

EVALUACIÓN DEL PELIGRO POR INESTABILIDAD DE TALUDES EN LA RUTA PE-3S, ABANCAY

ASSESSMENT OF THE DANGER DUE TO INSTABILITY OF SLOPES ON THE PE-3S ROUTE, ABANCAY

Irving Vladimir Peña Anampa¹  Rosa Marina Vera Teves¹ 
Abbon Alex Vasquez Ramirez¹  Marco Antonio Gálvez Quintana¹ 

¹Universidad Tecnológica de los Andes-Abancay-Perú

Correspondencia:

Abbon Alex Vasquez Ramirez
avasquezr@utea.edu.pe

Como citar este artículo:

Peña, I., Vera, R., Vasquez, A., & Gálvez, M. (2023). Evaluación del peligro por inestabilidad de taludes en la ruta PE-3S, Abancay. *Hatun Yachay Wasi*, 2 (2), 40–51. <https://doi.org/10.57107/hyw.v2i2.45>

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el peligro por inestabilidad de taludes en el Tramo km 770 +617- km 771+706 de la ruta PE-3S, Abancay, región de Apurímac. En este estudio, se evaluaron cinco taludes bajo las condiciones afectadas. Se empleó el inventario de taludes. Se realizó la Estratigrafía del Peligro (CENEPRED, 2014); los suelos de los taludes se clasificaron según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Se utilizaron el software ArcGis para determinar las coordenadas de las calicatas y el GEO 5, para evaluar la estabilidad de los taludes. El Sub-Tramo 1 al Sub-Tramo 5 se clasificaron respectivamente como grava arcillosa (GC), arcilla de baja plasticidad (CL) y grava limosa (CL-GM). Todos los subtramos evaluados, evidenciaron un nivel muy alto de peligro y los factores de seguridad por cada subtramo correspondiente, mostraron que hay mayor probabilidad de deslizamiento (valor mínimo), lo que determina la inestabilidad de todo el Sub-Tramo en estudio.

Palabras clave: inestabilidad, taludes, riesgo, factor de seguridad, peligro.

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the danger due to slope instability in the Section km 770 +617- km 771+706 of the PE-3S route, Abancay, Apurímac region. In this study, five slopes were evaluated under the affected conditions. Slope inventory was used. The Danger Stratigraphy (CENEPRED, 2014) was carried out; the soils of the slopes were classified according to the Unified Soil Classification System (SUCS). ArcGis software was used to determine the coordinates of the pits and GEO 5, to evaluate the stability of the slopes. Sub-Section 1 to Sub-Section 5 were classified respectively as argillaceous gravel (GC), low plasticity clay (CL) and silty gravel (CL-GM). All sub-sections evaluated showed a very high level of danger and the safety factors for each corresponding sub-section showed that there is a greater probability of landslides (minimum value), which determines the instability of



the entire sub-section under study.

Keywords: instability, slopes, risk, safety factor, danger.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería civil se ocupa de la construcción, operación y control de fallas estructurales y naturales de la infraestructura, con el fin garantizar el bienestar y comodidad a la población enfocándose en mantener un desarrollo socioeconómico vanguardista y sostenible. La evaluación de la estabilidad de taludes es un aspecto importante de la ingeniería de taludes. En la mayoría de los casos, esta evaluación se basa únicamente en la experiencia y la capacidad de cálculo (Medinaceli & Medinacelli, 2021).

Los deslizamientos de tierra generados por lluvias son fenómenos muy recurrentes en áreas complicadas, que pueden constituir riesgos geológicos, al afectar de una forma directa o indirecta a las actividades humanas causando pérdidas humanas y económicas considerables (Palacio et al., 2020; Turner, 2018). El criterio de zonificación de peligros y riesgos, es decir, la división del terreno en áreas homogéneas (peligros de deslizamiento) es una herramienta muy útil para la toma de decisiones, tanto en zonas urbanas o rurales.

Los deslizamientos y flujos de escombros son una fuente de severos desastres naturales y riesgos de la sociedad en regiones montañosas por todo el mundo (Craig & Augusto Filho, 2020; Dolojan et al., 2021). Los resultados obtenidos de la evaluación de riesgos relacionados con la vulnerabilidad física (RVF) son una valiosa herramienta, para que los decisores responsables de la inversión de los recursos del Estado prioricen en obras de infraestructura que, permitan la eficiencia y racionalización de las finanzas, prevenir y mitigar el impacto de este tipo de eventos recurrentes en el país (Hernández & Ramírez, 2016). Flores et

al. (2020) analizaron la estabilidad de taludes y el factor de seguridad durante un desembalse rápido en presas de tierras homogéneas aguas arriba, utilizando las herramientas SEEP/W y SLOPE/W del programa GeoStudio 2012, concluyendo que el factor de seguridad no disminuyó, por lo que la estabilidad de la estructura no representó ningún peligro.

En las laderas rocosas naturales, la meteorización atmosférica, la erosión de las aguas superficiales y fluviales y otros procesos de meteorización crean fácilmente planos estructurales dentro de la roca, como finas capas de roca fuertemente meteorizada o intercalaciones blandas y limosas entre las formaciones rocosas (Dong et al., 2021; Yan et al., 2017). Con el paso del tiempo, se produce una deformación continua por fluencia-deslizamiento a lo largo de estos planos estructurales inclinados como resultado de la acción geológica a largo plazo y de la tensión producida por el peso de la roca suprayacente.

Esto conduce a la formación de grietas de tracción que se extienden hacia abajo en el borde posterior del talud (Huan, 2009; Scaioni, 2015). La masa rocosa situada entre los planos estructurales inclinados y las grietas de tracción del borde posterior mantiene la estabilidad de todo el talud y se conoce como "segmento bloqueado". el cual está ampliamente distribuidos en algunos países (Dong et al 2021).

Por otra parte, la inestabilidad del talud (incluyendo la erosión, transporte de masa y movimiento o fenómenos de deslizamientos de masa) es un evento generalizado que resulta en una de las principales causas de riesgo de los elementos expuestos (personas, propiedades, activos

ambientales, actividades económicas, patrimonio cultural); teniendo en cuenta que frecuentemente se relacionan con otros peligros naturales como terremotos e inundaciones (Ferlisi & De Chiara, 2016).

En lo que respecta a la valoración del riesgo a deslizamientos de taludes, esta genera información la cual permite sustentarse para la toma de decisiones como aceptar o tratar los riesgos estimados relacionado con pérdidas de vidas o económicas (Torres, 2020).

Vega & Velásquez, (2020) analizaron la inestabilidad de ladera en un tramo de la carretera NIC-7 que conecta los municipios de Juigalpa-Santo Tomás departamento de Chontales, Nicaragua; se determinaron parámetros que llevan a la formación de deslizamientos, como litología, meteorización, ángulo de pendiente, fracturamiento de cuerpos rocosos y la precipitación como factor detonante, diseñando modelos en 2D mediante un software un posible deslizamiento y evaluaron las condiciones del talud y el factor de seguridad, identificando la condición de la ladera, concluyendo que presenta factores de seguridad bajo, por lo que este tramo es inestable e inseguro.

El territorio de la República de Perú tiene áreas propensas a desastres, especialmente las que están ubicadas en la vertiente cordillera de los Andes. En este caso la región Apurímac, Abancay tiene áreas susceptibles a deslizamientos. El fenómeno del cambio climático también aumenta la amenaza de desastres hidrometeorológicos. A lo largo del Tramo km 770 +617- km 771+706 de la ruta PE-3S, desde el ingreso a la ciudad de Abancay se pueden observar zonas con presencia de taludes al borde de esta. Desde noviembre a marzo, el clima de Abancay se caracteriza por constantes precipitaciones, situación que junto a las condiciones topográficas provocan deslizamientos de suelos movimiento masivo de rocas, escombros y lodo. Este peligro

geofísico representa un riesgo para los pobladores y además genera terribles congestiones de tránsito al momento de haber un deslizamiento. Por todo lo antes mencionado, el objetivo de este estudio fue evaluar el peligro por inestabilidad de taludes en el tramo km 770 +617- km 771+706 de la ruta PE-3S, Abancay.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se llevó a cabo en el Tramo km 770 +617 al km 771+706 de la ruta PE-3S ciudad de Abancay región de Apurímac, el cual se encuentra ubicado entre dos importantes carreteras peruanas, en medio de las regiones Chalhuanca y Cusco. Fue un estudio de tipo aplicado, con diseño no experimental, de enfoque cuantitativo.

Se realizaron varias etapas:

Levantamiento topográfico

Se hizo el reconocimiento de campo ubicado en puntos estratégicos a todo lo largo del tramo; tomando como condición primaria algunas consideraciones: se colocaron bancos de nivel o puntos de referencia y de control (BMs o *Bench mark*) con hito obligatoriamente visibles, establecidos y pintados en sitios fijos como piedras grandes de distintos tamaños, veredas de concreto, buzones, pavimento.

Se elaboraron los BMs con concreto de dimensiones 0.30 x 0.30 x 0.30 m; seguidamente se procedió a realizar el levantamiento con el equipo topográfico, lo cual se configuró tomando como georreferencia el BMS fijo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el cual se encuentra ubicada en la faja marginal del río Ñacchero (Fig. 1).

FIGURA 1

Zona de exploración 3

**Estudio de suelos**

Toma de muestra: 5 kg de suelo de las cinco calicatas a una profundidad de 2.50 m y se analizaron en el laboratorio de suelos a través del sistema de tamizaje; las variables evaluadas fueron granulometría, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad (AASHTO-T-28-82) y ángulo de fricción (ensayo corto y directo), cohesión de humedad natural, densidad natural (SUCS).

Además, se determinaron la densidad seca, porosidad, peso específico y esponjamiento.

Determinación de estabilidad de talud mediante el método de Fellenius se calculó el factor de seguridad usando como referencia valores menores de 1.20 (Sanhueza & Rodríguez, 2013).

Cuando el suelo tiene nivel freático se considera 0.24; para el factor de seguridad frente a una falla por corte se usaron los valores de referencia: 2.5 (DPL) (NTPE.050. Suelos y Cimentaciones. Instituto de la Construcción y Gerencia, 2018). Se tuvo como dato la sobrecarga (casas encima de la corona del talud), para el cual se realizó el metrado de cargas por 2.7 kg/m².

El análisis de inestabilidades de taludes se realizó cada 20 metros donde se encuentran las altas fallas de deslizamiento en cada talud.

Se realizó la Estratigrafía del Peligro según Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del riesgo de desastres [CENEPRED], (2014), el cual clasifica:

Muy alto:

Factor condicionantes zona con pendiente muy fuertemente inclinada de 75-85°, con una velocidad de desplazamiento extremadamente rápido por parte del suelo, con un nivel freático muy alto, donde la textura de suelo es predominante finas: suelos arcillosos (arcilloso, arenoso, arenoso arcilloso), y como **factor desencadenante**, las precipitaciones donde es extremadamente lluvioso (>180.0mm).

Alto:

Factor condicionante zonas con pendiente fuertemente inclinada de 60° - 75°, con una velocidad de desplazamiento muy rápido por parte del suelo, con un nivel freático alta, donde la textura de suelo es moderadamente fina (suelos francos arcillosos, arcillosos con mediana plasticidad) y

factor desencadenante, la precipitación la cual es muy lluvioso (entre 189-85.15mm).

Medio:

Factor condicionante zonas con pendiente fuerte de (45°- 60°), con una velocidad de desplazamiento muy rápido por parte del suelo, con un nivel freático media, donde la textura de suelo es mediana: suelos francos (limosos); y **factor desencadenante**, la precipitación la cual es lluvioso (entre 85.15 - 43.5mm) .

Bajo:

Factor condicionante zonas con pendiente moderadamente inclinada de (>30°- 45°), con una velocidad de desplazamiento muy rápido por parte del suelo, con un nivel freático media, donde la textura de suelo es moderadamente gruesa (suelos franco-arenosos); y se considera como **factor desencadenante** la precipitación la cual es

moderadamente lluvioso (entre 7.3-43.5mm).

Para calcular la estabilidad de talud se utilizó el programa Geo5. Con el software civil 3D se generaron secciones transversales en cada 20 m del eje de vía desde la progresiva km 770 +617- km 771+706 de la ruta 47 PE-3S; estas secciones son utilizadas para realizar el análisis de estabilidad de taludes.

Análisis de datos

Se utilizaron el software ArcGis para determinar las coordenadas de las calicatas y el GEO 5, (2023), para evaluar la estabilidad de los taludes.

RESULTADOS

En la Tabla 1 y Figura 2 se identifican los Sub-Tramos con sus respectivas progresivas de ubicación de los taludes.

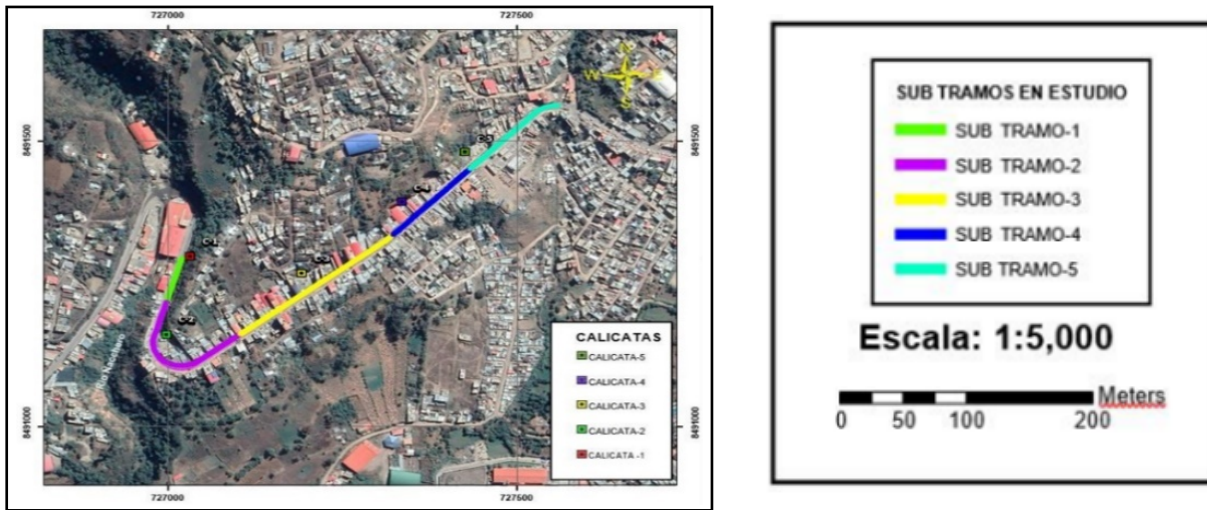
TABLA 1

Localizaciones de las calicatas realizadas

	Lado	Localización	Este	Norte
Calicata 1	Derecho	Subtramo Km 770+640-Km 700 +840	727426	8491483
Calicata 2	Derecho	Subtramo Km 770+860-Km 771 +080	727336	8491396
Calicata 3	Derecho	Subtramo Km 771+ 100-Km 771 +360	727192	8491270
Calicata 4	Derecho	Subtramo Km 771+380-Km 771 +520	726998	8491163
Calicata 5	Derecho	Subtramo Km 771+540-Km 771 +700	727032	8491300

FIGURA 2

Localización de calicatas



Nota: ArcGis

La Tabla 2 muestra la estratigrafía de peligrosidad de los subtramos evaluados. En cuanto al peligro en el Sub-Tramo 1 del Km 770 +640 hasta Km 770+840, este valor está en función de los valores de peligro siendo 0.264, lo que determina un nivel muy alto de peligro.

En el *tramo 2* muestra valores de peligro en el Sub-Tramo del Km 770 +860 hasta Km 771+80, este valor está en función de los valores de peligro siendo 0.263 el valor hallado en este Sub-Tramo lo que determina un nivel muy alto de peligro.

En el *tramo 3* muestra valores de peligro, en el Sub-Tramo del Km 771 +100 hasta Km 771+360, este valor está en función de los valores de peligro siendo 0.263 el valor hallado en este Sub-Tramo lo que determina un nivel muy alto de peligro.

Tramo 4 muestra valores de peligro, en el Sub-Tramo del Km 771 +380 hasta Km 771+520, este valor está en función de los valores de peligro 0.271 el valor hallado en este Sub-Tramo lo que determina un nivel muy alto de peligro y en el *tramo 5* muestra

valores de peligro en el Sub-Tramo del Km 771 +540 hasta Km 771+700, este valor está en función de los valores de peligro siendo 0.262 el valor hallado en este Sub-Tramo lo que determina un nivel muy alto de peligro.

En la Tabla 3 se muestra el análisis de inestabilidad de taludes en el tramo Km 770 + 640- Km 771 + 700, donde se muestran los valores de los factores de seguridad por cada subtramo correspondiente, lo que significa que, en cada uno de ellos, hay mayor probabilidad de deslizamiento (valor mínimo).

TABLA 2*Estratigrafía de peligrosidad de los subtramos evaluados*

	NIVEL	RANGO	
Parámetros de peligrosidad subtramo 1 (Km 770 +640 hasta Km 770+840)	MUY ALTO	0.264 <	$P \leq 0.490$
	ALTO	0.137 <	$P \leq 0.264$
	MEDIO	0.071 <	$P \leq 0.137$
	BAJO	0.037 <	$P \leq 0.071$
Parámetros de peligrosidad subtramo 2 (Km 770 +860 hasta Km 771+80)	MUY ALTO	0.263 <	$P \leq 0.485$
	ALTO	0.141 <	$P \leq 0.263$
	MEDIO	0.073 <	$P \leq 0.141$
	BAJO	0.039 <	$P \leq 0.073$
Parámetros de peligrosidad subtramo 3 (Km 771 +100 hasta Km 771+360)	MUY ALTO	0.263 <	$P \leq 0.488$
	ALTO	0.135 <	$P \leq 0.263$
	MEDIO	0.074 <	$P \leq 0.135$
	BAJO	0.039 <	$P \leq 0.074$
Parámetros de peligrosidad subtramo 4 (Km 771 +380 hasta Km 771+520)	MUY ALTO	0.271 <	$P \leq 0.478$
	ALTO	0.137 <	$P \leq 0.271$
	MEDIO	0.076 <	$P \leq 0.137$
	BAJO	0.038 <	$P \leq 0.076$
Parámetros de peligrosidad subtramo 5 (Km 771 + 540 hasta Km 771+700)	MUY ALTO	0.262 <	$P \leq 0.488$
	ALTO	0.139 <	$P \leq 0.262$
	MEDIO	0.073 <	$P \leq 0.139$
	BAJO	0.038 <	$P \leq 0.073$

Nota: Resultados obtenidos según CENAPRED, (2014)

TABLA 3*Análisis de inestabilidad de taludes*

N	Km	Factor de seguridad	
1	Km 770+640	0.58	Sub-Tramo 01
2	Km 770+660	0.24	
3	Km 770+680	0.4	
4	Km 770+700	0.58	
5	Km 770+720	0.48	
6	Km 770+740	0.22	
7	Km 770+760	0.38	
8	Km 770+780	0.21	
9	Km 770+800	0.34	
10	Km 770+820	0.31	
11	Km 770+840	0.28	

N	Km	Factor de seguridad		
12	Km 770+860	0.2	Sub-Tramo 02	
13	Km 770+880	0.1		
14	Km 770+900	0.41		
15	Km 770+920	0.19		
16	Km 770+940	0.37		
17	Km 770+960	0.33		
18	Km 770+980	0.33		
19	Km 771+00	0.16		
20	Km 771+20	0.17		
21	Km 771+40	0.29		
22	Km 771+60	0.42		
23	Km 771+80	0.33		
24	Km 771+100	0.19		Sub-Tramo 03
25	Km 771+120	0.47		
26	Km 771+140	0.37		
27	Km 771+160	0.49		
28	Km 771+180	0.31		
29	Km 771+200	0.75		
30	Km 771+220	0.43		
31	Km 771+240	0.13		
32	Km 771+260	0.11		
33	Km 771+280	0.1		
34	Km 771+300	0.16		
35	Km 771+320	0.2	Sub-Tramo 04	
36	Km 771+340	0.11		
37	Km 771+360	0.14		
38	Km 771+380	0.12		
39	Km 771+400	0.11		
40	Km 771+420	0.16		
41	Km 771+440	0.09		
42	Km 771+460	0.18		
43	Km 771+480	0.01		
44	Km 771+500	0.01		
45	Km 771+520	0.02		

46	Km 771+540	1.04	Sub-Tramo 05
47	Km 771+560	0.8	
48	Km 771+580	0.25	
49	Km 771+600	0.64	
50	Km 771+620	0.46	
51	Km 771+640	0.5	
52	Km 771+660	0.82	
53	Km 771+680	0.99	
54	Km 771+700	0.96	

DISCUSIÓN

El estudio de Hernández & Tamayo, (2019) analizó la estabilidad de taludes y las medidas de contención requeridas para la construcción de una carretera secundaria, con la finalidad de cumplir con los requisitos para el diseño de la carretera, ubicada en el PR 0+020.078. Se analizó la estabilidad de los perfiles utilizando la cohesión ($13,9 \text{ kN/m}^2$) y el ángulo de fricción ($16,58^\circ$) del material de relleno heterogéneo, y la cohesión ($5,5 \text{ kN/m}^2$) y el ángulo de fricción ($24,11^\circ$) de los depósitos de talud; se utilizaron situaciones tanto estáticas como dinámicas, mostrando que la figuración de taludes tuvo factores de seguridad superiores a 1,5 y 1,1, respectivamente. Después de realizar un examen en profundidad de la región, se analizaron otros enfoques, para estabilizar la pendiente y desarrollaron un plan para el diseño y la construcción de la carretera.

Desde un punto de vista crítico, las superficies de deslizamiento potenciales están formadas por estos tres segmentos (Dong et al., 2021): el plano estructural de deslizamiento, que es más bajo a lo largo de la horizontal; el borde de salida, que está bajo tensión; y el segmento bloqueado en el centro (Fig. 4). El segmento central bloqueado puede estar en un estado estable debido a las fuerzas estáticas naturales, pero puede sufrir una inestabilidad por deslizamiento a gran escala como resultado de un terremoto.

La presente investigación registró factores de seguridad en los cinco Sub-Tramos siendo 0.01 lo que determina que, el tramo km 770 +617- km 771+706 de la ruta PE-3S presenta mucha inestabilidad de taludes lo que contrapone al estudio realizado por Gratz et al. (2018), en el cual el factor de seguridad en caso de falla de la cuña está fuertemente influenciado por el tamaño del bloque; además, existe un factor de estabilidad $c/(\gamma H)$ que aumenta el factor de seguridad en cada caso, que va disminuyendo hasta fallar; por otra parte, el módulo de rigidez de la rejilla es el parámetro que más influye en el factor de seguridad del sistema de rejilla metálica flexible más la estabilidad del anclaje.

Así mismo, Wang & Lin, (2021) establecieron un método de análisis de elementos finitos bidimensional para la estabilidad de taludes rocosos; los resultados del estudio mostraron que las variaciones de los parámetros mecánicos de las colinas y taludes del suelo causarían resultados no fidedignos del análisis de desplazamiento de posición y tensión de ellos; así mismo, con este método se comprende de manera integral la seguridad y protección para reducir la estabilidad de la roca y suelo debido a los parámetros de cálculo inciertos, para la evaluación del riesgo de taludes geotécnicos.

Según la forma de la pendiente actual, es inestable con un factor de seguridad (FS) en condición estática de 1,058. El análisis actual arrojó un FS de 0,01, lo que indica que la región es bastante inestable. El estudio de Gómez realizado en la subcuenca Canipaco en la región del Colca llegó a conclusiones similares, destacando la necesidad de mapear áreas en riesgo por pendientes y taludes inestables para proteger la infraestructura local y la producción agrícola.

Marín et al. (2022) mencionan que la correlación tiene el mayor impacto en la variación de FS, lo que indica que pequeños cambios en este parámetro tienen un gran impacto en los resultados de FS. Sin embargo, la magnitud de esta variación difiere entre unidades geológicas y ángulos de pendiente/profundidades del suelo. Los hallazgos de la presente investigación concuerdan con los resultados de Gómez que determina que existe un alto riesgo potencial dentro del Tramo km 770 +617- km 771+706. Para calcular el factor de seguridad de taludes, Tardeo & Zanabria, (2015) utilizaron una variedad de métodos analíticos heurísticos. Si el factor dinámico de seguridad es menor a 1.25, como lo es en la sección de Huayllabamba del distrito de la cuenca de Huancavelica, Arbolitos y Puchcco, son estables, porque sus valores de FS son mayores a uno, mientras que Acequia Alta y Motoy Huaycco son inestables, debido a que los valores de FS son menores a uno, según lo determinado por el análisis estático.

Mendoza, (2016) afirma que la geometría de un talud no afecta en gran medida su estabilidad en el escenario pseudoestático, que era el objetivo de su estudio sobre los pasos de diseño de taludes que se erigirían sobre suelos. Así, las propiedades geotécnicas de los materiales existentes serán las encargadas de mantener la estabilidad. De manera similar, la licuefacción podría ser un problema aquí debido a la presencia de agua y la existencia de

capas de arena. Los estudios realizados por Tardeo & Zanabria, (2015) y Mendoza, (2016) corroboran los hallazgos de la presente investigación por presentar un análisis pseudoestático.

CONCLUSIÓN

Se determinó que los taludes del Km 770 + 640- km 771+700 de la ruta PE-3S, presentan peligro inminente causado por la saturación de los suelos, pendiente elevada, lluvias, factores que influyen en la inestabilidad de los taludes, ocasionando pérdidas de vidas humanas y daños materiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del riesgo de desastres (CENEPRED). (2014). Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales. Versión 02. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/257>
- Craig, A. M. L., & Augusto Filho, O. (2020). Landslide Susceptibility Mapping of Highway Slopes, Using Stability Analyses and GIS Methods. <https://doi.org/10.28927/SR.431071>.
- Dolojan, N. L. J., Moriguchi, S., Hashimoto, M., & Terada, K. (2021). Mapping method of rainfall-induced landslide hazards by infiltration and slope stability analysis. *Landslides*, 18(6), 2039–2057. <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01617-x>
- Dong, J., Wang, C., Huang, Z., Yang, J., & Xue, L. (2021). Dynamic response characteristics and instability criteria of a slope with a middle locked segment, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 150,106899. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106899>.
- Ferlisi, S., & De Chiara, G. (2016). Risk analysis for rainfall-induced slope instabilities in coarse-grained soils: Practice and perspectives in Italy.

- In L. C. Stefano Aversa Luciano Picarelli, and Claudio Scavia (Ed.), *Landslides and Engineered Slopes. Experience, Theory and Practice* (pp. 137–154). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b21520-14>.
- Flores, I., García, J., & González, Y. (2020). Estabilidad de taludes durante un desembalse rápido en presas de tierra con suelos parcialmente saturados. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(1), 13-31. DOI: <https://doi.org/10.14482/inde.38.1.624.15>
- Gratz, K., Salazar, J., & Rodríguez, C. (2018). Análisis de los factores que determinan el diseño de mallas metálicas para la exactitud de taludes en macizos rocosos. *Obras y Proyectos* 23, 25-38. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132018000100025&lang=es
- Hernández, Y. & Ramírez, H. (2016). Evaluación del riesgo asociado a vulnerabilidad física por taludes y laderas inestables en la microcuenca Cay, Ibagué, Tolima, Colombia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26 (2), 111-128, DOI: [http://dx.doi.org/10.18359/rcin.180026\(2\):111-128](http://dx.doi.org/10.18359/rcin.180026(2):111-128).
- Huang R. Some catastrophic landslides since the twentieth century in the southwest of China. *Landslides*, 6(1), 69–81. DOI:10.1007/s10346-009-0142-y
- Instituto de la Construcción y Gerencia (2018). *Norma Técnica E.050 Suelos y cimentaciones 2018*. https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E050_RM-406-2018-VIVIENDA.pdf
- Marin, R., Mattos, A., & Fernández, C. (2022). Comprensión de la sensibilidad a las propiedades del suelo y las condiciones de lluvia de dos modelos de estabilidad de taludes basados en la física. 44(1). 93–109. <https://doi.org/10.18273/revbol.v44n1-2022004>
- Medinaceli, R., & Medinacelli, R. (2021). Aplicación de la simulación de Montecarlo a la evaluación probabilística de la estabilidad de taludes en roca. *Revista de Medio Ambiente y Minería*. 6(1),33-47. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522021000100004&lang=es
- Mertens, D. (2015). *Research and Evaluation in Education and Psychology: Integrating Diversity with Quantitative, Qualitative, and Mixed Methods* (4th ed., p. 332). Thousand Oaks, CA: Sage Publications, Inc.
- Palacio, J., Mergili, M., & Aristizábal, E. (2020). Probabilistic landslide susceptibility analysis in tropical mountainous terrain using the physically based r. slope. stability model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(3), 815–829. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-815-2020>
- Scaioni M. *Modern technologies for landslide monitoring and prediction*. Springer; 2015. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-45931-7>.
- Sanhueza, C. & Rodríguez, L. (2013). Análisis Comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Revista de la construcción*. 12(1). 17-29. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2013000100003>
- Torres, I. (2020). Evaluación de riesgo de deslizamientos y propuesta geotécnica de la trocha Ayash-Huaripampa tramo km 3+260 al km 3+300. *Perfiles de Ingeniería*, 16(16), 13–22. https://doi.org/10.31381/perfiles_ingenieria.

v20i15.3542

- Turner, A. (2018). Social and environmental impacts of landslides. *Innovative Infrastructure Solutions*, 3(1), 70. <https://doi.org/10.1007/s41062-018-0175-y>
- Vega, C., & Velásquez, G. (2020). Análisis de inestabilidad del talud tramo NIC-7 (km 177-178) Santo Tomás, departamento de Chontales. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 34. DOI: <https://doi.org/10.5377/farem.v0i34.10016>
- Wang, Z., & Lin, M. (2021). Finite element analysis method of slope stability based on fuzzy statistics. *Earth Sciences Research Journal*, 25(1), 123-130. DOI: <https://doi.org/10.15446/esrj.v25n1.93320>
- Yan K., Liu F., Zhu C., Wang Z., & Zhang J. (2017). Dynamic response of slope with intercalated soft layers under seismic excitations. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 36(11):2686–98. DOI:10.13722/j.cnki.jrme.2017.0440