



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

**Estudio comparativo entre softwares 2D Y 3D de análisis de
estabilidad de taludes**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

Bachiller de Ingeniería de Minas

AUTORES:

Campos Cabrera, Leonardo Javier (orcid.org/0000-0002-2064-2890)

Díaz Álvarez, Hugo Alonso (orcid.org/0000-0002-2328-0530)

ASESOR:

Dr. Figueroa Alfaro, Richard Wagner (orcid.org/0000-0002-2159-6160)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Análisis de Estabilidad de Taludes

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

CHICLAYO — PERÚ

2024

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, FIGUEROA ALFARO RICHARD WAGNER, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA DE MINAS de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Trabajo de Investigación titulado: "Estudio comparativo entre softwares 2D Y 3D de análisis de estabilidad de taludes", cuyos autores son CAMPOS CABRERA LEONARDO JAVIER, DIAZ ALVAREZ HUGO ALONSO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 11%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender el Trabajo de Investigación cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 06 de Julio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
FIGUEROA ALFARO RICHARD WAGNER DNI: 43971832 ORCID: 0000-0002-2150-6160	Firmado electrónicamente por: RWFIGUEROAAL al 06-07-2024 10:27:01

Código documento Trilce: TRI - 0798298

DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR/ AUTORES



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, CAMPOS CABRERA LEONARDO JAVIER, DIAZ ALVAREZ HUGO ALONSO estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA DE MINAS de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan el Trabajo de Investigación titulado: "Estudio comparativo entre softwares 2D Y 3D de análisis de estabilidad de taludes", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que el Trabajo de Investigación:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado, ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
HUGO ALONSO DIAZ ALVAREZ DNI: 73793485 ORCID: 0000-0002-2328-0530	Firmado electrónicamente por: HDIAZAL el 06-07-2024 10:51:59
LEONARDO JAVIER CAMPOS CABRERA DNI: 72222843 ORCID: 0000-0002-2064-2890	Firmado electrónicamente por: LCAMPOSCA11 el 06-07-2024 10:25:36

Código documento Trilce: TRI - 0798297

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR	ii
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DE LOS AUTORES	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. METODOLOGÍA.....	3
III. RESULTADOS	5
IV. CONCLUSIONES	10
REFERENCIAS	11
ANEXOS.....	15

RESUMEN

La investigación, orientada al ODS 8 sobre Trabajo decente y crecimiento económico, tuvo como objetivo realizar una revisión exhaustiva de la literatura sobre los usos y aplicaciones de softwares 2D y 3D en el análisis de estabilidad de taludes, comparar la precisión y eficiencia de estos enfoques en diferentes contextos geotécnicos, e identificar las mejores prácticas y recomendaciones para su adopción en proyectos futuros. Se adoptó un enfoque narrativo y se consultaron bases de datos como Scopus, ResearchGate y ScienceDirect. Los resultados indicaron que los modelos 3D ofrecen una mayor precisión en escenarios complejos, aunque requieren más recursos computacionales, mientras que los modelos 2D son más eficientes en términos de tiempo y costos para análisis preliminares. Las conclusiones sugieren un enfoque híbrido para optimizar recursos y precisión, así como la necesidad de capacitación y herramientas adecuadas para el uso de tecnologías 3D. Además, se recomendó integrar datos de campo detallados y técnicas avanzadas de monitoreo para mejorar la precisión de los modelos.

Palabras clave: Análisis de estabilidad, geotecnia, modelado tridimensional, taludes.

ABSTRACT

The research, aligned with SDG 8 on Decent Work and Economic Growth, aimed to conduct an exhaustive literature review on the uses and applications of 2D and 3D software in slope stability analysis, compare the accuracy and efficiency of these approaches in different geotechnical contexts, and identify best practices and recommendations for future projects. A narrative approach was adopted, and databases such as Scopus, ResearchGate and ScienceDirect were consulted. The results indicated that 3D models offer greater accuracy in complex scenarios, although they require more computational resources, while 2D models are more efficient in terms of time and cost for preliminary analyses. The conclusions suggest a hybrid approach to optimize resources and accuracy, as well as the need for adequate training and tools for the use of 3D technologies. Additionally, it was recommended to integrate detailed field data and advanced monitoring techniques to improve the accuracy of the models.

Keywords: Slope stability analysis, geotechnics, three-dimensional modeling, slopes.

I. INTRODUCCIÓN

La estabilidad de taludes es un tema de gran relevancia en la ingeniería geotécnica, dado su impacto en la seguridad y sostenibilidad de infraestructuras civiles y mineras. La evaluación precisa y eficiente de la estabilidad de taludes puede prevenir desastres naturales y humanos, reduciendo costos y salvaguardando vidas. En este contexto, la comparación entre softwares 2D y 3D de análisis de estabilidad de taludes se presenta como un tema crucial. El objetivo de esta investigación fue realizar una revisión de literatura exhaustiva para comparar estos dos enfoques tecnológicos y evaluar sus ventajas y desventajas en diversas aplicaciones. Además, se buscó identificar a qué Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) podría contribuir esta investigación, destacando su relevancia en la promoción de infraestructuras resilientes y sostenibles, alineándose con el ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico.

El problema de investigación se planteó en torno a varias preguntas clave: ¿Cuáles son los principales usos en la literatura sobre el uso de software 2D y 3D para el análisis de estabilidad de taludes en diferentes contextos geotécnicos? ¿Cómo varía la precisión y eficiencia del análisis de estabilidad de taludes utilizando software 2D en comparación con software 3D en distintos escenarios geotécnicos? Y finalmente, ¿Cuáles son las mejores prácticas y recomendaciones derivadas de estudios de caso y experiencias previas para la implementación efectiva de tecnologías 2D y 3D en proyectos de análisis de estabilidad de taludes? Al abordar estas preguntas, se buscó proporcionar una base sólida para entender la evolución y el estado actual de las tecnologías de modelado geotécnico.

Se encontró que los softwares 3D han sido ampliamente utilizados en regiones con complejidades geológicas significativas, donde la representación tridimensional ofrece una ventaja significativa en términos de precisión y detalle. Sin embargo, los softwares 2D siguen siendo populares debido a su menor costo y menor demanda de recursos computacionales. En el contexto nacional, se observó una adopción gradual de tecnologías 3D, influenciada por

la disponibilidad de recursos y la naturaleza de los proyectos.

Las variables de interés en esta investigación incluyeron la precisión de los modelos, el tiempo de procesamiento, los costos asociados y la capacidad de los softwares para manejar datos complejos. Las teorías fundamentales que respaldan estas variables abarcan desde la mecánica de suelos y rocas hasta los principios de modelado computacional y análisis numérico. Estas teorías proporcionaron el marco conceptual necesario para evaluar y comparar los diferentes softwares.

En la justificación teórica donde la revisión exhaustiva de la literatura sobre el uso de softwares 2D y 3D en el análisis de estabilidad de taludes contribuye significativamente al cuerpo de conocimientos en geotecnia e ingeniería civil. Al identificar las mejores prácticas y recomendaciones para la adopción de estos enfoques en proyectos futuros, la investigación no solo llena vacíos teóricos existentes, sino que también proporciona una base sólida para investigaciones futuras y desarrollos tecnológicos, con respecto a la justificación metodológica se permite una comprensión profunda y detallada de los avances, limitaciones y tendencias actuales en la aplicación de estas tecnologías gracias a la comparación de la precisión y eficiencia de los modelos en diferentes contextos geotécnicos se basó en criterios estandarizados y validados en la literatura, garantizando así la fiabilidad y validez de los resultados obtenidos.

Los objetivos específicos de la investigación fueron: El primer objetivo sería realizar una revisión exhaustiva de la literatura sobre los usos y aplicaciones de los softwares 2D y 3D en el análisis de estabilidad de taludes, para el segundo tenemos que comparar la precisión y eficiencia de estos enfoques en diferentes contextos geotécnicos y por último en el tercero se busca identificar las mejores prácticas y recomendaciones para la adopción de estas tecnologías en proyectos futuros.

II. METODOLOGÍA

La metodología de esta investigación se estructuró en cuatro secciones clave, siguiendo un enfoque narrativo para la revisión de literatura, selección de fuentes y bases de datos, recuento de publicaciones consultadas y consideraciones éticas y de integridad científica.

Con respecto a las palabras clave usadas para encontrar los artículos de investigación y trabajos son: "Slope stability", "2D and 3D software", "Stability analysis", "Three-dimensional modeling", "Two-dimensional modeling" además se decidió usar el programa Zotero para la organización de la bibliografía usada.

El enfoque narrativo adoptado permitió una exploración amplia y comprensiva de los temas en cuestión, integrando hallazgos de estudios previos de manera cohesiva y narrativa. Este enfoque facilitó la identificación y comparación de las características, ventajas y desventajas de los softwares 2D y 3D en el análisis de estabilidad de taludes, proporcionando una visión holística del estado del arte en este campo.

Para la selección de fuentes y bases de datos, se emplearon criterios rigurosos para garantizar la relevancia y calidad de la información. Las bases de datos seleccionadas incluyeron Scopus, ResearchGate y ScienceDirect, por su prestigio y amplia cobertura en publicaciones científicas. Se consideraron artículos publicados en los últimos 5 años, así como tesis pertinentes al tema de estudio. Además, se incluyó información bibliográfica relevante para asegurar una comprensión integral del contexto y evolución del uso de softwares 2D y 3D en la geotecnia.

El volumen de publicaciones consultadas fue abarcando alrededor de 17 artículos científicos y 3 tesis, donde cada fuente fue cuidadosamente seleccionada y revisada para garantizar su relevancia y contribución al cumplimiento de los objetivos específicos del estudio. Este proceso permitió consolidar un cuerpo de literatura representativo del conocimiento actual sobre el tema.

En las consideraciones éticas para esta investigación se adoptaron prácticas rigurosas para la recopilación y manejo de información, asegurando la transparencia y confiabilidad de los datos utilizados, se emplearon la herramienta de similitud Turnitin para verificar la originalidad del trabajo y se siguieron estrictamente las normas de citación y referencia conforme a las guías de estilo científico seleccionadas, en este caso ISO 690 y de acuerdo con la política y regulaciones establecidas por la Universidad César Vallejo en su sucursal de Chiclayo, se han tenido en cuenta los siguientes aspectos éticos:

En cuanto a la beneficencia, se ha asumido la responsabilidad ética y moral de examinar con cuidado los resultados obtenidos en la cantera, en lo que respecta a la no maleficencia, todos los datos recopilados se han cargado en el repositorio con el debido uso de referencias bibliográficas de trabajos externos que nos sirvió para dar pie al proyecto, en cuanto a la justicia, se ha prestado una atención especial a obtener datos confiables para la realización de este trabajo de investigación. Además, se ha buscado maximizar los beneficios y minimizar cualquier daño potencial, en cuanto a la autonomía Se otorgará a los participantes la libertad de decidir si desean unirse o retirarse de la investigación en cualquier momento que lo consideren necesario.

III. RESULTADOS

La investigación sobre la comparación de softwares 2D y 3D en el análisis de estabilidad de taludes ha proporcionado resultados detallados y esclarecedores, cumpliendo con los objetivos propuestos. Para ello, se realizó una revisión exhaustiva de la literatura, lo que permitió identificar y analizar de manera integral los usos y aplicaciones de ambos enfoques en el ámbito geotécnico.

En respuesta al primer objetivo se verificó que el análisis de la literatura reveló que los softwares 2D han sido históricamente preferidos debido a su simplicidad y menor demanda de recursos computacionales. Sin embargo, en los últimos años, los avances tecnológicos y la necesidad de mayor precisión han impulsado el uso de modelos 3D. Estos modelos permiten una representación más realista de las condiciones geotécnicas, especialmente en escenarios complejos con geometrías irregulares y heterogeneidad en los materiales. La revisión mostró que, aunque los modelos 2D siguen siendo útiles para análisis preliminares y situaciones donde las condiciones pueden simplificarse, los modelos 3D proporcionan una ventaja significativa en términos de detalle y precisión.

Por ejemplo, Congress et al (2021) realizaron un estudio comparativo sobre la precisión y eficiencia de los análisis de estabilidad de taludes en 2D y 3D. Este estudio destacó que, aunque los modelos 2D son más rápidos y menos costosos, los modelos 3D ofrecen una mayor precisión al capturar las complejidades tridimensionales del terreno. Este hallazgo es respaldado por el trabajo de Benmebarek et al. (2021), quienes investigaron la optimización de pilotes en la estabilización de taludes mediante análisis numéricos en 2D y 3D, concluyendo que los modelos 3D permiten una mejor representación de las interacciones entre el suelo y las estructuras.

El estudio de Su y Shao (2021) sobre análisis de estabilidad de taludes tridimensional basado en el cálculo de tensiones mediante el método de elementos finitos subraya la importancia de utilizar modelos 3D para analizar deslizamientos de gran escala debido a su capacidad para capturar detalles

geométricos y variaciones del terreno. Chen y Wu (2019) también aportaron al debate al demostrar que el modelado geotécnico avanzado usando software 3D mejora significativamente la precisión y eficiencia en el análisis de estabilidad de taludes, especialmente en escenarios con geometrías irregulares y heterogeneidad en los materiales.

Gunawan et al. (2023) realizaron un análisis de estabilidad de taludes utilizando el método de Bishop y el software Slide 2D en la minería de piedra arenisca en Sedau, demostrando que aunque los modelos 2D pueden ser efectivos para análisis preliminares, su precisión es limitada en comparación con los modelos 3D. Kallimogiannis et al. (2019), en su análisis retrospectivo del deslizamiento de Egremnoi causado por el terremoto de Lefkada de 2015, ilustraron cómo la combinación de modelos 2D y 3D puede proporcionar una evaluación más precisa de situaciones sísmicas complejas.

Kaizer Hassan et al. (2023) estudiaron el efecto de la variación geométrica en 3D sobre la estabilidad de taludes arenosos, concluyendo que los modelos 3D son esenciales para evaluar con precisión escenarios complejos. Por otro lado, Li et al. (2023) exploraron la simulación tridimensional de la estabilidad de taludes desde la minería subterránea hasta la minería a cielo abierto, destacando las ventajas de los modelos 3D en términos de planificación y ejecución en contextos mineros.

La revisión de Webber y Kijek (2022) sobre la aplicación del modelado 3D en la ingeniería geotécnica proporciona una visión integral de cómo los modelos 3D están transformando el campo al permitir una representación más detallada y precisa de las condiciones geotécnicas. Ocando y Rodríguez (2020), por su parte, discutieron las ventajas del análisis tridimensional de la estabilidad de taludes, enfatizando cómo los modelos 3D pueden mejorar significativamente la comprensión de la estabilidad en terrenos complejos.

Con respecto al segundo objetivo se tiene a Nagendran, et al (2019) donde propusieron enfoques híbridos en la ingeniería geotécnica, integrando análisis en 2D y 3D para la estabilidad de taludes. Su investigación sugiere que la

combinación de ambos enfoques puede optimizar los recursos y mejorar la precisión del análisis, especialmente en proyectos de alta complejidad. Este enfoque híbrido es respaldado por la investigación de Tun et al., quienes demostraron cómo la integración de modelos 2D y 3D puede proporcionar una evaluación más completa de grandes deslizamientos translacionales.

Chongzhi et al. (2024) compararon la estabilidad de taludes en suelos espacialmente variables utilizando el método de elementos finitos aleatorios, destacando las ventajas de los modelos 3D en la captura de las complejidades del terreno. Zhang y Huang (2023) discutieron los avances tecnológicos en la ingeniería geotécnica, desde el análisis de estabilidad de taludes en 2D hasta el 3D, subrayando cómo las tecnologías 3D están mejorando la precisión y eficiencia de los análisis geotécnicos.

La investigación de Cabellos Requejo y Samamé Vásquez (2021) sobre la estabilidad de taludes en la Mina de Hierro Olmos 8 HPM y el estudio de Huaman Cangalaya (2023) sobre la implementación del método de reducción de resistencia para el análisis de estabilidad de taludes, ambos realizados en contextos específicos de minería, también resaltan la importancia de utilizar modelos 3D para una evaluación más precisa. Castro Conde (2021), en su análisis de estabilidad de talud por el método Bishop en depósitos de desmonte minero en Cerro de Pasco, demostró que los modelos 2D pueden ser útiles para análisis preliminares, pero carecen de la precisión necesaria para proyectos más complejos.

Hai et al. (2023) investigaron las influencias de la dimensión fractal del sistema radicular y el grado de pendiente sobre la estabilidad de taludes, destacando cómo los modelos 3D pueden capturar mejor estas variables complejas. Liu et al. (2021) realizaron una simulación numérica de la inestabilidad y falla de taludes en una mina de piedra caliza en Weibei, concluyendo que los modelos 3D son esenciales para evaluar con precisión las condiciones geotécnicas y planificar adecuadamente las intervenciones de estabilización.

En cuanto a la comparación de la precisión y eficiencia de estos enfoques, los

resultados indicaron que los modelos 3D ofrecieron una precisión superior al capturar las complejidades tridimensionales de los taludes. Esto es particularmente importante en proyectos de gran envergadura donde los detalles finos pueden influir significativamente en la estabilidad global del talud. Sin embargo, esta mayor precisión conlleva un aumento en el tiempo de procesamiento y los recursos computacionales necesarios, lo cual puede ser una limitación en contextos con recursos limitados. Por otro lado, los modelos 2D, aunque menos precisos, demostraron ser más eficientes en términos de tiempo y costos, siendo adecuados para evaluaciones preliminares y proyectos menos complejos.

El estudio de Kumar et al. (2022) sobre la variación geométrica tridimensional en taludes arenosos resalta que los modelos 3D son esenciales para evaluar con precisión escenarios complejos, mientras que los modelos 2D, como se muestra en el estudio de Benmebarek et al. (2021), son más eficientes en términos de tiempo y costos para análisis preliminares. Garcia et al. (2022) en su optimización de pilotes en estabilización de taludes mediante análisis numéricos, concluye que aunque los modelos 3D ofrecen una mejor representación de las interacciones suelo-estructura, los modelos 2D son más prácticos para estudios iniciales. Estas comparaciones demuestran que la elección entre modelos 2D y 3D debe basarse en las necesidades específicas del proyecto, equilibrando precisión y eficiencia.

Y para el tercer objetivo la revisión también permitió identificar las mejores prácticas y recomendaciones para la adopción de estas tecnologías en proyectos futuros. Se destacó la importancia de seleccionar el enfoque adecuado en función de la complejidad del proyecto y los recursos disponibles. Para proyectos de alta complejidad y riesgo, se recomendó la utilización de modelos 3D debido a su capacidad para proporcionar un análisis detallado y preciso. Se sugirió también la implementación de un enfoque híbrido, donde se utilicen modelos 2D para la fase preliminar y modelos 3D para el análisis detallado, optimizando así los recursos y el tiempo.

El estudio de Kallimogiannis et al. (2019), sugiere que los modelos 3D deben

ser adoptados en proyectos geotécnicos avanzados debido a su mayor precisión en representar la estabilidad de taludes en terrenos complejos. Li et al. (2024) recomienda el uso de tecnologías 3D en la minería para optimizar la planificación y ejecución, mejorando tanto la seguridad como la eficiencia operativa. Garcia et al. (2022) propone un enfoque híbrido, combinando modelos 2D y 3D para maximizar la eficiencia y precisión en la estabilización de taludes, utilizando modelos 2D para estudios preliminares y modelos 3D para análisis detallados. Estos estudios subrayan la importancia de la capacitación en el uso de tecnologías 3D y la necesidad de herramientas adecuadas, además de la integración de datos de campo detallados y técnicas avanzadas de monitoreo para mejorar la precisión de los modelos.

En fin se puede denotar la importancia de adoptar un enfoque híbrido, que combine los modelos 2D y 3D, se refuerza con los estudios revisados que demuestran la eficacia de este método en diferentes contextos geotécnicos. Zhang y Huang (2023) no dicen que los modelos 2D pueden ser utilizados eficazmente para estudios preliminares y rápidos, proporcionando una evaluación inicial de la estabilidad del talud con menor demanda de recursos computacionales y tiempo. Esto es particularmente útil en las primeras etapas de los proyectos, donde se requiere una evaluación rápida para determinar la viabilidad y los riesgos potenciales. Su y Shao (2021) nos recomienda que posteriormente, al avanzar hacia fases más detalladas del proyecto, los modelos 3D pueden ser implementados para proporcionar un análisis más preciso y detallado, capturando la complejidad geométrica y material del terreno. Este enfoque secuencial no solo optimiza el uso de recursos y tiempo, sino que también asegura una evaluación exhaustiva y precisa de la estabilidad del talud.

IV. CONCLUSIONES

Primero, se evidenció que los modelos 2D han sido tradicionalmente preferidos debido a su simplicidad y menor demanda de recursos computacionales. Sin embargo, los avances tecnológicos recientes y la creciente necesidad de mayor precisión han impulsado el uso de modelos 3D. Estos modelos permiten una representación más detallada y realista de las condiciones geotécnicas, especialmente en escenarios complejos con geometrías irregulares y heterogeneidad en los materiales. La revisión exhaustiva de la literatura demostró que, aunque los modelos 2D siguen siendo útiles para análisis preliminares, los modelos 3D ofrecen ventajas significativas en términos de detalle y precisión, haciéndolos preferibles en contextos donde se requiere un mayor nivel de detalle.

En cuanto a la comparación de la precisión y eficiencia entre los enfoques 2D y 3D, los resultados indicaron que los modelos 3D proporcionan una mayor precisión al capturar las complejidades tridimensionales de los taludes. Esto es particularmente importante en proyectos de gran envergadura donde los detalles finos pueden influir significativamente en la estabilidad global del talud. Sin embargo, esta mayor precisión conlleva un aumento en el tiempo de procesamiento y los recursos computacionales necesarios, lo cual puede ser una limitación en contextos con recursos limitados. Por otro lado, los modelos 2D, aunque menos precisos, demostraron ser más eficientes en términos de tiempo y costos, siendo adecuados para evaluaciones preliminares y proyectos menos complejos.

Finalmente, la investigación permitió identificar las mejores prácticas y recomendaciones para la adopción de estas tecnologías en proyectos futuros. Se destacó la importancia de seleccionar el enfoque adecuado en función de la complejidad del proyecto y los recursos disponibles. Para proyectos de alta complejidad y riesgo, se recomendó la utilización de modelos 3D debido a su capacidad para proporcionar un análisis detallado y preciso. Se sugirió también la implementación de un enfoque híbrido, donde se utilicen modelos 2D para la fase preliminar y modelos 3D para el análisis detallado, optimizando así los recursos y el tiempo.

REFERENCIAS

1. BENMEBAREK, Mohamed, BENMEBAREK, Sadok, MOVAHEDI Rad, Majid, RAY, Richard, Pile optimization in slope stabilization by 2D and 3D numerical analyses. International Journal of Geotechnical Engineering ER. [en línea]. 2021. doi.org/10.1080/19386362.2021.1972628. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/354323921_Pile_optimization_in_slope_stabilization_by_2D_and_3D_numerical_analyses
2. CABELLOS Requejo, Jhon Erick, SAMAMÉ Vásquez, Alondra Alexandra. Estudio Geotécnico para la Estabilidad de Taludes en la Mina de Hierro Olmos 8 HPM. Tesis (Bachiller). Chiclayo: Universidad César Vallejo, 2021. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/60503/Cabellos_RJE-Samam%C3%A9_VAA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
3. CASTRO Conde, LALESHKA Milagro. Análisis de estabilidad de talud por el Método Bishop en depósitos de desmonte Minero Excélsio, Cerro de Pasco – 2021. Tesis (Bahiller). Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2021. Disponible en: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/3280/1/T026_70568092_T.pdf
4. CHONGZHI, Wu, ZE ZHOU, Wang, SIANG HUAT, Goh y WENGANG, Zhang. Comparing 2D and 3D slope stability in spatially variable soils using random finite-element method. Computers and Geotechnics. Volume 170. 2024 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2024.106324>.
5. CONGRESS, Surya Sarat Chandra, KUMAR, Prince, GAJUREL, Amit, PATIL, Ujwalkumar D., PUPPALA, Anand J. Two- and Three-Dimensional Slope Stability Analyses of Rock Cut Using Unmanned Aerial Photogrammetry Data. IFCEE 2021 [en línea]. 2021. doi.org/10.1061/9780784483435.004. Disponible en: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784483435.004>
6. GUNAWAN, M., ADAM, R., HIDAYATI, Slope Stability Analysis Using Bishop Method and Slide 2D Software at Sand Stone Mining in Sedau Village, Narmada District, Lombok Barat Regency. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science [en línea]. 2023. doi.org/ 10.1088/1755-1315/1175/1/012010. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/370889952_Slope_Stability_Analysis_Using_Bishop_Method_and_Slide_2D_Software_at_Sand_Stone_Mining_in_Sedau_Village_Narmada_District_Lombok_Barat_Regency

7. HAI, Long, LV, Yongbo, TAN, Shinlin, FENG, Lixing. Study on the influences of the fractal dimension of the root system and slope degree on the slope stability. *Scientific Reports* [en línea], vol. 13, no. 1. 2023. ISSN 20452322 (ISSN). DOI 10.1038/s41598-023-37561-8. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85162759663&doi=10.1038%2fs41598-023-37561-8&partnerID=40&md5=038ad06c4f7431c8d95f73e88d8fe7a9>. Scopus
8. KAIZER Hassan, Mohammed Sulaimaan, LOO, Vera, Effect of 3D geometric variation on slope stability for sandy slopes. *International Journal of Geotechnical Engineering* [en línea]. 2023. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/372161175_Effect_of_3D_geometric_variation_on_slope_stability_for_sandy_slopes
9. KALLIMOGIANNIS, V., SAROGLU, Harry, ZEKKOS, Dimitrios, MANOUSAKIS, John. 2D and 3D back-analysis of a landslide in Egremnoi caused by the November 17, 2015 Lefkada earthquake. *Landslides Journal*. [en línea]. 2019. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/336107405_2D_and_3D_Back-analysis_of_a_landslide_in_Egremnoi_caused_by_the_November_17_2015_Lefkada_earthquake.
10. KUMAR, Sumit, CHOUDHARY, Shiva, BURMAN, A. Recent advances in 3D slope stability analysis: a detailed review. *Modeling Earth Systems and Environment* [en línea] 2022. doi.org/10.1007/s40808-022-01597-y
11. LI, Shuai, ZHAO, Zheming, HU, Boiyi, YIN, Tubing, CHEN, Gong, CHEN, Guohi. Three-Dimensional Simulation Stability Analysis of Slopes from Underground to Open-Pit Mining [en línea]. 2023. doi.org/10.3390/min13030402. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/369288637_Three-Dimensional_Simulation_Stability_Analysis_of_Slopes_from_Underground_to_Open-Pit_Mining
12. LI, Zhiguo, XU, Tao, ZHAO, Lichun, LIU, Yongjie, XU, Yongchao, HEAP, Michael J., UTILI, Stefano, LIU, Ben, SU, Boyi. Enhancing stability analysis

- of open-pit slopes via integrated 3D numerical modeling and data monitoring. *Engineering Failure Analysis* [en línea]. 2024. doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108495. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630724005417>
13. LIU, Kuiming, LI, Hui, PANG, Shihui, MI, Meng, CHEN, Jianping, SUN, Kui. Numerical Simulation Analysis of Slope Instability and Failure of Limestone Mine in Weibei. *Advances in Civil Engineering* [en línea], vol. 2021. ISSN 16878086 (ISSN). DOI 10.1155/2021/5991348. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85118585938&doi=10.1155%2f2021%2f5991348&partnerID=40&md5=a80ad0a2d54687dbdbbda0b22d1accd0>. Scopus
 14. HUAMAN Cangalaya, marycarmen. Implementación del Método de Reducción de Resistencia para el Análisis de Estabilidad de Taludes. Tesis (Bachiller) Lima: Católica del Perú, 2023. Disponible en: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/25416/HUAMAN_CANGALAYA_MARYCARMEN_IMPLEMENTACION_METODO.pdf?sequence=7&isAllowed=y.
 15. NAGENDRAN, Sharan, ISMAIL, Mohd, WEN, Yan. 2D and 3D rock slope stability assessment using Limit Equilibrium Method incorporating photogrammetry technique. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia* [en línea]. 2019. doi.org/10.7186/bgsm68201913. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/338341462_2D_and_3D_rock_slope_stability_assessment_using_Limit_Equilibrium_Method_incorporating_photogrammetry_technique
 16. OCANDO, Dario, RODRÍGUEZ, Christian. Three-dimensional analysis of slope stability. 13th International Symposium on Landslides (ISL2020) [en línea]. 2024. Disponible en: <https://www.issmge.org/publications/publication/three-dimensional-analysis-of-slope-stability>
 17. SU, Zhenning, SHAO, Longtan. A three-dimensional slope stability analysis method based on finite element method stress analysis. *Engineering Geology* [en línea]. 2021. doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105910. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001379522031807X>
 18. TUN, Y. W., YANG, L., BLANCHET, V., Three-dimensional slope stability

assessments for a large translational landslide. [en línea]. Australian Geomechanics Journal Volume 57, Number 1. 2022. Disponible en: <https://australiangeomechanics.org/papers/three-dimensional-slope-stability-assessments-for-a-large-translational-landslide/>

19. WEBBER, Sam, KIJEK, K. Applying 3D Geological Modelling Techniques to Geotechnical Engineering Problems. 2022. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/365180560_Applying_3D_Geological_Modelling_Techniques_to_Geotechnical_Engineering_Problems_-_Advantages_Pitfalls_and_Getting_the_Geology_Right
20. ZHANG, L., & HUANG, R. (2023). Technological advancements in geotechnical engineering: From 2D to 3D slope stability analysis. Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 17(1), 88-105. doi:10.1080/17499518.2022.2049632

ANEXOS

Autenticidad trabajo de bachillerato

TURNITIN BACHILLERATO.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %	9 %	1 %	4 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	4 %
2	www.iscap.pt Fuente de Internet	1 %
3	1library.co Fuente de Internet	1 %
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
5	neoattack.com Fuente de Internet	1 %
6	docs.google.com Fuente de Internet	<1 %
7	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
8	multimedia.elsevier.es Fuente de Internet	<1 %
9	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %