

Deslizamientos en el sector de Marianza: estrategias de mitigación basadas en análisis de datos climáticos para la planificación del riesgo

Landslides in the Marianza sector: mitigation strategies based on climate data analysis for risk planning

DOI: 10.46932/sfjdv6n6-033

Received on: Apr, 30th 2025

Accepted on: May, 20th 2025

Santiago Alejandro Valencia Roldán

Arquitecto, Maestría en Construcciones con Mención en
Administración de la Construcción Sustentable
Institución: Universidad Católica de Cuenca
Dirección: Patamarca y Cojimies, Cuenca, Azuay, Ecuador
Correo electrónico: santiago.valencia.63@est.ucacue.edu.ec

Federico Córdova González

Magister en Construcciones con Mención en Administración de la Construcción Sustentable
Institución: Universidad Católica de Cuenca
Dirección: Patamarca y Cojimies, Cuenca, Azuay, Ecuador
Correo electrónico: ncordovag@ucacue.edu.ec

José Abelardo Paucar Camacho

Doctor en Desarrollo Local y Territorio
Institución: Universidad Católica de Cuenca
Dirección: Patamarca y Cojimies, Cuenca, Azuay, Ecuador
Correo electrónico: jose.paucarcamacho@ucacue.edu.ec

RESUMEN

Este estudio busca investigar los factores de riesgo que contribuyen a los deslizamientos en el sector de Marianza de la ciudad de Cuenca, con el fin de desarrollar estrategias de mitigación basadas en el análisis de datos climáticos y geoespaciales. La investigación se centra en la recopilación y el análisis de datos meteorológicos históricos, junto con modelos de simulación climática, para identificar patrones de riesgo y anticipar futuros escenarios de deslizamientos. La metodología empleada en este estudio se basó en un enfoque interdisciplinario que integró análisis geotécnicos, climáticos y geoespaciales para identificar y mitigar zonas de riesgo por deslizamientos en el sector de Marianza. Se recopilaron datos históricos de precipitación y temperatura del INAMHI, complementados con observaciones de campo y estudios previos como el Proyecto PRECUPA. Con el uso de herramientas SIG (Arc GIS) y tecnologías, se generaron mapas temáticos, modelos de pendiente y simulaciones de riesgo. Este enfoque permitió caracterizar con precisión la vulnerabilidad del terreno y desarrollar estrategias de mitigación estructurales y no estructurales, fundamentadas en evidencia técnica y científica. Con base en estos hallazgos, se concluye que la integración de datos climáticos y geoespaciales, junto con modelos predictivos. Este enfoque integral proporciona una base sólida para la toma de decisiones en la planificación de riesgos y la reducción de la vulnerabilidad de las poblaciones y la infraestructura ante desastres naturales.

Palabras clave: Deslizamientos, Simulación Climática, Gestión de Riesgos, Marianza, Datos Meteorológicos.

ABSTRACT

This study seeks to investigate the risk factors contributing to landslides in the Marianza sector of the city of Cuenca, in order to develop mitigation strategies based on the analysis of climatic and geospatial data. The research focuses on the collection and analysis of historical meteorological data, along with climate simulation models, to identify risk patterns and anticipate future landslide scenarios. The methodology employed in this study was based on an interdisciplinary approach that integrated geotechnical, climatic, and geospatial analyses to identify and mitigate landslide risk zones in the Marianza sector. Historical precipitation and temperature data were collected from INAMHI, complemented by field observations and previous studies such as the PRECUPA Project. Using GIS tools (ArcGIS) and technologies such as drones, thematic maps, slope models, and risk simulations were generated. This approach allowed for the precise characterization of the terrain's vulnerability and the development of structural and nonstructural mitigation strategies based on technical and scientific evidence. Based on these findings, it is concluded that the integration of climate and geospatial data, along with predictive models, provides a solid basis for decision-making in risk planning and reducing the vulnerability of populations and infrastructure to natural disasters.

Keywords: Landslides, Climate Simulation, Risk Management, Marinization, Meteorological Data.

1 INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos de tierra representan una de las amenazas naturales más frecuentes y peligrosas en zonas de topografía accidentada y alta pluviosidad, como el sector de Marianza en la ciudad de Cuenca. El incremento de precipitaciones intensas, impulsado por el cambio climático, ha acentuado estos fenómenos, generando impactos significativos en la infraestructura, los ecosistemas y las comunidades locales. Este estudio tiene como finalidad desarrollar estrategias de mitigación fundamentadas en el análisis de datos climáticos, geoespaciales y modelos predictivos, para mejorar la planificación del riesgo y reducir la vulnerabilidad del territorio. La investigación se sustenta en la recopilación y procesamiento de información meteorológica, geotécnica y geofísica, proveniente de fuentes oficiales como el INAMHI y estaciones locales, a fin de identificar los factores de riesgo y anticipar escenarios críticos durante la temporada de lluvias.

El objetivo general del estudio es diseñar estrategias de mitigación de deslizamientos en el sector de Marianza, integrando herramientas tecnológicas y científicas para la toma de decisiones. Para ello, se plantean como objetivos específicos: analizar los datos meteorológicos históricos y actuales para identificar patrones de precipitación asociados a deslizamientos; recolectar información geotécnica que permita caracterizar las zonas de riesgo; aplicar modelos predictivos y simulaciones geoespaciales para determinar áreas vulnerables.

El sector Marianza se caracteriza por su vulnerabilidad a movimientos masivos debido a sus condiciones topográficas y geológicas. Las fugas de agua y la inestabilidad del suelo son comunes, lo que hace que los deslizamientos de tierra sean recurrentes. Según estudios recientes, es crucial desarrollar un

enfoque preventivo que combine el monitoreo climático, la planificación urbana y la participación comunitaria para mitigar el impacto de estos eventos (Fernández Arce, 2024; Vera Rodríguez & Albarracín Calderón, 2017). En este contexto, el análisis de datos climáticos y la planificación de riesgos se presentan como herramientas fundamentales para anticipar y gestionar eficazmente los desastres naturales. Se argumenta que un mayor conocimiento sobre los procesos sísmicos y la geofísica puede mejorar la capacidad de gestionar el riesgo sísmico, lo que es esencial para la seguridad y el bienestar de la población (Fernández Arce & Rodríguez Campos, 2019).

Diversas investigaciones a nivel mundial han demostrado la efectividad de integrar enfoques multidisciplinarios en la gestión del riesgo de deslizamientos de tierra. Por ejemplo, la colaboración entre científicos y formuladores de políticas ha sido clave para reducir los desastres naturales en diferentes regiones (Alcántara-Ayala & Sassa, 2023). Asimismo, el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y modelos de simulación climática permite identificar áreas de alta susceptibilidad y desarrollar mapas de riesgo que orienten la toma de decisiones de prevención y mitigación (Bravo-López et al., 2023).

El análisis del comportamiento sísmico también juega un papel crucial en la evaluación del riesgo de deslizamientos de tierra. Estudios realizados han demostrado que parámetros sísmicos, como la intensidad del suelo y la aceleración, son determinantes en la ocurrencia de deslizamientos de tierra inducidos por sismos (Fernández Arce, 2024).

Esta información es vital para crear mapas de susceptibilidad sísmica que permitan a las autoridades locales planificar estrategias de mitigación más efectivas. Además, la experiencia internacional en gestión del riesgo de desastres, como la desarrollada en Nepal, proporciona un marco valioso para fortalecer las capacidades locales y reducir la vulnerabilidad ante eventos extremos (Tuladhar, 2019).

El cambio climático también ha sido identificado como un factor que exacerba la frecuencia e intensidad de los deslizamientos de tierra. Las variaciones en los patrones de precipitación, junto con el aumento de las temperaturas globales, están alterando la dinámica del suelo y afectando la estabilidad de las laderas (Benito et al., 2012). En este sentido, las prácticas de reforestación y conservación del suelo son esenciales para mejorar la retención de agua y reducir la erosión en áreas propensas a deslizamientos (Mora et al., 1992). Además, se ha demostrado que la implementación de técnicas de ingeniería como el refuerzo de pendientes y la construcción de barreras de contención son efectivas para reducir el riesgo (Svalova et al., 2019).

Según las lecciones aprendidas de otros eventos catastróficos, como el deslizamiento de tierra de Shuicheng, China, el análisis detallado del terreno y la estratigrafía del suelo son esenciales para una gestión eficaz del riesgo (Chen et al., 2022). Por lo tanto, crear una base de datos robusta que incluya

estudios de campo y modelos de simulación es una prioridad para mitigar los potenciales impactos de estos eventos en la región.

Los deslizamientos de tierra, también conocidos como remoción en masa, representan un fenómeno geológico en el cual el movimiento de tierra, rocas o sedimentos se desplaza ladera abajo debido a la influencia de la gravedad. Estos eventos pueden ser desencadenados por diversos factores, entre los que se incluyen lluvias intensas, terremotos o actividades humanas (Svalova et al., 2019). Las condiciones que predisponen a un terreno a sufrir deslizamientos, conocidas como condiciones de inestabilidad, son variadas e incluyen la composición del suelo, la pendiente, la saturación de agua y la actividad sísmica (Alizade et al., 2016). En este contexto, el análisis de susceptibilidad juega un papel crucial, ya que busca identificar las áreas más vulnerables mediante el estudio de factores como la geología, la topografía y el uso del suelo, utilizando herramientas avanzadas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Bravo-López et al., 2023).

Para reducir el impacto de estos eventos, la planificación de riesgo se vuelve esencial. Esta implica la elaboración de mapas de riesgo, la implementación de medidas preventivas y la preparación ante emergencias (Vera Rodríguez & Albarracín Calderón, 2017). Las medidas de mitigación, tales como la construcción de muros de contención y las prácticas de manejo adecuado del suelo, son fundamentales para disminuir la probabilidad o el impacto de los deslizamientos (Chen et al., 2022). Además, el establecimiento de sistemas de alerta temprana que detecten señales precursoras de deslizamientos permite reducir los riesgos a través de alertas oportunas (Constante & Vásquez, 2022). En relación con el riesgo climático, este hace referencia a los fenómenos climáticos extremos, como lluvias intensas, que pueden generar deslizamientos. Los modelos climáticos y la previsión meteorológica son herramientas clave en la evaluación de este tipo de riesgo (Gestión de Riesgos, 2024).

La geología de una región influye de manera determinante en la estabilidad del terreno, ya que factores como la composición del suelo y la estructura geológica afectan la susceptibilidad a deslizamientos (Alcántara-Ayala & Sassa, 2023). El uso del suelo también juega un papel importante, pues prácticas como la construcción en pendientes empinadas o la deforestación pueden incrementar la vulnerabilidad del terreno a los deslizamientos (Morales Jadan & Oleas Espinoza, 2023).

Por otro lado, la sismología estudia los efectos de los terremotos en la estabilidad del suelo, ya que los eventos sísmicos pueden desencadenar deslizamientos al alterar la estructura del terreno (Fernández Arce, 2024). La gestión de desastres, que abarca la preparación, respuesta y recuperación ante estos eventos, es fundamental para mitigar el impacto de los deslizamientos. Este proceso incluye la planificación adecuada, la educación y la infraestructura de apoyo (Svalova et al., 2019). Las estrategias de adaptación, que buscan reducir la vulnerabilidad mediante la planificación territorial y el manejo adecuado del suelo, son fundamentales en áreas de alto riesgo (Alizade et al., 2016). De la misma forma,

el impacto socioeconómico de los deslizamientos puede ser devastador, afectando viviendas, infraestructura y medios de vida. Por lo tanto, evaluar estos impactos es esencial para desarrollar estrategias de mitigación adecuadas (Borja, 2022). Los aspectos legales y normativos, como las regulaciones sobre construcción en áreas de riesgo y el manejo del suelo, también juegan un papel crucial en la reducción de la vulnerabilidad a deslizamientos (Constante & Vásquez, 2022). La educación y la concienciación de la población sobre los riesgos y las medidas preventivas son elementos clave para reducir el impacto de estos eventos (Fernández Arce & Rodríguez Campos, 2019). Por último, el monitoreo y vigilancia constante de las áreas susceptibles mediante tecnología avanzada permite la detección temprana de señales de advertencia (Bravo-López et al., 2023), mientras que la política de manejo de riesgos y la recuperación post-desastre son esenciales para gestionar adecuadamente las consecuencias de los deslizamientos y restaurar las áreas afectadas (Vera Rodríguez & Albarracín Calderón, 2017; Morales Jadan & Oleas Espinoza, 2023). En las zonas montañosas de Ecuador, los deslizamientos de tierra representan un riesgo significativo para las comunidades y el entorno natural. Investigaciones previas, como las realizadas por Alcántara-Ayala y Sassa (2023), han demostrado que el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y modelos de simulación climática son herramientas fundamentales para la gestión del riesgo en áreas vulnerables. Estas metodologías permiten no solo la identificación de zonas de alto riesgo, sino también la proyección de posibles escenarios de deslizamientos en función de factores climáticos y geológicos. En este contexto, el presente estudio se enfoca en contrastar los hallazgos de investigaciones previas con los datos recolectados en la localidad de Marianza. A través de esta comparación, se busca ajustar el modelo de riesgo a las particularidades geológicas y climáticas locales, ofreciendo un enfoque más específico y efectivo para la gestión del riesgo en la región. Este análisis no solo tiene como objetivo mejorar la predicción de deslizamientos, sino también proporcionar herramientas prácticas para la toma de decisiones en la mitigación de estos eventos en el futuro.

Tabla 1. Fuentes y aplicaciones de datos utilizados en la investigación sobre deslizamientos

1. Datos Meteorológico		
Autor(es)	Uso	Aplicación
Alcántara-Ayala & Sassa (2023)	Monitoreo de patrones climáticos extremos para identificar zonas propensas a deslizamientos.	Diseño de planes de prevención y mitigación en áreas vulnerables.
Chen et al. (2022)	Análisis de precipitaciones intensas asociadas a deslizamientos en Guizhou, China.	Identificación de factores precipitantes en eventos catastróficos.
Vera Rodríguez & Albarracín Calderón (2017)	Estudio de lluvias intensas y su impacto en cuencas hidrográficas.	Planeación hidráulica en áreas susceptibles a inundaciones y flujos torrenciales.
2. Datos Geotécnicos		
Autor(es)	Uso	Aplicación
Bravo-López et al. (2023)	Evaluación de las características del suelo para mapas de susceptibilidad a deslizamientos.	Identificación de zonas de alto riesgo para asentamientos urbanos.

1. Datos Meteorológico		
Autor(es)	Uso	Aplicación
Alizade et al. (2016)	Análisis de estabilidad de taludes y comportamiento de los suelos en áreas montañosas.	Implementación de medidas preventivas como reforzamiento de taludes y drenajes.
Svalova et al. (2019)	Modelado geotécnico para simular la interacción entre suelo, agua y pendientes.	Generación de planes de manejo y mitigación en zonas montañosas.
3. Datos Socioeconómicos		
Autor(es)	Uso	Aplicación
Tuladhar (2019)	Evaluación de vulnerabilidad de comunidades según factores económicos y sociales.	Propuestas integra- das para reducir riesgos en áreas con pocos recursos.
Constante & Vásquez (2022)	Diagnóstico de comunidades afectadas por deslizamientos e inundaciones.	Desarrollo de planes de contingencia y educación comunitaria.
Morales Jadan & Oleas Espinoza (2023)	Análisis del impacto de los riesgos en asentamientos rurales y urbanos de Ecuador.	Reubicación de asentamientos en áreas de menor riesgo.
4. Simulaciones Climáticas		
Autor(es)	Uso	Aplicación
Bravo-López et al. (2023)	Uso de aprendizaje automático para simular el impacto del clima en la susceptibilidad de deslizamientos.	Generación de mapas predictivos para planificación territorial.
Vera Rodríguez & Albarracín Calderón (2017)	Simulación de escenarios de lluvias extremas y su impacto en cuencas hidrográficas.	Desarrollo de infra- estructura hidráulica resistente.
Svalova et al. (2019)	Modelado climático e integra- ción con datos topográficos para predecir deslizamientos.	Estrategias de mitigación a largo plazo basadas en simulaciones futuras.

Fuente: Elaboración propia

2 MARCO TEÓRICO

La comunidad de Marianza enfrenta importantes desafíos debido a su alta exposición a deslizamientos de tierra. La recopilación de datos meteorológicos históricos y el uso de modelos de simulación climática permiten una mejor comprensión de los patrones de precipitación y su impacto en la estabilidad del suelo.

Esta información es crucial para desarrollar un plan de gestión de riesgos que incluya acciones preventivas, como reubicar viviendas en áreas de menor riesgo, construir infraestructura resistente a deslizamientos de tierra y capacitar a la comunidad en técnicas de respuesta a emergencias. El desarrollo de un plan de gestión de riesgos basado en un enfoque integrado y colaborativo, que involucre a las autoridades locales, la comunidad y expertos en desastres naturales, es esencial para fortalecer la resiliencia de Marianza contra futuros deslizamientos de tierra e inundaciones.

En conclusión, los deslizamientos de tierra en el sector de Marianza requieren atención urgente y un enfoque integral para su manejo. La combinación de análisis de datos climáticos, planificación de riesgos, reforestación y educación comunitaria, junto con el fortalecimiento de la infraestructura y las prácticas de monitoreo, permitirá el desarrollo de estrategias efectivas para la prevención y mitigación de desastres. Esta investigación busca brindar una base científica sólida y recomendaciones prácticas para mejorar la seguridad y el bienestar de los habitantes de Marianza, contribuyendo así a la resiliencia y sostenibilidad de la comunidad ante los riesgos naturales. La zonificación especificada en el PDOT y el PUGS es esencial para la planificación territorial en Marianza, pues permite identificar las áreas más vulnerables a deslizamientos de tierra, y ayuda a definir las políticas de gestión del riesgo y sostenibilidad en esta comunidad.

3 METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto, integrando métodos cualitativos y cuantitativos para el análisis de la amenaza por deslizamientos en el sector de Marianza. Se aplicó una metodología sistemática basada en el uso de herramientas geospaciales, análisis geotécnico y climático, y validación mediante datos de campo. Esta metodología busca caracterizar las zonas de riesgo, identificar patrones meteorológicos relacionados con los movimientos de masa, y proponer estrategias de mitigación adaptadas al contexto local.

3.1 ENFOQUE GENERAL PARA EL ESTUDIO DE DESLIZAMIENTOS

El enfoque adoptado en este estudio parte del análisis integral del territorio a partir de la recopilación de información ambiental, geológica y climática, complementado con estudios de caso previos. Se aplicaron técnicas de teledetección, modelado geoespacial y análisis geotécnico para construir un diagnóstico preciso de la zona y elaborar una propuesta de gestión del riesgo, alineado con metodologías similares utilizadas en zonas andinas de alta vulnerabilidad (Morales & Oleas, 2023).

3.2 RECOPIACIÓN DE DATOS GEOESPACIALES, CLIMÁTICOS Y GEOTÉCNICOS

Datos Climáticos: Se obtuvieron de estaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2023), priorizando series históricas de precipitación, temperatura y humedad. Estos datos permitieron identificar eventos de lluvias extremas y su relación con la saturación de suelos.

Datos Geoespaciales: Se procesaron mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), principalmente con ArcGIS 10.8, integrando ortofotos de drones, imágenes satelitales y cartografía temática para evaluar pendientes, uso de suelo, y zonas urbanizadas.

Información Geológica y Geotécnica: Se revisó el estudio del Proyecto de Prevención de Desastres Naturales en la Cuenca del Paute (PRECUPA) desarrollado por JICA y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en 1998, el cual incluye mapas geológicos detallados y caracterización del subsuelo (JICA & INAMHI, 1998). A esto se sumaron inspecciones de campo para recolectar muestras y analizar parámetros como cohesión, porosidad, granulometría y resistencia al corte.

3.3 ANÁLISIS DE RIESGO DE DESLIZAMIENTOS

Se identificaron zonas de alta susceptibilidad a partir de la superposición de capas de datos geotécnicos, pendientes, escorrentía y registros de eventos pasados. Se emplearon modelos de susceptibilidad a deslizamientos como SHALSTAB para simular escenarios ante lluvias intensas y evaluar el comportamiento del suelo. La validación se realizó mediante eventos históricos registrados en la zona (INAMHI, 2023).

3.4 DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN

A partir del análisis multivariable, se diseñaron estrategias de mitigación divididas en estructurales y no estructurales. Estas acciones se desarrollaron tomando como referencia estudios recientes en la misma zona, como el de Morales y Oleas (2023), quienes proponen lineamientos territoriales específicos frente al riesgo de deslizamientos en Marianza, integrando factores técnicos y sociales en la toma de decisiones.

3.5 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos permiten identificar zonas críticas caracterizadas por suelos coluviales, pendientes mayores al 30% y una fuerte influencia de eventos climáticos extremos. Las simulaciones y modelos generados evidencian la necesidad urgente de estrategias preventivas, como las mencionadas anteriormente, orientadas a reducir la vulnerabilidad y fortalecer la resiliencia del territorio frente a eventos de remoción en masa.

4 RESULTADOS

4.1 RESULTADO 1: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CLIMÁTICA DEL SECTOR

Objetivo específico relacionado: Recolectar información geotécnica que permita caracterizar las zonas de riesgo.

El sector de Marianza, situado en las coordenadas geográficas X: 711262 y Y: 9684179, enfrenta un creciente riesgo de tamaños de tierra debido a factores geológicos, topográficos y climáticos. (Figura 1)

Figura 1. Ortofoto actual del Sector Marianza caso de estudio

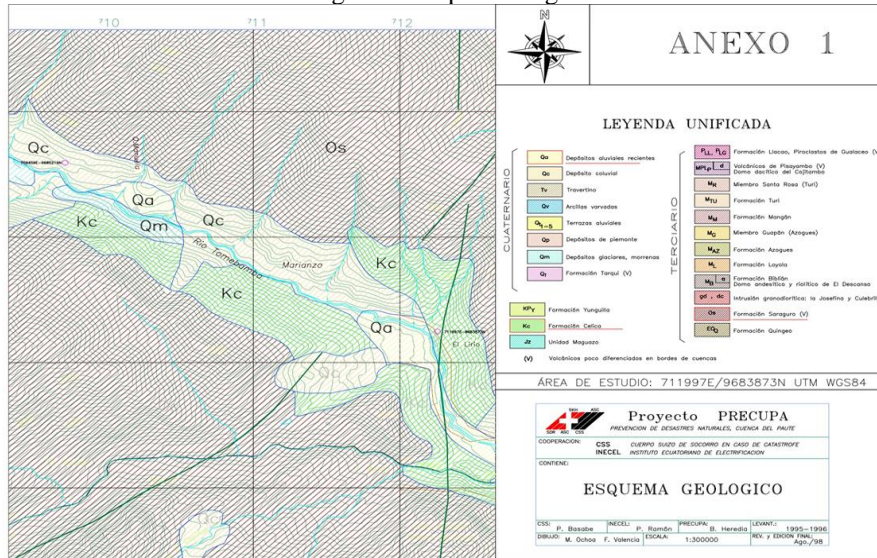


Fuente: Elaboración propia – Fotogrametría con el Dron DJI AIR S2

La evaluación de estos fenómenos requiere un enfoque integral que combine el análisis de datos climáticos (lluvias intensas, variaciones en la humedad) y geotécnicos (tipo de suelo, saturación) con estrategias de mitigación. En este contexto, la implementación de técnicas de monitoreo y modelado climático es fundamental para identificar patrones de precipitaciones intensas y variaciones en la humedad del suelo que predispongan a los graduales. A través de la reforestación en áreas críticas, el fortalecimiento de las infraestructuras viales y habitacionales, así como la construcción de sistemas de drenaje adecuados, es posible reducir la vulnerabilidad del sector.

Con la finalidad de conocer las características geológicas de la zona, se revisa la información del Proyecto Prevención de Desastres Naturales en la Cuenca del Paute (PRECUPA - NOV. 1998), en cuyo mapa geológico (Figura 2), se determina que el área de análisis se ubicaría en el alforamiento de materiales que corresponden a Depósitos Aluviales (QA) y las formaciones Saraguro (Os) y Celica (KC).

Figura 2. Mapa Geológico



Fuente: Proyecto Precupa

En este contexto geológico y de escorrentía resalta la necesidad urgente de implementar estrategias de mitigación efectivas para prevenir y manejar los deslizamientos en la zona. Las estrategias de mitigación basadas en análisis de datos climáticos son esenciales para la planificación del riesgo en áreas propensas a deslizamientos como el sector de Marianza.

El monitoreo continuo de las condiciones del suelo, la saturación del terreno y las características de los taludes, junto con la recopilación de datos sobre la pluviosidad y otros factores climáticos, es fundamental para desarrollar modelos predictivos del riesgo de deslizamientos.

Esto puede incluir la implementación de sistemas de alerta temprana, estabilización de taludes, drenajes adecuados y otras medidas preventivas para mitigar los efectos de las escorrentías y las crecidas del río Tomebamba. En resumen, la combinación de un análisis geológico detallado con datos climáticos actualizados permite una planificación efectiva del riesgo, fundamentada en las condiciones locales del terreno y en la predicción de eventos que puedan desencadenar deslizamientos, mejorando la resiliencia del sector de Marianza frente a desastres naturales.

Tabla 2. Características Geológicas y Condiciones de Escorrentía en el Sector Marianza caso de Estudio

Aspecto	Descripción
Tipo de Depósito Geológico	Depósitos coluviales tipo "Matriz-soportado"
Composición	40% material fino cuaternario, bloques de roca andesítica, gravas, arenas, limos y arcillas.
Resistencia a Compresión	100 - 250 MPa (roca de alta resistencia)
Tamaño de los Bloques	Entre 1 m y 4 m, con fracturación leve.
Porosidad	Media a alta, con transmisibilidad variable.
Comportamiento	Visco-plástico, cohesivo, poco permeable.

Aspecto	Descripción
Condiciones de Riesgo	Saturación del terreno, fracturación de rocas, alta escorrentía, cambios geodinámicos (aluviones, lluvias extremas, sismos).
Eventos Geodinámicos Rápidos	Aluviones formados por flujos de clastos semi redondeados.
Riesgo de Inestabilidad	Taludes adyacentes y cercanos al río Tomebamba, debido a escorrentía y crecidas del caudal.
Ubicación Crítica	Colector cercano a la ribera del río Tomebamba, punto vulnerable a crecidas del río.

Fuente: Elaboración propia

En resumen, la tabla resalta un entorno geológico y climático complejo que genera riesgos potenciales de inestabilidad debido a las características del terreno y los eventos geodinámicos que podrían desencadenar deslizamientos o inundaciones. Este resultado cumplió el objetivo específico de recolectar y analizar información geotécnica detallada para identificar las áreas más vulnerables a deslizamientos.

Figura 3. Fotografía del dron

Coordenadas 711226 m E – 96842074 m N



Fuente: Gestion de Riesgos

4.2 RESULTADO 2: EVALUACIÓN DE EVENTOS GEODINÁMICOS Y RIESGOS ASOCIADOS

Objetivo específico relacionado: Analizar los datos meteorológicos históricos y actuales para identificar patrones de precipitación asociados a deslizamientos.

La evaluación realizada mediante drones en la parte alta del sector de estudio permitió obtener información detallada sobre el estado de las quebradas, áreas donde se presentaron fenómenos de remoción en masa de gran magnitud, como los aluviones. Se observó que los cauces afectados muestran signos de erosión, socavación del lecho, derrumbes en las márgenes y la exposición de rocas de gran

tamaño en el lecho del cauce. (Figura 3) Estas condiciones son atribuibles al incremento del caudal y la sobresaturación del suelo, que han sido impulsadas por eventos hidrometeorológicos extremos, tales como lluvias intensas y concentradas en corto tiempo.

Los análisis geológicos y las observaciones muestran que los eventos de remoción en masa, como los aluviones, se repiten cíclicamente debido a las características morfológicas y litológicas de la zona. Las pendientes abruptas, combinadas con la presencia de materiales como arcillas y rocas de diversos tamaños, facilitan la inestabilidad del terreno, particularmente en condiciones hidrometeorológicas extremas. Además, la exposición de grandes rocas en el lecho de los cauces y la erosión fluvial en las márgenes continúan siendo factores de riesgo significativos. El riesgo persiste, especialmente cuando el caudal de los cauces aumenta debido a lluvias intensas, continuas o prolongadas, exacerbando los deslizamientos.

Tabla 3. Evaluación de Condiciones Geológicas, Hidrometeorológicas y Riesgo de Deslizamientos en el Sector de Marianza

Aspecto	Descripción
Ubicación	Coordenadas UTM WGS 84 17M: 711262 m E – 9684179 m N y 711361 m E – 9684438 m N.
Fenómenos Observados	Erosión, socavación del lecho, derrumbes en las márgenes, rocas expuestas, aluviones.
Causas Principales	Incremento de caudal y sobresaturación del suelo debido a lluvias intensas y concentradas en corto tiempo.
Material Arrastrado	Materiales de las Formaciones Saraguro y Celica depositados en cotas inferiores.
Zonas de Riesgo	Áreas cercanas a la ribera del río Tomebamba, infraestructura vulnerable, taludes inestables.
Características Geológicas	Pendientes abruptas, presencia de arcillas y rocas de diferentes tamaños.
Factores de Inestabilidad	Exposición de rocas en el lecho, erosión fluvial en márgenes, condiciones hidrometeorológicas extremas.
Microcuencas	Microcuencas con pendientes pronunciadas, cobertura vegetal predominante, estabilización del terreno.
Riesgo de Deslizamiento	Persistente, especialmente con incrementos en el caudal debido a lluvias intensas o prolongadas.

Fuente: Elaboración propia

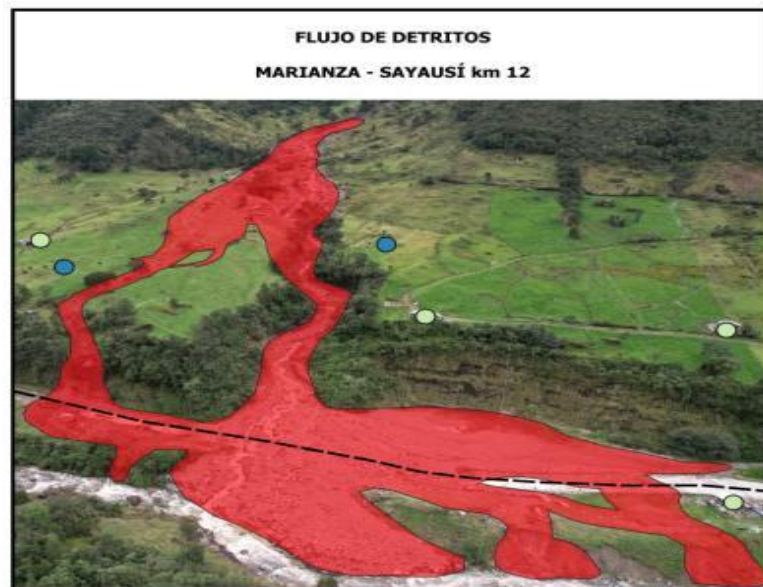
La evaluación realizada en el sector de Marianza muestra que la combinación de condiciones geológicas y eventos hidrometeorológicos extremos incrementa significativamente el riesgo de deslizamientos. La erosión, socavación del lecho y el arrastre de material hacia cotas inferiores son fenómenos recurrentes, exacerbados por las lluvias intensas y concentradas.

Este riesgo persiste especialmente en áreas cercanas a cuerpos de agua y taludes inestables. Sin embargo, la presencia de cobertura vegetal en las microcuencas contribuye a la estabilización del terreno y a la regulación de la escorrentía.

La implementación de estrategias de mitigación basadas en análisis de datos climáticos es esencial para la planificación del riesgo, permitiendo la identificación de períodos de alto riesgo y la ejecución de

medidas preventivas para reducir la probabilidad de deslizamientos en la región. Este resultado permitió identificar los patrones climáticos críticos asociados a los deslizamientos, cumpliendo con el objetivo de estudiar los factores meteorológicos históricos y actuales. Los flujos de detritos se originan en las zonas de mayor pendiente y se desplazan hacia las áreas más bajas, afectando principalmente los valles cercanos a los ríos y quebradas. (Figura 4) En las zonas con alta acumulación de agua, la erosión es más pronunciada, lo que aumenta la probabilidad de deslizamientos.

Figura 4. Flujo de detritos



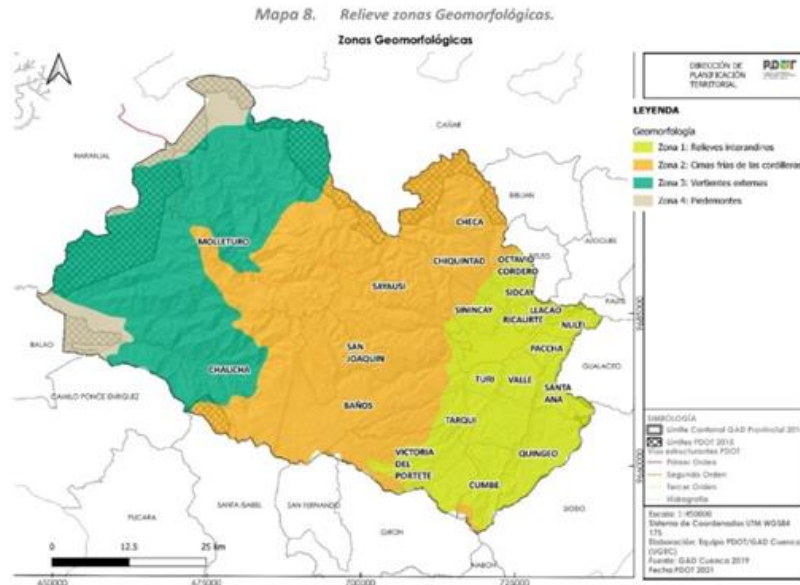
Fuente: Gestion de Riesgos

4.3 RESULTADO 3: DINÁMICA DE FLUJOS DE DETRITOS Y TOPOGRAFÍA

Objetivo específico relacionado: Aplicar modelos predictivos y simulaciones geoespaciales para determinar áreas vulnerables.

El análisis geomorfológico de la zona de Marianza-Sayausí revela un complejo patrón de flujos de detritos, condicionado por la topografía y las características hidrológicas del área. (Figura 5)

Figura 5. Relieve zonas geomorfológicas



Fuente: Plan de Desarrollo de Ordenamiento Territorial – Unidad de Gestion Estrategica Cantonal

Las vertientes externas, formadas por pendientes pronunciadas y zonas de acumulación, son especialmente vulnerables a los procesos de erosión y deslizamientos. Las pendientes elevadas, en particular, actúan como flujos de detritos que se desplazan hacia las zonas más bajas, como los valles fluviales, donde el material arrastrado se deposita, alterando la topografía local y aumentando el riesgo de inundaciones. La ausencia de vegetación en algunas de estas áreas facilita la erosión, incrementando la probabilidad de deslizamientos durante eventos climáticos extremos, como lluvias intensas. Además, los valles fluviales, aunque menos inclinados, actúan como zonas de acumulación crítica, aumentando el riesgo de inundaciones y alteraciones del curso de los ríos. La combinación de estos factores subraya la importancia de un manejo adecuado del suelo y la implementación de estrategias de mitigación para reducir los riesgos asociados a los deslizamientos y flujos de detritos en la región.

Tabla 4. Interpretación del Relieve y Zonas Geomorfológicas de Marianza-Sayauzí (Vertientes Externas)

Factor	Descripción	Impacto en los Flujos de Detritos
Pendientes Pronunciadas	Zonas de mayor inclinación, principalmente en las partes altas de las vertientes.	Son zonas vulnerables a la erosión y deslizamientos, acelerando el desplazamiento de detritos hacia zonas más bajas.
Zonas de Acumulación	Áreas planas o con menor pendiente, ubicadas en los valles y cercanas a los ríos.	Actúan como puntos de acumulación de sedimentos y materiales arrastrados desde las vertientes más altas.
Montañas y Colinas	Formaciones rocosas más estables pero con pendientes pronunciadas.	A pesar de ser más estables, las zonas altas pueden generar deslizamientos bajo condiciones climáticas extremas o intervención humana
Valles Fluviales	Zonas bajas donde los ríos y quebradas depositan los	Son áreas de acumulación, pero también de riesgo ante

Factor	Descripción	Impacto en los Flujos de Detritos
	sedimentos traídos de las zonas más altas.	desbordamientos o flujos de detritos provenientes de las vertientes externas
Erosión del Suelo	El proceso de desgaste del suelo causado por la acción del agua, especialmente en áreas con alta acumulación de agua.	Incrementa el riesgo de deslizamientos, especialmente en áreas con vegetación escasa.
Vegetación	Cobertura vegetal que estabiliza el suelo, especialmente en zonas de pendiente moderada.	Su ausencia aumenta la vulnerabilidad de las vertientes externas al deslizamiento de tierras y la erosión acelerada.

Fuente: Elaboración propia

Este resultado permitió utilizar herramientas de simulación geoespacial y modelado del relieve para delimitar áreas de alta vulnerabilidad ante deslizamientos, cumpliendo el objetivo específico correspondiente.

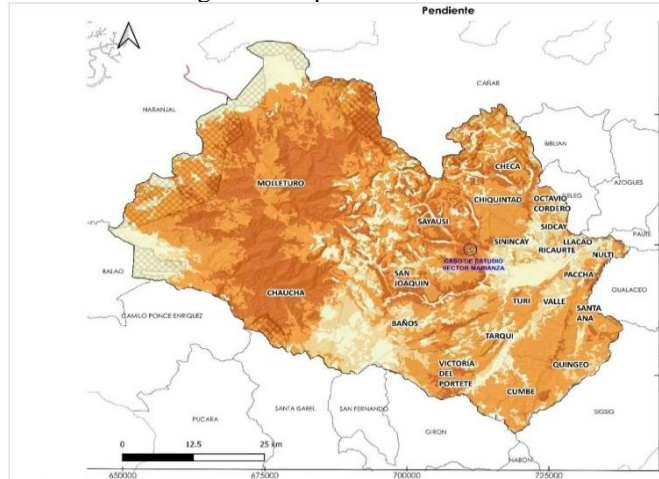
4.4 RESULTADO 4: HERRAMIENTAS GEOESPACIALES PARA LA PLANIFICACIÓN DEL RIESGO

Objetivos específicos relacionados: Aplicar modelos predictivos y recolectar información técnica relevante para la toma de decisiones.

4.4.1 Mapa de pendientes

El mapa de pendientes de la zona de Marianza-Sayausí revela una clara diferenciación en las inclinaciones del terreno, que varían desde áreas de alta pendiente en las zonas montañosas hasta áreas de pendiente baja en los valles fluviales. (Figura 6) Las zonas de alta pendiente, representadas por tonos cálidos, corresponden principalmente a las colinas y montañas con inclinaciones superiores al 30%.

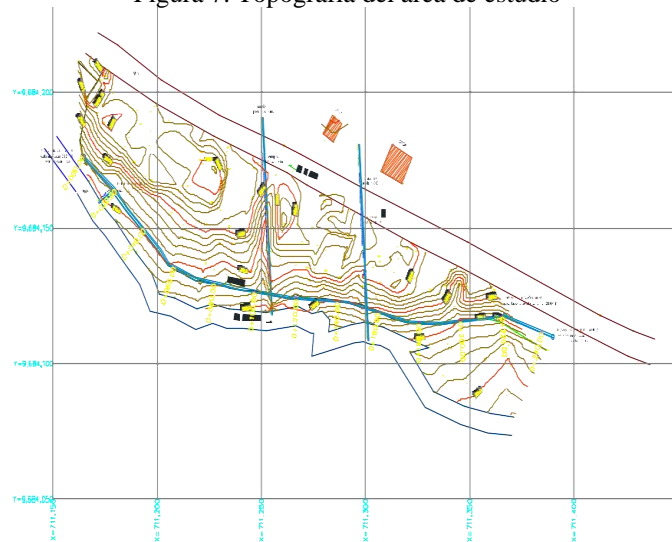
Figura 6. Mapa de Pendientes



Fuente: Plan de Desarrollo de Ordenamiento Territorial – Unidad de Gestion Estrategica Cantonal

Estas áreas son altamente vulnerables a la erosión y deslizamientos, especialmente durante lluvias intensas, ya que el agua se desplaza rápidamente hacia las zonas más bajas, arrastrando sedimentos y aumentando el riesgo de desastres naturales. La topografía de la región tiene una forma de V, caracterizada por pendientes que varían entre el 30% y el 50%, lo cual incrementa considerablemente el riesgo de inestabilidad del suelo. (Figura 7)

Figura 7. Topografía del área de estudio

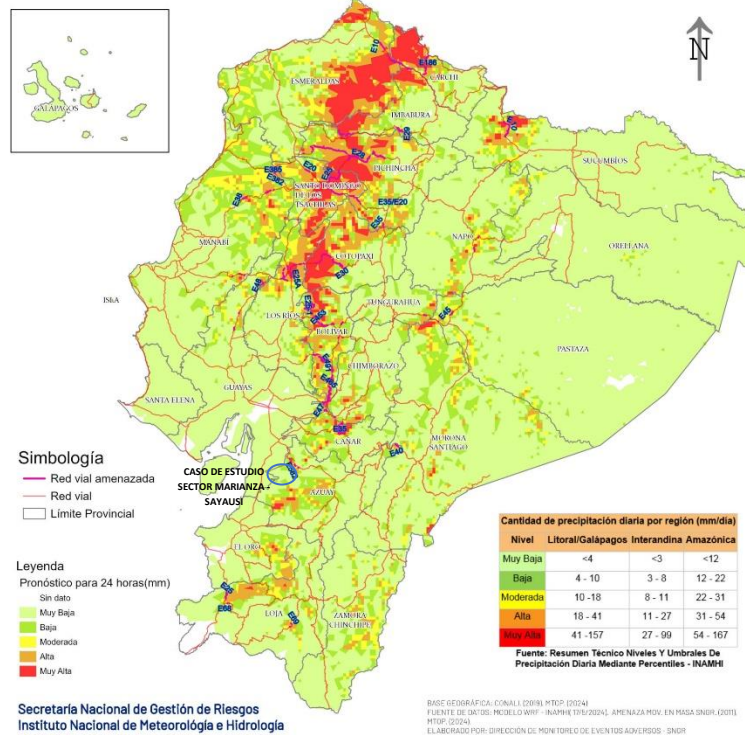


Fuente: Elaboración propia – Dron DJI AIR S2

La altura en esta zona varía entre los 2800 msnm y los 4450 msnm, lo que influye tanto en la acumulación de agua durante eventos climáticos intensos como en la susceptibilidad a deslizamientos derivados de la saturación del terreno.

Durante eventos de lluvias fuertes, las zonas planas pueden experimentar inundaciones si la capacidad de los ríos y quebradas cercanas para drenar el agua es insuficiente. (Figura 8)

Figura 8 Monitoreo de amenaza por movimientos de masa – precipitaciones



Fuente: Secretaria Nacional de Gestion de Riegos – Instituto Nacional de Meteorología e Hidrologia

La interpretación de este mapa es crucial para la planificación territorial, ya que permite identificar las zonas de mayor riesgo y desarrollar estrategias de mitigación, como la conservación de la vegetación y la gestión adecuada de los recursos hídricos. Estas herramientas permitieron establecer criterios de alerta temprana y fundamentar estrategias de mitigación, como la reforestación, la construcción de drenajes y la estabilización de taludes.

El análisis conjunto del **mapa de pendientes** (Figura 6), la **topografía regional** (Figura 7) y los datos de **monitoreo hidrometeorológico** (Figura 8) permitió identificar zonas con alta susceptibilidad a deslizamientos, especialmente aquellas con pendientes mayores al 30%, exposición de rocas, y antecedentes de remoción en masa. Estos datos geospaciales y climáticos facilitaron el desarrollo de simulaciones para anticipar escenarios de riesgo y definir zonas prioritarias de intervención.

Con base en esta información, y en cumplimiento del **objetivo general** de diseñar estrategias de mitigación frente a deslizamientos en el sector de Marianza, se proponen las siguientes medidas, articuladas en tres ejes estratégicos:

1. Estrategias Estructurales

- **Implementación de sistemas de drenaje superficial y subterráneo**, especialmente en zonas de acumulación de escorrentía, para reducir la saturación del suelo que precede a los deslizamientos.
- **Estabilización de taludes** mediante técnicas de bioingeniería y estructuras de contención en áreas de alta pendiente y riesgo comprobado.

- **Reforzamiento de infraestructura existente** (vial y habitacional) con soluciones técnicas como muros anclados, pilotes o estructuras de disipación de energía en quebradas.
- **Canalización y encauzamiento de cursos hídricos** críticos, como los afluentes del río Tomebamba, donde se ha identificado socavación y riesgo de aluviones.

2. Estrategias No Estructurales

- **Zonificación de áreas de riesgo** mediante mapas temáticos generados con SIG, para orientar la planificación territorial y la regulación del uso del suelo.
- **Reforestación en zonas de pendiente pronunciada** y áreas con cobertura vegetal deteriorada, para mejorar la retención hídrica del suelo y su estabilidad.
- **Programas de sensibilización y capacitación comunitaria** en gestión del riesgo, alertas tempranas y prevención de desastres.
- **Regulación de intervenciones humanas** (construcción, tala, agricultura) en zonas inestables, con medidas de control y seguimiento técnico.

3. Estrategias Basadas en Tecnología y Ciencia

- **Desarrollo de un sistema de alerta temprana multivariable**, basado en umbrales de precipitación, monitoreo de humedad del suelo e inclinación del terreno.
- **Uso de sensores y estaciones automáticas** para monitoreo climático y geotécnico continuo en puntos críticos.
- **Aplicación de modelos de simulación geoespacial y análisis SIG** (por ejemplo, SHALSTAB o HEC-HMS) para evaluar el comportamiento potencial de deslizamientos en distintos escenarios climáticos.
- **Monitoreo con drones y análisis satelital periódico**, para identificar desplazamientos del terreno, erosión progresiva y cambios morfológicos en quebradas y taludes.

Estas estrategias fueron diseñadas con base en el análisis técnico realizado y permiten responder al objetivo general del estudio: diseñar estrategias de mitigación frente a deslizamientos en el sector de Marianza, integrando herramientas tecnológicas, modelado geoespacial y análisis de datos geotécnicos y climáticos, con el propósito de fortalecer la gestión del riesgo y optimizar la toma de decisiones en contextos de alta vulnerabilidad.

5 DISCUSIÓN

El análisis realizado en el sector de Marianza resalta una serie de factores que aumentan significativamente la vulnerabilidad de la zona ante deslizamientos de tierra. La combinación de características geológicas, como los depósitos coluviales y las formaciones de rocas de alta resistencia,

junto con las condiciones climáticas extremas, genera un riesgo constante de inestabilidad del suelo. Las lluvias intensas y concentradas en cortos períodos de tiempo agravan la saturación del terreno, lo que facilita los deslizamientos y otros fenómenos de remoción en masa. La presencia de microcuencas y la configuración topográfica en forma de V, con pendientes abruptas, también contribuyen a la inestabilidad, siendo áreas cercanas a los cauces fluviales y taludes los puntos más críticos.

El análisis de los datos geológicos y climáticos muestra que los deslizamientos son recurrentes y están estrechamente ligados a las variaciones en el caudal del río Tomebamba y la saturación del suelo. Los estudios históricos de lluvias y la modelización climática de eventos extremos son herramientas fundamentales para anticipar los períodos de mayor riesgo y tomar decisiones informadas sobre las medidas preventivas a implementar. Es evidente que la región de Marianza enfrenta un riesgo elevado de deslizamientos, especialmente cuando las lluvias extremas afectan el terreno saturado, favoreciendo procesos de erosión y socavación. Aunque la vegetación contribuye a la estabilización del terreno, su capacidad para mitigar el riesgo se ve limitada por el aumento de eventos climáticos extremos, lo que requiere un enfoque integral para reducir la vulnerabilidad. Un estudio reciente titulado “Propuesta de lineamientos de intervención territorial en asentamientos con riesgos a deslizamientos de tierra. Caso de estudio: Marianza” realizado por Morales y Oleas (2023), abordó específicamente la problemática de los deslizamientos en este mismo sector. A través de un enfoque integral que combinó análisis geológico, topográfico y social, los autores identificaron las zonas de mayor vulnerabilidad y plantearon estrategias de intervención como el mejoramiento de la infraestructura, el ordenamiento del uso del suelo y la gestión comunitaria del riesgo. Este trabajo respalda los resultados del presente estudio, destacando la importancia de incorporar herramientas tecnológicas y criterios científicos en el diseño de estrategias de mitigación para zonas con condiciones similares, reafirmando así la necesidad de una planificación territorial orientada a la reducción del riesgo de desastres.

6 CONCLUSIONES

El estudio realizado en el sector de Marianza ha permitido una profunda comprensión de las condiciones geológicas, climáticas y geomorfológicas de la zona, así como de los riesgos asociados a deslizamientos y eventos geodinámicos. A partir de los resultados obtenidos, se destacan las siguientes conclusiones claves:

El análisis geotécnico revela un entorno geológico complejo con materiales coluviales y depósitos aluviales que favorecen la inestabilidad del terreno. La alta escorrentía, junto con la saturación del suelo, aumenta el riesgo de deslizamientos, especialmente durante eventos de lluvias intensas. La combinación

de estos factores exige la implementación de estrategias de mitigación urgentes para proteger las áreas vulnerables, especialmente en los taludes cercanos al río Tomebamba.

Los eventos hidrometeorológicos extremos, como lluvias intensas y concentradas, agravan las condiciones de inestabilidad del terreno, contribuyendo a la erosión, socavación del lecho y el desplazamiento de materiales. La información obtenida a través de drones y otros métodos de monitoreo ha permitido identificar áreas de riesgo elevado, especialmente en las márgenes de los cauces y las zonas cercanas a las vertientes de alta pendiente. La repetición cíclica de eventos como los aluviones pone de manifiesto la necesidad de estrategias de intervención a largo plazo.

El análisis geomorfológico de la región muestra que las zonas de alta pendiente, especialmente aquellas sin vegetación, son altamente vulnerables a procesos de erosión y deslizamientos. Los flujos de detritos son un fenómeno recurrente que afecta especialmente a los valles fluviales, que actúan como puntos críticos de acumulación de sedimentos. La combinación de pendientes pronunciadas y la falta de cobertura vegetal incrementa la susceptibilidad a deslizamientos, subrayando la necesidad de reforestación y manejo del suelo.

La implementación de herramientas geoespaciales, como los mapas de pendientes y los modelos predictivos basados en datos climáticos y geotécnicos, ha sido fundamental para identificar áreas de alto riesgo. El uso de estas herramientas basadas en la topografía y en la dinámica de los flujos de detritos, lo que facilita la planificación del riesgo y la priorización de intervenciones en las zonas más vulnerables.

Las estrategias de mitigación propuestas se dividen en tres ejes principales: estructurales, no estructurales y basadas en tecnología y ciencia. Las medidas estructurales incluyen la estabilización de taludes, la construcción de drenajes y la canalización de ríos, mientras que las estrategias no estructurales comprenden la reforestación y la sensibilización comunitaria. Además, el desarrollo de un sistema de alerta temprana y el monitoreo continuo mediante tecnologías avanzadas como drones y sensores automáticos contribuirán a una gestión más eficiente del riesgo.

La combinación de datos geotécnicos, climáticos y geoespaciales permite una planificación integral y fundamentada en evidencias, lo que mejora la capacidad de respuesta frente a eventos extremos. La implementación de modelos de simulación geoespacial y el uso de monitoreo satelital son esenciales para anticipar escenarios de riesgo y optimizar la toma de decisiones en situaciones de alta vulnerabilidad. En conclusión, el estudio proporciona una base sólida para el diseño de estrategias de mitigación frente a deslizamientos en el sector de Marianza, con un enfoque integral que combina análisis geotécnicos, climáticos y geomorfológicos, junto con el uso de herramientas tecnológicas avanzadas. La aplicación de estas estrategias contribuirá a reducir la vulnerabilidad de la zona y a mejorar la resiliencia frente a futuros desastres naturales.

7 RECOMENDACIONES

Fortalecimiento de la infraestructura y sistemas de drenaje: Mejorar la infraestructura vial y habitacional en las zonas críticas cercanas al río Tomebamba, implementando sistemas de drenaje como canales o zanjas de coronación para desviar el agua y evitar la erosión de las laderas.

Reforestación y restauración de la cobertura vegetal: Seleccionar especies vegetales nativas adaptadas a las condiciones del terreno, con raíces profundas para estabilizar el suelo y especies resistentes a la sequía y humedad. Integrar arbustos y herbáceas para prevenir la erosión y mejorar la infiltración de agua, empleando técnicas de bioingeniería como la plantación en curvas de nivel y el uso de barreras vivas.

Monitoreo y modelado climático continuo: Establecer un sistema de monitoreo en tiempo real que incluya estaciones meteorológicas, sensores de humedad del suelo y pluviómetros, junto con tecnologías avanzadas como LiDAR y drones para evaluar cambios en la cobertura vegetal y la topografía. Utilizar herramientas de modelización climática y análisis de datos para mejorar la predicción y gestión de riesgos.

Sistemas de alerta temprana y educación comunitaria: Desarrollar un sistema de alerta temprana para predecir eventos climáticos extremos, asegurando que las comunidades locales reciban información oportuna. Implementar campañas de sensibilización y capacitación para enseñar a la población cómo responder ante fenómenos como deslizamientos de tierra.

Estudio de intervenciones estructurales: Integrar tecnología avanzada y participación comunitaria para desarrollar un sistema de alerta temprana que utilice sensores especializados (inclinómetros, sensores de humedad, estaciones meteorológicas) y modelos predictivos. Las alertas con niveles de riesgo deben ser comunicadas a la población a través de múltiples canales como SMS, aplicaciones móviles, y sirenas comunitarias. Además, se deben realizar simulacros periódicos y capacitar a redes de voluntarios locales.

Fortalecimiento de la resiliencia comunitaria: Fomentar la participación activa de la comunidad en la identificación de riesgos y en la implementación de medidas preventivas. Crear redes de voluntarios entrenados que ayuden a difundir las alertas y coordinar las respuestas ante desastres naturales, contribuyendo así a una acción efectiva y coordinada en situaciones de emergencia.

AGRADECIMIENTO

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestría en Construcciones con mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad

Católica de Cuenca, por ello agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación; al Departamento Medioambiental de ETAPA, Gestión de Riesgos, por los conocimientos e información brindados para la elaboración del trabajo.

REFERENCIAS

- Alcántara-Ayala, I., & Sassa, K. (2023). Landslide risk management: from hazard to disaster risk reduction. In *Landslides* (Vol. 20, Issue 10, pp. 2031–2037). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s10346-023-02140-5>
- Alizade, E., Ismayilov, M., Guliyeva, S., Zeynalova, S., Tarikhazer, S., Yunusov, M., Mustafayev, N., & Mammadbayov, E. (2016). The assessment of landscape and environmental risks and hazards caused by landslides in mountain areas. *Applied Ecology and Environmental Research*, 14(3). https://doi.org/10.15666/aer/1403_573586
- Beltrán, J. (2022, 01 de abril). Aluviones alteran las cuencas del río Tomebamba. *Primicias*. <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/aluviones-alteran-cuencas-rio-tomebamba/>.
- Benito, M., Lindholm, C., Camacho, E., Climent, A., Marroquín, G., Molina, E., Rojas, W., Escobar, J., Talavera, E., Alvarado, G., & Torres, Y. (2012). A new evaluation of seismic hazard for the Central America region. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 10(2), 504-523.
- Borja, D. (2022, 02 de febrero). 127 aluviones se registraron en Ecuador desde octubre de 2020. *Vistazo*. <https://www.vistazo.com/actualidad/nacional/127-aluviones-se-registraron-en-ecuador-desde-octubre-de-2020-KM1295194>
- Bravo-López, E., Fernández Del Castillo, T., Sellers, C., & Delgado-García, J. (2023). Analysis of Conditioning Factors in Cuenca, Ecuador, for Landslide Susceptibility Maps Generation Employing Machine Learning Methods. *Land*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/land12061135>
- Chen, Y., He, X., Xu, C., Huang, Y., Zhang, P., Luo, Z., & Zhan, T. (2022). Development Characteristics and Causes of a Fatal Landslide Occurred in Shuicheng, Guizhou Province, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/ijgi11020119>
- Constante, E., & Vásquez, J. (2022). Propuesta de un plan de gestión de riesgos ante Deslizamientos e inundaciones en la comunidad de Marianza perteneciente a la parroquia Sayausí. *Universidad Politécnica Salesiana*.
- Fernández Arce, M. E. (2024). Aportes de la sismología a la reducción del riesgo. *Revista Geofísica*, 70. <https://doi.org/10.35424/rgf.i70.950>
- Fernández Arce, M., & Rodríguez Campos, J. (2019). Aportes de la sismología a la reducción del riesgo. 35-45.
- Gestión de Riesgos. (2024). SITREP Época Lluviosa Nro. 2 Azuay (6 de mayo de 2024). <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2024/05/SITREP-EPOCA-LLUVIOSA-Nro.2-Azuay-06052024-1.pdf>
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M. y Ardizzone, F. (2006). Evaluación probabilística del peligro de deslizamientos a escala de cuenca. *Geomorfología*, 72(1–4), 272–299. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.06.002>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI. (2023). *Boletín Climático Anual 2022*.

- Morales Jadan, J. A., & Oleas Espinoza, P. A. (2023). Propuesta de lineamientos de intervención territorial en asentamientos con riesgos a deslizamientos de tierra. Caso de estudio: Marianza. Universidad de Cuenca.
- Morales Jadan, J. A., & Oleas Espinoza, P. A. (2023). Propuesta de lineamientos de intervención territorial en asentamientos con riesgos a deslizamientos de tierra. Caso de estudio: Marianza. Universidad de Cuenca.
- Svalova, V. B., Zaalishvili, V. B., Ganapathy, G. P., Nikolaev, A. V., & Melkov, D. A. (2019). Landslide risk in mountain areas. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii*, 9(2), 109–127. <https://doi.org/10.23671/VNC.2019.2.31981>
- Tuladhar, R. M. (2019). Towards effective and sustainable disaster risk management in Nepal: challenges and gaps. *Journal of Nepal Geological Society*, 59. <https://doi.org/10.3126/jngs.v59i0.24984>
- Vera Rodríguez, J. M., & Albarracín Calderón, A. P. (2017). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante amenazas de inundación, remoción en masa y flujos torrenciales en cuencas hidrográficas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2), 109–136. <https://doi.org/10.18359/r>