

**Formulación de estrategias de estabilización de taludes mediante obras de contención con un análisis multitemporal y tecnología LiDAR en el corregimiento de Roma Chávez, Sandoná.**

***Formulation of slope stabilization strategies through containment works with a multitemporal analysis and LiDAR technology in the district of Roma Chávez, Sandoná.***

**Autores (*Authors*):** ALOMÍA OBANDO Eliana Maribel, CASTILLO MENESES Juan Sebastián, ESCOBAR HUERTAS Laura Valentina, HIDALGO GUEVARA Juan David.

**Facultad (*Faculty*):** de INGENIERÍA

**Programa (*Program*):** INGENIERÍA CIVIL

**Asesor (*Support*):** JUAN DAVID SALAZAR DIAZ

**Fecha de terminación del estudio (*End of the research*):** NOVIEMBRE DE 2024

**Modalidad de Investigación (*Kind of research*):** Trabajo de Grado

## **PALABRAS CLAVE**

LIDAR  
ESTABILIZACIÓN  
DESLIZAMIENTO  
VULNERABILIDAD  
MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT)

## **KEY WORDS**

*LIDAR*  
*STABILIZATION*  
*LANDSLIDE*  
*VULNERABILITY*  
*DIGITAL TERRAIN MODEL (DTM)*

## **RESUMEN**

El corregimiento de Roma Chávez en Sandoná enfrenta una grave vulnerabilidad por movimientos en masa, como deslizamientos, caídas y volcamientos, lo que requiere la implementación de estrategias efectivas de estabilización de taludes mediante obras de contención. Para abordar este desafío, se propone un enfoque que combine el análisis multitemporal con tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging). Este enfoque permite entender la evolución del terreno y la influencia de diversos factores a lo largo del tiempo, mientras que la tecnología LiDAR proporciona datos tridimensionales detallados para identificar áreas de riesgo y puntos críticos. Esta combinación ofrece una comprensión profunda de los desafíos y establece las bases para estrategias de intervención efectivas y sostenibles. La investigación tiene como objetivo promover el uso de la tecnología LiDAR en la región, destacando su aplicación en levantamientos topográficos de alta precisión, lo cual es clave para la creación del modelo digital del terreno (MDT).

## **ABSTRACT**

*The township of Roma Chávez in Sandoná faces severe vulnerability due to mass movements, such as landslides, rockfalls, and toppling, necessitating the implementation of effective slope stabilization strategies through containment works. To address this challenge, a combined approach is proposed, integrating multitemporal analysis with LiDAR (Light Detection and Ranging) technology. This approach enables an understanding of terrain evolution and the influence of various factors over time, while LiDAR technology provides detailed three-dimensional data to identify risk areas and critical points. This combination offers a deep understanding of the challenges and lays the foundation for effective and sustainable intervention strategies. The research aims to promote the use of LiDAR technology in the region, highlighting its application in high-precision topographic surveys, which is key to creating the digital terrain model (DTM). Moreover, since the municipality of Sandoná is highly vulnerable to landslides, the outcome of this technology will be used to analyze the stability of a slope in the Roma Chávez township within this municipality.*

## CONCLUSIONES

El uso de la tecnología LiDAR permitió obtener un levantamiento topográfico de alta precisión en zonas de difícil acceso y con densa vegetación, donde los métodos convencionales resultarían impracticables en el corregimiento de Roma Chávez, generando un modelo digital del terreno (MDT) con alta resolución. Este levantamiento topográfico es fundamental, ya que facilitó la identificación de puntos críticos inestables y zonas susceptibles a movimientos en masa en el trazado vial Sandoná - Ancuya. La tecnología empleada, además de mejorar el tiempo, minimizó la interferencia en el terreno, una ventaja crucial en áreas como la estudiada, permitiendo una caracterización completa del terreno que sirve como base fundamental para el diseño de estrategias de estabilización de taludes en esta región de alta complejidad geológica.

El análisis multitemporal permitió identificar diferencias significativas entre las elevaciones capturadas en 2022 y 2024, revelando desplazamientos lentos que, aunque imperceptibles a simple vista o mediante métodos convencionales, fueron detectados gracias a la precisión del sistema LiDAR. La comparación de los modelos digitales del terreno en distintos momentos evidenció patrones de inestabilidad y permitió una clasificación adecuada de los movimientos según los criterios de Varnes. Esta metodología multitemporal no solo facilitó la identificación de zonas críticas que requieren intervención, sino que también demostró la importancia de monitorear el terreno en intervalos regulares. El análisis mediante Civil 3D aportó herramientas precisas para evaluar la evolución de los desplazamientos, permitiendo anticipar riesgos y planificar medidas preventivas de forma proactiva, lo que refuerza la seguridad tanto de la población cercana, como de la infraestructura local.

Después de evaluar las estrategias de estabilización de taludes presentadas, se puede concluir que el muro en voladizo (estrategia No. 2) representa la mejor

solución, ya que ofrece un equilibrio óptimo entre eficiencia estructural y simplicidad de construcción. A diferencia del muro con mayor diámetro en el pilote y mayores dimensiones, que requiere más volumen de material y procesos constructivos más complejos, o del muro con contrafuerte, que implica una geometría más intrincada, el muro en voladizo utiliza una forma simple y conocida en la industria de la construcción. Su diseño permite una distribución eficiente de las fuerzas, minimizando el uso de materiales sin comprometer la estabilidad.

Geo5 fue una herramienta de gran utilidad ya que, al ser compatible con la metodología BIM (Building Information Modeling), facilitó la integración y gestión eficiente de la información del proyecto. Esta integración permitió mejorar tiempos en varias etapas del proceso, como el diseño, la elaboración de informes, la realización de cálculos y su respectiva presentación, esto, no solo se ve en la precisión en los resultados, sino que también redujo tiempos de respuesta, lo que contribuyó a una gestión más eficiente del proyecto.

## **CONCLUSIONS**

*The use of LiDAR technology allowed for a high-precision topographic survey in areas of difficult access and dense vegetation, where conventional methods would be impractical in the Roma Chávez district, generating a high-resolution digital terrain model (DTM). This topographic survey is essential, since it facilitated the identification of unstable critical points and areas susceptible to mass movements in the Sandoná - Ancuya road layout. The technology used, in addition to improving time, minimized interference in the terrain, a crucial advantage in areas such as the one studied, allowing a complete characterization of the terrain that serves as a fundamental basis for the design of slope stabilization strategies in this region of high geological complexity.*

*Multitemporal analysis identified significant differences between the elevations*

*captured in 2022 and 2024, revealing slow movements that, although imperceptible to the naked eye or using conventional methods, were detected thanks to the precision of the LiDAR system. The comparison of the digital terrain models at different times revealed patterns of instability and allowed for an adequate classification of the movements according to the Varnes criteria. This multitemporal methodology not only facilitated the identification of critical areas requiring intervention, but also demonstrated the importance of monitoring the terrain at regular intervals. The analysis using Civil 3D provided precise tools to evaluate the evolution of the movements, allowing risks to be anticipated and preventive measures to be planned proactively, which reinforces the safety of both the nearby population and the local infrastructure.*

*After evaluating the slope stabilization strategies presented, it can be concluded that the cantilever wall (strategy No. 2) represents the best solution, as it offers an optimal balance between structural efficiency and simplicity of construction. Unlike the wall with larger diameter at the pile and larger dimensions, which requires more material volume and more complex construction processes, or the buttress wall, which involves a more intricate geometry, the cantilever wall uses a simple and well-known shape in the construction industry. Its design allows for an efficient distribution of forces, minimizing the use of materials without compromising stability.*

*Geo5 was a very useful tool because, being compatible with the BIM (Building Information Modeling) methodology, it facilitated the efficient integration and management of project information. This integration allowed for improved times in various stages of the process, such as design, report preparation, calculations and their respective presentation. This is not only reflected in the precision of the results, but also reduced response times, which contributed to more efficient project management.*

## **RECOMENDACIONES**

Implementación de tecnología LiDAR para monitoreo continuo:

Organizaciones gubernamentales y académicas pueden establecer programas de monitoreo regular utilizando LiDAR, ya que esta tecnología ha demostrado ser eficaz para identificar zonas críticas de inestabilidad y patrones de desplazamiento imperceptibles a simple vista

Adopción de obras de contención eficientes:

Se recomienda utilizar diseños como el muro en voladizo por su equilibrio entre simplicidad constructiva, eficiencia estructural y sostenibilidad. Este tipo de muro minimiza el uso de materiales y maximiza la estabilidad del terreno.

Transferencia de conocimientos:

Instituciones educativas y de investigación pueden incluir estudios relacionados con análisis multitemporales y tecnologías avanzadas como Geo5 en los currículos de ingeniería civil, facilitando la formación de profesionales especializados en estabilización de taludes.

Concientización comunitaria:

Es esencial educar a las comunidades locales sobre la importancia de evitar actividades que puedan incrementar la inestabilidad de los taludes, como prácticas agrícolas no sostenibles.

Colaboración interinstitucional:

Promover el trabajo conjunto entre instituciones públicas y privadas para desarrollar estrategias preventivas de gestión de riesgos en áreas similares a Roma Chávez, adaptando los hallazgos de esta investigación a otras regiones geográficas con características comparables.

Organismos gubernamentales y locales:

Implementar un plan de monitoreo continuo de taludes usando tecnología LiDAR para identificar y mitigar riesgos potenciales.

Priorizar la estabilización de áreas críticas a través de obras de contención diseñadas con herramientas avanzadas como Geo5.

Promover regulaciones estrictas para evitar prácticas agrícolas y urbanísticas que aumenten la vulnerabilidad de los taludes.

Comunidad local:

Participar en programas de capacitación para reconocer signos de inestabilidad en taludes y colaborar en el reporte de anomalías.

Evitar actividades que puedan desestabilizar el terreno, como excavaciones no planificadas o cambios abruptos en el uso del suelo.

Organizaciones de investigación y educación:

Fomentar estudios adicionales sobre el uso de tecnología LiDAR para otros tipos de riesgos geológicos.

Promover la integración de tecnologías avanzadas, como drones y sensores remotos, en la formación de nuevos profesionales en ingeniería civil.

Sector privado:

Invertir en soluciones tecnológicas para realizar análisis multitemporales que optimicen la planeación y ejecución de proyectos en áreas con riesgo de movimientos en masa.

Incorporar los métodos de estabilización identificados en la investigación, como muros con pilotes o geomallas, en proyectos de construcción que involucren terrenos inestables.

## **RECOMMENDATIONS**

*Implementation of LiDAR technology for continuous monitoring:*

*Governmental and academic organizations can establish regular monitoring programs using LiDAR, as this technology has proven effective in identifying critical*

*areas of instability and displacement patterns that are imperceptible to the naked eye.*

*Adoption of efficient retaining structures:*

*Designs such as cantilever walls are recommended due to their balance between construction simplicity, structural efficiency and sustainability. This type of wall minimises the use of materials and maximises the stability of the terrain.*

*Knowledge transfer:*

*Educational and research institutions can include studies related to multitemporal analysis and advanced technologies such as Geo5 in civil engineering curricula, facilitating the training of professionals specialized in slope stabilization.*

*Community awareness:*

*It is essential to educate local communities on the importance of avoiding activities that may increase slope instability, such as unsustainable agricultural practices.*

*Inter-institutional collaboration:*

*Promote joint work between public and private institutions to develop preventive risk management strategies in areas similar to Roma Chávez, adapting the findings of this research to other geographic regions with comparable characteristics.*

*Government and local agencies:*

*Implement a continuous slope monitoring plan using LiDAR technology to identify and mitigate potential risks.*

*Prioritize the stabilization of critical areas through containment works designed with advanced tools such as Geo5.*

*Promote strict regulations to avoid agricultural and urban practices that increase slope vulnerability.*



*Local community:*

*Participate in training programs to recognize signs of slope instability and collaborate in reporting anomalies.*

*Avoid activities that may destabilize the terrain, such as unplanned excavations or abrupt changes in land use.*

*Research and education organizations:*

*Encourage further studies on the use of LiDAR technology for other types of geological hazards.*

*Promote the integration of advanced technologies, such as drones and remote sensing, in the training of new civil engineering professionals.*

*Private sector:*

*Invest in technological solutions to perform multi-temporal analyses that optimize the planning and execution of projects in areas at risk of landslides.*

*Incorporate stabilization methods identified in the research, such as piled walls or geogrids, in construction projects involving unstable ground.*