

Análisis geomecánico mediante modelo de estabilidad de laderas en la zona de Bambito (Chiriquí)

Geomechanical model analysis of slopes stability in the Bambito area (Chiriquí)

Cristhian Caballero^{1,2}, Patricia Castillo^{1,2}, Josué Castrellón^{1,2}, Stephania Rodríguez^{1,2,}*

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de ingeniería civil, Grupo de Investigación de Ingeniería Geotécnica, Panamá

²Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de ingeniería civil, Grupo de Investigación de Ingeniería Sísmica, Panamá

Fecha de recepción: 22 de marzo de 2023. **Fecha de aceptación:** 28 de junio de 2023.

***Autor de correspondencia:** stephania.rodriguez@utp.ac.pa

Resumen. El distrito de Tierras Altas se caracteriza por su topografía escarpada de alta montaña y su ubicación en el arco volcánico de Chiriquí que, en conjunto con las características propias del suelo y factores tanto naturales como antrópicos, exponen la zona a numerosos riesgos de deslizamientos por caídas de rocas y deslaves superficiales. El objetivo del presente artículo es evaluar el riesgo y analizar el desencadenamiento de deslizamientos en el distrito de Tierras Altas mediante un análisis geomecánico de estabilidad de laderas. Para obtener los parámetros de entrada del modelo se recolectaron muestras y se determinaron datos geotécnicos in situ en cuatro estaciones de la zona de Bambito, que permitió una clasificación de suelos y la caracterización de la matriz rocosa a partir de análisis granulométricos, límites de Atterberg, determinación de buzamiento, dirección de buzamiento, índice de calidad de roca (RQD) y clasificación geomecánica de Bieniawski (RMR); con el fin de generar un modelo 2D de taludes con el software GeoSlope, que permitió evaluar los factores de riesgo para cada estación. Fue posible determinar la presencia de materiales con índice de plasticidad baja y poco cohesivos, así como configuraciones en la matriz rocosa favorables a la propagación de deslizamientos, relacionando los factores de riesgo más importantes directamente con el tipo de material, la estratigrafía y topografía, y se reconocen la cobertura vegetal y cargas climáticas de la zona, como los elementos desencadenantes secundarios.

Palabras clave. Deslizamientos, estabilidad, factor de seguridad, geomecánica, modelo, taludes.

Abstract. The Tierras Altas district is known for a steep high mountain topography and belongs to the Chiriqui volcanic arc that presents special soil characteristics, which exposes the area to numerous landslides risks such as rockfalls and superficial mudslides. The objective of this article is to evaluate the potential landslide risk and the effects in the Tierras Altas district through a slope stability geomechanical analysis. The entry data needed to create this model was collected through geotechnical in situ testing and specimen acquisition in four different stations at the Bambito area to execute laboratory tests of soil classification and rock matrix characterization based on granulometric analysis, Atterberg limits, dip/dip direction, rock quality designation (RQD), and Bieniawski's rock mass rating classification (RMR); a 2D slope model was generated for each station with the Geoslope software. The geometric and strength coupling of the in-situ soils points at the presence of no plasticity index and cohesion, in addition to rock matrix configurations that are favorable to the propagation of landslides, relate the most important risk factors directly to the type of soils, the stratigraphic and topographic configuration.

Keywords. Landslides, stability, security factor, geomechanical, model, slopes.

1. Introducción

Mediante este estudio se busca evaluar el riesgo de deslizamientos en la zona de Bambito, Tierras altas; a través de la recolección de data geotécnica en campo que permita caracterizar el suelo y la estratigrafía, elaborando un modelo para el análisis de estabilidad respecto a deslizamientos y proponiendo alternativas que permitan prevenir o minimizar el efecto de este tipo de fallas.

Las pendientes pronunciadas y las características propias del suelo de la región constituyen un factor de riesgo de gran importancia, a causa de la erosión producto de las prolongadas precipitaciones principalmente durante la época de invierno, como desencadenante de derrumbes y deslizamientos que afectan negativamente a la población de la región.

Los deslizamientos se definen como el movimiento cuesta abajo de una masa rocosa, escombros o tierra por pendiente [1] y pueden ser causadas por una gran variedad de factores. La inestabilidad en laderas puede ser causada por fenómenos como fuertes precipitaciones, movimientos sísmicos o erosión repentina; y se produce al existir un cambio en el esfuerzo o cambios en las características físicas del suelo, generando una falla en una zona vulnerable en la superficie del suelo o ladera.

Pueden ocurrir deslizamientos en suelos o lechos rocosos, tanto en tierra cultivada, como en laderas áridas o bosques naturales; independientemente que se trate de suelos secos o húmedos [1].

Cuando se trata de deslizamientos, algunos casos presentan movimientos lentos, continuos o intermitentes, permitiendo la acción humana en cuanto a medidas de estabilización o evacuación; por el contrario, existen otros casos en los que después de cierto preludio de deformación lenta, se aceleran y logran velocidades altas [2].

1.1 Marco Geográfico y Geológico

El distrito de Tierras Altas está ubicado en la Provincia de Chiriquí, geomorfológicamente, se caracteriza con una topografía elevada e irregular, contando con elevaciones entre 1,000 metros y 3,000 metros sobre el nivel del mar [3].

Los suelos son en su totalidad de tipo Andosol [4], estos presentan una fuerte susceptibilidad a la erosión y están formados por materia orgánica, arcillas piroclásticas, alófano e imogolita, además de contar con una alta capacidad de retener agua y una baja densidad [5].

La geología de la región presenta rocas de origen volcánico en dos conjuntos diferenciados, presentes en porcentajes similares y conocidos como Virigua y Barú respectivamente. Esta geología influye en la erosión que presentan los sedimentos; con una diferenciación según la estación del año, principalmente durante invierno en que se da un importante

aumento en las precipitaciones causando inundaciones y un aumento en la erosión debida a la lluvia [4].

Las pendientes de las laderas poseen gradientes altos desde 15 % a 40% para la mitad de las pendientes de la región, superiores a 40 % para 10 % de la región e inferiores a 15 % para el resto. La precipitación promedio anual de la región es de 4600 mm, con máximos de 7000 mm y mínimos de 2200 mm [6]. Este es uno de los distritos de mayor precipitación en ambas estaciones, lluviosa y seca.

1.2 Antecedentes de fallas

Históricamente la zona ha sido afectada en numerosas ocasiones por deslizamientos en condiciones climáticas desfavorables. En septiembre de 2017 las fuertes precipitaciones causaron deslizamientos y el desbordamiento de la Quebrada Grande, afectando inicialmente a por lo menos tres viviendas, conductores y peatones [7].

En el año 2020 bajo condiciones climáticas menos favorables debido a los efectos del huracán Eta, se declaró una alerta amarilla en respuesta a los efectos de las inundaciones y deslizamientos ocasionados, provocando afectaciones humanas y materiales sin precedentes y dejando la zona completamente incomunicada [8].

La región cuenta con un sistema de alerta temprana para la gestión de riesgos; sin embargo, solamente se contempla un monitoreo en eventos climáticos extremos, por lo que no se consideran otros factores como posibles desencadenantes de situaciones de riesgo [6].

La poca información que se tiene de la zona no permite identificar los parámetros de riesgo e impide por tanto que se lleve a cabo un monitoreo adecuado. Lo que hace necesario estudiar la zona con el fin de determinar estrategias que permitan monitorear y plantear soluciones preventivas, así como establecer zonas de vulnerabilidad para la reducción del riesgo de desastres.

La implementación de la reducción del riesgo de desastres juega un importante rol en la identificación posibles zonas de afectación que puedan presentar fallas por deslizamiento, aproximadamente el 90 % de los daños debido a estos pueden ser evitables [9].

2. Materiales y Métodos/ Metodología

En una modelización adecuada es necesario considerar todo aquello que influye en el comportamiento del suelo, el detalle necesario para estos factores dependerá de la exactitud que se pretende alcanzar en el análisis, pueden afectar el comportamiento del suelo la meteorización, estructura, discontinuidades, propiedades mecánicas, clasificación y caracterización del perfil [10].

2.1 Caracterización geomecánica de sitio

Para la caracterización de la zona de estudio se realizó una gira de campo de reconocimiento para identificar sitios de interés y posteriormente recolectar muestras de suelo, los sitios en que fueron recolectadas las muestras se presentan en la figura 1. Las muestras de suelo recolectadas fueron sometidas a las pruebas correspondientes para determinar los parámetros necesarios para el desarrollo del modelo.

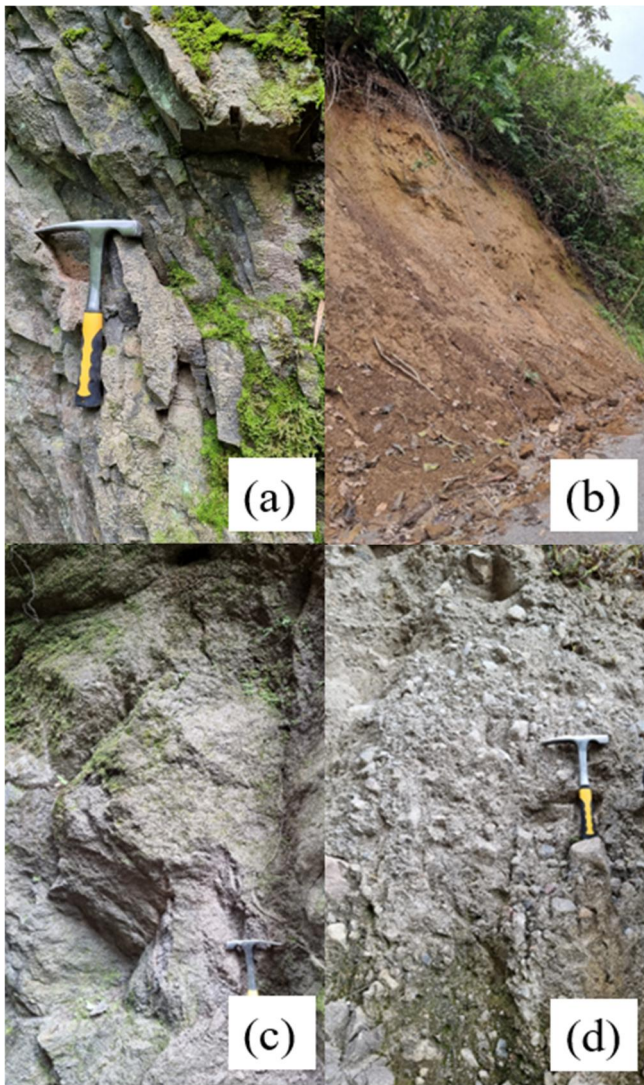


Figura 1: a- Matriz rocosa, estación No. 1. b- Zona de rotura, estación No. 2. c- Matriz rocosa, estación No. 3. d - Material sedimentario, estación No. 4.

2.1.1 Geomorfología

La República de Panamá se constituye de tres regiones morfoestructurales: montañosas, de cerros bajos y colinas y

regiones bajas y planicies litorales [10]; el distrito de Tierras Altas forma parte de esta primera región morfoestructural.

El territorio ha sido moldeado por la interacción de las placas tectónicas de Nazca, el Coco y la microplaca de Panamá, generando un vulcanismo y fallamiento activo importante [11].

Debido a su presencia en el arco volcánico de Chiriquí, en la zona se registra actividad sísmica periódica que, en conjunto con su topografía montañosa y la constitución propia del terreno, origina un alto riesgo a fallas de rumbo e inversas a pie de montaña, siendo así el caso de Bambito, Tierras Altas donde ha sido posible identificar áreas de alto riesgo (con movimientos mayores a 2 cm/año – 3 cm/año) y áreas de riesgo medio.

2.1.2 Clasificación de los materiales

La clasificación de los materiales se realizó utilizando el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), mediante la norma ASTM D2487 [12]. Para la clasificación de suelos se necesitaron dos pruebas; la granulometría de suelos, norma ASTM D6913 [13] para la distribución para muestras cuyo tamaño de partícula se encuentra entre 75 mm y 0.075 mm; y los métodos para determinación de los límites de Atterberg, norma ASTM D4318 [14] utilizada para la clasificación de la parte de finos de la muestra de suelo.

Mediante una estimación visual del tamaño máximo para las partículas de la muestra se seleccionó el tipo de tamizado, se interpolaron los valores de abertura con lo que se calcularon los coeficientes de uniformidad y gradación de la Tabla 2 y se obtuvieron las curvas granulométricas.

La determinación de los límites de Atterberg de la muestra corresponde al método unipunto. El límite plástico se realizó posteriormente utilizando el procedimiento 1 de laminación manual, mediante lo cual se obtuvieron el límite líquido y el índice de plasticidad de las tablas 1 y 2.

El SUCS normado mediante la ASTM D2487 [12] describe cualitativamente la clasificación de suelos en estado natural para propósitos ingenieriles mediante un símbolo y nombre de grupo, que se pueden encontrar en la tabla 2.

Tabla 1. Parámetros de clasificación de rellenos

Estación	No. 1	No. 3
Límite Líquido	26.7	25.7
Índice de plasticidad	0.6	4.5
Carta de Plasticidad	ML	CL-ML
	Limo	Arcilla Limosa

Tabla 2. Parámetros de clasificación de muestras

Estación	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
Gravas (%)	1.05	3.68	22.08	39.44
Arenas (%)	83.26	90.95	73.15	51.01
Finos (%)	15.69	5.38	4.77	9.55
C _u	N/A	6.05	7.78	57.88
C _c	N/A	1.50	1.50	1.50
LL	41.7	NP	NP	19.10
IP	8.10	NP	NP	3.00
w (%)	70.29	35.16	20.17	8.24
SUCS	SM	SW	SW	SW-SM
	Arena Limosa	Arena bien graduada	Arena bien graduada con grava	Arena bien graduada con grava

2.2 Análisis de estabilidad

Los análisis de estabilidad se realizan para estimar estados de rotura, mediante modelos de estabilidad se alcanza la determinación cuantitativa de factores de seguridad para los sitios de estudio [15].

La determinación del factor de seguridad es el objetivo primordial del desarrollo del modelo, para el que pueden asumirse cortes de superficies planas, circulares, logarítmicas, parabólicas o compuestas. El análisis que se realice dependerá del mecanismo de deslizamiento, así como del tipo de análisis para el mecanismo; y los parámetros del suelo de la tabla 6.

2.2.1 Mecanismos de deslizamientos

Para categorizar los deslizamientos existen diversos sistemas de clasificación, basadas según el caso en los atributos morfológicos, superficies de ruptura o áreas de depósito. Las clasificaciones más aceptadas en el contexto internacional se basan en el mecanismo de movimiento de la falla, diferenciando entre el tipo de movimiento y los materiales presentes; partiendo de las clasificaciones de Varnes (1978) [16] y Hutchinson (1988) [17].

La identificación de un posible deslizamiento puede darse mediante distintos acercamientos; una comparación de precedentes históricos en la zona, experimentación mediante el monitoreo del sitio, a través de análisis numérico o modelos computacionales. En este estudio se analizó específicamente el caso de deslizamientos dadas las características de poca cohesividad del suelo y de la geometría del terreno desde un acercamiento analítico hasta modelos EF.

2.2.2 Modelos de análisis de estabilidad

Uno de los métodos más extendidos es el análisis de rotura circular, el cual fue realizado en GeoSlope. Los modelos de superficie de falla circular más destacados son Fellenius (1927) y Bishop (1955). El primero es muy utilizado dada la simplicidad de su desarrollo, pero resulta impreciso en taludes con alta presión de poros; y el modelo de Bishop reduce el número de incógnitas asumiendo cero el cortante entre dovelas, pero provee una solución sobredeterminada al no establecer condiciones de equilibrio para una dovela [9].

Sin embargo, ante problemas de mayor complejidad se presenta la necesidad de un análisis más riguroso, al utilizar configuraciones geométricas más acertadas y parámetros de ensayo de laboratorio, logrando valores de respuesta más cercanos a la realidad [18].

2.2.3 Modelos de estabilidad de taludes en GeoSlope

El modelo bidimensional presentado en la Figura 2 fue creado mediante un análisis utilizando el método de Morgenstern-Price, el cual consiste en realizar un sistema rotacional de cortes en la base del equilibrio límite y posteriormente realizar una sumatoria de cada fracción para obtener el factor de seguridad de rotura del talud.

Los parámetros iniciales para la creación del modelo fueron las dimensiones del talud y las características del material como: peso específico natural del terreno, cohesión y ángulo de fricción interna presentados en la tabla 1.

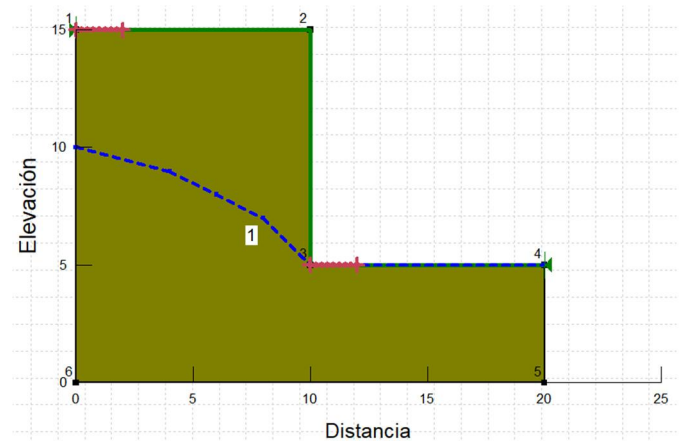


Figura 2. Modelo geométrico-mecánico de análisis de estabilidad.

2.3 Estandarización de la metodología

La replicabilidad de la metodología representa un punto de interés en garantizar que este estudio pueda realizarse en otros sitios, facilitando su aplicación en estudios a gran escala.

La plantilla presentada en Anexos es un acercamiento a una estandarización de la metodología de esta investigación, esta

comprende los procesos de muestreo y análisis; incluyendo la selección del sitio, identificación visual de muestras, clasificación RQD, buzamiento y clasificación RMR. El análisis comprende la clasificación de muestras, clasificación de rellenos, datos de entrada para el modelo de estabilidad y los factores de seguridad por estación.

3. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos abarcan la clasificación de las muestras de suelo, caracterización de matriz rocosa y factores de seguridad del análisis de estabilidad.

3.1 Resultados de la clasificación de muestras

La clasificación de las muestras incluye los datos obtenidos de las pruebas realizadas para las muestras de suelo recolectadas, y la clasificación para cada estación, el índice de calidad de roca (RQD) en la tabla 3, la clasificación geomecánica de Bienawski (RMR) en la tabla 4.

Tabla 3. Resultados de clasificación RQD

Estación	RQD	Calidad	Dip/Dip Direction
No. 1	50 % – 75 %	Regular	090/45
No. 3	90 % – 100 %	Excelente	000/15

Tabla 4. Resultados de clasificación RMR

Estación	No. 1	No. 3
Resistencia	5	9
RQD	10	20
Espaciamiento de las discontinuidades	5	13
Condición de las discontinuidades	14	17
Condición de agua	7	4
Clasificación RMR	42	63

3.2 Caracterización geomecánica de la matriz rocosa

La caracterización de la matriz rocosa conlleva la determinación del buzamiento y su dirección, designación de calidad de roca y la clasificación geomecánica de Bieniawski.

Las direcciones de buzamiento de los estratos de las rocas presentan condiciones no favorables, ya que promueven la propagación del deslizamiento. En base a estas clasificaciones, las estaciones muestran condiciones regulares de calidad de roca, especialmente condicionada por la fracturación de la matriz rocosa y la descripción de las discontinuidades.

3.3 Factores de seguridad del análisis de estabilidad

La tabla 5 muestra los factores de seguridad obtenidos por cada estación. El factor de seguridad (FS) expresa la relación entre las fuerzas resistentes del terreno y las fuerzas inestabilizadoras. Los valores < 1 indican que el terreno se encuentra en condiciones inestables provocando así zonas de rotura. Siendo el rango obtenido para las geometrías de mayor pendiente entre 0.8 (para las expresiones más estables) hasta valores mínimos de 0.3 para las envolventes de rotura más críticas, lo cual se ilustra en la figura 3.

Tabla 5. Datos utilizados en los modelos de estabilidad

Estación	$\gamma_{natural}$ (kN/m^3)	Cohesión (kPa)	F °	FS
No. 1	26.56	0.3	24°	0.391
No. 2	21.08	0	22°	0.341
No. 3	18.75	0	21°	0.324
No. 4	16.88	0	20°	0.299

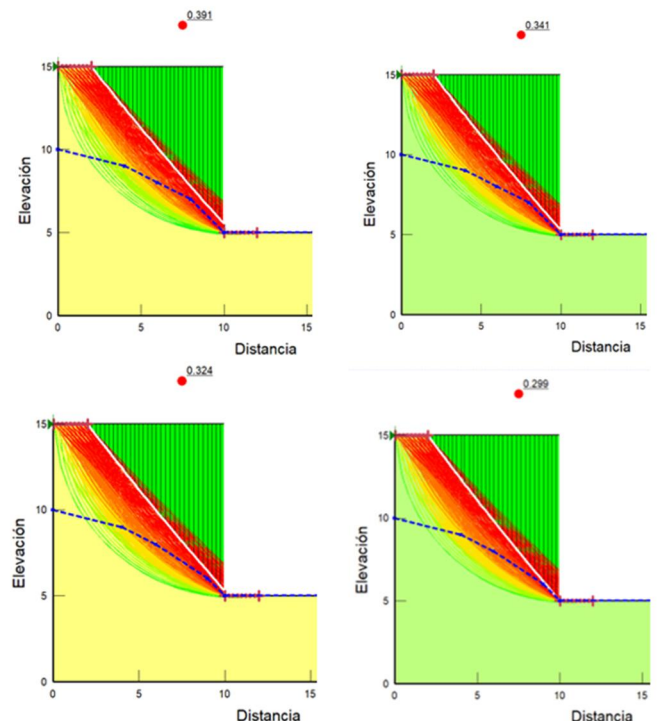


Figura 3: a- Estación No. 1. b- Estación No. 2. c- Estación No. 3. d - Estación No. 4.

Al incorporar cambios geométricos en el modelo del talud, a través de un cambio de pendiente, para las condiciones de materiales locales sin cargas desencadenantes, se ilustra un gran cambio en la respuesta de estabilidad, obteniendo valores

del 0.96 para el modelo más crítico y de hasta 1.84 para la máxima expresión de estabilidad, figura 4.

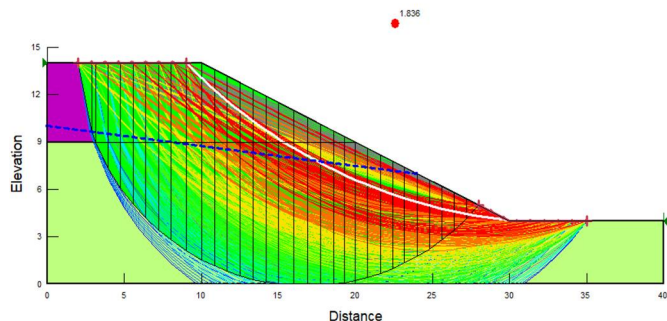


Figura 4. Cambio geométrico de la estructura del talud.

3.4 Discusión

Mediante la clasificación de suelos se identifica que los suelos de la zona de estudio son sedimentarios residuales. El suelo de las estaciones corresponde a arenas limosas (SM) arena bien graduada (SW), siendo un material no plástico.

Se encontró que los rellenos de las discontinuidades corresponden a limos (ML) y arcillas limosas (CL-ML), presentando límites líquidos similares y un índice de plasticidad relativamente mayor en la estación No. 4.

Se determinó que la roca matriz de la estación No. 3 presenta mayor resistencia y, aunque en ambos puntos se encontró calidad de roca favorables a la propagación del movimiento, en la estación 3 de estudio el RQD se ubicó en un rango categorizado como excelente. La estación No. 1 presentó espaciamientos entre discontinuidades menores a 60 mm, mientras que en la estación No. 4 se observaron espaciamientos considerablemente mayores, en un rango entre 2 m y 0.6 m.

3.5 Recomendaciones

En base a los factores de seguridad obtenidos se recomienda establecer medidas de prevención y protección, los resultados para cambio de pendiente muestran un resultado favorable, por lo que son una alternativa viable.

Extender el área de la zona para ampliar los parámetros de estudio; seleccionando más estaciones, para una mejor representación en relación con el suelo del sitio.

Estudiar los efectos de la cobertura vegetal en la estabilidad, durante el reconocimiento se presentan evidencias de la interacción de las raíces como protección de taludes, ayudando en la reducción de los efectos de la escorrentía, erosión y meteorización; y ampliar respecto a los cambios de pendiente, lo que podría conducir a la determinación de un factor de seguridad y pendiente óptimos.

A partir de trabajos de transferencia de conocimientos con el municipio de Tierras Altas, presentar a Ingeniería Municipal los resultados obtenidos con el objetivo de dar continuidad a la investigación y la eventual implementación de medidas de prevención y protección.

3.6 Futuras líneas de investigación

Desarrollar un programa de Python para el análisis geomecánico de taludes; esto permitiría solventar las limitaciones de la licencia estudiantil del programa GeoSlope, permitiendo realizar múltiples modelos en una misma instancia y ampliar los parámetros utilizados.

Se ha iniciado una nueva línea de investigación que permita el análisis de laderas a través de factores climáticos como cargas desencadenantes, en base a proyecciones climáticas del proyecto CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment). Para la región Centroamérica se selecciona el GCM y el RCM luego de establecer los elementos de RCP, resolución horizontal, y variables climáticas. Siendo para el distrito de Tierras Altas un escenario a partir de la combinación del RCP 8.5, el modelo global MOHC-HadGEM2-ES y el modelo regional GERICS-REMO2015.

Adicionalmente se han elaborado tres propuestas de investigación, en consideración de las recomendaciones planteadas y los resultados de esta investigación. En base al acoplamiento atmosfera-vegetación, análisis geomecánico e hidráulico de un deslizamiento superficial y recopilación de modelos climáticos y data meteorológica, seleccionando el modelo óptimo para Panamá, comparando condiciones de estabilidad y degradación, actuales y futuras.

4. Conclusiones

El símbolo de grupo predominante fue SW-SM, que corresponde a arenas bien graduadas con limo. Mostró índices de plasticidad bajos y no plásticos, que implica cambios grandes de estado en el suelo debido a cambios en el contenido de humedad; estos materiales de cohesión baja representan un riesgo en ausencia de material vegetal y ante la presencia de precipitaciones, escorrentía, o para pendientes de terreno elevadas. Siendo la tipología del material uno de los principales elementos de la zonificación de esta zona de riesgo.

Los desencadenantes más importantes que se identifican para los suelos de la zona corresponden principalmente al tipo de material, ya que presentan poca o nada de cohesión el cual es el parámetro potenciador de estabilidades y en los cuales no llega a desarrollarse succión. Seguidamente, el buzamiento del estrato y la topografía de altas pendientes provocando una condición de susceptibilidad a las cargas desencadenantes,

siendo las cargas climáticas de la región, como precipitaciones y la radiación solar, elementos de alto impacto.

En la memoria de los suelos respecto los tipos de rotura que pueden presentarse se destacan principalmente las reactivaciones debido al material residual que predomina; también podrían presentarse roturas de traslación o coladas, debido a la presencia de agua y la configuración de las pendientes. Los suelos SW se prestan para configuraciones de mejoramiento del terreno, como cambios geométricos (reducciones de pendientes a 45°) y drenajes. Se determinaron factores de seguridad bajos, relacionándose con una inestabilidad y susceptibilidad a fracturas.

El monitoreo de deslizamientos es una herramienta de gran importancia dado el carácter predictivo que implica la modelación a partir de datos de campo. De acuerdo con el análisis realizado en GeoSlope, todas las estaciones muestran un factor de seguridad menor a uno en rangos entre 0.299 y 0.391, y potenciales máximos de 0.84.

El uso de modelos computacionales permite y facilita la toma de medidas de reducción del riesgo de desastres antes la ocurrencia de estos fenómenos; además las tecnologías de las que se dispone actualmente permiten monitorear tanto zonas de riesgo que han sufrido fallas previamente, así como identificar zonas potencialmente riesgosas.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica de Panamá – Centro Regional de Chiriquí, y los Grupos de Investigación GIIG y GIIS. Al personal del Laboratorio de Suelos y Materiales de Chiriquí por la disponibilidad de asesoría y uso del laboratorio, para la ejecución de las pruebas de suelos.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

REFERENCIA

- [1] L. Highland y P. Bobrowsky, *The Landslide Handbook – A Guide to Understanding Landslides*, Circular 1325. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2008.
- [2] O. Hungr, J. Corominas, y E. Eberhardt, “Estimating landslide motion mechanisms, travel distance and velocity”, *Landslide Risk Management*, núm. 4, pp. 99–128, jun. 2005.
- [3] L. Rivera, “Identificación y el establecimiento de zonas de alta vulnerabilidad a deslizamientos e inundaciones”, *Facultad de Ing. Civil–Universidad Tecnológica de Panamá*, 2002.
- [4] Consorcio PROYECTO-DICEASA, “Plan Distrital de Seguridad Hídrica de Tierras Altas, Provincia de Chiriquí”, 2021.
- [5] R. Jahn, H. P. Blume, V. Asio, O. Spaargaren, y P. Schád, *Guidelines for Soil Description*, 4a ed. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.
- [6] Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica 2016, “Plan Nacional de Seguridad Hídrica 2015-2050: Agua para Todos”, Panamá, República de Panamá, noviembre 2016.
- [7] M. Madrid, “Deslizamiento de tierra y desborde de quebrada en Bambito”, *CRÍTICA.com.pa*, Bambito, Tierras Altas, 17 de septiembre de 2017.
- [8] M. Rodríguez, “Cinco muertos y más de mil damnificados en Panamá por efectos de Eta”, *LA ESTRELLA DE PANAMÁ*, Chiriquí, Panamá, 5 de noviembre de 2020.
- [9] J. Suarez, *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, 1998.
- [10] C. Candanedo y Fábrega Ovidio, “Mapa Hidrogeológico de Panamá”, Panamá, 1999.
- [11] E. Camacho, “Sismicidad de las Tierras Altas de Chiriquí”, *Tecnociencia (Panama)*, vol. 11, núm. 1, 2009.
- [12] ASTM International, *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*, 2020.
- [13] ASTM International, *Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*, 2021. doi: 10.1520/D6913_D6913M-17.
- [14] ASTM International, *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*, 2018.
- [15] E. A. Pérez, *Estabilidad de Taludes*. Catalunya, España: Departament d’Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica, 2005.
- [16] D. J. Varnes, “Slope movement types and processes”, en *Landslides: Analysis and Control*, vol. 176, Washington D.C., United States: Transportation Research Board, pp. 11–33, 1978.
- [17] O. Hungr, S. Evans, M. Bovis, y J. N. Hutchinson, “Review of the classification of landslides of the flow type”, *Environmental & Engineering Geoscience*, vol. 7, pp. 221–238, agosto 2001, doi: 10.2113/gsegeosci.7.3.221.
- [18] R. J. Cier, “El modelamiento numérico en la solución de problemas geotécnicos”, *Revista CIVILIZATE N°8*, Perú, 2016.