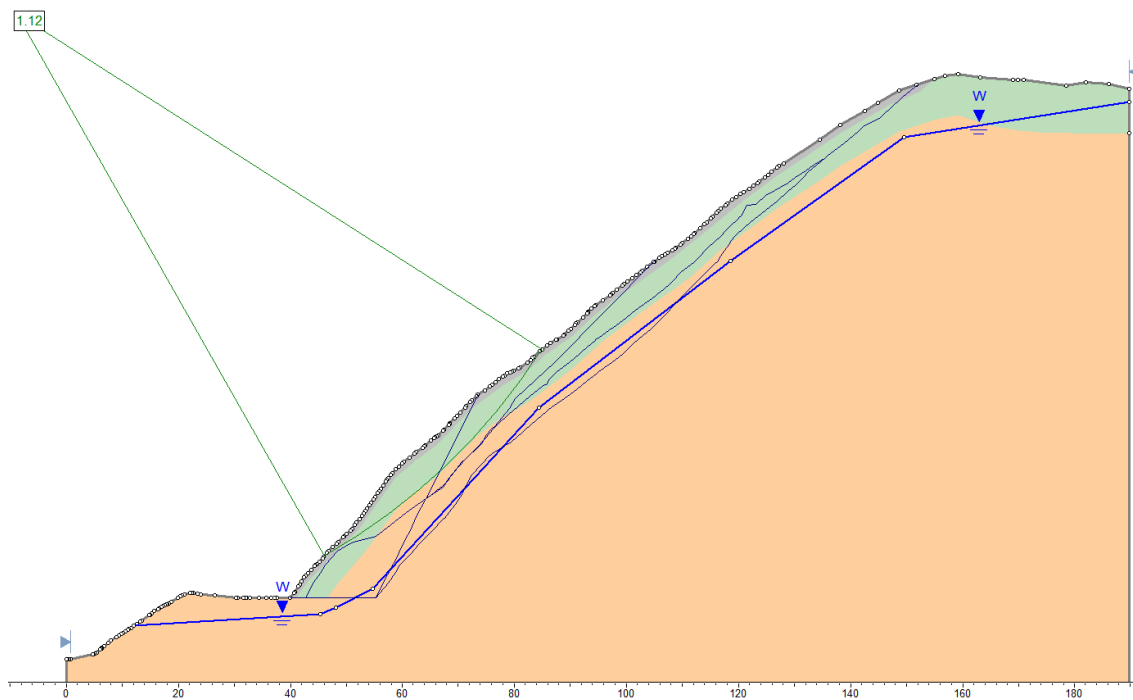
Las modelaciones se realizaron para los siguientes sitios críticos:

Modelación Talud 1.

Considerando como punto de partida la condición de la ladera antes de su intervención, luego su condición actual para el caso estático y dinámico teniendo en cuenta los parámetros obtenidos para este sitio de estudio.

Figura 1.

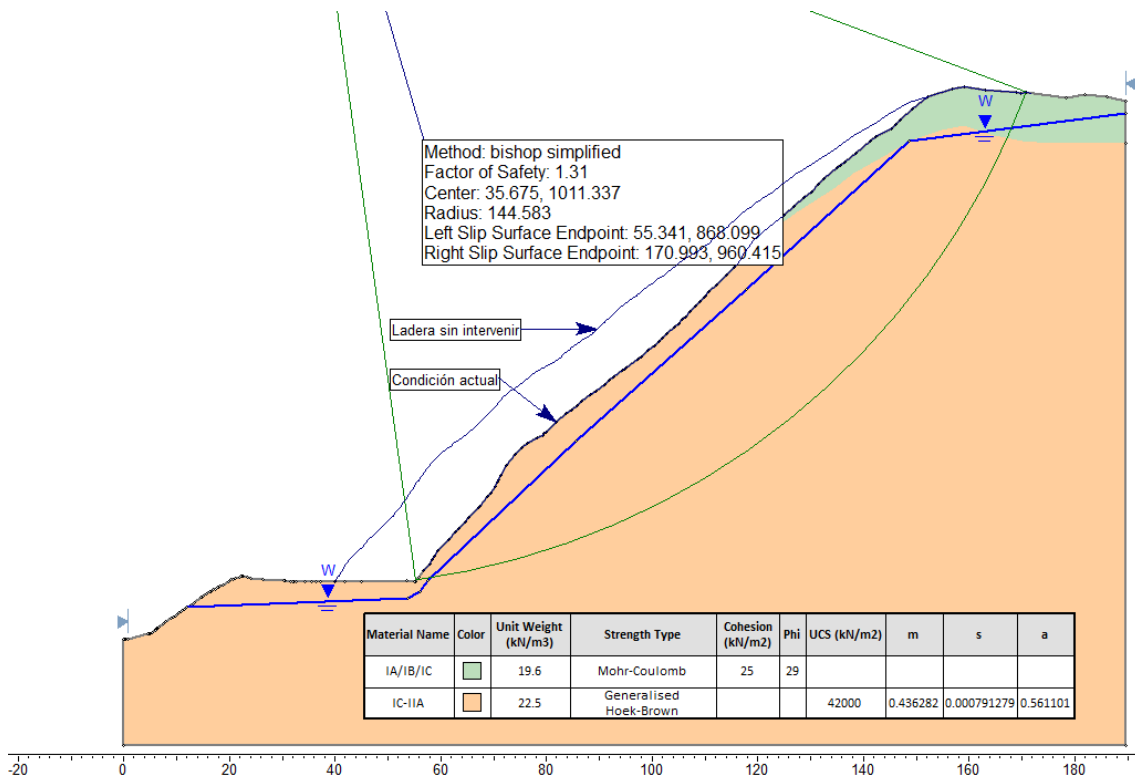
Modelo de estabilidad, ladera antes de intervenir.



Nota. El factor de seguridad obtenido de la ladera sin intervenir es de 1.12.

Figura 2.

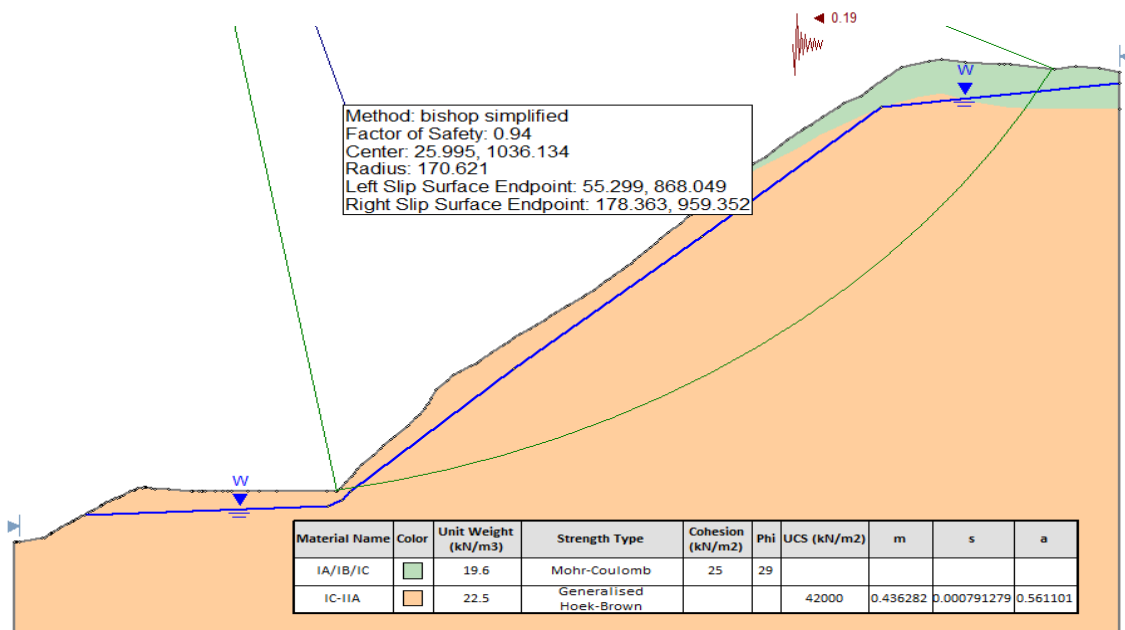
Modelo de estabilidad condición actual estática talud 1.



Nota. El factor de seguridad obtenido en condiciones estáticas es de 1.31.

Figura 3.

Modelo de estabilidad condición actual dinámica talud 1.



Nota. El factor de seguridad en condiciones dinámicas es de 0.94, la aceleración utilizada fue de 0.19g

Las simulaciones arrojaron que el talud se encuentra en condiciones desfavorables, ya que desde antes de intervenir su FS es menor a los requerimientos mínimos establecidos en la norma, luego del corte este factor mejoró, pero ni en condiciones estáticas ni dinámicas cumplió con el factor de seguridad básico mínimo.

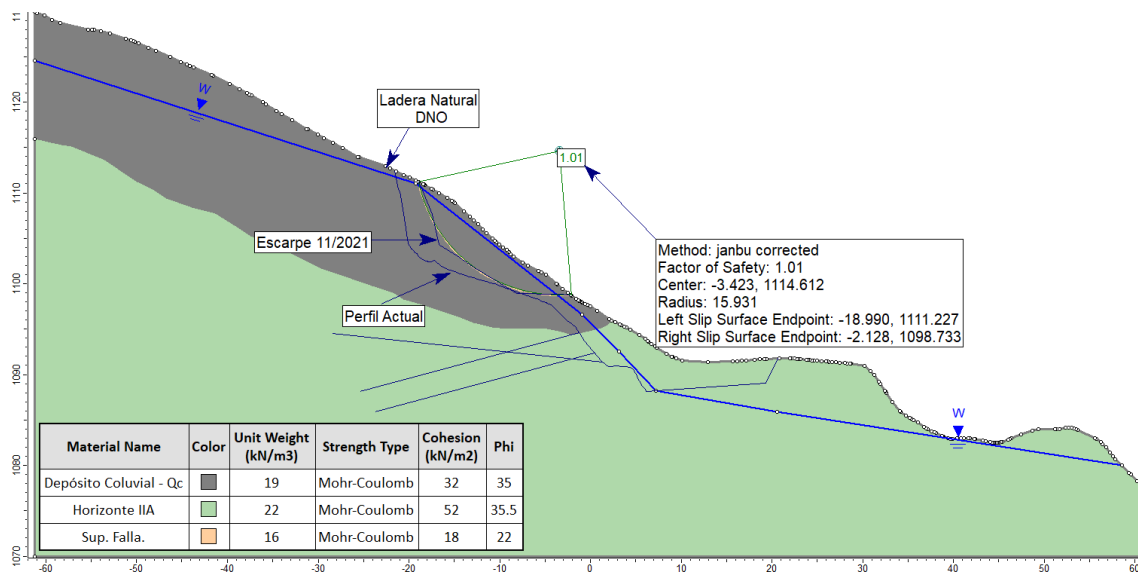
Modelación Talud 2.

Para este sitio crítico se consideró un cambio en su sección debido a que la ladera sufrió un deslizamiento (escarpe) en la parte alta producto de infiltraciones de agua y, además, se tuvo en cuenta los sistemas de estabilización que se instalaron cuando se intervino la ladera con el fin de conocer su comportamiento a lo largo de su historia.

En este caso se modeló las condiciones de la ladera antes de intervenir y su condición actual para el caso estático y dinámico.

Figura 4.

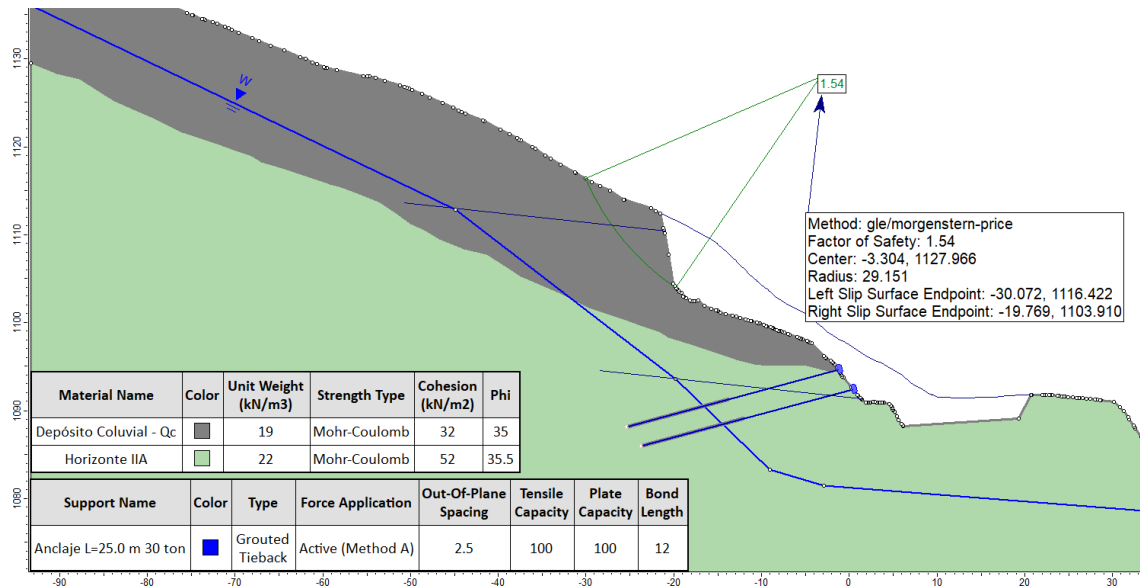
Modelo de estabilidad ladera sin intervenir talud 2.



Nota. Se presenta la sección de la ladera antes de ser intervenida, el factor de seguridad obtenido es de 1.01.

Figura 5.

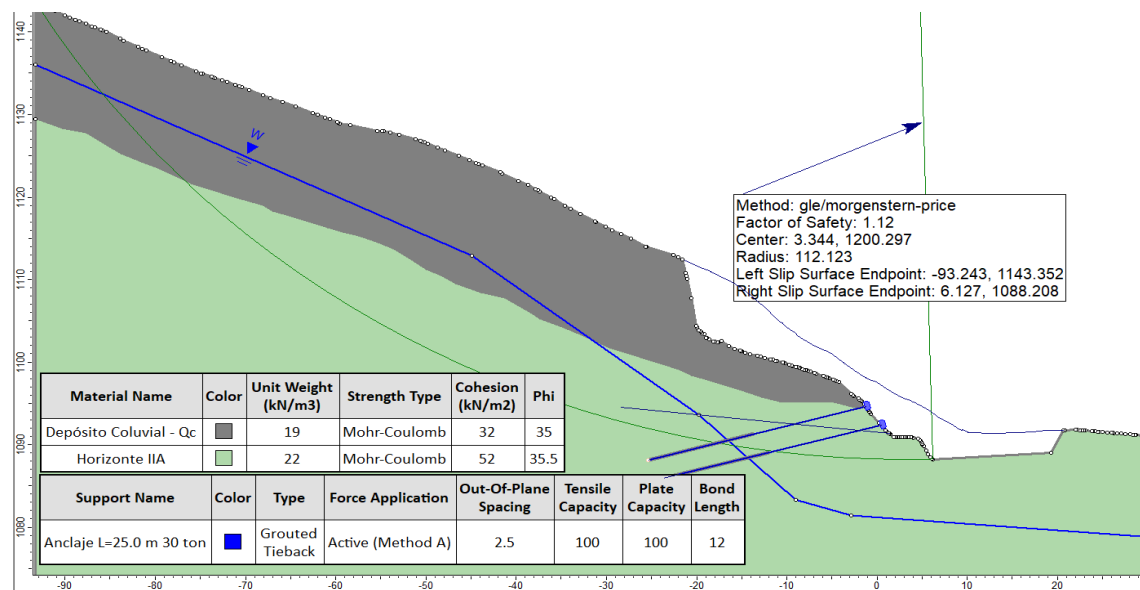
Modelo de estabilidad condición estática talud 2.



Nota. Se presenta los análisis de estabilidad en la condición actual conjunto con el sistema de estabilización instalado (Anclajes), el factor de seguridad obtenido es de $1.54 > 1.5$.

Figura 6.

Modelo de estabilidad condición dinámica talud 2.



Nota. El factor de seguridad obtenido en condiciones dinámicas es de $1.12 > 1.05$, la aceleración sísmica utilizada fue de $0.19g$.

Las simulaciones arrojaron que el talud se encuentra en condiciones favorables en cuanto a su estabilidad, ya que luego de realizar el corte e implementar el sistema de anclajes la estabilidad del talud mejoró, cumpliendo con los factores de seguridad básicos mínimos en condiciones estáticas y dinámicas.

4.2 Fase 2.

Luego de ejecutar las simulaciones, se realizó la planeación para visitar los puntos críticos seleccionados, asegurando el uso adecuado de las herramientas y técnicas, que permitieron recopilar información relevante sobre las condiciones actuales de las zonas de estudio.

Para las salidas de campo, se utilizaron los siguientes equipos:

- Dron: Con este dispositivo se pudo documentar las áreas de difícil acceso teniendo un panorama más completo de las condiciones de los taludes y sus alrededores.
- Brújula: Clave para identificar las orientaciones y características de los materiales rocosos.
- Celular: Utilizado para documentar los indicios de inestabilidad identificados.

Durante los recorridos se realizaron observaciones visuales de los taludes, prestando especial atención a señales claves de inestabilidad como grietas, desprendimientos, flujos de agua, características del suelo e intervenciones antrópicas.

Recorrido de campo talud 1.

Este talud tiene aproximadamente 40 metros de altura, con un corte de inclinación de 1H:1V, sin bermas, no cuenta con elementos de estabilización ni con sistema de drenajes (

Foto 1).

Foto 1.

Vista general del talud 1



Durante el recorrido, se pudo observar gran cantidad de material derrubio en la parte baja del talud. Por otra parte, en la zona alta se observaron grietas en el suelo (

Foto 2). Finalmente, se pudo observar la falta de vegetación en la cara del corte, que deja totalmente expuesto al talud donde se podría provocar movimientos en masa en caso de altas precipitaciones o movimientos sísmicos (**Foto 3).**

Foto 2.

Grietas observadas en el suelo.



Foto 3.

Capas de suelo expuestas a la intemperie.



Recorrido de campo talud 2.

Este talud de aproximadamente 20 metros de altura está conformado por un corte de inclinación 0.25H:1V sin berma intermedia, cuenta con un sistema de evacuación de aguas (drenes sub-horizontales), además, el corte está protegido superficialmente con concreto lanzado de espesor de 75 milímetros conjunto con una malla electrosoldada de dimensiones 15x15 centímetros.

Foto 4.

Vista general del talud 2.



Nota. * Se limita la zona en la cual se presentó el escarpe que afecto la ladera producto de infiltraciones de agua en épocas de altas precipitaciones.

Al realizar el recorrido completo a esta zona de estudio, se observaron algunos indicios de inestabilidad. En algunas partes se observaron grietas profundas sobre el concreto lanzado (**Foto 5**), en la parte alta del talud se observaron tanques de rebose y tuberías en mal estado producto de las intervenciones antrópicas ajenas al proyecto (**Foto 6**).

Foto 5.

Grietas observadas en el concreto lanzado.



Foto 6

Intervenciones antrópicas ajenas a la estructura.



Nota. Estos tanques de rebose son utilizados para la recolección de aguas con diferentes fines.

4.3 Fase 3.

A partir de la información recopilada en los modelos de estabilidad y las observaciones sobre los indicios de inestabilidad en cada sitio de estudio, se comparó cada enfoque con el fin de identificar cualquier patrón de error, se evaluó los puntos en los que los modelos se alejan o se acercan de las condiciones reales.

Los modelos generados por Slide, aunque útiles, presentan limitaciones, especialmente su dependencia de parámetros de entrada que son producto de perforaciones, laboratorios de suelos, etc. Factores como la heterogeneidad del suelo y las variaciones locales son fundamentales para el resultado final de las simulaciones.

Una vez al haber obtenido los factores de seguridad arrojados por el software se verificó si se cumplía con el factor de seguridad mínimo establecido por la NRS-10, teniendo en cuenta las diferentes condiciones, estáticas y dinámicas.

Así mismo, en los recorridos de campo se prestó especialmente atención a las condiciones reales de los taludes y sus alrededores, identificando inestabilidades que no fueron previstas durante las simulaciones realizadas en Slide, donde se pudo destacar la importancia de combinar ambos enfoques ya que se complementan.

4.4 Fase 4.

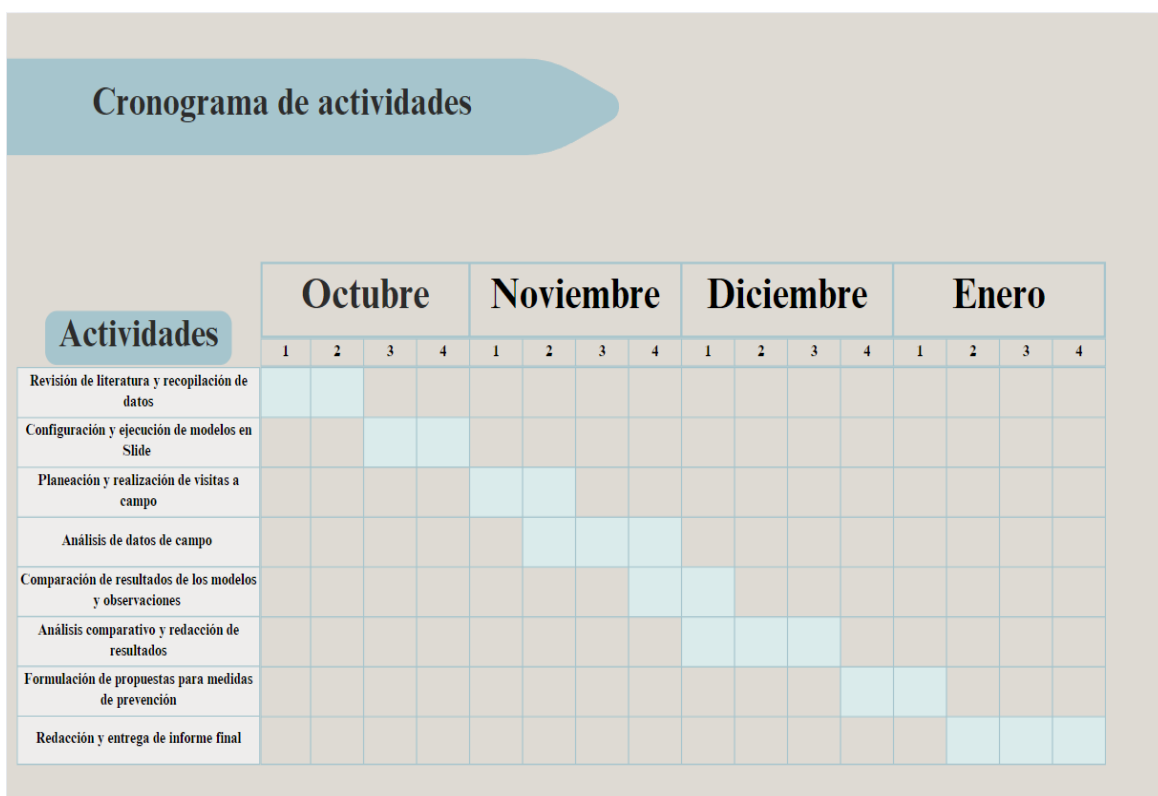
Se implementaron recomendaciones específicas para mitigar los riesgos detectados en cada zona de estudio. Las medidas propuestas se basaron en las condiciones geotécnicas y los riesgos asociados al talud. Se consideraron técnicas de estabilización de gran éxito comprobado, como la instalación de sistemas de drenaje, el uso de anclajes o la revegetación, también la importancia de realizar monitoreos constantes para evitar problemas puntuales.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación, se presenta el cronograma de actividades planteado desde la propuesta el cual se cumplió a cabalidad:

Figura 7.

Cronograma de actividades



PRESUPUESTO

Este es el presupuesto inicial de la propuesta en general en lo que compete al trabajo planteado por el practicante en el proyecto.

Figura 8.

Presupuesto para el desarrollo del proyecto

PRESUPUESTO GLOBAL DEL PROYECTO		
Rubros	FUENTES DE	Total
	Recursos externos: GEOGRAL SAS	
	Rec. Fresco	
Personal	\$ 4.700.000	\$ 4.700.000
Servicios técnicos (mantenimiento y otros)	\$ 300.000	\$ 300.000
Equipos (medición)	\$ 700.000	\$ 700.000
Trabajo de campo (Transporte)	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000
Software (Licencias)	\$ 500.000	\$ 500.000
SUBTOTAL	\$ 7.400.000	\$ 7.400.000
Administración 5%	\$ 370.000	\$ 370.000
TOTAL	\$ 7.770.000	\$ 7.770.000

5. Análisis de resultados

Los dos enfoques planteados permitieron identificar la falencia del software Slide ya que este no tiene en cuenta varios aspectos relevantes en su simulación de la realidad, sin embargo, en conjunto con las observaciones durante las salidas de campo proporcionan la información suficiente para poder abordar análisis de estabilidad más detallados para asegurar que las técnicas y recomendaciones seleccionadas sean las adecuadas para el contexto geotécnico de estudio. A continuación, se presentan los diferentes análisis para cada talud.

Análisis de resultados Talud 1.

Este talud tiene un corte favorable debido a la inclinación de 1H:1V, pero lo condiciona la altura de 40 metros ya que pueden generarse movimientos en masa de gran magnitud debido a la energía potencial que se puede alcanzar, este talud se encontró totalmente expuesto, sin protección superficial, ni obras de estabilización, ni sistemas de drenaje lo que lo hace susceptible a procesos de inestabilidad

En su superficie se identificaron grietas profundas que evidencian deformaciones iniciales, estas grietas son relacionadas con el tipo de suelo presentado en la ladera y suelen ser precursoras de movimientos más significativos, ya que indican señales típicas de pérdida de cohesión en el material y acumulación de tensiones internas.

Estas grietas, combinadas con la ausencia de vegetación observada en todo el corte del talud, exponen al suelo a procesos de erosión y permiten la infiltración de agua, que puede reducir la resistencia al corte del suelo. Un claro ejemplo sería en épocas de altas precipitaciones donde podría aumentar significativamente la posibilidad de deslizamientos, en consecuencia, como lo que se identificó en la visita donde el material se encontraba acumulado en la parte baja del talud.

Finalmente, el hecho de que el talud no cuenta con un sistema de drenajes agrava la situación, ya que el terreno no tiene capacidad para manejar las aguas superficiales y subsuperficiales, lo que favorece la saturación y reduce la resistencia al corte del suelo factores muy importantes que disminuyen la estabilidad del talud.

El análisis del modelo reflejó un factor seguridad bajo (**Figura 2 y**

Figura 3), indicando una alta probabilidad de inestabilidad, así mismo en base a lo que se observó en campo el talud presenta indicios de inestabilidad generando una correspondencia significativa entre los resultados del modelo y las condiciones actuales , validando la capacidad predictiva de Slide en este tipo de escenarios.

Análisis de resultados Talud 2.

Este talud a pesar de presentar buenas intervenciones en cuanto a su estabilidad como el concreto lanzado, anclajes y drenes horizontales lo que sugiere que previamente se identificaron riesgos en la ladera y se tomaron medidas para mitigarlos. Sin embargo, durante la inspección se observó el estado del concreto lanzado sobre la cara del corte que en algunos sectores presentaban grietas, lo que podría ser indicativo de movimientos diferenciales en el terreno, exceso de esfuerzos sobre la misma o de infiltración de agua.

Además, se pudo identificar que este sistema de protección se encuentra sobre una malla de acero de baja cuantía lo que se podría asumir que el sistema no soporto los esfuerzos ejercidos. Estas grietas representan un punto crítico, ya que facilitan el ingreso de agua que podría comprometer tanto la efectividad del concreto como de los anclajes.

Por otra parte, los tanques de rebose identificados en la zona alta del talud que constituyen una fuente potencial de infiltración constante de agua, que, aunque son ajenos a la estructura se deben controlar. Este factor es particularmente relevante, ya que el exceso de agua en el terreno puede reducir significativamente la estabilidad a largo plazo, incluso en estructuras reforzadas. Por lo que se debe garantizar que todas esas posibles fuentes de agua que puedan llegar a la ladera se evacuen sin comprometer la misma, de igual manera que las obras de drenaje superficial se mantengan en buen estado y cumpliendo su función.

El análisis del modelo reflejó un factor de seguridad aceptado según los requerimientos mínimos en las diferentes condiciones estática y dinámica en cuanto a su estabilidad (

Figura 5 y

Figura 6), debido a la implementación de obras de estabilización en el talud como lo son los anclajes.

Las observaciones en campo permitieron identificar problemas puntuales que podrían ocasionar fallos en la estructura, destacando la importancia de monitorear y mantener en buen estado las obras ejecutadas.

6. Conclusiones y recomendaciones

- 6.1** En conjunto, los análisis de ambos taludes reflejan realidades complementarias. El primer talud evidencia la necesidad urgente de implementar medidas de estabilización básicas, como obras de drenaje, revegetación y protecciones superficiales, para mitigar el riesgo de deslizamiento. Por otro lado, el segundo talud subraya la importancia del mantenimiento continuo de las obras de estabilización existentes, así como el control de fuentes externas de agua, para garantizar su desempeño a largo plazo.
- 6.2** Las visitas a campo aportaron una perspectiva detallada y contextualizada de las condiciones reales de los taludes. Las observaciones directas permitieron identificar grietas, erosión superficial, ausencia de drenajes, y la interacción de los taludes con elementos cercanos, como tanques de rebose o estructuras colindantes. Estas condiciones, aunque críticas para el análisis de estabilidad, pueden ser fácilmente pasadas por alto o subestimadas en los modelos computacionales.
- 6.3** La combinación de enfoques no solo enriquece el análisis, sino que resalta la necesidad de integrarlos para obtener una evaluación más completa de la estabilidad de los taludes. Este enfoque integrado permite proponer medidas de estabilización más efectivas, asegurando tanto la precisión técnica como la viabilidad práctica de las soluciones planteadas.
- 6.4** Los modelos realizados en Slide dependen crucialmente de los parámetros de entrada, dado que estos parámetros son simplificaciones o promedios de condiciones geotécnicas reales, es posible que algunos factores clave, como la heterogeneidad del suelo o variaciones locales en las propiedades del material, no se reflejen con precisión.

Finalmente, con el objetivo de mitigar los riesgos asociados a las inestabilidades presentadas en las circunstancias específicas de cada sitio, en la Tabla 2 se exponen las recomendaciones.

Tabla 2

Recomendaciones propuestas.

Talud	Observaciones	Recomendaciones
Talud 1	Acumulación de material derrubio, grietas en el suelo, falta de obras de drenaje y corte expuesto.	<ul style="list-style-type: none"> • Se recomienda revegetalizar la zona para mitigar procesos de erosión en la cara del talud expuesta. • Instalación de cunetas para evacuar aguas subsuperficiales y de escorrentía. • Construir una ronda de coronación que conduzca el agua fuera de la zona intervenida.
Talud 2	Las grietas en el concreto lanzado, las intervenciones antrópicas y obras de drenaje en mal estado.	<ul style="list-style-type: none"> • Se recomienda la instalación de obras de drenaje (cunetas). • Realizar un monitoreo constante de las deformaciones observadas en el concreto con el fin de prevenir fallos en la estructura. • Se recomienda realizar la limpieza de los drenes utilizando agua a presión para evitar colmatación, durante la etapa de mantenimiento.

Referencias

- BENEYTO, P., GUTIERREZ, G., MROGINSKI, J., RADO, H. D., & AWRUCH, A. (2011). Artículo. *ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN HEURÍSTICA*. Asociación Argentina de Mecánica computacional, Chaco, Argentina. Obtenido de https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/51805/RIUNNE_FING_AR_Beneyto-Gutierrez-Mroginski.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Biswajit, B., & Soumik, S. (2024). Estimation of road cut slope stability along the national and state highway of Garhwal Himalaya (India) applying slope mass rating and kinematic analysis. *ScienseDirect*, 14.
- Colombia. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2010, Abril). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-Resistente NSR-10*. Obtenido de https://www.academia.edu/40841188/NSR_10_Completa
- Duncan, J. M. (1996). State of the Art: Limit Equilibrium and Finite-Element Analysis of Slopes. *ASCElibrary*.
- Lugo, A., & Emel, D. (2018). Combinación de los métodos janbú–spencer en el análisis de estabilidad de taludes para el empleo de sistemas flexibles de alta resistencia en la construcción de carreteras. (*Tesis de ingeniería civil*). Universidad Nacional federico Villarreal, Lima, Perú. Recuperado el Noviembre de 2024, de <https://hdl.handle.net/20.500.13084/2272>
- SANHUEZA PLAZA, C., & RODRIGUEZ CIFUENTES, L. (2013). Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Scielo*.

Anexos

Anexo 1. Póster