



Revista Micaela

ISSN: 2955-8646 (en línea) / 2709-8990 (Impresa)  
Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac  
Vice Rectorado de Investigación – Perú

Vol. 6 Num. 2 (2025) - Publicado: 29/12/25  
<https://doi.org/10.57166/micaela.v6.n2.2025>  
Páginas: 86 - 94  
Recibido 30/11/2025; Aceptado 24/12/2025

<https://doi.org/10.57166/micaela.v6.n2.2025.191>

Edición Especial: Cosmovisión Andina – 2025

Autores:

1. **ORCID iD** <https://orcid.org/0009-0002-5058-5193>  
Nilber Pablo Vera Sullá, estudiante de la Escuela Académica Profesional Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac
2. **ORCID iD** <https://orcid.org/0009-0004-9354-5137>  
Royer Elvis Moreano Condorcuya, estudiante de la Escuela Académica Profesional Ingeniería Informática y Sistemas de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac
3. **ORCID iD** <https://orcid.org/0000-0002-4917-2722>  
Rodrigo Loayza Elguera, docente del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, [ccsc.10.18492@gmail.com](mailto:ccsc.10.18492@gmail.com)

## Aplicación del método de elementos finitos para el análisis de estabilidad de taludes en el río Sahuanay, Abancay – Apurímac

### Application of the Finite Element Method for the Stability Analysis of Slopes in the Sahuanay River, Abancay – Apurímac

Nilber Pablo Vera-Sulla<sup>1</sup>, Royer Elvis Moreano-Condorcuya<sup>2</sup> y Rodrigo Loayza-Elguera<sup>3</sup>

**Resumen.** El presente póster científico expone una propuesta de investigación sobre la estabilidad de taludes en la ribera del río Sahuanay, en la ciudad de Abancay, una zona de alta complejidad geotécnica. Esta propuesta busca aplicar el método de elementos finitos (FEM) para evaluar el comportamiento del terreno bajo condiciones críticas de saturación y carga hidráulica. A través de la modelación numérica en los programas PLAXIS 2D y RS2, se determinará el factor de seguridad ( $F_s$ ), las deformaciones y las presiones intersticiales. Los resultados permitirán identificar las zonas más vulnerables y servirán de base para el diseño de medidas de mitigación —tales como drenajes, estructuras de contención y bioingeniería— orientadas a reducir el riesgo de deslizamientos. En suma, el estudio pretende contribuir al fortalecimiento de la gestión del riesgo geotécnico y a la planificación territorial sostenible en la cuenca del río Sahuanay, Abancay - Apurímac

**Palabras Clave:** Póster científico, propuesta de investigación, estabilidad de taludes, método de elementos finitos, gestión del riesgo geotécnico.

**Abstract.** This scientific poster presents a research proposal on slope stability along the banks of the Sahuanay River in the city of Abancay, an area of high geotechnical complexity. This proposal seeks to apply the finite element method (FEM) to evaluate soil behavior under critical saturation and hydraulic loading conditions. Through numerical modeling using the PLAXIS 2D and RS2 software, the safety factor ( $F_s$ ), deformations, and pore water pressures will be determined. The results will allow for the identification of the most vulnerable areas and will serve as a basis for the design of mitigation measures—such as drainage systems, retaining structures, and bioengineering—aimed at reducing the risk of landslides. In short, the study aims to contribute to strengthening geotechnical risk management and sustainable land-use planning in the Sahuanay River basin, Abancay, Apurímac.

**Keywords:** Scientific poster, research proposal, slope stability, finite element method, geotechnical risk management..

## 1 Introducción

Los taludes situados junto a ríos desempeñan un papel fundamental tanto desde el punto de vista ambiental como estructural, al actuar como barreras naturales que delimitan el cauce y contribuyen a la estabilidad de las riberas. Su adecuada conformación y protección son esenciales para prevenir procesos de erosión fluvial, socavación y deslizamientos que pueden alterar el equilibrio del ecosistema y poner en riesgo infraestructuras críticas. Además, los taludes ribereños cumplen funciones ecológicas importantes, como la filtración del agua y el soporte de vegetación, la cual refuerza el suelo y reduce la pérdida de sedimentos.

Diversos estudios internacionales han evidenciado que la inestabilidad de taludes asociados a cursos fluviales constituye uno de los principales factores de riesgo geotécnico en regiones con topografía accidentada. En contextos de alta pendiente, la infiltración de agua y la erosión lateral del cauce generan un incremento significativo en las presiones intersticiales, reduciendo la resistencia al corte del suelo y favoreciendo la ocurrencia de fallas progresivas [2]. Comprender dichos mecanismos resulta crucial para prevenir deslizamientos e implementar estrategias de mitigación sostenibles.

Este tema adquiere especial relevancia en la sierra del Perú, donde las precipitaciones intensas concentradas en temporadas cortas incrementan la vulnerabilidad de las márgenes de ríos y quebradas. Investigaciones recientes demuestran que el comportamiento no lineal de los suelos frente a variaciones de humedad puede modelarse con alta precisión mediante métodos numéricos, permitiendo reproducir los estados de esfuerzo y deformación del terreno [4].

Un antecedente significativo en la zona de estudio ocurrió en marzo de 2012, cuando una avalancha de detritos descendió por la quebrada Sahuanay, afectando áreas urbanas del distrito de Tamburco, en Abancay. Si bien la alerta temprana evitó víctimas, el evento evidenció la alta susceptibilidad de los taludes ribereños a la inestabilidad. Este suceso resalta la necesidad de estudios geotécnicos profundos en la cuenca.

En el caso específico del río Sahuanay (Apurímac), la topografía escarpada y la composición arcillosa-limosa del terreno aumentan su susceptibilidad a la inestabilidad durante periodos de saturación. Estas condiciones justifican la aplicación de modelos numéricos bidimensionales basados en el Método de Elementos Finitos (FEM). Autores como Ishak et al. [3] destacan que el FEM ofrece ventajas sustanciales frente a métodos tradicionales, al permitir la evaluación simultánea del factor de seguridad y las deformaciones.

En este contexto, la presente propuesta de investigación aplicará el método de elementos finitos para analizar la estabilidad de los taludes en la ribera del río Sahuanay. A través de la modelación en PLAXIS 2D y RS2, se evaluará el comportamiento del terreno bajo escenarios de carga hidráulica, con el objetivo de identificar zonas vulnerables y diseñar medidas de mitigación efectivas.

En este contexto, el presente documento se ha elaborado como un póster científico que sintetiza una propuesta de investigación en curso. El estudio se centrará en aplicar el método de elementos finitos (FEM) para analizar la estabilidad de los taludes en la ribera del río Sahuanay. A través del uso de herramientas como PLAXIS 2D y RS2, se busca evaluar cómo responde el terreno ante la saturación y cargas hidráulicas críticas. La finalidad principal es generar información técnica confiable que permita proponer soluciones de estabilización y contribuir a la prevención de riesgos en la cuenca.

## 2 Taludes

Un talud se define como una masa de suelo o roca con una superficie inclinada respecto a la horizontal. Desde el punto de vista geotécnico, su estabilidad depende del equilibrio entre las fuerzas desestabilizadoras (como la gravedad y la presión de poros) y la resistencia al corte del material [5]. Los taludes pueden ser naturales, formados por procesos geológicos como la erosión, o artificiales, resultantes de cortes y rellenos en obras de ingeniería. La **Figura 1** ilustra la geometría típica de un talud y sus componentes principales.

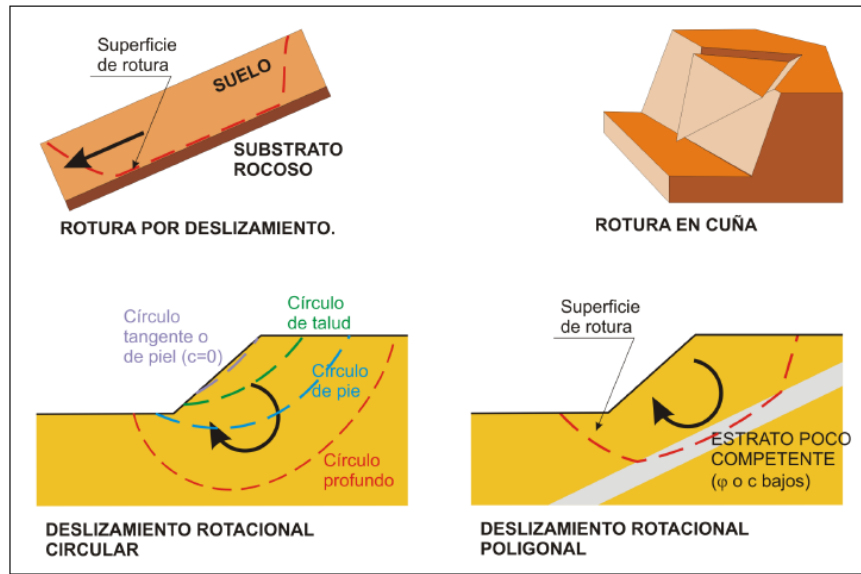
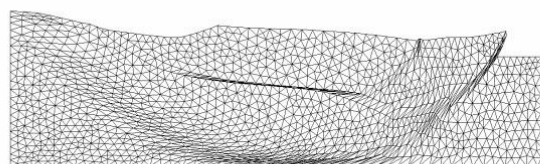


Fig 1 taludes extraído de [6]

### 3 Método de elementos finitos

El Método de Elementos Finitos (MEF) es una técnica de análisis numérico utilizada para resolver problemas complejos de ingeniería, dividiendo una estructura o sistema en partes pequeñas y manejables llamadas elementos finitos. A través de esta subdivisión, es posible aproximar el comportamiento físico del material o superficie frente a esfuerzos, deformaciones u otros fenómenos. Cada elemento se conecta en puntos llamados "nodos". Sobre estos elementos se aplican las ecuaciones que rigen el comportamiento físico del sistema, transformando el problema original en un sistema de ecuaciones algebraicas que puede resolverse con computadoras[7].

El método de elementos finitos (FEM) permite calcular el factor de seguridad (FS) de taludes considerando geometrías complejas, materiales heterogéneos y condiciones de carga variables. El enfoque de reducción de resistencia es común para identificar el FS y la superficie crítica de falla, sin requerir suposiciones previas sobre el mecanismo de falla[8]. En la figura 2 se muestra el uso de métodos finitos en taludes



(a) Mesh with T6 elements ( $FOS=1.35$ )

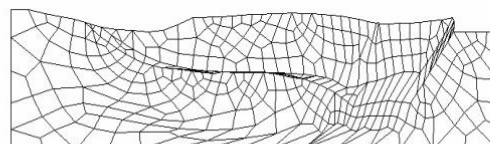


Fig 2. Uso de Métodos finitos en taludes extraído de [9]

## 4 Objetivos

El objetivo general de la presente propuesta de investigación consiste en analizar la estabilidad de los taludes ribereños del río Sahuanay (Abancay, Apurímac) mediante la aplicación del método de elementos finitos (FEM), con el fin de evaluar su comportamiento ante condiciones de saturación crítica y proponer medidas de mitigación técnica.

Para alcanzar este propósito principal, se han trazado metas específicas que inician con la caracterización de las propiedades físico-mecánicas, hidráulicas y geomorfológicas de los sectores críticos del talud, valiéndose de ensayos de laboratorio y levantamientos de campo para alimentar el modelo numérico. Posteriormente se modelará el comportamiento tenso-deformacional del terreno utilizando software especializado como PLAXIS 2D y RS2, lo cual permitirá simular escenarios de variación de carga hidráulica y niveles freáticos. Asimismo, se determinará la reducción del Factor de Seguridad (Fs) y el incremento de las presiones intersticiales inducidas por precipitaciones intensas para identificar los mecanismos de falla predominantes. Finalmente se propondrán medidas de estabilización y control de erosión, tales como drenajes, estructuras de contención o bioingeniería, sustentadas en los resultados del modelamiento para reducir el riesgo de deslizamientos en la zona de estudio.

## 5 Antecedentes

En la región sur del Perú, estudios recientes han abordado la problemática de la inestabilidad de taludes en zonas montañosas expuestas a lluvias estacionales. Rojas y Quispe [10] analizaron la estabilidad de taludes en la cuenca del río Pachachaca (Apurímac) mediante el método de equilibrio límite y modelación numérica en PLAXIS 2D, concluyendo que los procesos de saturación generan reducciones significativas del factor de seguridad, especialmente en suelos arcillosos y limosos de baja permeabilidad. Este hallazgo guarda relación directa con las condiciones geotécnicas observadas en la ribera del río Sahuanay.

De manera complementaria, Vargas et al. [11] desarrollaron un análisis comparativo entre los métodos de equilibrio límite y los elementos finitos aplicados a taludes en la cuenca del río Mariño (Apurímac). Su estudio evidenció que el método de elementos finitos proporciona una descripción más realista del comportamiento tensional-deformacional del suelo, confirmando su utilidad para el diseño de medidas de estabilización en terrenos con alta susceptibilidad a la saturación.

Finalmente, en Arequipa, Medina y Flores [12] evaluaron la estabilidad de taludes cercanos a zonas urbanas mediante PLAXIS 2D, considerando la influencia de eventos pluviométricos extremos. Su investigación concluyó que el incremento de presiones intersticiales es el factor crítico en la pérdida de estabilidad, recomendando la integración de drenajes profundos y vegetación controlada como soluciones sostenibles.

En Etiopía, Melesse et al. [13] estudiaron la estabilidad de taludes en el margen occidental del Main Ethiopian Rift, aplicando análisis numéricos mediante PLAXIS y MIDAS/GTS. Los resultados indicaron que la combinación de condiciones sísmicas y de saturación puede reducir hasta en un 40 % el factor de seguridad en suelos volcánicos alterados, enfatizando la importancia de integrar parámetros hidrogeológicos y sísmicos en la modelación de estabilidad.

Por su parte, Ishak et al. [14] realizaron un análisis comparativo entre los métodos de equilibrio límite (LEM) y el método de elementos finitos (FEM) en un talud experimental de arena silíceo. Los investigadores observaron que el modelo FEM permitió una mejor correlación entre los desplazamientos medidos en campo y los simulados, demostrando su superioridad en la representación del comportamiento tensional-deformacional bajo cargas de sobrecarga. Este estudio respalda la aplicación del FEM como técnica avanzada para el análisis de estabilidad en taludes naturales y artificiales.

## 6 Método

### 6.1. Tipo de investigación

El presente estudio corresponde a una investigación aplicada de enfoque cuantitativo y nivel explicativo, para Haradhan una investigación de tipo cuantitativo corresponde a que la información recolectada se expresa en números, porcentajes, promedios, frecuencias[15] ya que esta orientada a resolver un problema de carácter geotécnico real: la inestabilidad de los taludes ribereños del río Sahuanay, en la ciudad de Abancay, región Apurímac. La investigación se fundamenta en el uso de herramientas numéricas y experimentales que permiten modelar el comportamiento del suelo bajo distintas condiciones hidráulicas, con el objetivo de generar conocimiento técnico aplicable al diseño de medidas de mitigación y estabilización

### 6.2. Población y muestra

La población del estudio estará conformada por la totalidad de los taludes ubicados en la ribera del río Sahuanay, delimitando el área específicamente al tramo urbano que atraviesa la ciudad de Abancay. Estos taludes presentan características geomorfológicas heterogéneas y se encuentran expuestos a procesos continuos de erosión fluvial y saturación por precipitaciones.

Con respecto a la muestra, esta será seleccionada mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional (juicio de expertos). Este método se justifica debido a la necesidad de analizar específicamente los puntos de mayor riesgo geotécnico, descartando la aleatoriedad. Se ha establecido un tamaño muestral de tres ( $n = 3$ ) secciones transversales críticas. La selección de estos puntos obedecerá estrictamente a tres criterios de inclusión: primero, la evidencia visual de inestabilidad física (presencia de grietas de tensión o escarpes activos); segundo, la existencia de pendientes pronunciadas que superen los 45 grados; y tercero, la proximidad inmediata a infraestructura vulnerable (viviendas o vías). De esta manera, se garantiza que los escenarios a modelar representen las condiciones más desfavorables del sector.

### 6.3. Herramientas empleadas

Para la ejecución del estudio se utilizarán herramientas experimentales, computacionales y estadísticas que permitirán abordar el problema de manera integral. En una primera etapa, se realizarán ensayos de laboratorio geotécnico, destacando el ensayo triaxial consolidado drenado (CD) para determinar la resistencia al corte y el comportamiento elasto-plástico del suelo. Asimismo, se ejecutará el ensayo de corte directo con el fin de obtener la cohesión ( $c$ ) y el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) complementado con pruebas de permeabilidad para estimar la conductividad hidráulica y su influencia en la infiltración.

Por su parte, los levantamientos de campo y la recopilación de datos incluirán el levantamiento topográfico mediante estación total o dron fotogramétrico para definir la geometría del terreno. Estas actividades se integrarán con el registro de niveles freáticos, la recopilación de datos pluviométricos históricos y la toma de muestras iniciales, asegurando así la calidad de la información base para el modelamiento.

### 6.4. Hipótesis

La aplicación del método de los elementos finitos (FEM), mediante el uso de los programas PLAXIS 2D y RS2, constituirá una herramienta robusta para simular la respuesta geotécnica de los taludes ribereños del río Sahuanay.

Se plantea que este enfoque numérico permitirá modelar de manera más realista la interacción entre las propiedades del suelo y la saturación inducida por lluvias intensas, en comparación con los métodos tradicionales. En consecuencia, se obtendrá una estimación fiable del factor de seguridad ( $F_s$ ) y una identificación precisa de los mecanismos de falla críticos, facilitando el diseño de medidas de mitigación efectivas para la zona de estudio.

### 6.5. Procedimiento propuesto

El desarrollo metodológico del estudio se estructurará en cinco fases principales, orientadas a garantizar un análisis integral de la estabilidad de los taludes ribereños.

- (A) En la primera fase se realizará Se realizará el levantamiento topográfico de las tres secciones seleccionadas ( $n=3$ ) y la sistematización de información hidrológica, permitiendo generar la geometría base para el modelo.

- (B) La segunda fase Comprenderá la ejecución de ensayos de laboratorio (corte directo, triaxial y permeabilidad) en muestras extraídas de los puntos críticos, para obtener parámetros reales de cohesión (C) y fricción ( $\phi$ )
- (C) En la tercera fase se lleva a cabo el modelado numérico del talud utilizando los programas PLAXIS 2D y RS2, los cuales permiten simular el comportamiento del terreno ante diferentes condiciones de carga y saturación.
- (D) Posteriormente, en la cuarta fase, se efectúan simulaciones de escenarios de lluvia e incremento del nivel freático, con el propósito de evaluar la respuesta del talud frente a condiciones críticas típicas de la temporada pluvial.
- (E) Finalmente, la quinta fase comprende el análisis de resultados y la propuesta de medidas de estabilización, que pueden incluir drenajes, muros de contención, revegetación o refuerzo con geotextiles, según la magnitud de los desplazamientos observados en el modelo.

El análisis numérico se desarrollará con un modelo elasto-plástico basado en el criterio de falla de Mohr-Coulomb, el cual describe adecuadamente el comportamiento del suelo ante esfuerzos cortantes. Se considerarán parámetros geotécnicos como la cohesión (c), el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ), el peso unitario ( $\gamma$ ) y el módulo de elasticidad (E), obtenidos de los ensayos experimentales. Los límites del modelo incluirán condiciones de frontera fijas en la base y libres en la superficie, permitiendo una simulación realista del comportamiento del terreno. Asimismo, la infiltración de agua será representada mediante un flujo transitorio, que refleje la variación del contenido de humedad en función de la intensidad y duración de las precipitaciones. Este enfoque permitirá comprender de manera más precisa los mecanismos de falla asociados a la saturación del suelo y al efecto hidráulico del río sobre la estabilidad del talud.

#### 6.6. Variables del estudio

- Variable independiente: Aplicación del método de elementos finitos (FEM) mediante los software PLAXIS 2D y RS2.
- Variable dependiente: Estabilidad física de los taludes en la ribera del río Sahuanay.
- Indicadores: Factor de seguridad (Fs), desplazamiento máximo, presión de poros, deformación total y probabilidad de falla.

#### 6.7. Diseño estadístico

El tratamiento estadístico de los datos obtenidos mediante la modelación numérica tendrá un enfoque cuantitativo, orientado a validar si las variaciones en el factor de seguridad (Fs) y las deformaciones bajo distintos escenarios hidrológicos poseen significancia estadística. Dado que se evaluará el comportamiento de los mismos taludes bajo condiciones secas y saturadas, se aplicará la prueba t de Student para muestras relacionadas, planteando como hipótesis alterna que la saturación del suelo provoca una disminución significativa en la estabilidad. El estadístico de prueba se calculará mediante la ecuación:

$$t = (\bar{d}) / (Sd / \sqrt{n})$$
$$Fs = \Sigma (\text{resistencia al corte}) / \Sigma (\text{esfuerzos desestabilizadores})$$

Donde  $\bar{d}$  representa el promedio de las diferencias entre el Fs en condición seca y saturada, Sd la desviación estándar de dichas diferencias y n el número de puntos analizados; se utilizará un nivel de confianza del 95% ( $\alpha = 0.05$ ) para rechazar la hipótesis nula.

Adicionalmente, se realizará un análisis de correlación de Pearson (r) para cuantificar la magnitud de la relación lineal inversa entre el incremento de la presión de poros y la reducción del Factor de Seguridad, así como la relación directa entre la saturación y los desplazamientos totales. El coeficiente se determinará con la expresión

$$r = \frac{\sum (xi - \bar{x})(yi - \bar{y})}{\sqrt{\sum (xi - \bar{x})^2 \sum (yi - \bar{y})^2}}$$

Un valor de r cercano a -1 confirmará que el aumento de la presión intersticial es el factor determinante en la inestabilidad. Todo el procesamiento de datos se efectuará utilizando software estadístico especializado, importando directamente los resultados numéricos generados por las fases de cálculo de los programas PLAXIS 2D y RS2.

Finalmente, los resultados estadísticos obtenidos permitirán establecer criterios cuantitativos de estabilidad y validar la efectividad de las medidas de protección o reforzamiento propuestas. Este enfoque combinado entre análisis numérico y estadístico proporcionará una base sólida para la toma de decisiones en el manejo y mitigación del riesgo de deslizamientos en taludes ribereños, especialmente en zonas expuestas a lluvias intensas o variaciones significativas del nivel freático.

## 7 Discusiones esperadas

Se espera que los resultados del análisis mediante el método de elementos finitos (FEM) evidencien una disminución progresiva del factor de seguridad durante los períodos de alta precipitación, especialmente en los sectores adyacentes a la ribera del río Sahuanay, donde la infiltración de agua es más intensa. Los modelos numéricos permitirán visualizar el aumento de las presiones intersticiales, así como desplazamientos diferenciales significativos en la masa del talud, reflejando las condiciones críticas de pérdida de resistencia al corte y deformación del suelo.

Estos resultados permitirán identificar las zonas más vulnerables a procesos de socavación y deslizamiento, y comprender la evolución del daño bajo diferentes escenarios hidráulicos. Con base en dicha información, se plantearán soluciones de ingeniería orientadas a mejorar la estabilidad global del terreno, tales como la instalación de drenajes horizontales para reducir la presión de poros, la implementación de muros anclados o estructuras de contención en las áreas de mayor pendiente, y el uso de técnicas de bioingeniería —como la revegetación controlada y el refuerzo vegetal del talud— que contribuyan a disminuir la erosión superficial y a fortalecer el sistema radicular del suelo.

Asimismo, la integración de estas medidas permitirá desarrollar un modelo de gestión preventiva del riesgo geotécnico, aplicable a otros tramos del valle del río Sahuanay con características similares, promoviendo así una planificación territorial más resiliente frente a eventos pluviales extremos.

## 8 Impacto esperado

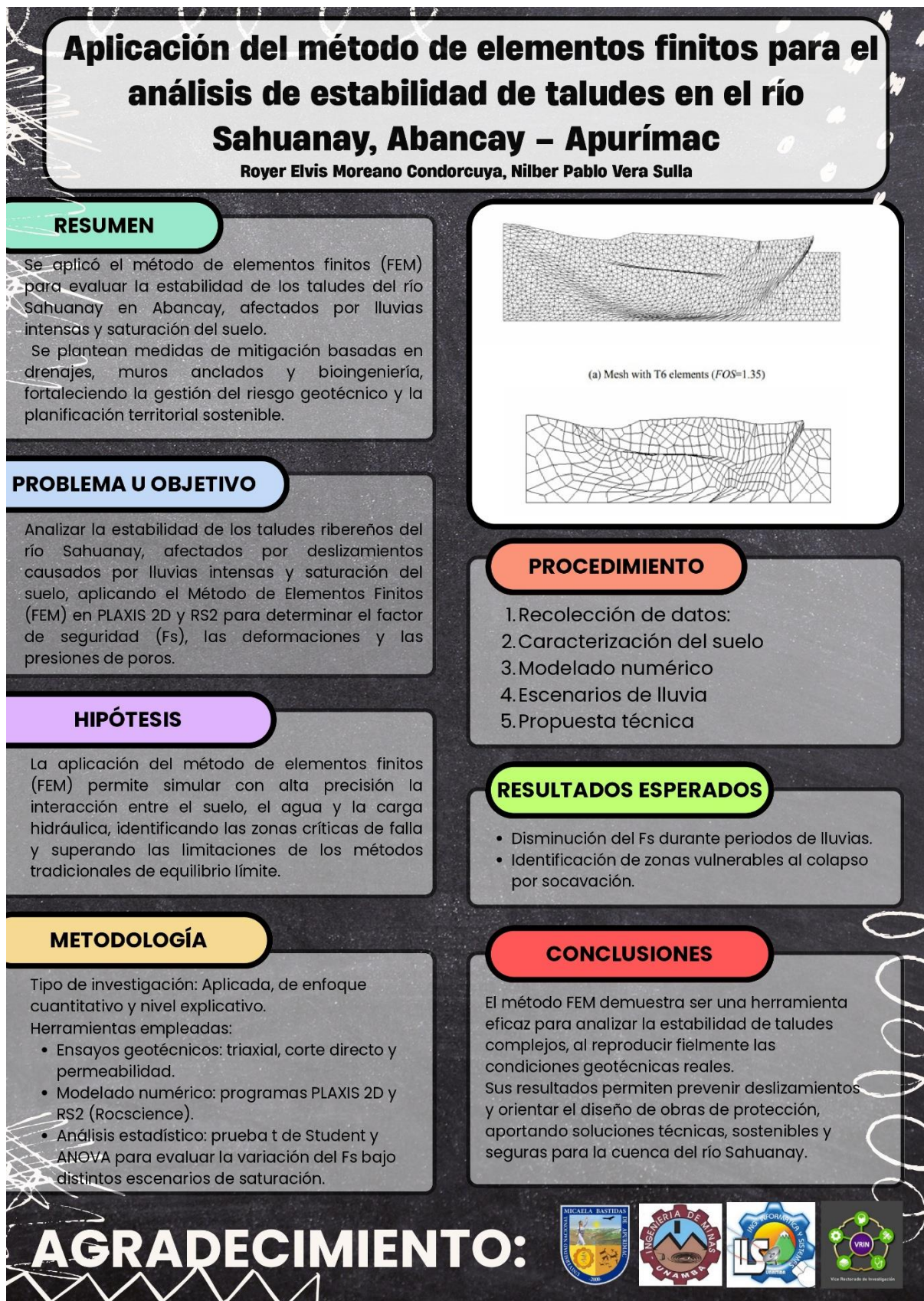
El método de elementos finitos (FEM) se consolida como una herramienta altamente eficaz para el análisis del comportamiento geotécnico de los taludes ubicados en el entorno del río Sahuanay, en Abancay – Apurímac. Su aplicación permite reproducir de manera realista las condiciones del terreno, considerando la interacción entre las propiedades del suelo, las variaciones del nivel freático y las cargas inducidas por la saturación producto de las lluvias intensas. Gracias a este enfoque, es posible identificar con precisión los mecanismos de falla predominantes, así como las zonas más vulnerables a deslizamientos y deformaciones diferenciales a lo largo de las riberas del río.

Los resultados derivados del análisis FEM constituyen una base técnica fundamental para la prevención de huaycos, deslizamientos y procesos de erosión fluvial en la cuenca del río Sahuanay. A partir de estos hallazgos, se podrán formular proyectos de estabilización y protección de riberas, que incluyan soluciones como drenajes horizontales, muros anclados y técnicas de bioingeniería orientadas a mejorar la estabilidad global del terreno y reducir los riesgos asociados a la socavación.

En conjunto, este estudio contribuye al fortalecimiento de la gestión integral del riesgo geotécnico en la región de Abancay – Apurímac, promoviendo la seguridad de las poblaciones asentadas en zonas vulnerables y fomentando una planificación territorial sostenible y resiliente frente a los efectos de los eventos pluviales intensos característicos de la sierra sur del Perú.

## 9 Anexo

Se presento el siguiente poster científico como propuesta de proyecto.



## 10 Referencias

- [1] Z. Luyu, S. Weimin, Z. Yingren, Z. Luyu, S. Weimin, and Z. Yingren, "The slope stability analysis by FEM under the plane strain condition," *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2002, Vol. 24, Issue 4, Pages: 487-490, vol. 24, no. 4, pp. 487-490, Jul. 2002, Accessed: Nov. 03, 2025. [Online]. Available: <https://www.cgejournal.com/en/article/id/11010>
- [2] X. Xiang and D. Zi-Hang, "Numerical implementation of a modified Mohr-Coulomb model and its application in slope stability analysis," *Journal of Modern Transportation* 2017 25:1, vol. 25, no. 1, pp. 40-51, Mar. 2017, doi: 10.1007/S40534-017-0123-0.
- [3] J. Jelani, Z. Suif, N. Ahmad, M. J. R. M. S. Rabbani, and N. A. Khairulazman, "Experimental study of rainfall intensity on silty sand slope," *Sinergi (Indonesia)*, vol. 29, no. 2, pp. 547-554, 2025, doi: 10.22441/SINERGI.2025.2.024.
- [4] D. Gurruchaga R. and F. Viscarra Agreda, "Slope stability analysis by finite elements: A case study in la paz-bolivia," *Investigación & Desarrollo (I&D)*, ISSN 2518-4431, Vol. 20, No. 1, 2020, págs. 99-111, vol. 20, no. 1, pp. 99-111, 2020, Accessed: Nov. 03, 2025. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10053343&info=resumen&idioma=ENG>
- [5] N. V. Kumar, S. S. Asadi, D. S. Chandra, A. Shivamant, and G. P. Kumar, "Design and Analysis of Earth Slopes Using Geosynthetics," *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 133 LNCE, pp. 719-729, 2021, doi: 10.1007/978-981-33-6346-5\_62.
- [6] "ESTABILIDAD DE TALUDES." Accessed: Nov. 03, 2025. [Online]. Available: <https://prontubeam.com/articulos/11-03-2017-Estabilidad-de-taludes>
- [7] M. Baccouch, "A Brief Summary of the Finite Element Method for Differential Equations," in *Finite Element Methods and Their Applications*, IntechOpen, 2021. doi: 10.5772/intechopen.95423.
- [8] B. Xu, S. Liu, and J. Wang, "An Analysis of Slope Stability Based on Finite Element Method and Distinct Element Method," *J Phys Conf Ser*, vol. 2148, no. 1, p. 012053, Jan. 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2148/1/012053.
- [9] R. Inc, "Application of the Finite Element Method to Slope Stability," 2001.
- [10] B. A. Chacon Sullca and D. P. Lopez Vilca, "Evaluación de la estabilidad de taludes en la cuenca de Chicama usando datos geotécnicos y topográficos," *Universidad Privada del Norte*, Dec. 2024, Accessed: Nov. 04, 2025. [Online]. Available: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/41003>
- [11] A. A. Valencia Bolaños and A. J. Vargas Suca, "Comparación entre los métodos de equilibrio límite y de elementos finitos en el análisis de muros anclados en talud rocoso para la construcción de un hospital en Cerro de Pasco," 2023, *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10757/669997>
- [12] H. Cárdenas, T. Maquerhua, E. Luis, A. Huamán, G. Estefany, and M. Cruz, "Influencia de las precipitaciones y la sismicidad en la aceleración del deslizamiento de Maca, Valle del Colca, Arequipa," 2021, [Online]. Available: [www.sgp.org.pe](http://www.sgp.org.pe)
- [13] T. K. Mebrahtu, T. Heinze, S. Wohnlich, and M. Alber, "Slope stability analysis of deep-seated landslides using limit equilibrium and finite element methods in Debre Sina area, Ethiopia," *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 2022 81:10, vol. 81, no. 10, pp. 1-23, Sep. 2022, doi: 10.1007/S10064-022-02906-6.
- [14] A. Syahirah et al., "STABILITY ANALYSIS OF A SILICA SAND SLOPE MODEL SUBJECTED TO SURCHARGE LOAD USING LEM AND FEM METHODS," *GEOMATE Journal*, vol. 27, no. 121, pp. 128-135, Sep. 2024, doi: 10.21660/2024.121.g13442.
- [15] H. K. Mohajan, "Quantitative Research: A Successful Investigation in Natural and Social Sciences," *Journal of Economic Development, Environment and People*, vol. 9, no. 4, pp. 50-79, Dec. 2020, doi: 10.26458/JEDEV.V9I4.679.