

Influence of Subsurface Flow Recharge on Fractured Massifs. Case: Slippage 1 Huancavelica - Peru

Esnayder Rafael Peche Jimenez¹, Rubén Esaú Mogrovejo Gutiérrez², Efraín Jhiaromir Contreras Gutiérrez³
¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, ³Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, u20171b780@upc.edu.pe,
efrain.contreras@unmsm.edu.pe
²Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, pciprmog@upc.edu.pe

Abstract– Landslides in southern Peru are primarily caused by water saturation due to precipitation. Detailed geotechnical studies have identified parameters of soil layers, such as peat bog, gravel with fine sand, colluvial deposits, weathered slate, and fractured bedrock. These elements generate seepage and compromise slope stability. This research proposes the installation of horizontal drains along the slope to capture the seepage flow, using Slide 6.0 software and finite difference modeling technique. Different scenarios, both static and seismic, were conducted to evaluate the factor of safety. The results revealed that without drain installation, the factor of safety was 1.34 in the static scenario and 0.95 in the seismic scenario. However, by implementing the drains, stability significantly improved, with a factor of safety of 1.512 in the static scenario and 1.209 in the seismic scenario. In conclusion, the analysis of the results supports the effectiveness of installing drains along the slope to ensure stability in both static and dynamic conditions. This will help mitigate landslides and provide safer and more reliable protection for infrastructure and surrounding areas.

Keywords- Seepage, Interstitial pressure, Horizontal drains, Water table, Landslide.

Digital Object Identifier:
ISSN, ISBN:
DO NOT REMOVE

Influencia de la Recarga de Flujo Subsuperficial en Macizos Fracturados – Caso: Deslizamiento 1 Huancavelica - Perú

Esnayder Rafael Peche Jimenez¹, Rubén Esaú Mogrovejo Gutiérrez², Efraín Jhiaromir Contreras Gutiérrez³
¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, ³Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, u20171b780@upc.edu.pe, efrain.contreras@unmsm.edu.pe

²Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, pciprmog@upc.edu.pe

I. INTRODUCTION

Abstract– *Landslides in southern Peru are primarily caused by water saturation due to precipitation. Detailed geotechnical studies have identified parameters of soil layers, such as peat bog, gravel with fine sand, colluvial deposits, weathered slate, and fractured bedrock. These elements generate seepage and compromise slope stability. This research proposes the installation of horizontal drains along the slope to capture the seepage flow, using Slide 6.0 software and finite difference modeling technique. Different scenarios, both static and seismic, were conducted to evaluate the factor of safety. The results revealed that without drain installation, the factor of safety was 1.34 in the static scenario and 0.95 in the seismic scenario. However, by implementing the drains, stability significantly improved, with a factor of safety of 1.512 in the static scenario and 1.209 in the seismic scenario. In conclusion, the analysis of the results supports the effectiveness of installing drains along the slope to ensure stability in both static and dynamic conditions. This will help mitigate landslides and provide safer and more reliable protection for infrastructure and surrounding areas.*

Keywords- *Seepage, Interstitial pressure, Horizontal drains, Water table, Landslide.*

Resumen – *Los deslizamientos en el sur del Perú son causados principalmente por la saturación de agua debido a las precipitaciones. Mediante estudios geotécnicos detallados, se identificaron parámetros de los estratos de suelos, como el bofedal, las gravas con arenas finas, los depósitos coluviales, la pizarra meteorizada y el basamento rocoso fracturado. Por medio de estos elementos generan filtraciones y comprometen la estabilidad del talud. La presente investigación propone la instalación de drenes horizontales a lo largo del talud para captar el flujo de filtraciones, utilizando el software Slide 6.0 aplicando el modelamiento mediante la técnica de las diferencias finitas. Se realizaron diferentes escenarios, tanto estáticos como sísmicos, para evaluar el factor de seguridad. Los resultados revelaron que sin la instalación de drenes, el factor de seguridad es de 1.34 en el escenario estático y de 0.95 en el escenario sísmico. Sin embargo, al implementar los drenes, se mejoró significativamente la estabilidad, obteniendo un factor de seguridad de 1.512 en el escenario estático y de 1.209 en el escenario sísmico. En conclusión, el análisis de los resultados respalda la efectividad de la instalación de drenes a lo largo del talud para garantizar la estabilidad tanto en condiciones estáticas como dinámicas. Esto permitirá mitigar los deslizamientos y proteger la infraestructura y las áreas circundantes de manera más segura y confiable.*

Palabras clave- *Filtración, Presión intersticial, Drenajes horizontales, Nivel freático, Deslizamiento.*

(Rodríguez Peces, Perez Peña, & Azañón, 2012), El deslizamiento de Dúdar en Granada, se realiza un análisis mediante el software Slide 5.0, mediante el método de equilibrio límite, considerando los factores desencadenantes la saturación y la sismicidad de la zona, logrando obtener factor de seguridad de 2.51, considerando nivel freático somero, y factor de seguridad de 1.71 aplicando la sismicidad ($lg=9.81 \text{ m/s}^2$). [14]

(Meran & Mojtaba, 2022), Realizan su investigación en el bosque Hyrcanian de Irán, se ubicaron 6 (sectores del 1 al 6) deslizamientos, se utilizó el software Slide para analizar su estabilidad, obteniendo resultados de 1.3, 0.65, 0.76, 0.55, 1.19 y 1.51, respectivamente, logrando proponer muros de sostenimiento. [12]

Argunhan et al (2021) [5]. En su investigación presenta la eficacia de los drenes horizontales a lo largo de dos secciones transversales en una mina a cielo abierto ubicada en el este de Turquía mediante el análisis de la redistribución de la presión del agua intersticial como consecuencia de las tasas de entrada de agua subterránea antes y después de la aplicación de drenes horizontales. Se utilizó el software SEEP/W para simular el flujo en las zonas saturadas y no saturadas. Los resultados mostraron que los drenes horizontales aumentaron las tasas de entrada de agua subterránea en solo un 15 y un 37% para las secciones transversales Este-Oeste y Norte-Sur, respectivamente.

(Hidalgo & Pacheco de Assis, 2010), Propone metodologías, para estimar el riesgo por deslizamiento de taludes en las carreteras del departamento de Antioquia, donde se calcula el riesgo como el producto de la probabilidad de falla y la vulnerabilidad, mediante la probabilidad anual, que se produzca en la vía y se compara con el índice de nivel de riesgo estimado, que se calcula mediante la calificación de atributos. [9]

(Hidalgo, Muñoz Cano, Urrego, Londoño García, & Mateus, 2014), Presenta la evaluación del efecto de la infiltración sobre la estabilidad de un talud excavado en suelos residuales, en el batolito de Altavista en la zona noroeste de Colombia (Valle de Aburrá), se simuló con el software Slide,

Digital Object Identifier:
ISSN, ISBN:
DO NOT REMOVE

considerando un flujo transitorio de precipitaciones acumuladas en 03 días, (60 mm), se obtuvieron factores de seguridad favorables desde tiempo de 1 hora con factor de seguridad de 1.29 hasta 72 horas con un factor de seguridad de 1.24. [10]

[(Mendoza Maldonado & Maldonado Pariguana, 2022)], Realiza su investigación en el norte de Perú, en la operación de depósito de desmonte, que puede originar fallas de deslizamiento, pudiendo afectar al personal que labora y aguas abajo, logrando demostrar que ante la instalación de subdrenes, escorrentía superficial, logra un factor de seguridad de 2.2 con cargas estáticas en el depósito de material. [11]

[(Mogrovejo Gutiérrez, Contreras Gutiérrez, & Miranda Gutiérrez, 2022)], realizan sus investigaciones en el sur de Perú, en la ciudad de Andahuaylas, donde realizan la aplicación del software Slide 6.0, obteniendo el factor de seguridad estático de 0.97, logrando demostrar la inestabilidad del talud del Cerro Huayhuaca, sugieren el uso del geotextil a lo largo del talud para lograr su estabilidad y obtuvieron un factor de seguridad de 1.4; logrando disminuir la vulnerabilidad. [13]

Las precipitaciones de baja intensidad causan infiltraciones que reducirá la resistencia al corte y el factor de resistencia, aumentando el nivel freático, reduciendo la tensión efectiva, reduciendo la resistencia al corte según el modelo de Mohr-Coulomb, ocasionando fallas profundas. [2]

Durante la época a la construcción del centro de producción Mantaro (1962), se identificaron ocho deslizamientos en las laderas del futuro embalse, que en su momento no se consideraron comprometidos con la operación de la represa. Todos los deslizamientos detectados desde esa época se encuentran sobre ambas márgenes del río Mantaro y a lo largo del embalse.

Desde el inicio de los estudios efectuados para la construcción de la presa, se diagnosticaron desplazamientos de masas superficiales de cobertura en las laderas, en el entorno del área proyectada para ser ocupada por el embalse, estas masas fueron denominadas: Derrumbes 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 8 y aguas arriba del embalse los deslizamientos de Laria y Pilchaca, posteriormente alrededor del año 1982 se presentaron movimientos en el Derrumbe 5, en el área adyacente al estribo derecho de la presa Tablachaca durante el primer llenado del embalse, desde aquella época, ELECTROPERÚ ha venido efectuando actividades de monitoreo de los deslizamientos, actividades que hasta hoy se vienen realizando con el propósito de conocer la evolución de las condiciones de estabilidad de los mencionados deslizamientos.

Uno de estos deslizamientos, es el denominado Derrumbe 1, el cual presenta desplazamientos desde 1984. En las últimas décadas, evidencia desplazamientos que fluctúan entre 0.79 m

a 1,89m (registro en la parte baja del deslizamiento, año 2010). Este fenómeno se extiende desde los 3500 msnm hasta el cauce del río Mantaro, a 2700 msnm (González et al, 2016). [3]

Los datos estratigráficos, sedimentológicos y tectónicos proporcionan la información necesaria para construir un esquema geológico que explique los procesos de recarga y las trayectorias de los flujos de las aguas subterráneas (Anglés, et al, 2017). [4]

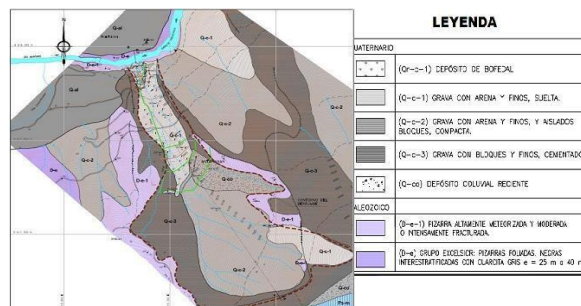


Fig. 1. Plano geológico del derrumbe N°1 -Huancavelica. Fuente: CESEL SA.

La presente investigación se va a desarrollar una modelación de la recarga e infiltración de aguas producto de las precipitaciones, en un talud que se divide en seis dominios de acuerdo con el perfil estratigráfico de la zona de estudio, que muestra en la capa superior depósitos coluviales y en las capas inferiores el basamento rocoso fracturado. El objetivo es determinar cómo afecta la recarga por infiltración a la estabilidad del talud para esto se va a desarrollar un modelo conceptual de acuerdo con la caracterización hidrogeológica, y el modelo numérico, que se realizará con ayuda del software SLIDE. Se propondrá la implementación de drenes horizontales en la parte baja del talud, para disminuir la presión de poros y mejorar la estabilidad del talud.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materiales

Hidrología

Se origina a través del procesamiento de información de las estaciones meteorológicas, obteniendo la vida de diseño de los sub drenes de 20 años, con 10% de riesgo de falla para un tiempo de retorno de 190 años, resultando precipitaciones mediante un ajuste probabilístico log – normal de 74.6 mm.

Geología.

La zonificación de las masas geológicas, se han establecido en forma conceptual en función del mapeo geológico de detalle y las investigaciones geotécnicas, a continuación, se muestra un plano geológico local con la delimitación de los materiales cuaternarios y descripción del basamento rocoso.

a) Basamento rocoso. -La zona de deslizamiento, tiene basamento rocoso constituido por pizarras negras muy foliadas, intercaladas en sectores con niveles delgados de

limolitas y cuarcitas (D-e), que afloran en ambas márgenes del río Mantaro y en la cresta de las escarpas, que limitan los derrumbes antiguos, las cuales están muy alteradas y meteorizadas. La dirección e inclinación de la foliación de las pizarras es variable, habiéndose determinado principalmente orientaciones norte-sur y noroeste-sureste, con buzamientos desde 10° hasta la vertical.

b) Depósito Coluvial Recientes (Q-co).- Del mapeo de la geología local Figura 2, estos materiales son del sector central del derrumbe 1, entre las cotas 3200 a 3000 msnm aproximadamente, formando un cono hacia las partes bajas. Respecto a su constitución, van desde bloques a gravas de pizarras con pocas cuarcitas angulosas a sub angulosas, con poca matriz areno limosa. Este material reciente es producto de la caída y derrumbes, desde las unidades (D-e-1) y (Q-c-3).

c) Coluvial (Q-c-1).- Material ubicado en la parte central longitudinal y la depresión que llega hasta cerca de la margen derecha del río Mantaro, formada por la masa deslizante activa, constituidos gravas angulosas y planas mezcladas con arena y poco finos, se encuentra sueltas, no plástica y en las partes húmeda.

e).- Coluvial (Q-c-3).- Conformados por gravas y bloques angulosos y en forma de lajas, sumergidas en matriz arenosa con pocos finos, se encuentran densos a medianamente densos, no plásticos, secos a poco húmedos, de color gris a gris oscuro. No presenta actividad reciente, el espesor se estima en más de 10m. Se localiza bordeando los límites del derrumbe 1. Su relieve es de forma de lomadas, depresiones y pequeñas quebradas, que delimitan el área del derrumbe 1, con escarpas de hasta 10 m de altura; debido a su morfología y permeabilidad, facilita la infiltración de aguas hacia las partes más bajas (zona de descarga).

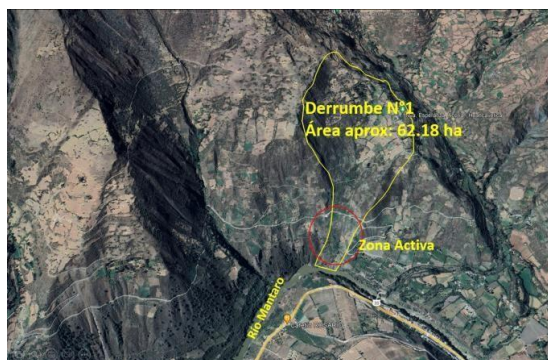


Fig. 2. Delimitación del Derrumbe N°1. Fuente: CESEL.

Ubicación

El Derrumbe 1 del embalse Tablachaca, se encuentra localizado sobre la margen derecha del mismo, aproximadamente a seis kilómetros aguas arriba del sitio de presa, tiene forma alargada en dirección perpendicular al río Mantaro. Presenta como rasgo saltante una zona activa en la parte inferior, con evidencia de corrimientos de suelo, recrudescidos en los 34 últimos años.

El área de la zona activa es de aproximadamente 8.29 Ha., constituida por la parte media y baja del derrumbe, que conforma una zona, con evidencia de movimientos superficiales que se extiende hasta la cota 3100 m.s.n.m., con un área total de influencia de aproximadamente 62 Ha.

TABLA I
PARÁMETROS DE ENTRADA AL MODELAMIENTO. FUENTE: CESEL.

Estratos	Peso específico (kN/m3)	Ángulo de Fricción (°)	Cohesión (kPa)	Permeabilidad (cm/s)
E-01: Depósito de Bofedal (Qr-c-1)	18.6	32.0	0.0	2.15 E-3
E-02: Grava con arena y finos suelta (Q-c-1)	18.6	42.0	0.0	1.0
E-04: Depósito coluvial reciente (Q-∞)	20.0	40.0	0.0	1.34 E-2
E-05: Pizarra altamente meteorizada (D-e-1)	21.6	45.0	250.0	1.0 E-2
E-06: Grupo Excelsior (D-e)	21.0	45.0	1000.0	1.0 E-3

B. Método

Modelo Numérico

El análisis del modelo matemático es mediante la técnica de las diferencias finitas, que posee el software SLIDE 6.0, en el que se representa el modo simplificado de la realidad y frecuentemente se realiza la simulación para predecir el comportamiento el talud ante escenarios críticos. El movimiento del agua subterránea, no homogéneo es derivado a partir de la Ley de Darcy con la ecuación de continuidad; como muestra la ecuación N°01.

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{\Delta h}{L} \quad (1)$$

Donde:

Q: Caudal (m3/s)

K: Permeabilidad (m/s)

A: Área (m2)

$\frac{\Delta h}{L}$: Gradiente hidráulico (m/m) [7]

Herramienta de modelación de aguas subterráneas
SLIDE.

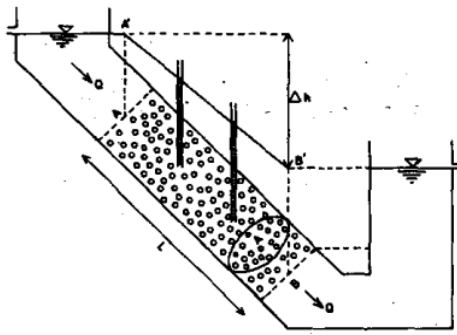


Fig. 3. Esquema de la ley de Darcy. Fuente: (Custodio & Llamas, 1983).

SLIDE 6.0 es un software de análisis de estabilidad de taludes en dos dimensiones, la presente investigación usa la metodología del método de equilibrio límite, donde se analiza el equilibrio de masa potencialmente inestable comparando fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras, (ver fórmula N° 02) para el cálculo de la estabilidad, donde se refleja los resultados de factor de seguridad para dos escenarios, la primera con las condiciones actuales, en la segunda; con la instalación de drenes de penetración para canalizar el flujo de agua subterránea.

$$F = \frac{Rc + R\phi}{W \cdot \text{sen}(\alpha)} \quad (2)$$

Donde:

Rc: Fuerzas cohesivas.

Rφ: Fuerzas Friccionales.

Wsen(α): Fuerzas que tienden al deslizamiento.

A: Área del plano de rotura. [8]

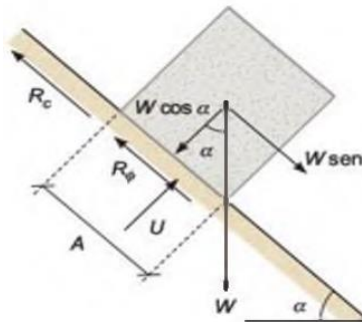


Fig. 4. Esquema de las fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras. Fuente: (González de Vallejo, 2002).

La primera etapa comprende la recolección de datos: topográficos, hidrológicos y geológicos, los cuales fueron obtenidos a partir de las cartas nacionales, del Instituto Geofísico del Perú, data meteorológica del SENAMHI, y los estudios de campo realizados por la empresa CESEL S.A., con estos parámetros delimitaremos la geometría del terreno y el perfil estratigráfico del área en estudio, además la asignación

de los coeficientes de resistencia y permeabilidad de cada estrato de suelo, por otro lado, para el cálculo de infiltración se procesó los datos de la estación pluviométrica de Quichuas.

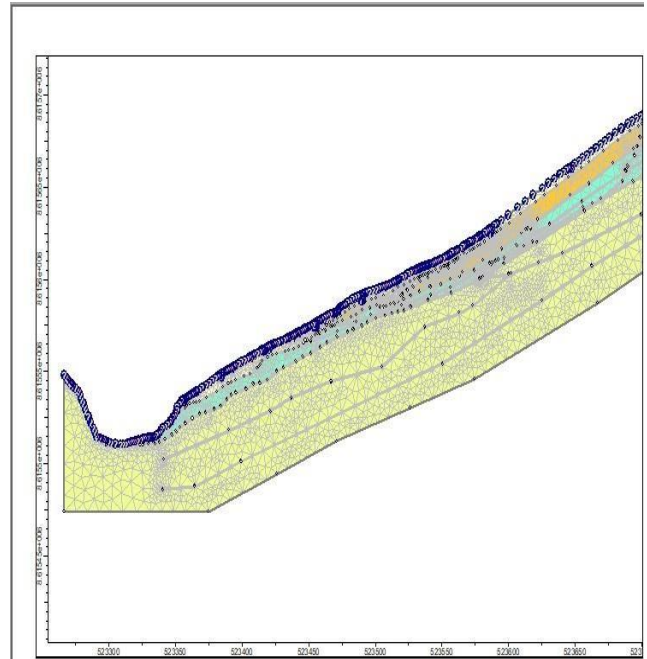


Fig.5. Discretización del dominio sin la instalación de drenes horizontales. Fuente: Propia.

Para reducir la presión intersticial en la zona activa de deslizamiento (parte inferior), se incluyeron en el modelo numérico drenes horizontales de 30m de largo y 5° de inclinación, siguiendo las recomendaciones del manual del MTC.

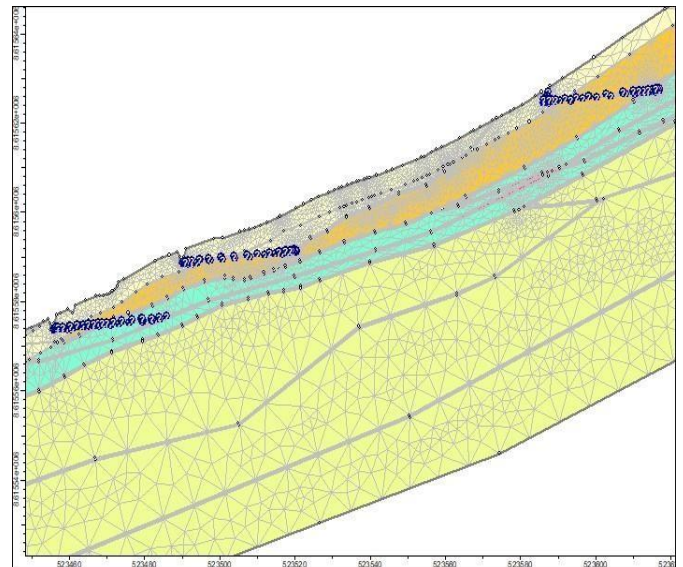


Fig. 6. Discretización del dominio con la instalación de drenes horizontales. Fuente: Propia.

III. RESULTADOS

En los siguientes puntos, se calcularon los factores de seguridad del talud en el software SLIDE luego de haber ingresado los parámetros de recarga por las precipitaciones en la zona de las recargas. La primera simulación se desarrolló sin drenes horizontales (Fig.7) y en la segunda simulación se implementó los drenes horizontales (Fig.8). Posteriormente se realizaron las mismas simulaciones adicionando la carga por sismo, entendiéndose que el Perú está expuesto a movimientos sísmicos por encontrarse en el denominado Cinturón del Fuego del Pacifico.

TABLA II
RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN. FUENTE: PROPIA

RESULTADOS DE MODELACIÓN EN EL SOFTWARE SLIDE		
Condición	Modelación	Factor de Seguridad (FS)
Modo Estático	Sin Drenes Horizontales	1.340
	Con Drenes Horizontales	1.512
Con Carga Sísmica	Sin Drenes Horizontales	0.950
	Con Drenes Horizontales	1.209

Analisis e interpretación

Se puede determinar que las precipitaciones contribuye a la inestabilidad del talud, lo que favorece es el tipo de material de suelo en las partes altas conformada de depósito coluvial, lo que favorece la filtración del agua a lo largo del talud.

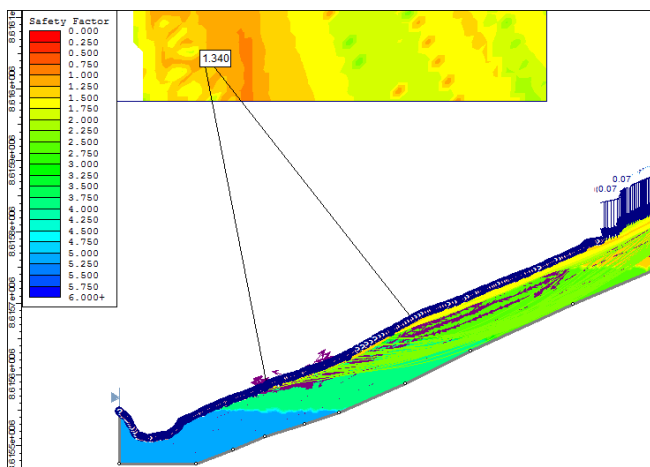


Fig. 7. Simulación sin la instalación de drenes Horizontales. Fuente: Propia.

Se puede observar que el flujo de agua se desplaza en forma de vectores a través de las diferentes capas del talud, y conforme avanzan tienden a desplazarse con una mayor

concentración a través de las fracturas, por tener una pendiente de 57%.

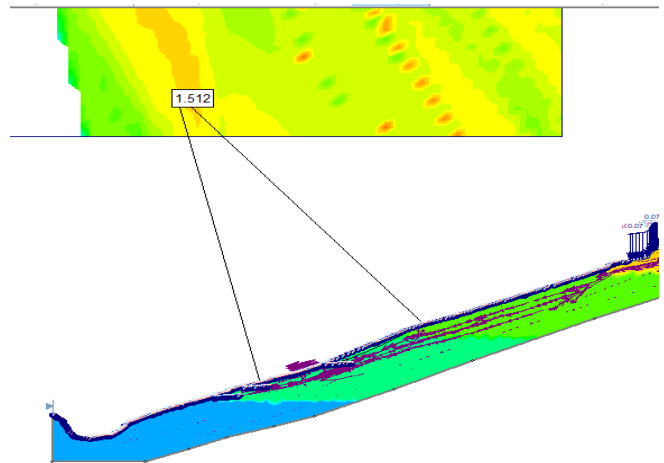


Fig. 8. Simulación con la instalación de drenes Horizontales. Fuente: Propia.

En la primera simulación en modo estático se obtiene un factor de seguridad de 1.42 y con carga sísmica obtenemos un factor de seguridad de 0.952, esto nos indica que el talud fallará en la parte baja (zona de descarga), de acuerdo a la norma CE.020 suelos y taludes, el factor de seguridad mínimo deberá ser de 1.5 para solicitaciones estáticas tenemos un valor de factor de seguridad de 1.25 para solicitaciones sísmicas. En la segunda simulación ya implementados los drenes de horizontales se obtiene un factor de seguridad de 1.512 en modo estático y 1.209 con carga sísmica. Lo que nos indica que el sistema de drenes ha cumplido con disminuir la presión de poros y aumentar el factor de seguridad haciendo que el talud esté estable, ante las recargas de precipitaciones.

IV. VALIDACIÓN

J. Ahmed et al (2012) [2] en su investigación realizada en Malasia, en el cual luego de haberse producido un deslizamiento de tierra que dejó afectado a varias viviendas en la zona de Putrajaya. Para que los habitantes pudieran regresar a ocupar sus apartamentos lo más pronto posible, se tuvo que tomar medidas inmediatas para evitar que el talud siga deslizándose, es de esta manera que instalaron drenes horizontales de 24 metros de longitud con el objetivo de disminuir el nivel freático. Además, se complementó con estudios de suelos, geológicos y geofísicos para realizar el modelo geotécnico. Se observó que con la implementación de los drenes horizontales se logró reducir el nivel freático el cual permitió que la estabilidad del talud sea seguro. Finalmente, gracias a los estudios geológicos determinaron la existencia de roca altamente fracturada, esto ayudó en gran medida para que los drenes horizontales tengan un buen rendimiento para evacuar el agua.

V. CONCLUSIONES

Haciendo un símil con nuestra investigación encontramos puntos en común, desde el método con los estudios geológicos que sirvieron para realizar el modelo geotécnico el cual permitió determinar la existencia de basamento rocoso fracturado, otro punto está relacionado a la causa principal de los deslizamientos que es la lluvia para ambos casos de estudio, finalmente el método elegido para mejorar la estabilidad de los taludes ha sido la implementación de los drenes horizontales, los cuales demostraron ser efectivos en disminuir la presión de poros y mejorar la estabilidad de los taludes.

TABLA III
FACTOR DE SEGURIDAD CON INCLINACIONES DE TALUD.
FUENTE: MALI ET AL. (2016).

FACTOR DE SEGURIDAD CON Y SIN DRENES HORIZONTALES RESPECTO A LA GEOMETRÍA DEL TALUD.					
Inclinación del Talud	30°	45°	60°	75°	90°
Con drenes Horizontales	1.991	1.558	1.306	1.278	1.203
Sin drenes Horizontales	1.017	1.002	0.9	0.85	0.77

Por otro lado, Mali et al. (2016) [6] realizaron una investigación en la región de Mandi de Himachal Pradesh (India), cuyo objetivo fue comprender el efecto de los drenes horizontales en su función de reductores del nivel freático y como aportan en mejorar la estabilidad de taludes, es así que consideraron la implementación de estos en taludes con diferentes pendientes o ángulos de inclinación, específicamente determinaron realizar modelaciones para cinco ángulos (30°, 45°, 60°, 75° y 90°). Además, las características geotécnicas e hidráulicas del suelo fueron obtenidas gracias al análisis de las muestras recolectadas en la zona de estudio. De acuerdo con los resultados obtenidos ver tabla 3. Demostraron que los drenes horizontales tienen un mejor desempeño cuando se ubicaban en la parte inferior del talud y para un ángulo de inclinación de 30°, con una efectividad de casi el 100%. Y conforme el valor del ángulo de inclinación va aumentando el aporte a la estabilidad de los drenes horizontales va disminuyendo.

- Mediante la modelación numérica con el software SLIDE 6.0, se determinó que las precipitaciones en el área de estudio contribuyen a ocasionar deslizamiento de masas en modo sísmico.
- La modelación sin la implementación de los drenes horizontales ha permitido determinar un factor de seguridad de 0.95 en condiciones sísmicas, valor que son no son aceptables y se corre el riesgo de derrumbe.
- Las simulaciones realizadas con el software SLIDE 6.0, en modo estático, nos resulta un valor de 1.34 sin drenes horizontales y 1.512 con la instalación de drenes horizontales, logrando observar la estabilidad de talud al instalar drenes.
- Las simulaciones realizadas con el software SLIDE 6.0, en modo sísmico, nos resulta un valor de 0.95 sin drenes horizontales y 1.209 con la instalación de drenes horizontales, logrando observar el aumento del factor de seguridad al instalar los drenes horizontales.

AGRADECIMIENTOS

- Peruvian University of Applied Sciences.
- National University of San Marcos.
- A la empresa CESEL SA

REFERENCIAS

- [1] Evans, S.G. and Clague, J. J. (1999). "Rock avalanches on glaciers in the Coast and St. Elias Mountains, British Columbia", Slope stability and Landslides. Proceedings, 13th Annual Geotechnical Society Symposium, Vancouver, B.C., pp. 115 – 123
- [2] Ahmed, J. & Ghazali, M.A. & Mukhlisin, Muhammad & Alias, M.N. & Taha, Mohd. (2012). Effectiveness of horizontal drains in improving slope stability: A case study of landslide event in Putra Jaya Precinct 9, Malaysia. 5th Asia-Pacific Conference on Unsaturated Soils 2012. 2. 625-630.
- [3] González Linares, C., Mogrovejo Gutiérrez, R. E., & Veliz Francia, G. (2016). Interpretación hidrogeológica con modelación numérica en masas geológicas del deslizamiento "Derrumbe 1" – Complejo hidroeléctrico del Mantaro. Perfiles De Ingeniería, 11(11). https://doi.org/10.31381/perfiles_ingenieria.v2i11.403
- [4] M. Anglés, A. Folch, O. Oms, E. Maestro, J. Mas-Pla Stratigraphic and structural controls on groundwater flow in an outcropping fossil fan delta: the case of Sant Llorenç del Munt range (NE Spain) Hydrogeol. J., 25 (2017), pp. 2467-2487
- [5] Argunhan-Atalay, C., Yazicigil, H. & Ekmekci, M. Assessment of performance of horizontal drains in an open pit mine in eastern Turkey. Environ Earth Sci 80, 108 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09402-2>
- [6] Mali, Naresh & Kala, Uday. (2016). STUDY ON EFFECT OF

HORIZONTAL DRAINS ON SLOPE STABILITY.

- [7] Custodio, E., & Llamas, M. R. (1983). Hidrología Subterránea. España: Omega, SA.
- [8] Gonzáles de Vallejo, L. I. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson.
- [9] Hidalgo, C., & Pacheco de Assis, A. (2010). Metodología para evaluación preliminar de riesgo en carreteras por deslizamientos detonados por lluvia. ResearchGate, 1-16.
- [10] Hidalgo, C., Muñoz Cano, F., Urrego, P. A., Londoño García, V., & Mateus, B. (2014). Evaluación del efecto de la infiltración de agua sobre la estabilidad de un talud en suelos residual. XIV CONGRESO COLOMBIANO DE GEOTECNIA & IV CONGRESO SURAMERICANO DE INGENIEROS JÓVENES GEOTÉCNICOS. BOGOTÁ D.C. 15 AL 18 DE OCTUBRE DE 2014, 1-5.
- [11] Mendoza Maldonado, F. S., & Maldonado Pariguana, F. M. (2022). Análisis y evaluación de riesgo por deslizamiento de un depósito de desmonte de mina ubicado en el norte del Perú. Rev. Inst. investig. Fac. minas metal. cienc. geogr., 146-158.
- [12] Meran , N., & Mojtaba, M. (2022). Cut slope stability assessment along forest roads using the limit equilibrium approaches and Slide software. Journal of Forest Science, 182-189.
- [13] Mogrovejo Gutiérrez, R. E., Contreras Gutiérrez , E. J., & Miranda Gutiérrez, L. F. (2022). Flow Analysis of Slope Stability for Landslide 1-Hill Huayhuaca- Andahuaylas-Perú . CONIITI, 1-4.
- [14] Rodríguez Peces, M. J., Perez Peña, J. V., & Azañón, J. M. (2012). El deslizamiento de Dúdar (Granada, sur de España): un caso de interacción entre inestabilidades de ladera, tectónica activa y redes de drenaje. Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra. , 1-7.