ARTÍCULO ORIGINAL
ISSN-e: 3028-984X

IDAC Revista Científica de Ingeniería, Diseño y Arquitectura Contemporánea

Análisis bidimensional de estabilidad del talud en una zona de falla geológica en Chinchao, Huánuco, Perú

Slope stability bidimensional analysis in a geological fault zone in Chinchao, Huanuco, Peru

Jose Antonio Bustillos Cotrado [1]

Filiación institucional

[1] Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú.

Grado académico

[a] Ingeniero Civil.

Recibido: 20-10-23
Aprobado: 29-12-23
Publicado: 12-01-24

RESUMEN

Objetivo. Evaluar la condición de estabilidad del talud en una zona de falla geológica por el método de equilibrio límite de la progresiva, km 37+700 al km 37+800 (ruta nacional PE+18A), en el centro poblado de Pachachupán, distrito de Chinchao, provincia y región de Huánuco. **Métodos.** Investigación de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo de observación naturalista, tipo básico, y diseño no experimental. La muestra estuvo conformada por el talud más crítico a través de un criterio de muestreo no probabilístico intencionado. **Resultados.** El factor de seguridad para el análisis estático fue de 0,381 y para el pseudoestático de 0,214. Por otro lado, la falla geológica se encontró inactiva, presentando como indicadores directos: desplazamientos de 5,5 cm en el plano de falla; estrías en dirección al plano de falla de 2 a 2,5cm; brechas de falla en depresiones erosionadas de material fino e indicadores directos; una morfología de área escarpada por procesos erosivos con vista de fracturas en los estratos del macizo rocoso; una vegetación constituida por arbustos y terrenos agrícolas de cultivo; y ausencia de afluentes y torrentes generados por aguas subterráneas. **Conclusiones.** La condición de estabilidad del talud para un análisis estático y pseudoestático fue inestable y la inactividad de la falla geológica no representa un riesgo potencial crítico en la formación de fenómenos de geodinámica externa (deslizamientos, flujos de tierra y flujos de detritos).

Palabras clave: *deslizamiento de tierra; reconocimiento topográfico; reconocimiento geológico; investigación hidrológica; evaluación de riesgos.*

ABSTRACT

Objective. Evaluate slope stability condition in a geological fault zone through the limit balance method of the progressive of the highway, km 37+700 al km 37+800 (national route PE+18A), of the populated center Pachachupan, Chinchao district, province and region Huanuco. **Methods.** Research quantitative approach descriptive level naturalistic observation type basic and no experimental. The sample consisted of the most critical slope using a non-probabilistic purposive sampling criterion. **Results.** The factor of safety for the static analysis was 0.381 and for the pseudo-static analysis 0.214. On the other hand, the geological fault was found inactive, presenting as direct indicators: displacements of 5.5 cm in the fault plane; striations in the direction of the fault plane of 2 to 2.5 cm; fault breccias in eroded depressions of fine material and direct indicators; a morphology of steep area by erosive processes with view of fractures in the strata of the rock massif; vegetation consisting of shrubs and cultivated agricultural land; and absence of tributaries and torrents generated by groundwater. **Conclusions.** The slope stability condition for a static and pseudo-static analysis was unstable and the inactivity of the geologic fault does not represent a critical potential risk in the formation of external geodynamic phenomena (landslides, earth flows and debris flows).

Keywords: *landslide; topographic acknowledgment; hydrologic research; risk assessments.*

Citar como: Bustillos, J. A. (2024). Análisis bidimensional de estabilidad del talud en una zona de falla geológica en Chinchao, Huánuco, Perú. *Revista Científica de Ingeniería, Diseño y Arquitectura Contemporánea*, *1*(1), 9-17. https://doi.org/10.37711/idac.2024.1.1.2

© Los autores.
Este es un artículo bajo la licencia de Creative Commons, CC-BY 4.0

Introducción

El análisis de estabilidad de taludes es muy relevante en las obras de ingeniería; este se determina a través del cálculo del factor de seguridad, en función a las cargas existentes, parámetros geométricos y propiedades físicas del terreno. Existen teorías simplificadas en la resistencia de materiales para la determinación del factor de seguridad; entre ellas: el método de equilibrio límite y el método de elementos finitos, logrando así soluciones determinísticas (Beneyto et al., 2011).

En los últimos decenios, América Latina adoleció de incontables desastres naturales causados por el calentamiento global, ubicación en zonas sísmicas y demás condiciones geográficas, lo que provocó grandes pérdidas económicas y sociales, por lo que ha crecido significativamente el interés de los gobiernos en la gestión y prevención de riegos y desastres (Pierre, 2019).

En el Perú existen antecedentes y registros históricos en la formación de fenómenos de geodinámica externa (deslizamientos de tierra y roca, huaycos, aluviones, hundimientos, derrumbes, inundaciones) a través de evidencias litológicas y morfológicas. No obstante, estos fenómenos nos han dejado lecciones trágicas por la indiferencia del hombre, como: los deslizamientos del cerro Cóndor en el Departamento de Ayacucho y de Recuay en el Departamento de Ancash y los aluviones de Ccochacay en el Departamento de Huancavelica, Yungay Ranrairca en el Departamento de Ancash y Chavín de Huántar en el Departamento de Huánuco (Jaén y Taype, 1976).

En la región de Huánuco, Zavala y Vílchez (2006) indicaron que las zonas más vulnerables están expuestas a los movimientos en masa (flujos de lodo y piedra, derrumbes y deslizamientos) y peligros geohidrológicos (erosión fluvial e inundaciones). El análisis de estabilidad de taludes conlleva calcular el factor de seguridad. Para ello, al momento de realizar el modelo físico se deben considerar los elementos críticos: topografía del talud, reconocimiento geológico, fallas existentes en el cuerpo del talud, fuerzas sísmicas, flujo de agua y el análisis geotécnico. Existen limitaciones en cuantificar todos los factores críticos posibles en el talud para el desarrollo del modelo matemático (Suarez, 1998).

El análisis de estabilidad de taludes consiste en evaluar y comparar el esfuerzo cortante de la superficie más probable de falla con la resistencia cortante del suelo. Además de considerar: el perfil estratigráfico del suelo, los parámetros de resistencia cortante, la infiltración en el talud, la selección de la superficie potencial de falla, entre otros (Braja, 2001). En el análisis de estabilidad de taludes se considera el estado último o de rotura existente del suelo, evaluando aquellos factores posibles de inestabilidad como: el peso propio del material, el nivel de filtración y escurrimiento superficial, así como las demás cargas existentes (Pérez, 2005).

El análisis de estabilidad de taludes es fundamental e imprescindible en la ingeniería civil. Por tal motivo existe una ardua experiencia en la identificación de fallas y evaluación del comportamiento del talud, facilitando la identificación y conocimiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo a través de ensayos y pruebas, ya sea en laboratorio o en campo (Duncan et al., 2014).

Por otro lado, una falla geológica debe ser entendida como una fractura en la superficie terrestre entre bloques separados por la misma, en la que sus dimensiones varían desde pequeños centímetros a cientos de metros para los desplazamientos, y desde pequeñas fracturas a cientos de kilómetros en su longitud (Rivera, 2011).

Durante la inspección técnica en el área de estudio se encontró la presencia de una zona de falla geológica de tipo normal que generaba sobrecargas adicionales al talud por el arrastre y acarreo del material a través de agentes de transporte: agua y aire. De igual manera, se observó agrietamientos en el talud superior, erosión y daños en el carril de la plataforma izquierda de la carretera central y el deterioro de las obras de arte longitudinal (cunetas) y transversal (alcantarillas).

Además, se solicitó a la Municipalidad Distrital de Chinchao, en el Departamento de Huánuco, entidad encargada en la jurisdicción del área de investigación, toda la información recogida y existente para el desarrollo de los estudios básicos de ingeniería (topográfico, hidrológico, geológico, geotécnico, de amenaza y riesgo).

ISSN-e: 3028-984X

Todo ello impulsó al desarrollo del presente estudio en la evaluación de la condición de estabilidad del talud en una zona de falla geológica por el método de equilibrio límite de la progresiva km 37+700 al km 37+800 (ruta nacional PE+18A), en el centro poblado de Pachachupán, distrito de Chinchao, provincia y región de Huánuco; todo lo cual se realizó a través de la determinación del factor de seguridad, descripción de los parámetros utilizados por el método de equilibrio límite, descripción de los métodos de análisis desarrollados en el método de equilibrio límite e identificación de las herramientas computacionales existentes para su análisis.

Métodos

Tipo y área del estudio

El enfoque del estudio fue cuantitativo, al utilizar métodos y técnicas cuantitativas para responder al fenómeno de investigación y contrastar la hipótesis a través de la medición numérica, el muestreo y el análisis estadístico (Ñaupas et al., 2018). El nivel del estudio fue descriptivo, al buscar describir las características, propiedades y manifestación del fenómeno de investigación. Así mismo, no presenta hipótesis, al no analizar la relación o causalidad de las variables de estudio (Arias, 1999). El tipo de estudio fue básico, al desarrollar y consolidar las bases teóricas de las variables de estudio, además de servir como fuente de consulta para el desarrollo de posteriores estudios aplicados o tecnológicos (Ñaupas et al., 2018). El diseño del estudio fue no experimental de corte transversal, considerando que la muestra representativa de la población es estudiada en un único momento (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). El estudio fue desarrollado en el centro poblado de Pachachupan de la Carretera Central del Tramo Huánuco –Tingo María (Ruta Nacional PE+18A).

Población y muestra

La población, referida al conjunto de elementos del cual se recaba la información (Garay et al., 2020), estuvo conformada por el conjunto de taludes del centro poblado de Pachachupán. Además, se consideró un muestreo no probabilístico intencional basado en el juicio y criterio del investigador (Reyes y Sánchez, 2006), que corresponde al talud de la progresiva km 37+700 al km 37+800 (ruta nacional PE+18A). Los criterios de inclusión fueron: taludes con riesgo de movimientos en masa y daños ocasionados. Fueron excluidos del estudio aquellos taludes a los que, por sus condiciones geográficas, no se tuvo acceso.

Variables e instrumentos de recolección de datos

Las variables del estudio fue el análisis bidimensional de estabilidad del talud y falla geológica, ambas variables fueron valoradas a través de una ficha de recolección de datos, a través del procesamiento y análisis de datos obtenidos en los ensayos de laboratorio y campo (Ñaupas et al., 2018); lo cual se realizó en los estudios básicos de ingeniería: topográfico, hidrológico, geológico, geotécnico, de amenaza y riesgo, para el análisis de estabilidad del talud, y también en la visita técnica para la identificación de indicadores directos e indirectos de la falla geológica.

Técnica y procedimientos de la recolección de datos

La técnica para la recolección de datos se realizó a través de la observación, considerando la toma de información y registro de datos al observar detalladamente el fenómeno de estudio (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018). Para recolectar los datos se consideró el siguiente procedimiento:

1. Estudio topográfico para la identificación de los parámetros geométricos, es decir, la conformación topográfica del talud.
2. Estudio hidrológico para conocer los cambios en el régimen de aguas subterráneas relacionadas con las lluvias e hidrología superficial.
3. Estudio geológico para la caracterización de los elementos geológicos: formación geológica, estructuras, discontinuidades y meteorización.
4. Estudio geotécnico a través de una metodología de investigación geotécnica, cuyo contenido estuvo caracterizado por las siguientes actividades: recopilación de la información, reconocimiento geológico, planificación de

ISSN-e: 3028-984X

actividades de exploración y muestreo, realización de exploración en campo, determinación y selección de muestras, realización de ensayos de laboratorio y la interpretación de la investigación geotécnica.

5. Estudio de amenaza y riesgo para la identificación de peligros, riesgos y amenazas en el área de estudio, así como la evaluación de medidas de prevención.

Análisis de datos

Para el análisis de estabilidad del talud se trabajó con los parámetros geométricos del talud más crítico, así como con el tipo de material más representativo en el área de estudio. Este criterio se asumió considerando al talud como un bloque rígido e isotrópico (según el método de equilibrio límite). Los datos fueron procesados en el *software* Slide, versión 5.014. Para la presentación de datos se utilizaron también los programas: Excel, Autocad, Autocad Civil 3D, Arcgis, entre otros.

Aspectos éticos

El estudio se desarrolló respetando todas las disposiciones y principios del Código de Ética para la Investigación de la Universidad de Huánuco, ratificado con la resolución N.°1213-2016-R-CU-UDH, de fecha 23 de septiembre del 2016.

Resultados

Análisis bidimensional de estabilidad del talud

Para conocer las propiedades físico-mecánicas del suelo, así como los parámetros de resistencia cortante, se trasladó una muestra inalterada encajonada y representativa del talud al laboratorio geotécnico del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) (ver Tablas 1, 2 y Figuras 1, 2).

Se realizó un análisis estático considerando las solicitudes externas (sobrecargas, presión de poros, presión efectiva, nivel freático, aguas subterráneas, etc.), así como el peso propio del material. El método de análisis utilizado por el método de equilibrio límite en el análisis de estabilidad del talud fue el GLE/Morgenstern Price. El cálculo del factor de seguridad utilizó la técnica de dovelas, obteniendo un valor de 0,381 (ver Figura 3).

Tabla 1
Resultados de las propiedades físico-mecánicas del suelo

Identificación	
Sondaje	C-2
Muestra	---
Profundidad (m)	1,35
Clasificación	
AASHTO	A-7-6 (12)
SUCS	CL / Arcilla delgada arenosa
Peso volumétrico	
Humedad	21,7 %
Densidad húmeda	1,85 g/cm^3

Nota. Información recolectada del CISMID-UNI (2019).

ISSN-e: 3028-984X

Tabla 2

Resultados de los parámetros de resistencia cortante del suelo

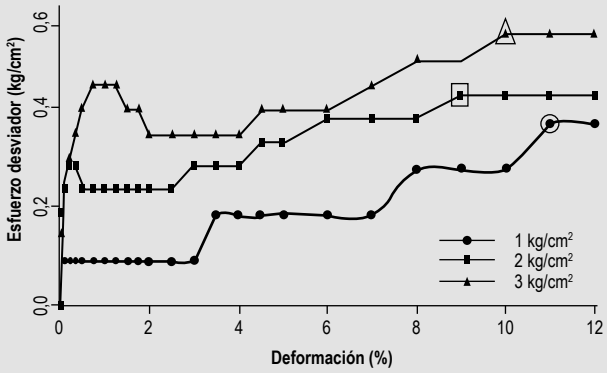
Ensayo de Compresión Triaxial (UU)	
Cohesión (c)	0,15 kg/cm^2
Ángulo de fricción (ϕ)	1,7 °

Nota. Información recolectada del CISMID-UNI (2019).

Se realizó un análisis pseudoestático considerando una fuerza horizontal que simula el efecto dinámico y es dependiente del coeficiente sísmico; su valor fue obtenido del mapa de isoaceleraciones espectrales, que para la región del área de estudio tuvo un valor de 0,32g, por la poca frecuencia de eventos sísmicos de gran magnitud

Figura 1

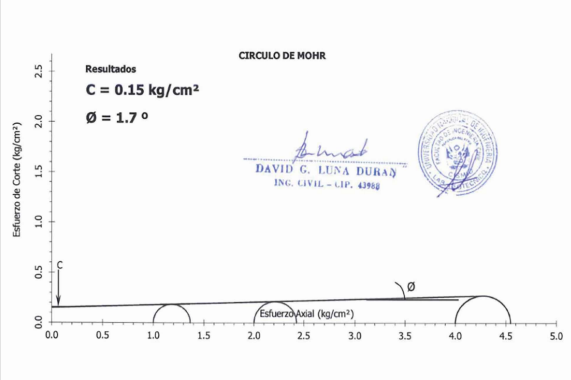
Diagrama de esfuerzo desviador (kg/cm^2) vs. deformación (%)



Nota. La figura muestra el diagrama de dispersión de los esfuerzos desviadores y deformaciones a presiones de celda de 1, 2 y 4 kg/cm^2 (CISMID-UNI, 2019).

Figura 2

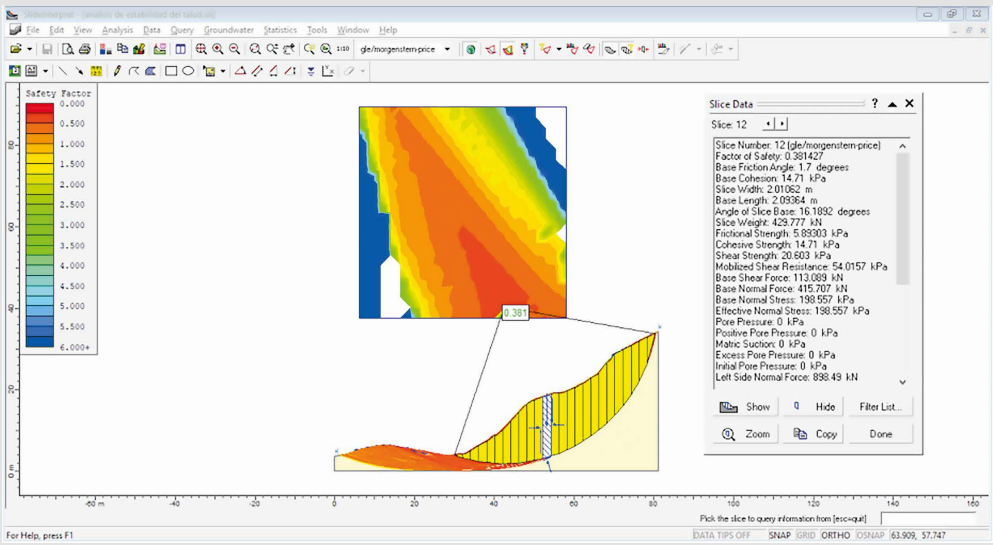
Parámetros de resistencia cortante del suelo



Nota. La figura muestra los parámetros de resistencia cortante del suelo. (CISMID-UNI, 2019).

Figura 3

Cálculo del factor de seguridad para un análisis estático en el software slide, versión 5.014



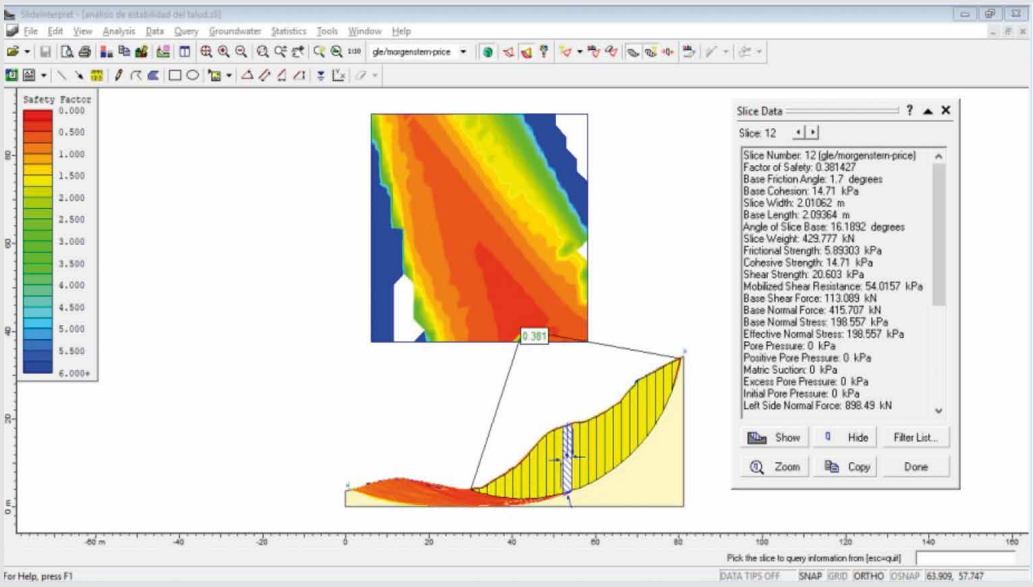
Nota. La figura muestra el cálculo del factor de seguridad obtenido por la técnica de dovelas para un análisis estático.

ISSN-e: 3028-984X

e intensidad. El método de análisis utilizado por el método de equilibrio límite en el análisis de estabilidad del talud fue el GLE/Morgenstern Price. El cálculo del factor de seguridad utilizó la técnica de dovelas, obteniendo un valor de 0,214 (ver Figura 4).

Figura 4

Cálculo del factor de seguridad para un análisis pseudoestático en el software slide, versión 5.014



Nota. La figura muestra el cálculo del factor de seguridad obtenido por la técnica de dovelas para un análisis pseudoestático.

Como los factores de seguridad para los análisis estático y pseudoestático fueron de 0,381 y 0,214. Se pudo afirmar (Norma Técnica CE 0.20, 2018):

a) Desde el punto de vista conceptual (físico).

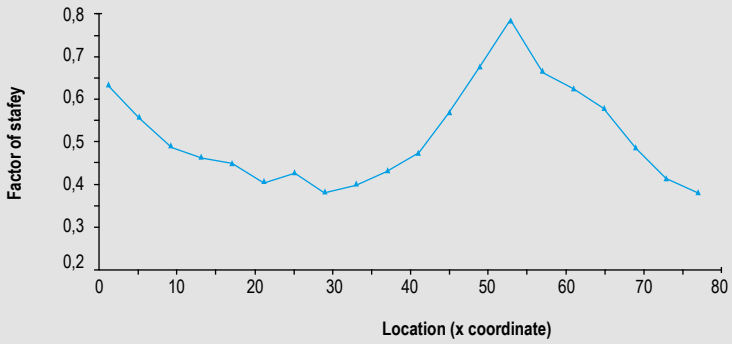
Factor de seguridad (FS) < 1; por lo que la condición de estabilidad del talud es inestable.

b) Según la norma técnica CE.020 estabilización de suelos y taludes.

Factor de seguridad (FS) < 1,5 (para solicitaciones estáticas); por lo que la condición de estabilidad del talud es inestable (ver Figura 5).

Figura 5

Factor de seguridad crítico para un análisis estático en el software Slide, versión 5.014



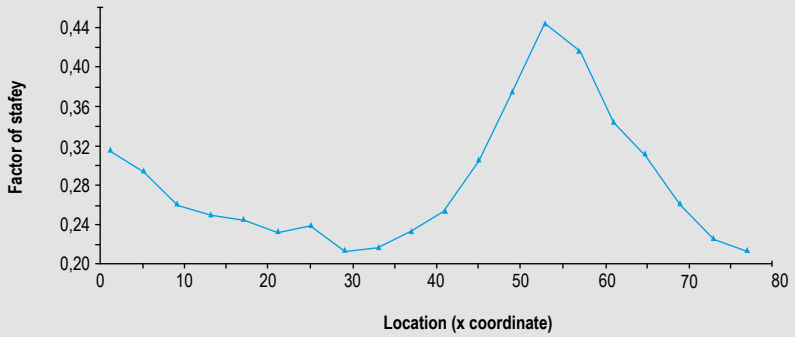
Nota. La figura muestra la determinación del factor de seguridad crítico para un análisis estático.

ISSN-e: 3028-984X

Factor de seguridad (FS) < 1,25 (para solicitaciones sísmicas); por lo que la condición de estabilidad del talud es inestable (ver Figura 6).

Figura 6

Factor de seguridad crítico para un análisis pseudoestático en el software Slide, versión 5.014



Nota. La figura muestra la determinación del factor de seguridad crítico para un análisis pseudoestático.

Evaluación geotécnica de la falla geológica

La falla geológica se encuentra Inactiva, es decir, no se produjo desplazamientos entre los bloques por la poca eventualidad de sismos de magnitud e intensidad considerables en el área de estudio. Probablemente ha sido formada por procesos tectónicos compresivos (esfuerzo compresional de las placas tectónicas) durante procesos orogénicos (formación de montañas) (ver Tabla 3).

Tabla 3

Resultados de la evaluación geotécnica en la falla geológica

Datos	Análisis	Descripción
Estado	Inactiva	Originada en el pasado geológico, es decir, antes del sistema cuaternario (2,58 millones de años a la actualidad) que no ha manifestado actividad reciente
Tipo	Falla normal	Es una falla vertical translacional producida por fuerzas tensionales, generando un plano de falla entre el techo y pie de falla, donde se pudo observar la geomorfología, estratigrafía y tipología del material (macizo rocoso, arenas, limos, arcillas, etc.)
Geometría	Relación longitud del plano de falla y total	Se midió en campo las dimensiones principales de la falla geológica: - Longitud del plano de falla = 4,40 m - Longitud total = 93 m
Rumbo y azimut del plano de falla encontrado	Rumbo	El rumbo obtenido según la orientación del plano de falla fue S 7° W
	Azimut	El azimut obtenido según la orientación del plano de falla fue 187° (respecto al norte magnético)
Geología local encontrada	Identificación del material en el plano de falla	Identificación de rocas metamórficas en su mayoría y sedimentarias en minoría, donde se ven agrietamientos y fisuras internas debido a los cambios de temperatura y presión. Además, se identificó que el material rocoso presenta diferentes matrices de arcillas, limos, etc.
Indicadores directos	Desplazamientos	Se identificaron desplazamientos de hasta 5.5cm en el plano de falla
	Estrías	Se identificaron estrías en dirección del plano de falla de 2-2.5cm
	Brechas de falla	Se identificaron depresiones erosionadas de material fino (limo arcilloso)
	Arrastres	No se identificaron arrastres por la inactividad de la falla geológica
Indicadores indirectos	Morfología	Área escarpada por procesos de meteorización y erosión con vista de fracturas en diferentes estratos de macizo rocoso
	Vegetación	Identificación de arbustos, gras, árboles y terrenos agrícolas de cultivo
	Manantiales	Ausencia de afluentes o torrentes generados por aguas subterráneas
Riesgos y peligros identificados	Intemperismo	Identificación de la desintegración de rocas metamórficas por procesos químicos y agente meteorológicos externos, formando depósitos que con las precipitaciones serán transportados por acción de la gravedad pudiendo generar finalmente fenómenos de geodinámica externa
	Erosión	Identificación de zonas escarpadas por procesos erosivos, lo cual debilita la estructura interna de la falla geológica siendo susceptible a la formación de fenómenos de geodinámica externa
Relación causa-efecto con la estabilización del talud	Procesos geológicos y topográficos	Finalmente, se puede indicar que la falla geológica es perjudicial en la estabilización del talud, ya que altera su geometría por el traslado y acarreo de material (roca o suelo) por procesos erosivos y de intemperización. Además, genera fisuras y agrietamientos tensionales a lo largo de su recorrido afectando terrenos de cultivo y la estructura interna del talud. Es importante considerar que la falla geológica puede volver a reactivarse por permanentes eventos sísmicos cercanos al lugar, siendo así un detractor muy crítico en la formación permanente de fenómenos de geodinámica externa en el área de estudio.

Nota. Información recolectada y procesada por el autor.

ISSN-e: 3028-984X

Discusión

La metodología de equilibrio límite en el análisis de estabilidad del talud se caracteriza por evaluar si la resistencia del suelo es suficiente frente a los esfuerzos cortantes, que tienden a causar los agrietamientos y fallas. Sus parámetros de análisis son: los pesos unitarios, la resistencia cortante, las condiciones drenadas o no drenadas, los esfuerzos totales y efectivos, y la estabilidad a corto y largo plazo (Suarez, 2009). Actualmente es una herramienta muy útil en la práctica, ya que permite al ingeniero determinar el factor de seguridad asumiendo superficies potenciales de falla.

Campos y Espinoza (2021) realizaron el análisis de estabilidad de taludes utilizando el método de equilibrio límite a través del software Slide 6.0, obteniendo como resultado la condición de inestabilidad de los mismos; por lo que sugirieron como alternativa de solución la modificación de sus parámetros geométricos a fin de reducir los daños colaterales. Los resultados son similares a nuestro estudio al obtener valores del factor de seguridad inferiores a la unidad, por lo que la condición de estabilidad del talud es inestable. Por otro lado, se realizaron prospecciones de campo para el reconocimiento geotécnico y la caracterización geológica estructural en el área de estudio.

En su estudio, Salvatierra (2020) señala que la metodología de equilibrio límite es más ventajosa para el análisis de estabilidad del talud, al evaluar las fuerzas resistentes y actuantes sobre la superficie potencial de falla. En efecto, pese a la existencia de otras metodologías en la modelación de taludes: esfuerzo-deformación continuos, esfuerzo-deformación para elementos discretos discontinuos, cinemáticos estereográficos para taludes en roca, dinámica de caídos en roca, dinámica de flujos, entre otros; el método de equilibrio límite presenta ventajas como: la existencia de una gran cantidad de paquetes de software, el análisis en dos y tres dimensiones con muchos materiales, refuerzos y condiciones de nivel de agua (Suarez, 2009).

Por su parte, Paredes (2019) desarrolló un análisis estático por las condiciones secas del área de estudio, es decir, la inexistencia de napa freática; mientras que para el análisis pseudoestático utilizó un factor sísmico equivalente al 33 % de la aceleración máxima total, es decir, la tercera parte de la aceleración máxima horizontal, obteniendo un valor de 0,11. Los resultados se ajustan al criterio de análisis del estudio, para la condición estática y pseudoestática, evaluando así la superficie potencial de falla.

Por otro lado, Calderón (2019) caracterizó el material en una zona de falla geológica, encontrando por un lado limos de plasticidad media, teniendo como clasificación SUCS la de ML y AASTHO de A-7-5 de baja calidad; así mismo, encontró arcillas y limos de alta plasticidad, teniendo como clasificación SUCS la de CH y MH y AASHTO de A-5. Los resultados evidencian el predominio de suelos finos; lo que es compartido por nuestro estudio, donde la clasificación SUCS muestra una arcilla delgada arenosa CL y la AASHTO, como A-7-6 (12). Todo esto refleja un material crítico con riesgo de existir potencial de expansión en las arcillas y potencial de colapso.

Conclusiones

La condición de estabilidad del talud en la zona de falla geológica del área de estudio para un análisis estático y pseudoestático es inestable. Por otra parte, los parámetros utilizados por el método de equilibrio límite son: las propiedades físicas del terreno y la resistencia cortante; el método de análisis utilizado para ello fue el GLE/Morgenstern Price. Además, existe una diversidad de herramientas computacionales para el análisis de estabilidad de taludes como son: Slide, Plaxis, Slope, GEO5, etc.

Recomendación

Finalmente se sugiere a las autoridades y comuneros del centro poblado de Pachachupán el uso de métodos de bioingeniería para la estabilización de taludes por ser factibles y económicos; utilizando el bambú, como un muro de contención ecológico, técnicas de siembra en vegetación a través de zanjas de coronación, con su sistema de drenaje para el flujo de los escurrimientos superficiales. Por otro lado, se recomienda el desarrollo de futuros estudios experimentales utilizando métodos químicos en la estabilización de taludes como la cal y el cemento; así mismo, el desarrollo de estudios más especializados como las prospecciones geofísicas (ensayo

ISSN-e: 3028-984X

de refracción sísmica, ensayo de medición de ondas superficiales, ensayo Down Hole) para el hallazgo de aguas subterráneas a grandes profundidades, buscando alternativas como el refuerzo de la estructura interna del talud con inyección química, entre otros estabilizantes.

Referencias

Arias Fidias, G. (1999). *El proyecto de investigación. Guía para su elaboración* (6ª ed.). Episteme.

Beneyto, P. A., Gutierrez, G. J., Mroginski, J. L., Di Rado, H. A., y Awruch, A. M. (2011). Análisis de estabilidad de taludes mediante técnicas de optimización heurística. *Mecánica Computacional, 30*(25), 2001-2014. http://venus.santafe-conicet.gov.ar/ojs/index.php/mc/article/view/3886/3803

Braja, M. D. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica.* Thomson editores.

Calderón, J. S. (2019). *Evaluación geotécnica de la falla geológica, entre las progresivas km 322+440 al km 322+560 en la carretera San Gabán – Mazuco de la región Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. UANCV Repositorio Digital. http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/2601

Campos, Y. E., y Espinoza, J. J. (2021). *Análisis de estabilidad de taludes mediante el equilibrio límite para evitar daños al caserío cercano a la Cantera El Arenal, Pátapo* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/61493

Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil strength and slope stability* (2a ed.). John Wiley & Sons.

Garay, G., Hilario, J., y Flores, J. G. (2020). *El proyecto de investigación, guía de elaboración*. Gerardo Garay Robles. http://editorialacademica.ga/wp-content/uploads/2020/11/el-proyecto-de-investigación-guía-para-su-elaboración.pdf

Hernández Sampieri, R., y Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* McGraw Hill México.

Jaén, H. y Taype, P. (1976). Ocurrencia de fenómenos de geodinámica externa en el Perú. *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú,* 52: 27-38. https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3732

Ñaupas, H., Valdivia, M. R., Palacios, J. J., y Romero, H. E. (2018). *Metodología de la investigación: Cuantitativa–Cualitativa y Redacción de la Tesis* (5ª ed.). Ediciones de la U.

Paredes, G. (2019). *Evaluación geomecánica y análisis de la estabilidad del talud en la cantera el arbolito - Juliaca* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional del Altiplano Puno. http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11799

Pérez, E. (2005). *Estabilidad de taludes*. Pere Prat.

Pierre, D. (2019). Desastres naturales y desigualdad: evidencia en América Latina y El Caribe. *Boletín de Coyuntura,* (20), 4-8. https://revistas.uta.edu.ec/erevista/index.php/bcoyu/article/view/684

Reyes, C., y Sánchez, H. (2006). *Metodología y diseño de la investigación científica.* Visión Universitaria.

Rivera, H. (2011). *Geología general*. Lima, Perú: Megabyte.

Salvatierra, R. D. (2020). *Estabilidad de taludes según el método de equilibrio límite durante la expansión de un botadero en minas a cielo abierto, una revisión sistemática entre 2009-2020* [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25835

Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Ingeniería de suelos Ltda.

Suarez, J. (2009). *Deslizamientos, análisis geotécnico.* Universidad Industrial de Santander.

Zavala Carrión, B. L., y Vílchez Mata, M. S. (2006). *Estudio de riesgos geológicos en la región Huánuco-[Boletín C 34]*. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/278

Fuentes de financiamiento
La investigación fue realizada con recursos propios.

Conflictos de interés
El autor declara no tener conflictos de interés.

Correspondencia:
Jose Antonio Bustillos Cotrado
E-mail: jose.bustillos@udh.edu.pe

ISSN-e: 3028-984X